



UNIVERSIDADE ESTADUAL DA PARAÍBA
CAMPUS VIII – ARARUNA
CENTRO DE CIÊNCIAS, TECNOLOGIA E SAÚDE
COORDENAÇÃO DE ENGENHARIA CIVIL

ELISÂNGELA LIMA DOS SANTOS

**ANÁLISE DO DESEMPENHO DO CONCRETO DOSADO COM ADIÇÃO DO PÓ
DE RESÍDUO CERÂMICO COMO SUBSTITUTO PARCIAL DO CIMENTO**

ARARUNA – PB

2022

ELISÂNGELA LIMA DOS SANTOS

**ANÁLISE DO DESEMPENHO DO CONCRETO DOSADO COM ADIÇÃO DO PÓ
DE RESÍDUO CERÂMICO COMO SUBSTITUTO PARCIAL DO CIMENTO**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à Coordenação do Curso de Graduação em Engenharia Civil da Universidade Estadual da Paraíba, como requisito parcial à obtenção do título de Bacharel em Engenharia Civil.

Área de concentração: Materiais e componentes de construção.

Orientador: Profa. Me. Talita Miranda de Sousa

ARARUNA – PB

2022

É expressamente proibido a comercialização deste documento, tanto na forma impressa como eletrônica. Sua reprodução total ou parcial é permitida exclusivamente para fins acadêmicos e científicos, desde que na reprodução figure a identificação do autor, título, instituição e ano do trabalho.

S238a Santos, Elisangela Lima dos.
Análise do desempenho do concreto dosado com adição do pó de resíduo cerâmico como substituto parcial do cimento [manuscrito] / Elisangela Lima dos Santos. - 2022.
51 p. : il. colorido.

Digitado.

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil) - Universidade Estadual da Paraíba, Centro de Ciências, Tecnologia e Saúde , 2022.

"Orientação : Profa. Ma. Talita Miranda de Sousa ,
Coordenação do Curso de Engenharia Civil - CCTS."

1. Material de construção. 2. Resistência à compressão. 3. Construção civil. I. Título

21. ed. CDD 691

ELISÂNGELA LIMA DOS SANTOS

ANÁLISE DO DESEMPENHO DO CONCRETO DOSADO COM ADIÇÃO DO PÓ DE
RESÍDUO CERÂMICO COMO SUBSTITUTO PARCIAL DO CIMENTO

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à
Coordenação do Curso de Graduação em
Engenharia Civil da Universidade Estadual da
Paraíba, como requisito parcial à obtenção do
título de Bacharel em Engenharia Civil.

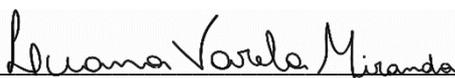
Área de concentração: Materiais e
componentes de construção.

Aprovado em: 12/12/2022.

BANCA EXAMINADORA



Profa. Me. Talita Miranda de Sousa (Orientador)
Universidade Estadual da Paraíba (UEPB)



Prof. Me. Luana Varela Miranda
Universidade Federal da Paraíba (UFPB)



Prof. Me. Osires de Medeiros Melo Neto
Universidade Estadual da Paraíba (UEPB)

A Deus e minha família, pela dedicação,
companheirismo e amizade, DEDICO.

AGRADECIMENTOS

Agradecer a Deus por todas as bênçãos e oportunidades ao longo de toda a minha vida, por nunca ter me desamparado em momento algum.

À minha mãe, por sempre estar ao meu lado em todos os momentos, por me incentivar e acreditar que eu seria capaz de chegar aonde sonhava.

Ao meu pai, por juntamente à minha mãe ter acreditado nos meus sonhos e me incentivado.

À minha filha Anna Clarice, por todo apoio e amor, a pessoa que me faz forte e feliz a cada dia, me fortalecendo para continuar lutando e acreditando que todos os sonhos são possíveis.

Ao meu amor Adson Michael, por toda ajuda durante o curso, as noites de estudos, por acreditar em mim, por me ajudar a realizar as etapas de ensaios e por sempre ser o meu alicerce.

Aos meus irmãos Elias (*in memoriam*), Daniel e Sebastião, por sempre estarem presentes e colaborando. coordenadora do curso de Especialização, por seu empenho.

À minha sogra Valquíria e minha cunhada Sarah, por todas as conversas, momentos, ajudas e apoio.

À professora Talita Miranda pelas leituras sugeridas ao longo dessa orientação e pela dedicação para que este trabalho fosse realizado.

Aos professores Prof. Me. Osires de Medeiros Melo Neto e Prof. Me. Luana Varela Miranda, pelo interesse e disponibilidade.

Ao professor do Curso de Engenharia Civil na UEPB, Valdecir Alves dos Santos Júnior, por todas as orientações, por me ajudar a adquirir mais conhecimentos e acreditar no meu potencial como aluna.

Aos professores do Curso de Engenharia Civil na UEPB, em especial, Leonardo, Lays, Alan, Luísa, Maria Adriana, Ogata, Anderson, Josiclésio e Albaniza, que contribuíram ao longo dos 5 anos de curso, por meio das disciplinas e debates, para o meu desenvolvimento.

Aos funcionários da UEPB, Kaká e Divaldo, pela presteza e atendimento quando nos foi necessário.

À minha amiga, Maria Luíza (Malu), por toda amizade e companheirismo durante todos os momentos na universidade, por ter sido minha amiga nas horas boas e ruins, por ter me ajudado a permanecer e crescer.

Aos colegas de classe pelos momentos de amizade e apoio, em especial, José Lucas e Maria Ana, por todos os momentos juntos, pela amizade e por todos os momentos de estudo.

Aos colegas da universidade, em especial, Alberto Oliveira, Thales, José Luís, Carlos, Alexia e Evandro, por todos os momentos vividos.

Aos colegas do Residencial Amados, Rafael, Liliane, Iara, Romário, Brenda, Pedro e Márcio, por todas as risadas, fofocas e amizades.

Às minhas amigas de sempre, Jane Santos e Luana, por toda amizade durante todos esses anos.

Às minhas amigas Samara e Franciele, pela amizade, pelas risadas, por todos os momentos e apoio.

*“Viva como se fosse morrer amanhã. Aprenda
como se fosse viver para sempre.”*
Mahatma Gandhi

RESUMO

A indústria de cerâmica vermelha é uma importante fornecedora de materiais utilizados na construção civil, sendo essa uma grande consumidora de tijolos, telhas, blocos, e outros produtos. Os desperdícios gerados pelas perdas por quebra são enormes, tanto no processo de produção como nas construções ou transporte. A reciclagem é uma maneira de diminuir o desperdício, o resíduo de cerâmica vermelha (RCV) quando finamente moído adquire propriedades pozolânicas, podendo assim substituir parcialmente o cimento Portland em concretos ou argamassas. Neste sentido, este trabalho implementou o RCV em diferentes porcentagens (10% e 25%) como substituto parcial do cimento Portland no concreto. Três composições de concreto foram analisadas: referência (sem uso de RCV), com adição de 10% de RCV e com adição de 25% de RCV. Realizou-se o ensaio de slump test para os concretos analisados e corpos de prova (CP's) foram moldados e submetidos ao ensaio de resistência à compressão. Os resultados obtidos demonstraram baixa resistência à compressão, sendo em média, 19,2 MPa, 18,2 MPa e 14,6 MPa para os CP's de referência, com 10% e 25% de adição, respectivamente. Mesmo para os corpos de provas de referência os resultados foram abaixo de 20 MPa, valor mínimo estabelecido em norma, podendo ter sido ocasionado pela qualidade do cimento, devido ao modo que estava armazenado. Contudo, ao analisar os resultados se observou resultados satisfatórios do índice de desempenho dos CP's com 25% e 10% de RCV em relação ao de referência, sendo de 79,98% e 94,71%, respectivamente. Portanto, a utilização de RCV no concreto como substituto parcial do cimento se apresentou como uma alternativa para destinação do resíduo.

Palavras-Chave: Resíduos. Material alternativo. Resistência à compressão. Construção civil.

ABSTRACT

The red ceramic industry is an important supplier of materials used in civil construction, The red ceramic industry is an important supplier of materials used in civil construction, which is a major consumer of bricks, tiles, blocks and other products. The waste generated by losses due to breakage is enormous, both in the production process and in construction or transport. Recycling is a way to reduce waste, the red ceramic residue (RCV) when finally ground acquires pozzolanic properties, thus being able to partially replace Portland cement in concrete or mortar. In this sense, this work implemented RCV in different percentages (10% and 25%) as a partial replacement of Portland cement in concrete. Three concrete compositions were sent: reference (without using RCV), with addition of 10% of RCV and with addition of 25% of RCV. The slump test was carried out for the analyzed concretes and specimens (CP's) were molded and presented to the resistance to resistance test. The reinforced results have low resistance to resistance, being on average 19.2 MPa, 18.2 MPa and 14.6 MPa for the reference CP's, with 10% and 25% addition, respectively. Even for the reference specimens, the results were below 20 MPa, the minimum value established in the standard, which could have been caused by the quality of the cement, due to the way it was stored. However, when analyzing the results, high results were obtained for the performance index of the CP's with 25% and 10% of RCV in relation to the reference, being 79.98% and 94.71%, respectively. Therefore, the use of RCV in concrete as a partial substitute for cement is presented as an alternative for waste disposal.

