

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA
FACULDADE DE ENGENHARIA CIVIL
CURSO BACHARELADO EM ENGENHARIA CIVIL**

AURENY LÍVIA LOPES SOARES

**AVALIAÇÃO DAS PROPRIEDADES FÍSICO-MECÂNICAS DE BLOCOS DE
CONCRETO FABRICADOS COM AGREGADO RECICLADO DE TELHAS
CERÂMICAS**

UBERLÂNDIA

2023

AURENY LÍVIA LOPES SOARES

**AVALIAÇÃO DAS PROPRIEDADES FÍSICO-MECÂNICAS DE BLOCOS DE
CONCRETO FABRICADOS COM AGREGADO RECICLADO DE TELHAS
CERÂMICAS**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à Coordenação do Curso de Engenharia Civil, da Universidade Federal de Uberlândia, como requisito parcial para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Civil.

Orientador: Prof^o. Dr. Joseph Salem Barbar

UBERLÂNDIA

2023

AURENY LÍVIA LOPES SOARES

**AVALIAÇÃO DAS PROPRIEDADES FÍSICO-MECÂNICAS DE BLOCOS DE
CONCRETO FABRICADOS COM AGREGADO RECICLADO DE TELHAS
CERÂMICAS**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado
à Coordenação do Curso de Engenharia Civil,
da Universidade Federal de Uberlândia, como
requisito parcial para obtenção do título de
Bacharel em Engenharia Civil.

Uberlândia, fevereiro de 2023.

BANCA EXAMINADORA

Prof.º Dr. Orientador Joseph Salem Barbar
Universidade Federal de Uberlândia

Prof.º Dr. Antônio de Paulo Peruzzi
Universidade Federal de Uberlândia

Prof.º Dr. Nassau de Nogueira Nardez
Universidade Federal de Uberlândia

RESUMO

O setor da construção civil é marcado, historicamente, por problemas como os elevados custos de produção e a alta geração de resíduos. Com o objetivo de minimizar o impacto ambiental e avaliar o emprego de medidas alternativas de produção de material de construção, este trabalho busca avaliar a incorporação de agregado reciclado de telha cerâmica nas propriedades físico-mecânicas do concreto utilizado na produção de blocos de vedação, tendo em vista a viabilidade de produção em substituição aos agregados naturais. Foram realizados ensaios de caracterização, bem como ensaios físico-mecânicos, como análise dimensional, absorção e área líquida e resistência à compressão, todos seguindo as normas da Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT. Os blocos com substituição de 50 % de agregados (Traço 1) e os blocos com substituição 100 % (Traço 2) atenderam aos requisitos de absorção de água e área líquida, enquanto os Blocos Referência não corresponderam a este critério quando avaliados na idade de 7 dias. Ainda seguindo os requisitos normativos, as dimensões nominais, bem como espessuras mínimas, para todas as amostras apresentaram-se dentro da faixa de tolerância permitida. Apenas o critério de resistência característica de compressão axial não se deu como satisfatório, fato que pode ser justificado pela não adequação do consumo de cimento, tendo em vista a adição de finos na composição do concreto para ambos os traços do estudo. Nesta perspectiva, a substituição parcial ou total dos agregados pode ser uma alternativa quanto ao gerenciamento de resíduos e sua melhor destinação, tendo apenas que ser ajustado o melhoramento do traço quanto ao aumento da resistência para o uso em blocos de concreto de vedação, sendo, portanto, uma solução possível de ser empregada.

Palavras-chave: Resíduos de Construção. Blocos de concreto para vedação. Telhas cerâmicas.

ABSTRACT

The civil construction sector is historically marked by problems such as high production costs and high waste generation. With the objective of minimizing the environmental impact and evaluating the use of alternative measures for the production of construction material, this work seeks to evaluate the incorporation of recycled ceramic tile aggregate in the physical-mechanical properties of the concrete used in the production of sealing blocks, having in view of the viability of production replacing natural aggregates. Characterization tests were carried out, as well as physical-mechanical tests, such as dimensional analysis, absorption and liquid area and resistance to compression, all following the norms of the Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT. The blocks with 50% replacement of aggregates (Trace 1) and the blocks with 100% replacement (Trace 2) met the water absorption and liquid area requirements, while the Reference Blocks did not correspond to this criterion when evaluated at the age of 7 days. Still following the regulatory requirements, the nominal dimensions, as well as the minimum thicknesses, for all samples were within the permitted tolerance range. Only the criterion of characteristic resistance of axial compression was not satisfactory, a fact that can be explained by the inadequacy of cement consumption, in view of the addition of fines in the concrete composition for both mixes in the study. In this perspective, the partial or total replacement of aggregates can be an alternative in terms of waste management and its best destination, only having to adjust the improvement of the trait in terms of increased resistance for use in sealing concrete blocks, being, therefore, a possible solution to be employed.