Keywords: Waste. Alternative material. Pain resistance. Construction.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Pó de pedra.....	20
Figura 2 - Fragmentos desperdiçados por quebra na Cerâmica Barra – Cuitégi.....	22
Figura 3 - Molde do Slump Test.....	24
Figura 4 - Britador da UFCG.....	26
Figura 5 - Fluxograma.....	27
Figura 6 - Pó cerâmico moído	28
Figura 7 - Liquidificador industrial	28
Figura 8 - Molde com dimensões 10cm x 20cm	30
Figura 9 - Confeção dos CP's.....	31
Figura 10 - Ensaio massa específica para areia	32
Figura 11 - Ensaio massa específica para brita.....	33
Figura 12 - Dimensões troco de cone para Slump Test	34
Figura 13 - Ensaio Slump Test	35
Figura 14 - Moldes de concreto.....	35
Figura 15 - Prensa Hidráulica UEPB.....	36
Figura 16 - Confeção nos moldes	37
Figura 17 - Corpo de prova rompido na prensa hidráulica	38
Figura 18 - Gráfico 1: Análise granulométrica agregado miúdo.....	40
Figura 19 - Gráfico 2: Limite de distribuição granulométrica agregado miúdo.....	41
Figura 20 - Gráfico 3: Análise granulométrica agregado graúdo.....	42
Figura 21 - Gráfico 4: Limite de distribuição granulométrica agregado graúdo.....	42
Figura 22 - Corpo de prova com 25% de RCV apresentando porosidade	44
Figura 23 - Gráfico 5: Evolução da resistência à compressão ao longo da idade	45

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Diâmetro Máximo	29
Tabela 2 - Módulo de finura agregado miúdo	29
Tabela 3 - Quantidades de materiais utilizado em cada traço	31
Tabela 4 - Resistência à compressão do concreto	37
Tabela 5 - Datas dos procedimentos	38
Tabela 6 - Areia natural – Massa Inicial pós-estufa: 1500,00g	39
Tabela 7 - Dados granulométricos da areia natural	39
Tabela 8 - Limites da distribuição granulométrica do agregado miúdo	40
Tabela 9 - Brita – Massa inicial: 2500 g	41
Tabela 10 - Dados granulométricos da Brita.....	42
Tabela 11 - Massa específica areia	43
Tabela 12 - Massa específica brita.....	43
Tabela 13 - Abatimento tronco de cone	44
Tabela 14 - Resultados CP's 14 dias.....	45
Tabela 15 - Resultados CP's 28 dias.....	45
Tabela 16 - Índice de desempenho	46

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
CP	Corpo de Prova
RCV	Resíduo de Cerâmica Vermelha
NBR	Norma Brasileira
MF	Módulo de finura

LISTA DE SÍMBOLO

%	Porcentagem
MPa	Mega pascal
cm	Centímetros
mm	Milímetros
cm ³	Centímetros cúbicos
g	Gramas

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	15
1.1	OBJETIVO.....	17
1.1.1	Objetivo geral.....	17
1.1.2	Objetivos específicos	17
2	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	18
2.1	Concreto	18
2.2	Adições no concreto	18
2.3	<i>Componentes do concreto</i>	<i>19</i>
2.3.1	<i>Cimento.....</i>	<i>19</i>
2.3.2	<i>Agregado miúdo.....</i>	<i>20</i>
2.3.3	<i>Agregado graúdo.....</i>	<i>21</i>
2.3.4	<i>Resíduo Cerâmico</i>	<i>22</i>
2.4	Ensaio para avaliação do concreto.....	23
2.4.1	<i>Slump Test.....</i>	<i>24</i>
2.4.2	<i>Resistência à compressão</i>	<i>25</i>
3	METODOLOGIA	26
3.1	Materiais.....	27
3.1.1	<i>Pó cerâmico.....</i>	<i>27</i>
3.2	Métodos	28
3.2.1	<i>Agregado miúdo</i>	<i>28</i>
3.2.2	<i>Agregado graúdo.....</i>	<i>30</i>
3.2.3	<i>Corpos de prova.....</i>	<i>30</i>
3.2.4	<i>Ensaio.....</i>	<i>32</i>
3.2.4.1	<i>Massa específica.....</i>	<i>32</i>
3.2.4.2	<i>Slump teste</i>	<i>33</i>
3.2.4.3	<i>Resistência à compressão simples (fcc)</i>	<i>36</i>

4	RESULTADOS E DISCUSSÕES	39
4.1	Caracterização dos agregados	39
<i>4.1.1</i>	<i>Análise granulométrica</i>	<i>39</i>
<i>4.1.2</i>	<i>Massa específica</i>	<i>43</i>
4.2	Ensaio de resistência a compressão simples	45
5	CONSIDERAÇÕES FINAIS	48
5.1	Sugestões para pesquisas futuras	48
	REFERÊNCIAS	49

1 INTRODUÇÃO

O concreto é o material mais utilizado do mundo depois da água, este possui uma série de características que lhe garantem o posto de material estrutural mais utilizado no mundo, entre as principais vantagens, pode-se listar o baixo custo e capacidade de se adequar a variadas condições de produção, além de possibilitar infinitas variações de forma para as peças moldadas. Apesar disso, o concreto apresenta também várias limitações, como a baixa relação resistência/peso e o fato de ter sua qualidade aferida apenas depois que a peça estrutural foi produzida (FIGUEREDO, 2011).

O controle de qualidade do cimento é garantido pelos fabricantes, porém a qualidade do produto concreto depende dos lotes dos insumos, do controle de qualidade estabelecido, da precisão de dosagem na usina, do método de mistura, dos fatores ambientais, dos processos executivos e, também, dos procedimentos e métodos utilizados na avaliação de suas características. A variabilidade na produção causada por fatores humanos pode ser superada com o controle adequado dos processos e a qualificação de pessoal (PEREIRA, 2017).

Durante o processo de construção são gerados resíduos de demolição e construção em grandes quantidades, com a área da construção civil como uma das que mais geram resíduos para o meio ambiente, o Brasil em 2017 gerou cerca de 45 milhões de toneladas de resíduos de construção e demolição (ASSOSSIACÃO..., 2017).

De acordo com a Resolução CONAMA 307/2002, os resíduos da construção civil são os resíduos provenientes de construções, reformas, reparos, demolições de obras, e resultantes da preparação e escavação de terrenos. Esses resíduos podem ser tijolos, blocos cerâmicos, concreto, solos, rochas, metais, resinas, colas, tintas, madeira, compensado, entre outros tipos de materiais.

A indústria cerâmica é fornecedora de componentes essenciais para a construção civil, os materiais cerâmicos estão presentes nas construções em forma de blocos, tijolos, lajotas, telhas, placas de revestimento, tubos, etc. Essa indústria gera cerca de 3% a 7% de resíduos de acordo com a produção, mas esse baixo valor é devido à falta de registro de perdas por parte da indústria (SALES et al., 2014).

A construção civil é uma grande consumidora de matérias-primas, em sua maioria proveniente de recursos naturais não renováveis, gerando volumes consideráveis de resíduos, seja na fase de construção, com perdas e desperdícios de materiais, seja na poluição ambiental provocada por disposição inadequada de resíduos de demolição após o fim da vida útil da construção (SALES et al., 2014).

Então, com o objetivo de reduzir o impacto ambiental e diminuir o custo com insumos, as empresas vêm investindo na pesquisa de alternativas economicamente viáveis, e é nesse cenário que surge a oportunidade de unir esses dois setores industriais e criar produtos ecologicamente corretos (VIEIRA, 2020). Do ponto de vista da construção civil, a reciclagem de resíduos provenientes de construções pode ser considerada em dois aspectos muito interessantes, como a reciclagem de resíduos para produzir agregados para concreto e argamassa e a produção do pó de cerâmica vermelha moída, com atividade pozolânica, podendo substituir parcialmente o ligante (cimento ou cal) nessas misturas (SALES et al., 2014).

As propriedades mecânicas e a durabilidade de concretos de cimento Portland são definidas por características microestruturais e podem ser melhoradas. O uso de adições minerais em substituição parcial ao aglomerante é uma das alternativas mais utilizadas para modificar a microestrutura do concreto, já que a presença destas adições tende a alterar a estrutura porosa do material. Ao adicionar o RCV como substituto parcial do cimento em concretos são obtidos benefícios econômicos pela menor quantidade de cimento, ocorrendo uma redução no consumo de energia durante a fabricação, menor consumo de matéria-prima, além de benefícios ambientais. Grande parte das adições são resíduos de outros processos industriais, dando uso assim a um material que seria um passivo ambiental, como os resíduos de cerâmica vermelha, ajudando ainda à redução do consumo de recursos naturais, da emissão de CO₂ e do consumo de energia durante a produção do cimento (BREKAILO, 2019).

Portanto, a fim de atrelar as problemáticas supracitadas (destinação inadequada de resíduos cerâmicos e alto consumo de matéria-prima cimento), este trabalho realizou uma análise laboratorial da adição do pó cerâmico no concreto como substituto parcial do cimento Portland.

1.1 OBJETIVO

1.1.1 Objetivo geral

Realizar um estudo físico mecânico sobre o concreto produzido a partir da utilização de pó cerâmico como substituto parcial do cimento nos teores de 10% e 25% RCV.

1.1.2 Objetivos específicos

- Determinar a resistência à compressão simples dos concretos produzidos (fcc).
- Determinar o abatimento tronco de cone do concreto com adições de 10% e 25% de pó cerâmico.
- Avaliar a viabilidade do concreto com adição de RCV em relação ao concreto convencional.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 Concreto

O concreto é um material duro e denso quando endurecido que consiste em uma mistura à base de cimento, areia, brita e água. Ao selecionar os componentes de forma correta o concreto pode ser alterado pela combinação desses componentes, o que também influencia em suas propriedades como densidade, durabilidade, resistência mecânica, tempo de pega, entre outras (ANDRADE, 2016).

Para que o concreto obtenha as características esperadas é necessária a utilização do cimento, essa mistura finamente moída de compostos inorgânicos calcinados compostos de calcário e argila, quando misturados com a água reagem e solidificam, resultando em uma pasta que endurecerá e juntamente com os demais agregados irá proporcionar as características do concreto (LIMA et al., 2014).

De acordo com as características de resistência, classifica-se três classes básicas que são adquiridas por meio de diferentes dosagens. Esses traços são classificados em concreto de densidade normal, concreto leve e concreto pesado, podendo também serem classificados de acordo com a resistência mecânica como, concreto de baixa resistência (menos de 20 MPa), concreto normal (20 a 50 MPa) e concreto de alta resistência (50 MPa) (LIMA et al., 2014).

Segundo Neville (2016), para melhorar as características do concreto como a resistência ou trabalhabilidade, são realizados testes com a adição de pequenas quantidades de produtos químicos, esses testes buscam melhorar determinadas características sem afetar o desempenho de outras. A cada ano vem surgindo novos métodos para o melhoramento do concreto, visando a evolução e adequação às novas normas, essas evoluções buscam o aumento da durabilidade e perspectiva de longevidade na construção civil (ANDRADE, 2016).

2.2 Adições no concreto

A construção civil causa grandes desperdícios de materiais, por isso, novas técnicas de construtivas são estudadas, a fim de diminuir os impactos ambientais causados pela construção civil. As adições nos concretos influenciam a necessidade de água e propriedades do concreto, pois, atuam como complemento ou substituição parcial de componentes (SANTOS et al., 2008).

A classificação das adições pode ser química, mineralógica, morfológica, como também dependente da forma de atuação físico-química no concreto (material cimentante,

pozolânico ou filer). Dal Molin (2005), agrupou as adições minerais classificando a sílica ativa e metacaulim como pozolanas de alta reatividade ou superpozolanas, pelo poder reativo; a argila calcinada e a cinza volante com baixo teor de cálcio como pozolana comum; e a escória de alto-forno moída como cimentante.

2.3 Componentes do concreto

A vida útil do concreto em estruturas é considerada uma resultante de ações realizadas durante todo o processo, como a composição dos agregados ou qualidade dos materiais utilizados. A durabilidade do concreto é determinada por quatro fatores, chamados de regra dos 4c, composição, compactação, cura efetiva e cobrimento (HELENE, 2002).

Os principais fatores que influenciam nas propriedades do concreto são o tipo e quantidade de cimento, qualidade da água e relação água-cimento, tipos de agregados, relação agregado-cimento e granulometria, presença de aditivos e adições, procedimento, duração da mistura, condições de adensamento e cura, formas e dimensões dos corpos -de-prova, idade do concreto, umidade, temperatura, entre outros fatores (ANDRADE, 2016)

2.3.1 Cimento

O cimento Portland é um dos principais materiais que compõe o concreto, possuindo características importantes para determinação das principais propriedades do concreto. O cimento é um material inorgânico de baixa granulometria, composto principalmente de calcário e argila, quando misturado com água forma uma pasta que endurece devido às reações e processos de hidratação (CASTRO, 2021).

Suas matérias primas é a cal (CaO), Sílica (SiO₂), alumina (Al₂O₃), óxido de ferro (Fe₂O₃), proporções de magnésia (MgO) e anidro sulfúrico (SO₃), possui ainda substâncias menores como impurezas, óxido de sódio (Na₂O), óxido de potássio (K₂O), óxido de titânio (TiO₂) e outras substâncias de menor importância (BAUER, 2011).

Dois tipos básicos de cimento existem, aqueles que não endurecem embaixo d'água e quando endurecidos acabam dissolvendo-se lentamente ao ficarem expostos a ela. E aqueles utilizados no concreto por permanecerem estáveis em meio aquoso, solidificando-se e, mantendo suas propriedades sendo assim conhecido como cimento hidráulico, por sua resistência à água (LIMA et al., 2014).

De acordo com a ABNT NBR 16697/2018 – Cimento Portland, os tipos de cimento são: Cimento Portland comum – CP I E CPI-S (ABNT NBR 5732/91), Cimento Portland Composto – CP II (ABNT NBR 11578/91), Cimento Portland de Alto Forno – CP III (ABNT NBR 5735/91), Cimento Portland Pozolânico – CP IV (ABNT NBR 5736/91), Cimento Portland de Alta Resistência inicial – CP V ARI (ABNT NBR 5733/91), Cimento Portland Resistente a Sulfatos – RS (ABNT NBR 5737/92), Cimento Portland de Baixo Calor de Hidratação – BC (ABNT NBR 13116/94), Cimento Portland Branco – CPB (ABNT NBR 12989/93).

O cimento Portland CP-I é considerado o cimento comum, o CP-II é o cimento composto e mais resistente ao ataque de sulfatos (CP II-E, com escória; CP II-Z, com pozolana; e CP II-F, com filer), o CP III contem a adição de 35 a 70% de escória, O CP IV apresenta de 15 a 50% de material pozolânico e o CP V – ARI não apresenta adições, mas possui uma dosagem diferente na produção do clínquer. O mais usual é o cimento CP II, indicado em praticamente todas as fases de uma obra, pelo seu custo e disponibilidade tornou-se muito popular (CASTRO, 2021).

2.3.2 Agregado miúdo

Como agregado miúdo geralmente utiliza-se as areias naturais retiradas de leitos de rios ou o pó de pedra advindo de pedras britadas. As areias naturais geralmente possuem seus grãos mais arredondados e as areias britadas possuem grãos mais angulares. As características do agregado influenciam nas propriedades do concreto e, portanto, a escolha do agregado juntamente com os demais componentes é importante para que o concreto endurecido se apresente mais resistente e durável (SANTOS, 2019).

Figura 1 - Pó de pedra



Fonte: www.pedreirasantoantonio.com.br

De acordo com Cunha (2019), os agregados acrescentados ao concreto possuem a função de torná-lo economicamente viável e exercer influências diretas sobre algumas das características do concreto. A granulometria de um agregado para ser considerado miúdo deve ser passante na peneira de malha 4,75 mm e conter areia, pó de pedra e siltes e ficar retida na peneira de malha 150 μm .

Segundo a ABNT NBR 7211/19 – Agregados para concreto - Especificação (2005 p.4), os agregados utilizados em uma mistura de concreto não devem conter substâncias de natureza ou quantidade que afete a hidratação, endurecimento do cimento, a proteção das armaduras contra a corrosão ou a durabilidade. Por esta razão, é necessário realizar a caracterização do agregado para um controle de qualidade.

2.3.3 Agregado graúdo

A NBR 7211/19 define o agregado graúdo como pedregulho natural, rocha britada ou a mistura de ambos, com grãos passantes na peneira de 75 mm e retidos na peneira de malha 4,75 mm. Para obtenção de bons resultados na confecção do concreto, Katayama (2016) afirma que os agregados possuem formas e texturas que influenciam diretamente no desempenho da mistura de concreto. Por isso, devem possuir formatos que favoreçam a aderência do agregado com a pasta para desempenhar boa resistência mecânica, com propriedades térmicas, químicas e que seja um material sem substâncias nocivas.

Segundo Silva (2018), o agregado graúdo pode ser classificado como cúbico, alongada, lamelar e alongado-lamelar, mas a forma mais indicada é a cúbica, devido se encaixar melhor quando utilizado no concreto, apresentando maior resistência e melhorando a trabalhabilidade, já agregados com forma inadequada prejudicam o adensamento.

2.3.4 Resíduo Cerâmico

O resíduo de cerâmica vermelha é gerado diariamente na indústria de cerâmica, durante a etapa de produção, queima ou transporte, os fragmentos também são gerados nos materiais de construção, distribuidoras ou canteiros de obras. A indústria de cerâmica vermelha é composta prevalentemente por empresas de pequeno e médio porte, onde grande parte são empreendimentos familiares, e o setor mais consumidor de cerâmicas vermelhas é a construção civil, em forma de blocos, tijolos, lajotas, telhas, tubos, placas de revestimentos, entre outros produtos (SALES et al., 2014). A Figura 2 apresenta fragmentos depositados em volta da fábrica, onde grande parte do material perdido é depositado.

Figura 2 - Fragmentos desperdiçados por quebra na Cerâmica Barra – Cuitégi



Fonte: Autoria Própria.

A produção de cerâmica é um marco muito antigo, sendo possível encontrar vasos, pequenos utensílios domésticos e outros com mais de dez mil anos, caracterizando-se como um marco importante para a engenharia de materiais, já que a cerâmica possui propriedades bem diferentes da argila natural (matéria-prima da cerâmica vermelha) (SOUZA, 2003).

A matéria prima principal para a produção de cerâmicas são as argilas aluminossilicatos hidratados de granulometria fina, as quais adquirem plasticidade quando misturados com água. A cor vermelha adquirida pelas cerâmicas após o processo de queima se deve aos altos teores de óxido de ferro na argila utilizada (ORTIGOSA, 2006).

Segundo Ortigosa (2006), a extração da argila é realizada por meio da explosão de rochas para fragmentação ou por máquinas escavadeiras. Os fragmentos retirados das jazidas

passam pelo processo de secagem em terreiro ou secador, britagem para a redução dos fragmentos até obterem tamanhos menores de 10 cm, homogeneização dos pequenos detritos, e em seguida, passam pelos moinhos de martelos e moinhos pendulares para alcançar a granulometria e serem estocadas para posterior produção das cerâmicas. Nas fábricas, a argila passa pelo processo de hidratação, mistura, laminação, extrusão, corte (caso de blocos de vedação), prensagem (caso de telhas), secagem, queima em fornos a lenha e estocagem dos produtos.

A produção de cerâmicas vermelhas causa um efeito deletério ao meio ambiente, não apenas pelo fato de a matéria-prima ser a argila, mas durante o processo de produção ocorre o uso irracional de lenha e água, além do desperdício de matéria-prima no processo de produção e a emissão de gases tóxicos. Depois do processo de produção, os fragmentos produzidos são descartados.

O descarte incorreto de RCV no meio ambiente causa transtornos para a sociedade como aumento da poluição ambiental, poluição visual, desperdício de matéria-prima e recursos naturais. Logo, nos últimos anos pesquisas buscam formas sustentáveis de reaproveitar diversos tipos de resíduos, inclusive o RCV, pois, a falta de locais adequados para este descarte causa grande prejuízo ambiental e econômico (SILVA et al., 2018).

De acordo com Sales et al. (2014), o reaproveitamento dos resíduos de cerâmica vermelha se torna interessante e vantajoso, pois, os resíduos de RCV são considerados homogêneos em sua composição. Assim, torna-se um material interessante para ser reciclado na área da construção civil, como forma de adição em concretos e argamassas. O pó da cerâmica vermelha possui característica pozolânica, podendo ser uma adição ativa para substituir parcialmente o aglomerante (cimento ou cal).

A adição mineral gera vantagens de custo benefício e ambientais, pois permite diminuir custos com cimento, reciclar resíduos e diminuir emissões de gases perigosos e energia na produção do cimento, além de diminuir o uso de recursos naturais não renováveis. A capacidade de reação da adição mineral com o hidróxido de cálcio é denominada como reação pozolânica, gerando o silicato de cálcio hidratado (C-S-H) (GARCIA,2014).

2.4 Ensaios para avaliação do concreto

Para a avaliação das características do concreto é necessário realizar ensaios para determinar as propriedades. Existem dois testes principais para avaliação das propriedades do concreto, o Slump Test (NBR NM 67/1998) para avaliação da trabalhabilidade, determinando

a consistência pelo abatimento do tronco de cone e o ensaio de resistência a compressão (NBR 5739/2018) para a determinação da resistência mecânica do concreto.

2.4.1 Slump Test

O slump test é o ensaio realizado para a determinação da consistência pelo abatimento tronco de cone da amostra de concreto para verificar a trabalhabilidade, consistência e aplicabilidade. Este ensaio é um dos mais empregados na construção civil por ser de simples execução e fácil detecção de fatores como a falta de água ou excesso na mistura (BORTOLINI, 2012).