Keywords: *Construction Waste. Concrete blocks for fencing. Ceramic tiles.*

LISTA DE FIGURAS

| | |
|--|----|
| Figura 1 - Bloco vazado de concreto simples..... | 17 |
| Figura 2 - Fluxograma da metodologia do estudo..... | 21 |
| Figura 3 - Modelo de britador usado para desenvolvimento do trabalho..... | 23 |
| Figura 4 - Componentes do britador utilizado..... | 23 |
| Figura 5 - Telhas cerâmicas após trituração..... | 24 |
| Figura 6 - Peneira utilizada na caracterização granulométrica do agregado reciclado..... | 24 |
| Figura 7 - Blocos após moldagem..... | 28 |
| Figura 8 - Cura dos blocos de concreto..... | 29 |
| Figura 9 - Uso de paquímetro metálico para determinação das espessuras das paredes dos blocos..... | 32 |
| Figura 10 - Régua metálica para medição de dimensões dos blocos..... | 32 |
| Figura 11 - Dimensões dos furos..... | 33 |
| Figura 12 - Ensaio de absorção de água em bloco de concreto com uso de balança com adaptação hidrostática..... | 34 |
| Figura 13 - Blocos em estufa para ensaio de secagem..... | 34 |
| Figura 14 - Blocos imersos em água para determinação de massa saturada..... | 36 |
| Figura 15 - Prensa usada no ensaio de resistência à compressão..... | 37 |
| Figura 16 - Vidros untados usados como apoio para capeamento..... | 38 |
| Figura 17 - Pasta de cimento CPV e água usada para execução de capeamento de blocos..... | 38 |
| Figura 18 - Capeamento de topo de blocos com uso de argamassa..... | 39 |
| Figura 19 - Blocos apoiados em superfície plana para capeamento..... | 39 |
| Figura 20 - Bloco com as duas faces capeada..... | 40 |
| Figura 21 - Resultados de resistência à compressão dos Blocos Referência aos 14 dias..... | 51 |
| Figura 22 - Resultados de resistência à compressão dos Blocos Traço 1 (50 %) aos 14 dias.. | 52 |
| Figura 23 - Resultados de resistência à compressão dos Blocos Traço 2 (100 %) aos 14 dias | 53 |
| Figura 24 - Resultados de resistência à compressão dos Blocos Referência aos 28 dias..... | 56 |
| Figura 25 - Resultados de resistência à compressão dos Blocos Traço 1 (50 %) aos 28 dias.. | 57 |
| Figura 26 - Resultados de resistência à compressão dos Blocos Traço 2 (100 %) aos 28 dias | 58 |

LISTA DE TABELAS

| | |
|---|----|
| Tabela 1 - Etapas de dosagem e moldagem de blocos de concreto | 26 |
| Tabela 2 - Dosagem dos concretos usados na moldagem dos blocos | 28 |
| Tabela 3 - Dimensões nominais de acordo com ABNT NBR 6136:2016..... | 30 |
| Tabela 4 - Designação por classe, largura dos blocos e espessura mínima das paredes dos blocos..... | 31 |
| Tabela 5 - Tamanho da amostra | 31 |
| Tabela 6 - Largura, comprimento e altura - Blocos Referência | 41 |
| Tabela 7 - Espessura mínima das paredes - Blocos Referência | 41 |
| Tabela 8 - Dimensões dos furos - Blocos Referência..... | 41 |
| Tabela 9 - Largura, comprimento e altura - Blocos Traço 1 (50 %) | 42 |
| Tabela 10 - Espessura mínima das paredes - Blocos Traço 1 (50 %) | 42 |
| Tabela 11 - Dimensões dos furos - Blocos Traço 1 (50 %)..... | 42 |
| Tabela 12 - Largura, comprimento e altura - Blocos Traço 2 (100 %) | 43 |
| Tabela 13 - Espessura mínima das paredes - Blocos Traço 2 (100 %) | 43 |
| Tabela 14 - Dimensões dos furos - Blocos Traço 2 (100 %)..... | 43 |
| Tabela 15 - Espessura equivalente mínima das paredes (mm) - Blocos Referência | 45 |
| Tabela 16 - Espessura equivalente mínima das paredes (mm) - Blocos Traço 1 (50 %) | 45 |
| Tabela 17 - Espessura equivalente mínima das paredes (mm) - Blocos Traço 2 (100 %)..... | 45 |
| Tabela 18 - Área bruta - Blocos Referência | 47 |
| Tabela 19 - Área bruta - Blocos Traço 1 (50 %) | 47 |
| Tabela 20 - Área bruta - Blocos Traço 2 (100 %) | 47 |
| Tabela 21 - Espessura mínima das paredes longitudinais Blocos Referência, Traço 1 e Traço 2 | 48 |
| Tabela 22 - Massa seca m_1 obtidas por secagem..... | 49 |
| Tabela 23 - Massa saturada m_2 obtida por saturação..... | 49 |
| Tabela 24 - Absorção total dos corpos de prova | 49 |
| Tabela 25 - Massa aparente dos blocos submetidos ao ensaio de determinação de área líquida | 50 |
| Tabela 26 - Área líquida dos corpos de prova ensaiados à 7 dias | 50 |
| Tabela 27 - Dimensões reais das seções de trabalho - Blocos referência 14 dias | 54 |

| | |
|---|----|
| Tabela 28 - Dimensões reais das seções de trabalho - Blocos Traço 1 (50 %) 14 dias..... | 54 |
| Tabela 29 - Dimensões reais das seções de trabalho - Blocos Traço 2 (100 %) 14 dias..... | 54 |
| Tabela 30 - Dimensões reais das seções de trabalho - Blocos referência 28 dias | 55 |
| Tabela 31- Dimensões reais das seções de trabalho - Blocos Traço 1 (50 %) 28 dias..... | 55 |
| Tabela 32- Dimensões reais das seções de trabalho - Blocos Traço 2 (100 %) 28 dias..... | 55 |
| Tabela 33 - Valores de resistência características para cada amostra para a idade de 14 dias. | 59 |
| Tabela 34 - Valores de resistência características para cada amostra para a idade de 28 dias. | 59 |