A trabalhabilidade é uma das características fundamentais do concreto, consiste na facilidade em misturar, transportar, manipular o concreto, lançar e adensar de forma correta para evitar a perda da homogeneidade, essas propriedades dependem da composição do concreto, equipamentos, qualidade dos materiais e outros fatores, e ao aplicar o slump test é possível determinar a trabalhabilidade da mistura (PEREIRA, 2017). Já a consistência é a relação entre o fator água e os materiais secos, sendo a água o principal fator que influencia na consistência, determinando a capacidade de deformação do concreto fresco (CARVALHO et al., 2013).

A avaliação do concreto fresco seguindo a NBR NM 67/1998 – Concreto – Determinação da consistência pelo abatimento do tronco de cone, corrobora a qualidade das propriedades do concreto endurecido, tornando-se fundamental o controle das propriedades do concreto fresco para a execução de estruturas e controle tecnológico da mistura.

Figura 3 - Molde do Slump Test



Fonte: Autoria Própria

2.4.2 Resistência à compressão

A resistência à compressão é dada pela tensão de resistir sem romper, essa resistência no concreto está relacionada com a quantidade de tensão máxima necessária para o rompimento de uma amostra de concreto endurecido, assim, quanto maior for a resistência à ruptura de uma peça de concreto, maior será a qualidade relacionada a propriedades como durabilidade, impermeabilidade, elasticidade (MEHTA e MONTEIRO, 1994).

De acordo com Araújo (2014), a relação água/cimento é um dos fatores que estão relacionados com a resistência do concreto, para aumentar essa resistência é indicado uma maior quantidade de cimento e uma baixa relação a/c, tomando cuidados para a pasta não aumentar o índice de vazios, fator prejudicial a resistência.

3 METODOLOGIA

Para a realização da pesquisa, a metodologia experimental foi executada no laboratório de Estruturas do curso de Engenharia Civil, na Universidade Estadual da Paraíba - UEPB, Campus VIII.

A primeira etapa realizada consistiu na pesquisa e coleta do resíduo de cerâmica vermelha. O RCV foi obtido de tijolos quebrados disponibilizados pelo estabelecimento Material de construção Comercial III Irmãos na cidade de Araruna-PB. O material coletado passou pelo processo de britagem no Laboratório de Engenharia de Pavimentos da Universidade Federal da Paraíba em Campina Grande (UFCG) no britador da Figura 4, e logo após, o material britado passou pelo processo de moagem no laboratório de materiais na Universidade Estadual da Paraíba para adquirir a mesma granulometria do cimento Portland.

Figura 4 - Britador da UFCG



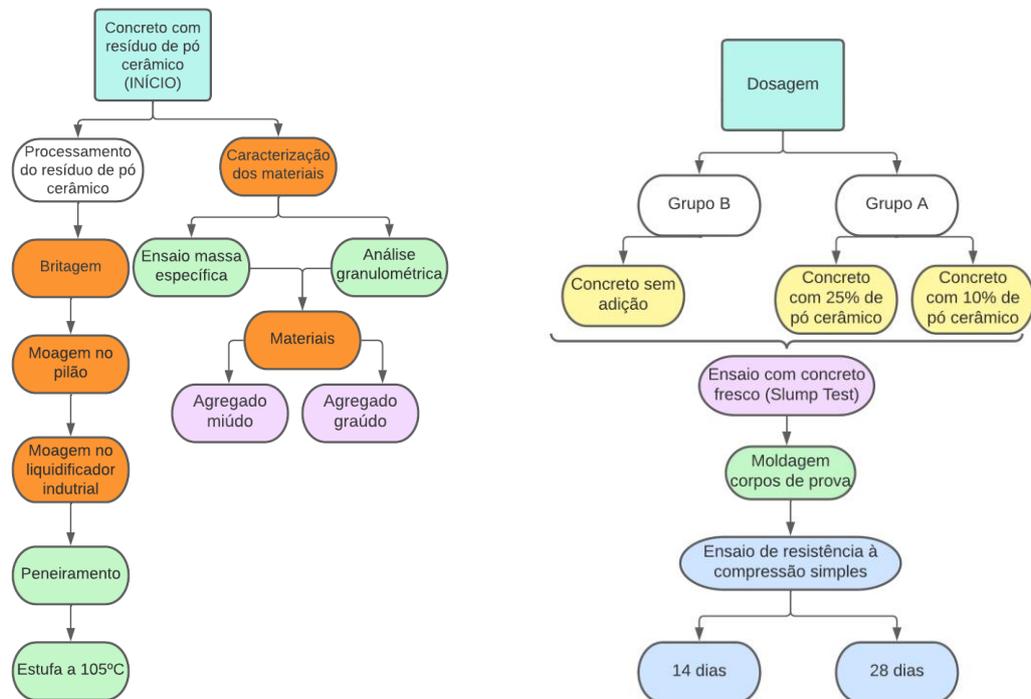
Fonte: Autoria Própria

Em seguida, realizou-se o processo de caracterização do agregado miúdo e agregado graúdo baseada nos ensaios granulométricos realizados e definiu-se o traço utilizado para a modelagem dos corpos de prova padronizados de acordo com a NBR 5738 (ABNT, 2015).

Para realizar o experimento foram moldados dois grupos de corpos de prova, grupo A com adição de pó cerâmico em substituição do cimento e grupo B sem adição. O grupo A foi composto por corpos de prova (CP) com duas diferentes adições de pó cerâmico, sendo adições de 10% e 25% substituindo o cimento. Os CP's foram moldados e conservados submersos em tanque totalmente cobertos por água e foram rompidos pela máquina de

compressão em 14 dias e 28 dias. A Figura 7 representa o fluxograma experimental, demonstrando as etapas realizadas para a conclusão do estudo.

Figura 5 - Fluxograma



Fonte: Autoria própria

3.1 Materiais

3.1.1 Pó cerâmico

Inicialmente os resíduos coletados no material de construção foram enviados a UFCG para passar pelo processo de britagem no britador de mandíbulas. O material após ser britado voltou para a UEPB, dando início a fase de moagem manual no pilão, onde foi cominuído e peneirado nas peneiras de nº10, nº200 e fundo. Todo o material retido nas peneiras passou para a fase 2, onde o material granuloso passou pelo liquidificador industrial da Figura 7, esse material também foi peneirado nas peneiras de abertura nº 10, nº 200 (0,075 mm) e fundo.

Logo após o processo de moagem, o pó obtido no peneiramento das duas fases passou por um processo de secagem em estufa a 105°C e foi deixado ao ar em laboratório para o resfriamento em temperatura ambiente.

Figura 6 - Pó cerâmico moído



Fonte: Autoria Própria

Figura 7 - Liquidificador industrial



Fonte: Autoria Própria

A norma NBR 5752 (ABNT, 2014) utiliza 25% de material pozolânico para substituição do cimento, por isso, as porcentagens de material adicionado em substituição ao cimento foram de 25% e 10%, a fim de verificar a resistência dos corpos de prova de acordo com a norma e em um valor abaixo do 25%.

3.2 Métodos

3.2.1 Agregado miúdo

O ensaio realizado com o agregado miúdo areia natural seguiu a norma ABNT NBR-7211/19 – Agregados para concreto – Especificação, para a determinação do módulo de finura, diâmetro máximo e classificação do agregado utilizado na pesquisa. A amostra selecionada teve peso 1000,02 g seco, após ser lavada na peneira nº 200, foi colocada em estufa com temperatura 105°C por 24 horas para retirar toda umidade ambiente presente na amostra e em seguida o material passou pelo jogo de peneiras com aberturas 4,75mm, 2,36mm, 1,18mm, 0,6mm, 0,3mm, 0,15mm e fundo.

O peneiramento seguiu a ABNT NBR NM 248:2003 de forma manual e com o jogo de peneiras citado anteriormente, o material retido em cada peneira foi pesado e o valor transformado em porcentagem. Por meio das porcentagens adquiridas no ensaio, encontrou-se as características do agregado miúdo.

Posteriormente, seguindo a norma ABNT NBR 7211, para a determinar a dimensão máxima característica considerou-se a abertura nominal em milímetros da peneira onde o agregado apresenta uma porcentagem retida acumulada igual ou inferior a 5%. E ainda seguindo a NBR 7211/19, para a determinar o módulo de finura é necessário a soma das porcentagens retidas acumuladas das peneiras da série normal dividida por 100. Com o auxílio das Tabelas 2 e 3, foram determinadas as características granulométricas da amostra.

Tabela 1 - Diâmetro Máximo

Tipo	Diâmetro (mm)
Brita nº 0	4,8 a 9,5
Brita nº 1	9,5 a 19
Brita nº 2	19 a 25
Brita nº 3	25 a 38
Brita nº 4	38 a 76

Fonte: INFRAERO, 2012

Tabela 2 - Módulo de finura agregado miúdo

Classificação	Diâmetro dos grãos
Areia muito grossa	$MF \geq 3,90$
Areia grossa	$3,30 \leq MF < 3,90$
Areia média	$2,40 \leq MF < 3,30$
Areia fina	$MF < 2,40$

Fonte: Ribeiro, 2012

3.2.2 Agregado graúdo

Para o ensaio de análise granulométrica do agregado graúdo seguiu-se a norma ABNT NBR 7211/19 – Agregados para concreto – Especificação, a amostra do material a ser ensaiado foi quarteado e lavado na peneira nº10 (2,0 mm) para retirar materiais com granulometria fina aderidos na amostra. Toda a amostra foi colocada em estufa durante 24 horas para secagem em temperatura 105°C.

O peneiramento do agregado graúdo foi realizado no jogo de peneiras 25mm, 19mm, 12,5mm, 9,5mm, 6,3mm, 4,75mm e fundo, seguindo a norma ABNT NBR NM 248:2003 de forma manual e assim como para o agregado miúdo, todo o material retido nas peneiras foi pesado e o valor transformado em porcentagem. Em seguida, de acordo com a ABNT NBR 7211/19, foi possível determinar o diâmetro máximo do agregado graúdo.

3.2.3 Corpos de prova

Para a realização dos ensaios de resistência, foram moldados corpos de provas de 10 cm de diâmetro e 20 cm de altura, com base plana, como mostra a Figura 8. Para a determinação de resistência dos corpos de prova, seguiu-se as recomendações da Norma 5738/2015 e de acordo com a ABNT NBR 7215/19, determinou-se a resistência à compressão individual, a média da resistência à compressão dos corpos de prova cilíndricos e o desvio padrão.

Figura 8 - Molde com dimensões 10cm x 20cm



Fonte: Autoria Própria

O traço de concreto determinado de acordo com cálculos foi 1:2,02:2,65:1/2, obtido pelo método ACI/ABCP, para o preparo da massa de concreto, misturou-se as partes de cimento, areia, brita nº1 e água e para a mistura da massa os materiais foram adicionados em uma bacia e misturados de forma manual até ficar homogêneo. Para a produção do concreto com adição de pó cerâmico, repetiu-se a mistura substituindo 10% e 25% do total de cimento pelo resíduo cerâmico, mantendo as mesmas quantidades de areia, brita e água. A Figura 9 mostra a pasta de concreto preparada.

Figura 9 - Confeção dos CP's



Fonte: Autoria Própria

O cimento utilizado para a confecção dos CP's foi o CP II-F-32, devido ser um dos mais utilizados em obras. O agregado miúdo utilizado foi proveniente do material de construção em Araruna-PB com distribuição granulométrica composta por 4 frações seguindo as recomendações da norma NBR 7214, agregado graúdo brita nº 1 e água. Na Tabela 3 estão as quantidades de cada material utilizado para as misturas.

Tabela 3 - Quantidades de materiais utilizado em cada traço

Tabela de quantidades de materiais					
Corpo de Prova	Cimento (Kg)	Areia (Kg)	Brita (Kg)	Pó cerâmico	Água
Referência	2,50	5,05	6,625	---	1,25
Adição 10 %	2,25	5,05	6,625	250 g	1,25
Adição 25 %	1,875	5,05	6,625	625 g	1,25

Fonte: Autoria Própria

3.2.4. Ensaios

3.2.4.1 Massa específica

O ensaio de massa específica foi realizado para os materiais brita e areia seguindo as normas ABNT NBR NM 52:2009 e ABNT NBR NM 53:2009, de acordo com a Figura 10 e Figura 11. Inicialmente, obteve-se a massa do recipiente vazio, o peso da amostra seca, recipiente com água e recipiente com água e amostra, após todos serem pesados realizou-se a aplicação na Eq. 01 para determinar a massa específica.

$$d_1 = \frac{ms}{(ms+mr+água)-(mr+agua+amostra)} \quad (01)$$

Onde:

ms: massa seca

mr: massa recipiente

Figura 10 - Ensaio massa específica para areia



Fonte: Autoria Própria

Figura 11 - Ensaio massa específica para brita



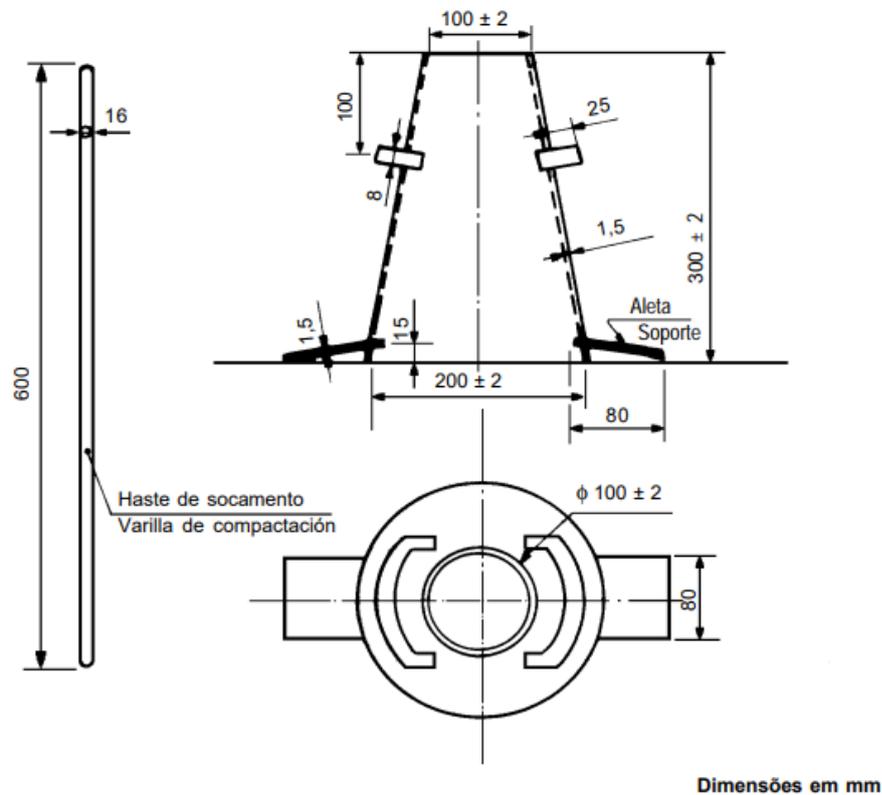
Fonte: Autoria Própria

3.2.4.2 Slump teste

A norma NBR NM 67/1998 – Concreto – Determinação da consistência pelo abatimento do tronco de cone, indica que para a realização do ensaio, utiliza-se um molde em forma de tronco de cone oco metálico e material rígido não absorvente com base reta e abertura para a desmoldagem mais rápida e fácil com as seguintes dimensões:

- Diâmetro da base inferior: 20 cm
- Diâmetro da base superior: 10 cm
- Altura: 30 cm

Figura 12 - Dimensões troco de cone para Slump Test



Fonte: NBR NM 67/1998

A moldagem ocorreu seguindo as recomendações da NBR 5738/2015, com o nivelamento da camada para poder começar o adensamento com 25 golpes utilizando a haste, o tronco de cone deve ser apoiado em uma placa metálica, quadrada ou retangular, plana, com lados maiores de 50 cm e espessura de 3 mm, o troco de cone é apoiado sobre essa superfície com a base maior para baixo e os pés do operador serão posicionados sobre as aletas para manter o cone estável.

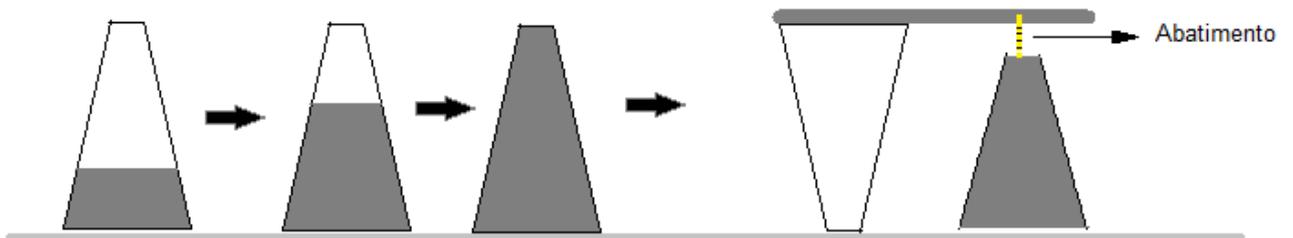
O molde será preenchido em 3 camadas e cada camada será compactada com 25 golpes da haste de socamento com o objetivo de deixar a camada uniforme e remover os vazios. Na última camada fica um excesso de material sobre a borda e é feito o arraste para nivelamento, e logo em seguida, retira-se o molde.

Após a remoção, coloca-se o molde ao lado do concreto moldado e com auxílio de uma trena mede-se a diferença entre o molde e a altura do tronco de cone moldado, encontrando o abatimento é possível determinar a trabalhabilidade do concreto, de acordo com Parizotto (2017), comparando com os seguintes abatimentos:

- 5 a 10 mm – muito baixa

- 15 a 30 mm – baixa
- 35 a 75 mm média
- 80 a 115 mm alta
- 160 mm – colapso

Figura 13 - Ensaio Slump Test



Fonte: Autoria própria

Após a realização do slump test foram confeccionados os corpos de prova com o concreto convencional e concreto com as adições dos resíduos cerâmicos, os corpos de prova foram deixados em repouso por 24 horas no laboratório de estruturas, longe do sol, vibrações e umidade conforme a Figura 14.

Figura 14 - Moldes de concreto



Fonte: Autoria Própria

3.2.4.3 Resistência à compressão simples (*f_{cc}*)

Para a realização do ensaio de resistência à compressão são moldados corpos de prova que seguem a ABNT NBR 5738/15 - Concreto - Procedimento para moldagem e cura de corpos de prova, de acordo com a norma o molde deve ser de aço ou material rígido não absorvente, com dimensões determinadas em norma. O molde deve ser untado com desmoldante antes da confecção dos corpos de prova e adensado para remover os vazios, o adensamento pode ser de forma vibratória ou manual. Após a confecção os corpos de prova devem passar 24 horas secando ao ar para serem desmoldados e colocados em câmara úmida ou submersos até os 28 dias de cura final.

O ensaio de resistência a compressão é realizado seguindo a NBR 5739/18 – Concreto – Ensaio de compressão de corpos prova cilíndricos, segundo a norma, o rompimento acontece em uma presa hidráulica como na Figura 15, obtendo-se a resistência a compressão do concreto moldado, considerando a quantidade de força resistente por área do concreto.

Figura 15 - Prensa Hidráulica UEPB



Fonte: Autoria Própria

Os corpos de prova ensaiados devem manter a relação altura/diâmetro nunca maior do que 2,06 e caso seja menor do que 1,94 é necessário realizar correções. De acordo com a norma ABNT NBR 6118/2014, é possível observar o aumento de resistência gradativa ao longo dos dias de cura, seguindo a Tabela 4. Na Figura 16 consta um corpo de prova sendo moldado.

Tabela 4 - Resistência à compressão do concreto

% RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO DO CONCRETO					
Cimento	s	Dias			
		3	7	14	28
CPI e CPII	0,25	60%	78%	90%	100%
CPIII e CPIV	0,38	46%	68%	85%	100%
CPV - ARI	0,2	66%	82%	92%	100%

Fonte: Adaptado NBR 6118/2014

Figura 16 - Confeção nos moldes



Fonte: Autoria própria

O ensaio de resistência à compressão simples foi realizado no laboratório de estruturas utilizando a prensa hidráulica para obter a resistência a compressão (fck) do concreto (força resistente por área) de acordo com ABNT NBR 5739/18. Os primeiros corpos de prova foram moldados em 19 de outubro, com o concreto convencional sem adições e as amostras de concreto com adição de pó cerâmico foram moldados em dia 26 de outubro para 25% e 27 de outubro para 10%. A partir da data de fabricação de cada corpo de prova e as 24 horas de cura ao ar, contou-se os 14 dias e 28 dias de cura submersos em água para poder

realizar o rompimento dos corpos de prova como na Figura 17, adquirindo-se a média das triplicatas de concreto convencional e concreto com adição. A tabela 5 mostra as datas dos rompimentos a partir da data de moldagem.