SUMÁRIO

| | |
|--|----|
| 1 INTRODUÇÃO..... | 11 |
| 1.1 OBJETIVO GERAL..... | 12 |
| 1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS..... | 12 |
| 2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA..... | 13 |
| 2.1 RESÍDUOS RCD DE CONSTRUÇÕES E DEMOLIÇÕES – ENTULHO DE OBRA | 13 |
| 2.2 AGREGADO RECICLADO DE TELHA CERÂMICA..... | 14 |
| 2.3 BLOCOS DE CONCRETO PARA VEDAÇÃO..... | 16 |
| 2.3.1 Normas para execução de blocos de concreto..... | 16 |
| 2.4 ALVENARIA DE VEDAÇÃO COM RCD..... | 17 |
| 2.5 AGREGADO RECICLADO DE TELHAS CERÂMICAS NA INCORPORAÇÃO DO CONCRETO..... | 19 |
| 3. METODOLOGIA..... | 20 |
| 3.1 ESTÁGIO 1..... | 21 |
| 3.1.1 Revisão de literatura..... | 21 |
| 3.1.2 Obtenção do agregado reciclado..... | 22 |
| 3.1.3 Limpeza..... | 22 |
| 3.1.4 Trituração..... | 22 |
| 3.1.5 Caracterização do agregado..... | 24 |
| 3.2 ESTÁGIO 2..... | 25 |
| 3.2.1 Dosagem dos concretos e moldagem dos blocos..... | 25 |
| 3.3 ESTÁGIO 3..... | 29 |
| 3.3.1 Ensaio de acordo com normas vigentes..... | 29 |
| 3.3.1.1 Análise dimensional..... | 31 |
| 3.3.1.1.1 Espessura mínima das paredes..... | 32 |
| 3.3.1.1.2 Dimensões dos furos..... | 33 |
| 3.3.1.2 Absorção de água e área líquida..... | 33 |
| 3.3.1.3 Secagem..... | 35 |
| 3.3.1.4 Saturação..... | 35 |
| 3.3.1.5 Determinação da área líquida..... | 36 |

| | | |
|-----------|---|----|
| 3.3.1.5.1 | <i>Dimensões</i> | 36 |
| 3.3.1.5.2 | <i>Massa aparente</i> | 36 |
| 3.3.1.6 | Resistência à compressão | 37 |
| 3.3.1.6.1 | <i>Preparo dos corpos de prova</i> | 37 |
| 4 | RESULTADOS E DISCUSSÃO | 40 |
| 4.1 | ANÁLISE DIMENSIONAL..... | 40 |
| 4.2 | ABSORÇÃO DE ÁGUA..... | 48 |
| 4.3 | ÁREA LÍQUIDA..... | 50 |
| 4.4 | RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO | 51 |
| 4.4.1 | Valor estimado de resistência característica à compressão dos blocos ($f_{bk,est}$) | 59 |
| 5 | CONSIDERAÇÕES FINAIS | 60 |
| 6 | REFERÊNCIAS | 61 |

1 INTRODUÇÃO

No Brasil, a Resolução nº 307/2002 do Conselho Nacional do Meio Ambiente – Conama estabelece diretrizes, critérios e procedimentos para a gestão de resíduos na construção civil, uma vez que a disposição destes resíduos e entulhos gerados pelo setor são contribuintes diretos para a degradação de recursos e causam prejuízos ao meio natural. Dessa forma, há um aumento crescente por parte da construção civil na busca por novos recursos que tragam bons resultados e visem minimizar ou até mesmo eliminar o dano ao meio ambiente, sendo a reciclagem uma das soluções. Nesta perspectiva, ações que visam reduzir e/ou suprimir tais impactos passam a contar como critério de competitividade pelas empresas que adotam estes sistemas de gerenciamento dos recursos. E, quanto antes as organizações visualizarem a questão ambiental como um fator de oportunidade competitiva, melhor para a durabilidade de seu ciclo de vida e para sua lucratividade. O que pode ser inverso àquelas empresas que não se adequarem aos novos modelos de gestão, ficando esquecidas no passado ou até mesmo entrando em decadência (CUNHA; JESUS; TELES, 2009).

Segundo Leite (2001) e Ângulo (1998), em busca de melhores resultados na construção civil com menor agressão ao meio ambiente, a reciclagem de resíduos tem se mostrado uma boa alternativa na redução do impacto causado pelo consumo desordenado de matéria-prima e pela redução das áreas de disposição, em virtude do grande volume de resíduos descartados a cada ano em todo mundo. Em 2015, de acordo com a Anicer, somente a indústria de cerâmica vermelha possuía uma participação de 4,8 % na indústria da construção civil, atingindo faturamento anual de R\$18 bilhões (ANICER, 2015), e, especialmente no que se refere aos produtos de cerâmica vermelha, sua fragilidade, característica comum aos materiais cerâmicos, contribui para perdas associadas ao transporte, carregamento e descarregamento, armazenamento e aplicação desses produtos, destacando-se, portanto, como potencial gerador de resíduos no Brasil (NAGALLI, 2014 apud MOURA *et al.*, 2018). Neste contexto, novas matérias-primas podem ser produzidas e substituir as naturais, não renováveis, para que os danos ao meio ambiente possam ser reduzidos. Em contrapartida, há o desafio em trabalhar com tais materiais oriundos de resíduos de construção, por estes apresentarem propriedades bastante variáveis, fazendo necessário controlá-los e caracterizá-los sistematicamente bem antes de fazer sua aplicação e escolha de utilização (CARRIJO, 2005). Assim, pode-se desenvolver produtos cada vez mais duráveis, fazendo com que os materiais reciclados exerçam papel não apenas sustentável como também econômico.

Portanto, baseado nos componentes e no processo de fabricação do concreto, o objetivo principal do presente Trabalho de Conclusão de Curso é avaliar a incorporação de agregado reciclado de telhas cerâmicas em substituição dos agregados naturais usualmente utilizados na produção de blocos de concreto para vedação, bem como a interferência desta substituição nas propriedades físico-mecânicas dos blocos.

1.1 OBJETIVO GERAL

Avaliar a incorporação de agregado reciclado de telhas cerâmicas em substituição dos agregados naturais usualmente utilizados na produção de blocos de concreto para vedação, bem como a interferência desta substituição nas propriedades físico-mecânicas dos blocos.