Figura 17 - Corpo de prova rompido na prensa hidráulica



Fonte: Autoria Própria

Tabela 5 - Datas dos procedimentos

CP	Datas			
	Moldagem	Desmoldagem	14 dias	28 dias
Adição 25%	26/10/2022	27/10/2022	10/11/2022	24/11/2022
Adição 10 %	27/10/2022	28/10/2022	11/11/2022	25/11/2022
Referência	19/10/2022	20/10/2022	03/11/2022	17/11/2022

Fonte: Autoria Própria

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 Caracterização dos agregados

4.1.1 Análise granulométrica

A análise granulométrica é crucial para a determinação da classe textural e zoneamento das faixas granulométricas predominantes no agregado, representando as frações de areia, silte e argila do solo, essas frações interferem diretamente nas características do solo (KLEIN, 2013). Então com o ensaio de análise granulométrica realizado foi possível determinar as frações de agregado miúdo retido em cada peneira, a fim de classificar e caracterizar o agregado. As tabelas 6 e 7 mostram os resultados encontrados para o agregado areia natural.

Tabela 6 - Areia natural – Massa Inicial pós-estufa: 1500,00g

Peneiras (mm)	Peso retido (g)	Retida (%)	Acumulada (g)	Retida acumulada (%)
4,75	74,24	4,95	74,24	4,95
2,36	124,83	8,33	199,07	13,28
1,18	136,95	9,13	336,02	22,41
0,6	493,37	32,91	829,39	55,32
0,3	501,52	33,45	1330,91	88,77
0,15	142,02	9,47	1472,93	98,25
Fundo	26,3	1,75	1499,23	100,00
Total	1499,23	-	-	-

Fonte: Autoria Própria

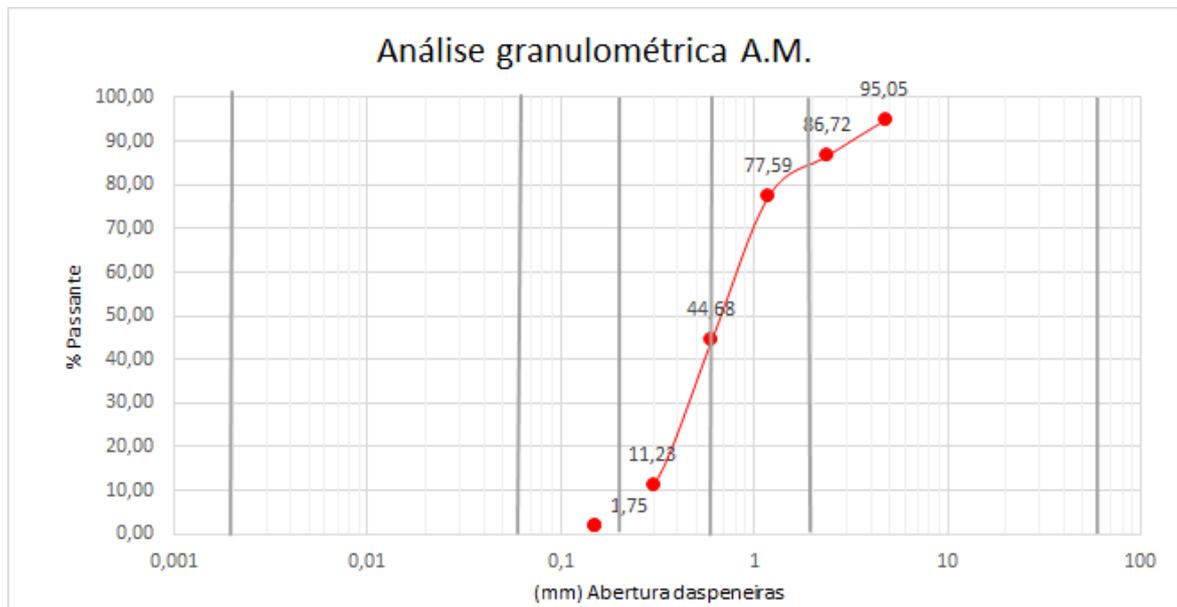
Tabela 7 - Dados granulométricos da areia natural

Dados	
Dmáx. Caract.	4,8 mm
Módulo de Finura	2,83
Classificação	Média

Fonte: Autoria Própria

De acordo com os dados obtidos no ensaio, é possível determinar que o diâmetro máximo encontrado foi de 4,8 mm e o módulo de finura igual a 2,83, caracterizando uma areia média. Na Figura 18 está o gráfico da análise granulométrica da areia natural.

Figura 18 - Gráfico 1: Análise granulométrica agregado miúdo



Fonte: Autoria Própria

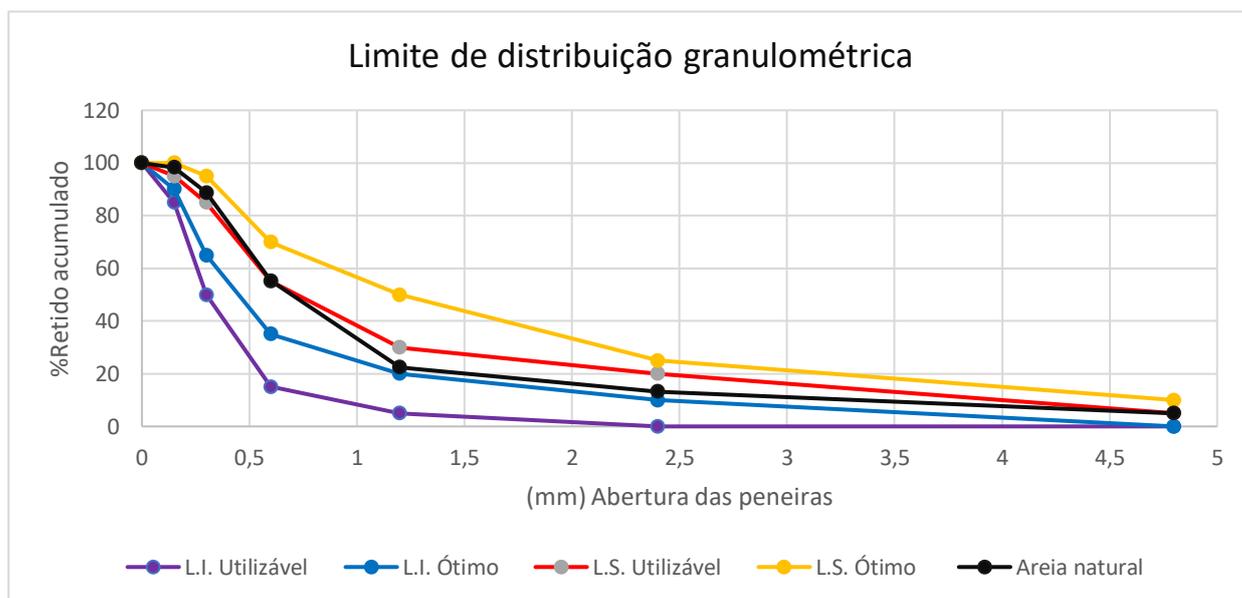
Ao analisar a curva granulométrica gerada, é possível definir que o agregado miúdo utilizado tem uma distribuição do tipo uniforme com uma curva de maior declividade, logo, seus grãos não sofrem grandes variações. Seguindo a norma, a Tabela 8 demonstra os limites de distribuição granulométrica para o agregado miúdo e a Figura 19 mostra o gráfico gerado para a curva de limite de distribuição granulométrica do agregado miúdo.

Tabela 8 - Limites da distribuição granulométrica do agregado miúdo

Peneira (mm)	Porcentagem, em massa, retida acumulada			
	Limite inferior (%)		Limite superior (%)	
	Utilizável	Ótimo	Útil	Ótimo
4,8	0	0	5	10
2,4	0	10	20	25
1,2	5	20	30	50
0,6	15	35	55	70
0,3	50	65	85	95
0,15	85	90	95	100
0	100	100	100	100

Fonte: Adaptado NBR 7211

Figura 19 - Gráfico 2: Limite de distribuição granulométrica agregado miúdo



Fonte: Autoria Própria

Com os dados obtidos no ensaio traçou-se o gráfico para identificar o limite de distribuição granulométrica referente ao agregado, o Gráfico 2 exposto na Figura 19 demonstra a faixa onde a areia natural se enquadra, próximo ao limite superior utilizável, onde apesar de não estar totalmente dentro do limite considera-se aceitável utilizar o agregado para confecção do concreto segundo a norma. As Tabelas 9 e 10, e Figuras 20 e 21, demonstram os resultados obtidos para o agregado graúdo.

Tabela 9 - Brita – Massa inicial: 2500 g

Peneiras (mm)	Peso retido (g)	Porcentagem retida (%)	Porcentagem retida acumulada (%)
25	0	0	0
19	238,76	9,55	9,55
12,5	1720,08	68,81	78,36
9,5	448,46	17,94	96,3
6,3	86,72	3,47	99,77
4,75	0,61	0,02	99,79
Fundo	5,17	0,21	100
Total	2499,8	100	

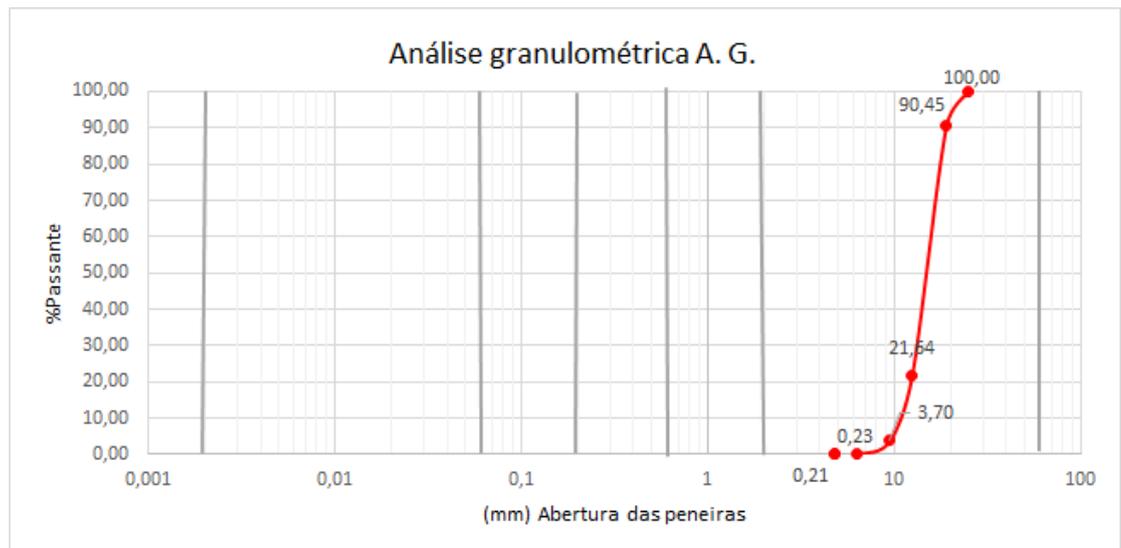
Fonte: Autoria Própria

Tabela 10 - Dados granulométricos da Brita

Dados	
Dmáx. Caract.	19 mm
Módulo de Finura	xx
Classificação	Brita 1

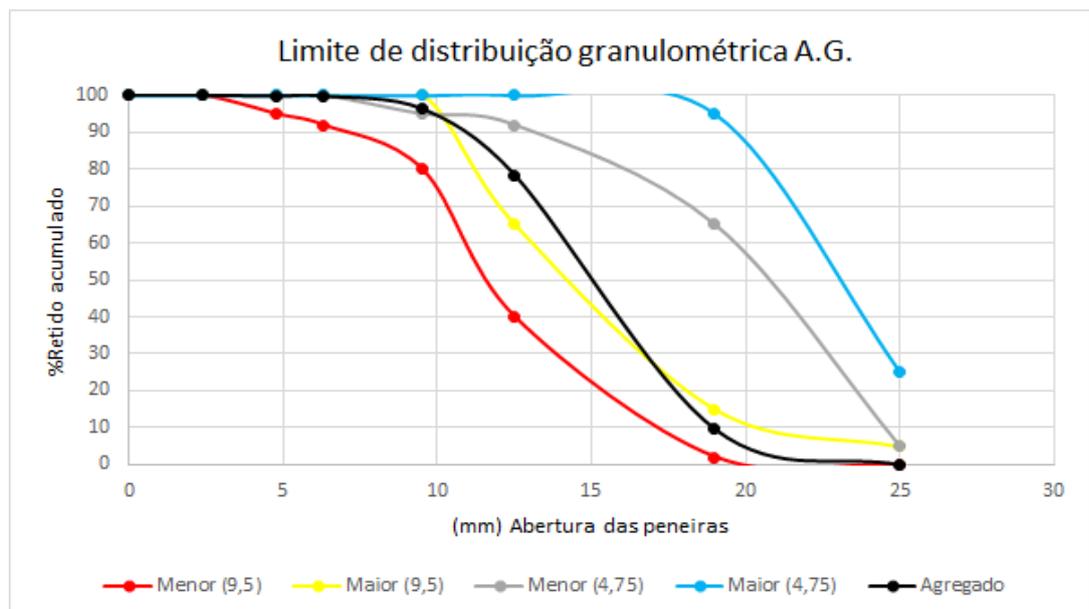
Fonte: Autoria Própria

Figura 20 - Gráfico 3: Análise granulométrica agregado graúdo



Fonte: Autoria Própria

Figura 21 - Gráfico 4: Limite de distribuição granulométrica agregado graúdo



Fonte: Autoria Própria

Ao analisar os resultados encontrados nas Tabelas 9 e 10, a brita é caracterizada como brita 1 com diâmetro máximo de 19 mm. O Gráfico 3 na Figura 20 demonstra uma curva granulométrica de alta declividade para o agregado graúdo, definindo a granulometria como uniforme e sem grandes variações, e ao avaliar o Gráfico 4 na Figura 21, também é possível afirmar que o material pode ser utilizado para a confecção de concreto já que não apresenta grandes variações em relação com as curvas limites.

4.1.2 Massa específica

O ensaio de massa específica foi realizado para os materiais, brita e areia, onde foi possível determinar os resultados da Tabela 11 e Tabela 12.

Tabela 11 - Massa específica areia

Amostra Areia: 500,08 g
Massa Do Recipiente: 44,43g
Massa Do Recipiente + Água: 1098,89g
Massa Do Recipiente + Água + Areia: 1394,74 g
Volume do Recipiente: 1000cm ³
Massa Específica: 2,45 g/cm ³

Fonte: Autoria Própria

Tabela 12 - Massa específica brita

Amostra Brita: 500,08 g
Massa Do Recipiente: 44,43g
Massa Do Recipiente + Água: 1098,89g
Massa Do Recipiente + Água + Brita: 1417,41g
Volume do Recipiente: 1000cm ³ (1 litro)
Massa Específica: 2,75 g/cm ³

Fonte: Autoria Própria

A massa específica trata da razão entre a massa e o volume ocupado, ao verificar a massa específica do material é possível determinar a proporção do material na mistura de concreto e calcular a quantidade do material na produção, com os resultados obtidos é possível determinar que o material analisado pode ser utilizado para a confecção de concreto.

4.3 Ensaio Slump Test

Ao analisar os resultados obtidos na Tabela 13 no ensaio de abatimento tronco de cone, observa-se que os traços com adições não alcançaram o limite 40 mm à 60 mm, ficaram com apenas 20 mm de abatimento, logo, o concreto obteve baixa trabalhabilidade, essa diferença pode estar relacionada a granulometria do RCV, necessitando de uma maior relação a/c para alcançar a trabalhabilidade esperada ou a adição de superplastificante, pois, devido ao baixo abatimento o concreto ao ser moldado criou um maior número de vazios dificultando o adensamento. Outros corpos de provas com 25% de adição de RCV também apresentaram porosidade como o CP da Figura 23. Houve uma maior dificuldade ao moldar os CP's com adições de 25%, justamente devido a trabalhabilidade baixa com o aumento da quantidade de RCV.

A adição de superplastificante é uma alternativa para aumentar a trabalhabilidade do concreto, mas a confecção de concreto sem adições como o superplastificante é ideal para não aumentar os custos durante a produção.

Tabela 13 - Abatimento tronco de cone

Slump Test	
CP	Abatimento
Referência	4 cm
Adição 10%	2 cm
Adição 25%	2 cm

Fonte: Autoria Própria

Figura 22 - Corpo de prova com 25% de RCV apresentando porosidade



Fonte: Autoria Própria

4.2 Ensaio de resistência a compressão simples

Para utilizar como resistência padrão, amostras sem adições foram produzidas para comparação de resultados. Produziu-se as triplicatas dos CP's para o posterior rompimento com 14 e 28 dias, assim como para os corpos de prova do grupo A com adição de 10% e 25% de resíduo de pó cerâmico. Nas Tabelas 14, Tabela 15 e Figura 22 estão expostos os resultados obtidos após os ensaios de resistência à compressão.

Tabela 14 - Resultados CP's 14 dias

Rompimento 14 dias			
CP	Relação a/c	CP média (MPa)	Desvio padrão
Referência	0,500	18,551	0,406
Adição 10%	0,500	15,931	2,126
Adição 25%	0,500	13,130	0,597

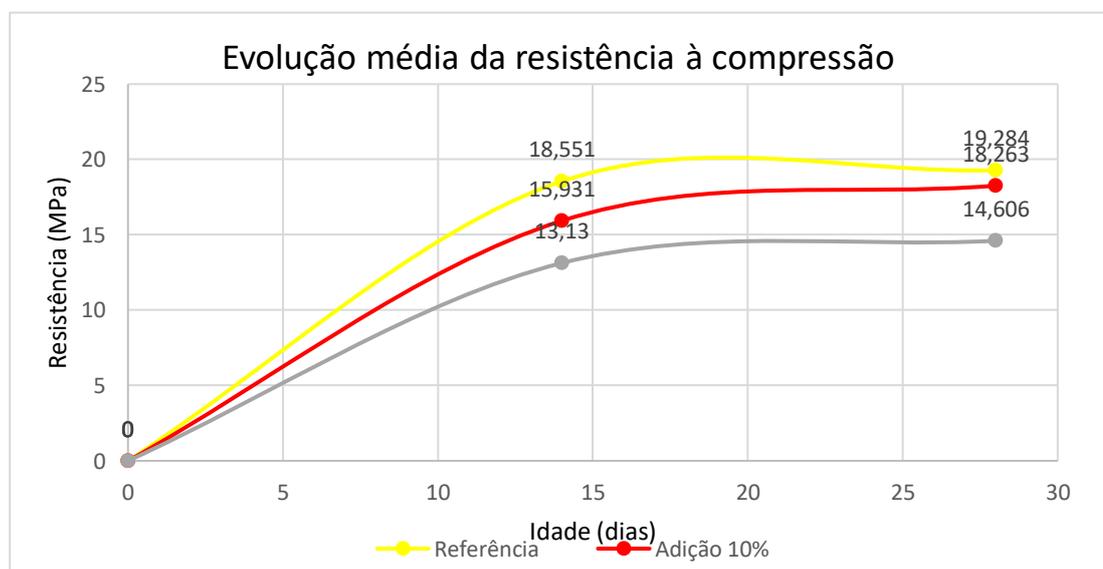
Fonte: Autoria Própria

Tabela 15 - Resultados CP's 28 dias

Rompimento 28 dias			
CP	Relação a/c	CP média (MPa)	Desvio padrão
Referência	0,500	19,284	0,420
Adição 10%	0,500	18,263	0,522
Adição 25%	0,500	14,606	0,398

Fonte: Autoria Própria

Figura 23 - Gráfico 5: Evolução da resistência à compressão ao longo da idade



Fonte: Autoria Própria

Ao analisar os resultados apresentados, foi possível constatar que todos os resultados foram inferiores a 20 MPa. A norma NBR 6118/2014 indica utilizar para fins estruturais concretos com mais de 20 MPa, assim, o concreto produzido não pode ser aplicado em estruturas, de acordo com LIMA et al. (2014), esse concreto é de baixa resistência.

Ao observar os resultados entre si, nota-se que os corpos de prova de referência obtiveram baixa resistência, portanto, o baixo índice de resistência não é devido a adição do pó de resíduo cerâmico, alguns dos motivos para essa baixa podem ter sido ocasionados pelo uso de cimento com a usabilidade comprometida devido ao mal armazenamento, pois, outro concreto produzido com o mesmo cimento também obteve baixa resistência.

Os resultados demonstram uma baixa variabilidade de resistências entre o concreto convencional produzido e os traços com adições, sendo o traço com 10% de RCV mais próximo ao convencional, variando 1,021 MPa e o traço com 25% variando cerca de 4,678 MPa em média. De acordo com a NBR 5752/2014 - Materiais pozolânicos — Determinação do índice de desempenho com cimento Portland aos 28 dias, calculando o índice de desempenho pode-se observar na Tabela 16 o desempenho do CP com adição de RCV em relação ao CP de referência, esse índice determina a porcentagem de resistência alcançada.