1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Desenvolver trabalho teórico-experimental que forneça subsídios para o avanço do conhecimento sobre a utilização dos agregados reciclados de telhas cerâmicas na produção de blocos de concreto para vedação;
- Analisar a influência do teor de substituição de agregado reciclado de telha cerâmica na resistência à compressão dos blocos de concreto, absorção de água, área líquida e dimensões características;
- Caracterizar as propriedades físico-mecânicas de blocos de vedação produzidos com a substituição de agregados naturais por agregado reciclado de telhas cerâmicas e, principalmente, verificar o cumprimento incondicional às normas técnicas vigentes.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Neste tópico é apresentado todo o levantamento bibliográfico que norteou o presente trabalho.

2.1 RESÍDUOS RCD DE CONSTRUÇÕES E DEMOLIÇÕES – ENTULHO DE OBRA

De acordo com a Resolução N° 307, de 5 de julho de 2002, Resíduos da Construção Civil são os provenientes de construções, reformas, reparos e demolições de obras de construção civil, e os resultantes da preparação e da escavação de terrenos, tais como: tijolos, blocos cerâmicos, concreto em geral, solos, rochas, metais, resinas, colas, tintas, madeiras e compensados, forros, argamassa, gesso, telhas, pavimento asfáltico, vidros, plásticos, tubulações, fiação elétrica etc., comumente chamados de entulhos de obras, caliça ou metralha (CONAMA, 2022). São também comumente chamados de Resíduos de Construção e Demolição (RCD) quando gerados durante a construção, reforma e/ou demolição de obras de construção civil. Segundo Pinto (1999, pág. 186), os RCD tinham uma geração estimada entre 230 a 760 kg/hab.ano, representando entre 41 % e 70 % do resíduo sólido municipal em 10 cidades brasileiras. Tendo em vista o enorme crescimento do setor na última década, esta estimativa tende a ser superior para os dias atuais, devido ao forte crescimento da população e à falta de implementação de sistemas de gestão para controle dessa geração de resíduos.

No que se refere ao município de Uberlândia, Minas Gerais, Dias (2004) estimou que os resíduos de construção civil somavam mil toneladas por dia ou aproximadamente 2 kg/hab.ano. Quando calculado para os dias atuais, desconsiderando o crescimento do setor, fazendo uma estimativa para uma população de 691.305 pessoas (IBGE, 2021), este valor pode corresponder a aproximadamente cerca de 1.382,6 toneladas de entulho gerados por ano, somente no município de Uberlândia. Neste sentido, apresentar alternativas que venham a dar destinação adequada e reaproveitamento da grande quantidade de material gerado é de extrema importância para a sustentabilidade ambiental e economia local.

Segundo Cunha, Jesus e Teles (2009), a reciclagem, além de representar uma redução de até 75 % (setenta e cinco por cento) do custo da remoção e do tratamento de resíduos para o município, produz uma cadeia de benefícios de relevante importância: estende o tempo de vida útil dos aterros; preserva os recursos naturais; transforma uma fonte de despesa em receita; e impede a contaminação de novas áreas de despejo. Os autores ainda sugerem a utilização dos

materiais provenientes da reciclagem de entulho como agregado para o concreto, a partir da substituição dos agregados convencionais (brita/seixo e areia), possibilitando melhorias no desempenho do material. Concomitantemente, Fonseca (2006) aponta que o consumo de agregados é alto e, sendo estes não renováveis, acabam sendo escassos em diversas regiões do país. A reciclagem de RCD surge, portanto, como uma necessidade para a preservação do meio ambiente e é uma das alternativas mais eficazes para suprir a demanda por agregados na construção civil.

2.2 AGREGADO RECICLADO DE TELHA CERÂMICA

Tendo em vista a obtenção de concretos cada vez mais duráveis e resistentes, diversas pesquisas são desenvolvidas das propriedades que o compõe. Os agregados passam, portanto, a apresentar valores alternativos quanto ao aumento de resistência; melhoramento da trabalhabilidade, propriedades físicas e mecânicas, como também na durabilidade do concreto.

No Brasil, a norma vigente para utilização de resíduos de construção na construção civil é a NBR 15116 (ABNT, 2021) que define agregado reciclado como um material granular proveniente do beneficiamento de resíduos de construção ou demolição de obras civis, que apresenta características técnicas para a aplicação em obras de edificação e infraestrutura. Assim, a Norma classifica os resíduos sólidos conforme sua classe.

- Classe A: apresenta os resíduos reutilizáveis ou recicláveis como agregados, tais como:
 - resíduos de construção, demolição, reformas e reparos de pavimentação e de outras obras de infraestrutura, inclusive solos provenientes de terraplanagem;
 - resíduos de construção, demolição, reformas e reparos de edificações: componentes cerâmicos (tijolos, blocos, telhas, placas de revestimento e outros), argamassa e concreto;
 - resíduos de processo de preparo e/ou demolição de peças pré-moldadas em concreto (blocos, tubos, meios-fios e outros) produzidos nos canteiros de obras (ABNT NBR 15116: 2021).
- Classe B: resíduos recicláveis para outras destinações, tais como: plásticos, papel, papelão, metais, vidros, madeiras e outros (ABNT NBR 15116: 2021).

- Classe C: São os resíduos para os quais não foram desenvolvidas tecnologias ou aplicações economicamente viáveis que permitam a sua reciclagem ou sua recuperação, tais como os produtos oriundos do gesso (ABNT NBR 15116: 2021).
- Classe D: São os resíduos perigosos oriundos do processo de construção (tintas, solventes, óleos e outros) ou aqueles contaminados oriundos de demolições, reformas e reparos (clínicas radiológicas, instalações industriais e outros) (ABNT NBR 15116: 2021).

A classe A engloba os Agregados de Resíduos de Concreto (ARC) (agregado reciclado obtido do beneficiamento de resíduo, composto na sua fração gráuda, de no mínimo 90 % em massa de fragmentos à base de cimento *Portland* e rochas) e os Agregados de Resíduo Misto (ARM) que é composto na sua fração gráuda com menos de 90 % em massa de fragmentos à base de cimento *Portland* e rochas (ABNT NBR 15116: 2021).

Neste sentido, Fonseca (2006) descreve os agregados reciclados de telha -ART como sendo todo agregado proveniente dos resíduos da fabricação de telhas vermelhas, ou seja, cacos de telhas, podendo ser gráudo ou miúdo. Ao caracterizar o ART, Dias (2004) aponta que a utilização deste material no concreto pode agregar valor devido este se inserir em um grupo específico de resíduo, pois constitui-se de uma única fase e, além disso, por ser gerado após a queima das telhas, sai do forno sem contaminações, o que traz facilidade para a sua reciclagem.

No Brasil, a indústria cerâmica tem grande importância para o país, tendo participação no PIB (Produto Interno Bruto) da ordem de 1,0 %. A geração de lucros se dá pela produção de telhas, tijolos furados, tijolos maciços, blocos de vedação e estruturais, manilhas e pisos rústicos, movimentando em torno de 60.000.000 de toneladas de matéria-prima ao ano, e calcula-se que o valor da produção anual pode estar ao redor de US\$ 2 500 milhões (ANDRADE, 2022). Nesta perspectiva, faz-se necessário estudos para o reaproveitamento deste material, uma vez que, com a produção elevada, ocorre também a grande geração de resíduos provenientes deste setor.

2.3 BLOCOS DE CONCRETO PARA VEDAÇÃO

De acordo com Medeiros e Sabbatini, citado por Bastos *et al.* (2016), a resistência à compressão do bloco é o principal parâmetro a ser considerado para um projeto da parede de alvenaria. Portanto, essa propriedade torna-se a principal variável de controle do processo produtivo do bloco. Além deste aspecto, para que um bom desempenho possa ser garantido, alguns parâmetros devem ser analisados: matéria-prima, fator água/cimento, granulometria dos agregados, traço, tempo de mistura, vibração, prensagem, condições de cura, execução e manuseio do material.

A Norma ABNT NBR 6136:2016 estabelece os requisitos para o recebimento de blocos vazados de concreto simples, destinados à execução de alvenaria com ou sem função estrutural. Além disso, ainda os classifica quanto ao seu uso em elementos com função estrutural (classes A, B e C) ou sem função estrutural (classe D). A Norma estabelece, ainda, os ensaios a serem executados, que são: Resistência à compressão, conforme ABNT NBR 12118; Análise dimensional, absorção e área líquida, conforme ABNT NBR 12118; Retração linear por secagem, conforme ABNT NBR 12118. Para o ensaio de resistência à compressão axial, recomenda-se a utilização de uma amostra de seis unidades nas condições de umidade natural e secos ao ar. Antes do rompimento, devem ser nivelados com uma pasta de cimento, com no máximo 3 mm, nas duas superfícies – superior e inferior –, procedimento chamado de capeamento dos blocos, prescrito na ABNT NBR 7184:1992. O ensaio de absorção de água verifica o percentual de água absorvido pela amostra e simula o comportamento dos blocos de concreto quando expostos às condições ambientais, com o objetivo de verificar se as amostras são impermeáveis ou não à água, ou seja, se absorvem umidade (INMETRO, 2002). A absorção inicial de água influencia diretamente a aderência do bloco com a argamassa. A absorção total indica a quantidade de vazios existentes no bloco e permite determinar sua densidade.

2.3.1 Normas para execução de blocos de concreto

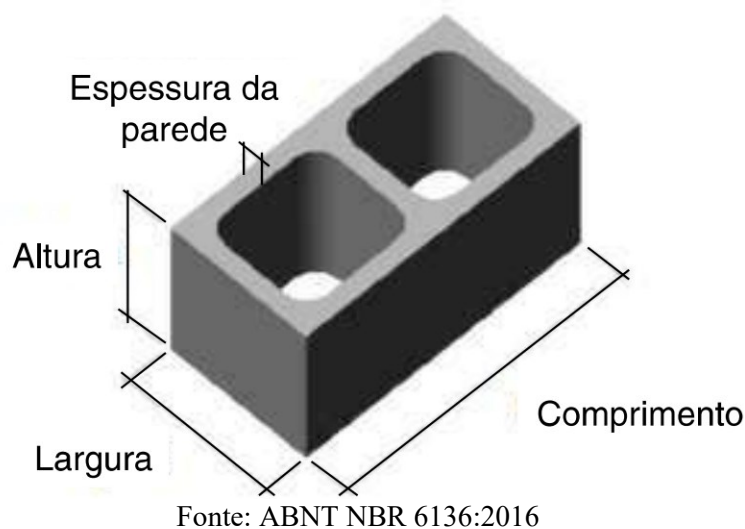
Como citado no tópico anterior, os blocos de concreto devem atender às especificações da NBR 6136:2016, que estabelece os requisitos para produção e aceitação de blocos vazados de concreto simples, destinados à execução de alvenaria com ou sem função estrutural (ABNT NBR 6136, 2016). Deve-se avaliar alguns aspectos para o bloco de concreto, como

classe, resistência, dimensões integridade e modulação. Dessa forma, dentre as normas que tratam sobre as especificações dos blocos de concreto simples em vigor, tem-se como principais:

- NBR 6136:2016 – corrigida em 2016 – Blocos vazados de concreto simples para alvenaria - Requisitos;
- NBR 12118:2013 – com errata 1:2014 – Blocos vazados de concreto simples para alvenaria - Métodos de ensaio;

A modulação dos blocos é executada por vibro compactação, e posteriormente curados ao tempo ou em câmaras úmidas para acelerar o processo de cura que devem assegurar a obtenção de um concreto compacto e homogêneo. Os blocos normalmente são unidades vazadas, com dois furos, com o formato cônico para facilitar a retirada da forma após a compactação (Figura 1). O ganho de resistência é obtido pelo aumento no teor de cimento, pela carga de compactação, pelos números de vibrações e pelo baixo fator água/cimento (MOHAMAD *et al.*, 2020).