Tabela 16 - Índice de desempenho

CP	Resistência média (MPa)	Índice de desempenho
Referência	19,284	-
Adição 10%	18,263	94,71%
Adição 25%	14,606	79,98%

Fonte: Autoria Própria

A Tabela 16 evidência uma queda de 5,29% para adição de 10% de RCV e 20,02% para a adição 25% de RCV no índice de desempenho entre os corpos de prova. Porém, essa diminuição não é considerável, apesar de não ser alcançada a resistência prevista pela dosagem. Ao comparar com o estudo realizado por Sales et al. (2014), estudo que também utilizou o RVC como substituto parcial do cimento na pasta de concreto, os resultados encontrados de acordo com o índice de desempenho são proporcionais e satisfatórios, para ambos os teores de adições.

Portanto, a utilização do RCV como substituto parcial do cimento Portland possui potencial para tornar o concreto mais econômico, viável e sustentável, mas há necessidade de

estudos com uma maior variação experimental de teores, mais ensaios realizados, assim como um estudo específico para os impactos no custo de produção devido a necessidade de beneficiar o RCV.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Após analisar todos os dados obtidos e apresentados, fica notória a eficácia da utilização do RCV como um substituto parcial do cimento em concretos. As amostras confeccionadas apresentaram um baixo índice de resistência devido a outros fatores, como possivelmente a falta de usabilidade do cimento por mal armazenamento, e apesar disso, foi possível constatar que o uso do RCV não afetou significativamente a resistência, causando uma redução de resistência de 5,29% para o teor de substituição de 10% de RCV e 20,02% para o teor de 25% de RCV aos 28 dias de idade.

Ao avaliar o *slump test* realizado para os CP's do grupo A, obteve-se um abatimento de apenas 2 cm para as adições de 10% de RCV e 25% de RCV, causando uma baixa trabalhabilidade que ocorreu provavelmente devido o RCV necessitar de uma maior quantidade de água na mistura para poder alcançar a mesma trabalhabilidade do concreto de referência, ocasionando uma porosidade nas misturas endurecidas. Para tentar diminuir a porosidade ocasionada, pode-se testar novas dosagens com um maior fator a/c ou utilizar superplastificantes com cautela para não aumentar o custo do concreto.

Para o ensaio de resistência à compressão simples os resultados foram abaixo de 20 MPa, porém, provavelmente devido a usabilidade do cimento utilizado. Os resultados comparados com o concreto de referência foram satisfatórios e atenderam às porcentagens de índice de desempenho. Portanto, o resíduo de pó de cerâmica vermelha pode ser utilizado como um substituto parcial do cimento em concretos, sendo necessário mais estudos para aperfeiçoamento de resultados.

5.1 Sugestões para pesquisas futuras

- Análise do desempenho do RCV em concretos e argamassas com maior número de adições;
- Análise de custos de produção de concretos com RCV;
- Análise com diferentes traços, levando em consideração massa específica do RCV.

REFERÊNCIAS

ANDRADE, Bruno Souza Olivera. **Concreto armado: um estudo sobre o processo histórico, características, durabilidade, proteção e recuperação de suas estruturas**. 2016. 72 f. Monografia - Curso de Especialização em Construção Civil, Universidade Federal de Minas Gerais, Rio de Janeiro, 2016.

ARAÚJO, José Milton de. **CURSO DE CONCRETO ARMADO**. 4. ed. Rio Grande: Dunas, 2014. 1 v.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE LIMPEZA PÚBLICA E RESÍDUOS ESPECIAIS. **Panorama dos resíduos sólidos no Brasil 2017**. Disponível em: <http://abrelpe.org.br/download-panorama-2017>. Acesso em: 15 nov. 2022.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 16697: Cimento Portland – Requisitos**. Rio de Janeiro, 2018.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5738: Concreto – Procedimento para moldagem e cura de corpos de prova**. Rio de Janeiro, 2015.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5739: Concreto - Ensaio de compressão de corpos de prova cilíndricos**. Rio de Janeiro, 2018.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5752: Materiais pozolânicos – Determinação do índice de desempenho com cimento Portland aos 28 dias**. Rio de Janeiro, 2014.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6118: Projeto de estruturas de concreto — Procedimento**. Rio de Janeiro, 2014.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7181: Solo – Análise granulométrica**. Rio de Janeiro, 2018.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7211: Agregados para concreto - Especificação**. Rio de Janeiro, 2019.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7214: Areia normal para ensaio de cimento — Especificação Standard sand for cement tests — Specification**. Rio de Janeiro, 2015.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR NM 248: Agregados miúdo - Determinação da composição granulométrica**. Rio de Janeiro, 2003.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR NM 52: Agregados miúdo - Determinação da massa específica e massa específica aparente**. Rio de Janeiro, 2009.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR NM 53: Agregado graúdo - Determinação de massa específica, massa específica aparente e absorção de água**. Rio de Janeiro, 2009.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR NM 67: Concreto - Determinação da consistência pelo abatimento do tronco de cone**. Rio de Janeiro, 1998.

BAUER, L. **Materiais de Construção**. 5ª. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2011, 488 p.

BORTOLINI, R. - ESO. **Concreto: ensaio de abatimento (Slump Test)**. UFRGS, 2012.

BRASIL. Conselho Nacional de Meio Ambiente. (2002) Resolução CONAMA nº. 307, de 5 de julho de 2002. Estabelece diretrizes, critérios e procedimentos para a gestão de resíduos da construção civil. Ministério do Meio Ambiente: CONAMA, 2002. Diário Oficial da União. Brasília, DF: Imprensa Oficial.

BREKAILO, F. et al. **Avaliação do potencial reativo de adições de resíduos de blocos de cerâmica vermelha e de concreto cominuído de RCD em matriz cimentícia**. 2019, v. 65, n. 375, pp. 351-358.

CARVALHO, R. C; FIGUEIREDO FILHO, J. R. **Cálculo e Detalhamento de Estruturas usuais de Concreto Armado: Segundo NBR 6118:2003**. 3. ed. São Carlos: EdUFScar, 2013. p.26.

CASTRO, V. G. Cimento Portland. In: **Compósitos madeira-cimento: um produto sustentável para o Futuro**. Mossoró: EdUFERSA, 2021, pp. 13-21.

CUNHA, Cesar Moreira. **Estudo do Comportamento Mecânico do Concreto com Adição de PEAD**. Curso de Engenharia Civil, UniEvangélica, Anápolis, GO, 65p. 2019.

DAL MOLIN, D. C. C. Adições minerais para concreto estrutural. In: ISAIA, G. C. **Concreto: Ensino, Pesquisa e Realizações**. 1ª Ed. São Paulo: IBRACON, 2005, p. 655 – 685.

FIGUEIREDO, Antônio Domingues de. **Concreto reforçado com fibras**. 2011. 256 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia Civil, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2011.

GARCIA, E.; JUNIOR, M.C.; QUARCIONI, V. Â.; CHOTOLI, F. F. **Resíduo de Cerâmica Vermelha (RCV): Uma Alternativa como Material Pozolânico**. 2014. Cerâmica industrial. Seção de Recursos Minerais e Tecnologia Cerâmica - CT-Obras – SRM, Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo – IPT, São Paulo, 2014.

HELENE, P. **A nova NB 1/2003 (NBR 6118) e a Vida Útil das Estruturas de Concreto**. 2002. [S.I.]: [s.n.], [20,40], p. 02.

KATAYAMA, Daniela. **Estudo da influência da granulometria do agregado graúdo nas propriedades do concreto de alto desempenho**. 2016. 69 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Campo Mourão, 2016.

KLEIN, Vilson Antônio et al. **Metodologias de controle de qualidade de análises granulométricas do solo**. Ciência Rural. 2013, v. 43, n. 5, pp. 850-853.

LIMA, Caio Ivson V. et. al. **Concreto e suas inovações**. 2014. Ciências exatas e tecnológicas. P. 31 – 40. Maceió – Alagoas, 2014.

MEHTA, P. K. e MONTEIRO, P.J.M. **Concreto: Estrutura, propriedades e materiais**. São Paulo. PINI, 1994

NEVILLE, A. M. **Propriedades do concreto**. 5. ed. Porto Alegre: Bookman, 2016.

ORTIGOSA. Luiz Antônio. **Redução de perdas no processo de produção de uma indústria cerâmica**. 2006. 131 f. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. São Paulo, 2006.

PARIZOTTO, LIANA. **Concreto Armado**. Porto Alegre: SER - SAGAH, 2017.

PEREIRA, Eric Vallotti. **Influência de fibras de aço no comportamento mecânico e nos mecanismos de fissuração de concretos autoadensáveis**. 2017. 170 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Puc - Rio, Rio de Janeiro, 2017.

RIBEIRO, C. C. **Materiais de construção civil**. Editora UFMG, 2002.

SALES, Angela Teresa Costa; ALFERES FILHO, Ricardo dos Santos. **Efeito do pó de resíduo cerâmico como adição ativa para o concreto**. 2014. Universidade Federal de Sergipe – São Cristóvão, Sergipe, 2014.

SANTOS, S. B.; CALMON, J. L.; SILVA FILHO, L. C. P.; GAMBALE, E.A. **Efeito das adições na fluência do concreto: uma revisão crítica**. 2008. IBRACON. Anais do 50º Congresso Brasileiro de Concreto. CBC, 2008.

SANTOS, W. J. dos; ALVARENGA, R. de C. S.; SILVA, R. C. da; PEDROTI, L. G.; SOUZA, A. T.; FREIRE, A. S. **Análise da influência do tipo de agregado miúdo nas características e dosagem de argamassas mistas**. Ambiente Construído, Porto Alegre, v. 19, n. 4, p. 271-288, out./dez. 2019.

SILVA, Danillo de Almeida; GEYER, André Luiz Bortolacci. **Análise e classificação da forma do agregado graúdo britado para concreto**. Revista Científica Multidisciplinar Núcleo do Conhecimento. Ano 03, Ed. 12, Vol. 05, pp. 18-28 dezembro de 2018.

SOUZA, J. V. **Estudo e Desenvolvimento de Alternativas para o aproveitamento de Resíduo das Indústrias de Revestimentos Cerâmicos**. São Paulo. 2003.

VIEIRA, Talita Gebrielle Martins. **Concreto reciclado utilizando garrafas pet**. 2020. Faculdade Presidente Antônio Carlos - Conselheiro Lafaiete, 2020.