Figura 1 - Bloco vazado de concreto simples



2.4 ALVENARIA DE VEDAÇÃO COM RCD

São denominadas de alvenaria de vedação as montagens de elementos destinados às separações de ambientes. Assim, são consideradas apenas de vedação por trabalhar no fechamento de áreas

sob estruturas, sendo necessários cuidados básicos para o seu dimensionamento e estabilidade (CARRIJO, 2005).

Os blocos de concreto representam 80 % a 95 % do volume da alvenaria, sendo determinantes de grande parte das características da parede: “resistência à compressão, estabilidade e precisão dimensional, resistência ao fogo e penetração de chuvas, isolamento térmico/acústico e estética”. Conjuntamente “com a argamassa, os blocos também são determinantes para a resistência ao cisalhamento, tração e para a durabilidade da obra”, sendo caracterizadas, portanto, como as unidades fundamentais da alvenaria (PARSEKIAN, 2020).

Para a produção dos blocos de concreto para vedação, os agregados são muito importantes. Nesse sentido, as propriedades dos agregados são fundamentais na sua produção, pois interferem na aderência com a pasta de cimento, alterando a homogeneidade e a resistência do concreto. A classificação dos agregados no que se refere às suas formas e dimensões, assume grande relevância para garantir um bom arranjo no concreto, de forma que se possa obter um material com menor índice de vazios, melhorando assim suas propriedades físicas e mecânicas. Além dos requisitos físicos, devem-se levar em consideração ainda, os aspectos econômicos: o concreto deve ser produzido com materiais que tenham custo compatível com a vida útil prevista para a obra (SALVADOR FILHO, 2020).

Na perspectiva de Salvador Filho (SALVADOR FILHO, 2020) e analisando o que diz L. L. Brasileiro *et al.* (2021) acerca da utilização de agregados reciclados, além da diminuição dos custos de gerenciamento do resíduo, o custo do produto reciclado é bem menor que o agregado natural, obtendo-se uma economia de 67 % em média, quando comparados os preços do agregado reciclado e do agregado natural. Paixão (2021) calcula que é possível triturar mais de 90 % dos RCD para serem usados como agregado na produção de componentes de construção. Sendo, portanto, uma solução inteligente para a reciclagem na produção de blocos de concreto para alvenaria de vedação.

2.5 AGREGADO RECICLADO DE TELHAS CERÂMICAS NA INCORPORAÇÃO DO CONCRETO

Quanto ao aspecto físico, um dos maiores problemas do agregado reciclado de RCD, como no caso de telhas cerâmicas, é a sua heterogeneidade, pois a sua composição mineral pode variar com a etapa em que se encontra a obra, pois, além do material possuir alto teor de material cerâmico, este também pode apresentar argamassas, da fase de revestimentos, ou impurezas, adquiridas no seu local de armazenamento (WADA, 2021). Verificou-se, ainda, que nos experimentos realizados de Fonseca (2006), a absorção do agregado reciclado de telha é elevada bem como a sucção de água nos primeiros instantes, isso demonstra a necessidade de se misturar parte da água relacionada à capacidade de absorção do agregado antes da mistura com o cimento, para prevenir a dificuldade encontrada para obter misturas homogêneas (FONSECA, 2006). Assim sendo, características físicas de desempenho podem sofrer influência e tornar difícil a padronização de sua utilização, pois, um dos principais fatores que influenciam as propriedades mecânicas do concreto com agregados naturais e agregados reciclados, é a capacidade de absorção de água destes materiais, e que está relacionada ao índice de porosidade do concreto. Esta propriedade está intimamente relacionada com as características dos agregados como: forma, textura, densidade, massa unitária e massa específica. A alta absorção provocada pelo agregado reciclado, prejudica a trabalhabilidade do concreto, fato provocado pelo elevado índice de poros existente no agregado reciclado e na argamassa aderida ao agregado reciclado. No agregado reciclado, a argamassa aderida secciona (puxa) parte da água utilizada no amassamento e utilizada para hidratação do aglomerante, não permitindo que a água utilizada para dosagem seja suficiente para hidratar 100 % do aglomerante. Este fato contribui para que resulte elemento em fase anidra na composição do concreto (aglomerante não hidratado na micro estrutura do concreto) (SILVA, 2021).

Com relação às propriedades químicas é necessário avaliar de forma qualitativa e quantitativa os impactos ambientais que podem ser causados com a utilização destes materiais. Ainda, a economia também deve ser avaliada, pois a viabilidade de produção do agregado reciclado está condicionada ao fato do mesmo ter um custo inferior ao do agregado natural.

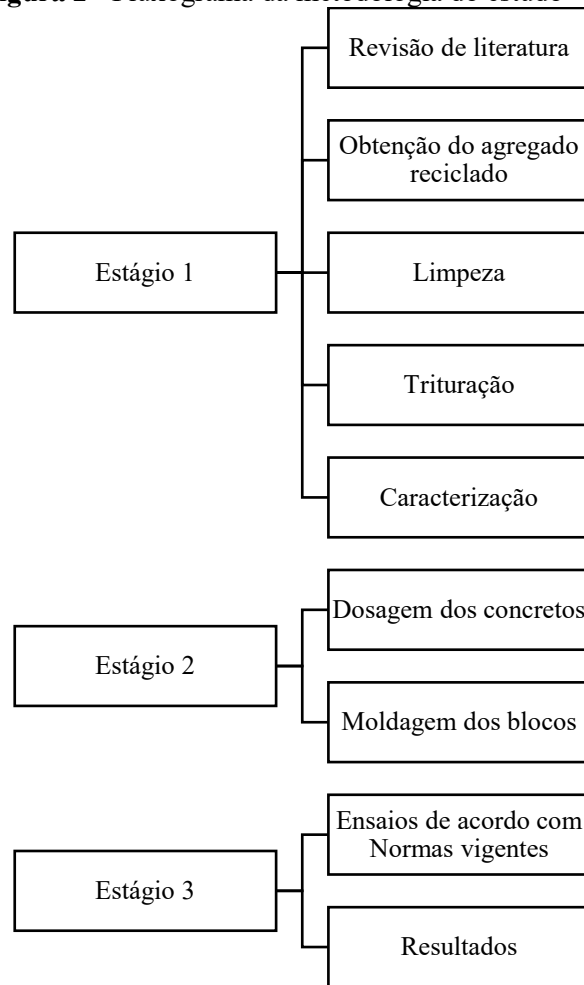
O estudo de Gonçalves (2019) apresenta a composição química do resíduo cerâmico moído, indicando que o mesmo possui um teor de $\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{SiO}_2 + \text{Fe}_2\text{O}_3$ de 97,11 %, atendendo aos limites da NBR 12653 para o uso como material pozolânico (GONÇALVES, 2019).

Ademais, analisando a literatura disponível acerca das características físicas do concreto com agregado reciclado, o estudo de Rodrigues (2019) faz a utilização de resíduos cerâmicos (tijolos) junto ao concreto como agregado miúdo, com a substituição parcial do agregado miúdo por rejeitos de tijolos cerâmicos. Fazendo 5 % da substituição parcial do agregado miúdo por rejeitos de tijolos cerâmicos, foi possível atingir o fator água-cimento de 0,51, no *slamp test* o valor por ele obtido foi de 5,425 cm, uma taxa de absorção de água 3,63 % e no ensaio de resistência à compressão foram atingidos os seguintes valores conforme os dias, aos 7 dias 13,86 MPa, aos 14 dias 16,91 Mpa e aos 28 dias 22,26 Mpa (RODRIGUES, 2019).

3. METODOLOGIA

Neste item são apresentados os procedimentos realizados e materiais utilizados para o desenvolvimento do presente estudo, que foi dividido em três estágios: o estágio 1 abrange desde a revisão de literatura à obtenção do material reciclado de telhas cerâmicas, limpeza, trituração e posterior caracterização; o estágio 2 envolve a dosagem dos concretos em conjunto com a produção dos blocos de concreto; e o estágio 3 trata dos ensaios realizados nos blocos conforme as normas vigentes bem como os resultados obtidos. Os procedimentos do estudo experimental foram realizados majoritariamente no Laboratório de Materiais de Construção Civil (LabMAT) da Faculdade de Engenharia Civil da Universidade Federal de Uberlândia. Na Figura 2 é apresentado o fluxograma com o procedimento de elaboração do estudo de forma resumida, e nos itens posteriores são detalhados os três estágios deste trabalho.

Figura 2 - Fluxograma da metodologia do estudo



Fonte: Autora (2022)

3.1 ESTÁGIO 1

Este tópico apresenta as primeiras etapas para a execução do trabalho, especificadas nos subtópicos a seguir.

3.1.1 Revisão de literatura

A princípio, realizou-se uma revisão de literatura a fim de apresentar e descrever os conceitos que cercam o emprego da utilização de agregados reciclados de construção civil na obtenção de novos produtos e, ainda, na execução de blocos de concreto de vedação. De maneira geral, é de suma importância consultar as normas vigentes e citar trabalhos já publicados de outros autores sobre o tema, o que cria embasamento teórico para o trabalho desenvolvido.

3.1.2 Obtenção do agregado reciclado

A matéria-prima utilizada como agregado neste estudo foi oriunda da doação de telhas cerâmicas sem uso que seriam descartadas no município de Uberlândia/MG.

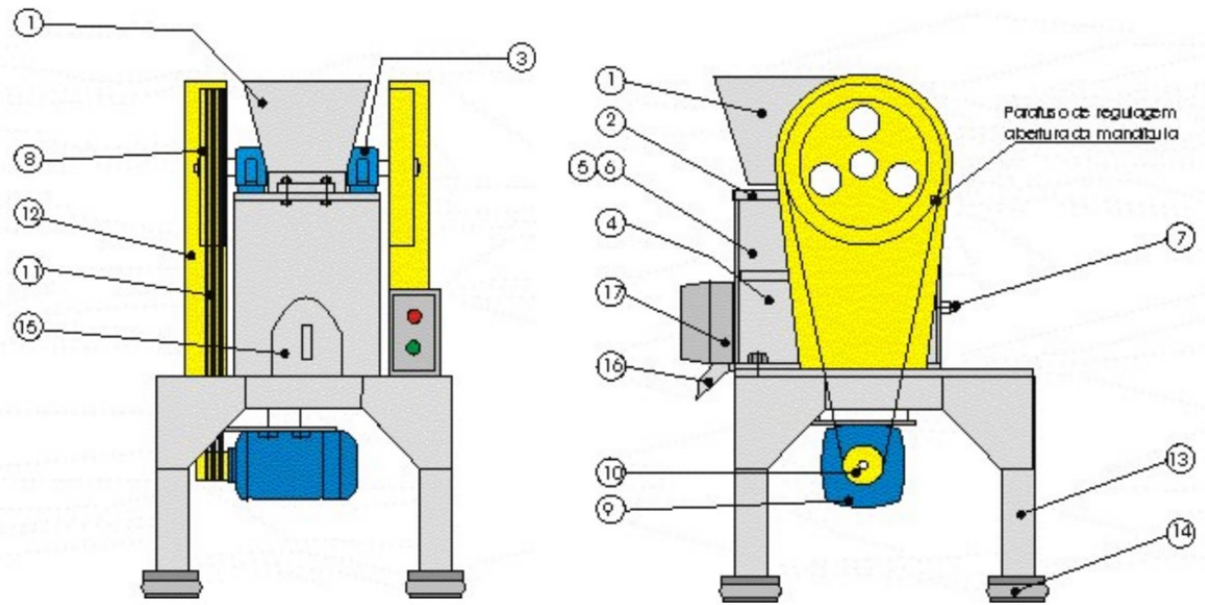
3.1.3 Limpeza

Após o beneficiamento do material, executou-se a limpeza de sujidades superficiais com o uso de uma vassoura. Eram apresentados, principalmente, materiais encrostados como terra e resíduos de concreto. A limpeza de forma superficial deu-se de maneira a facilitar a replicação do método em usos futuros, simulando as condições normais e ferramentas disponíveis em um canteiro de obra.

3.1.4 Trituração

Para a trituração do material, primeiramente, consultou-se os produtores locais de blocos de concreto usados em vedação e pesquisou-se a granulometria indicada para este uso. O LabMAT forneceu o britador de mandíbulas modelo BREAKER FIX – 50, que apresenta esquema conforme Figuras 3 e 4.

Figura 3 - Modelo de britador usado para desenvolvimento do trabalho



Fonte: Manual de instalação, operação e manutenção (ASTECMA, 2011)

Figura 4 - Componentes do britador utilizado

| POS | QUANT. | DENOMINAÇÃO |
|-----|--------|--------------------------|
| 01 | 01 | CAIXA DE ALIMENTAÇÃO |
| 02 | 01 | CARCAÇA |
| 03 | 01 | CONJUNTO MANDÍBULA MÓVEL |
| 04 | 01 | MANDÍBULA FIXA |
| 05 | 01 | CUNHA LATERAL DIREITA |
| 06 | 01 | CUNHA LATERAL ESQUERDA |
| 07 | 01 | CONJUNTO DE REGULAGEM |
| 08 | 01 | POLIA/VOLANTE |
| 09 | 01 | MOTOR |
| 10 | 01 | POLIA |
| 11 | 03 | CORREIA |
| 12 | 02 | PROTETOR |
| 13 | 01 | MESA |
| 14 | 01 | CONJUNTO DE SAPATAS |
| 15 | 01 | GAVETA DE COLETA |
| 16 | 01 | BICA DE DESCARGA |
| 17 | 01 | CHAVE DE PARTIDA |

Fonte: Manual de instalação, operação e manutenção (ASTECMA, 2011)

O material após trituração foi separado em baias para posterior caracterização, conforme Figura 5.

Figura 5 - Telhas cerâmicas após trituração



Fonte: Autora (2022)

3.1.5 Caracterização do agregado

Para o presente trabalho, conforme mencionados nos tópicos anteriores, o agregado escolhido foi o agregado proveniente da britagem de telhas cerâmicas recicladas obtidas em Uberlândia/MG. A dimensão máxima do agregado foi de 4,75 mm, conforme peneira utilizada e apresentada na Figura 6.

Figura 6 - Peneira utilizada na caracterização granulométrica do agregado reciclado



Fonte: Autora (2022)

O agregado britado foi seco em estufa previamente à utilização nos ensaios de caracterização e à produção do concreto. A utilização do agregado reciclado foi feita em substituição parcial do agregado miúdo em proporções de 50 % e 100 % em volume. As substituições foram feitas levando em consideração a distribuição granulométrica do agregado britado, de forma que a substituições fossem feitas proporcionalmente às faixas granulométricas. Dessa forma, a determinação da curva granulométrica do agregado reciclado de telha cerâmica não foi necessária, pois a sua substituição em relação ao agregado miúdo natural foi feita conforme a composição granulométrica do mesmo. Bem como, a granulometria do agregado utilizado na confecção dos Blocos Referência não foi possível ser determinada, uma vez que a empresa não disponibilizou o material para esse fim, previamente à moldagem dos corpos de prova.

3.2 ESTÁGIO 2

3.2.1 Dosagem dos concretos e moldagem dos blocos

Após o procedimento de tritura e separação do agregado, transportou-se o material para a uma fábrica que se dispôs a fazer parceria com o estudo, nela foi feita a dosagem e moldagem dos blocos de concreto. A fábrica localiza-se no município de Uberlândia/MG e produz blocos de concreto para alvenaria estrutural e de vedação, pisos intertravados e peças especiais. O esquema de dosagem do concreto é apresentado na Tabela 1. Foram dosados dois traços de concreto para a execução do estudo. Um traço com substituição de 50 % do agregado miúdo e outro traço com substituição total (100 %).

Tabela 1 - Etapas de dosagem e moldagem de blocos de concreto

Etapa

Procedimento

Imagem

1

O material é colocado na esteira que possui balança de precisão.



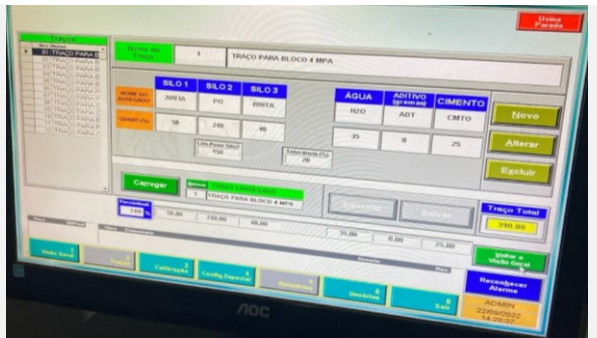
2

O cimento e agregados são lançados na esteira e pesados.



3

O lançamento do material é controlado por programa computacional que define o traço do concreto do bloco a ser moldado



- 4 A adição de água foi controlada com o uso de Becker graduado



- 5 Após a mistura do material, este é transportado por meio de uma esteira até a prensa de moldagem



- 6 Prensa de moldagem dos blocos com utilização de vibro compactação



Fonte: Autora (2022)

Foram moldados 30 blocos com substituição de 50 % e 30 blocos com substituição 100 %, em ambos os traços fez-se a substituição dos agregados naturais (pó de brita) por material triturado de telhas cerâmicas (Figura 7). Manteve-se as mesmas quantidades de cimento e variou-se, além do agregado, a quantidade de água na mistura. Para o traço com 50 % de substituição foi adicionado 35L de água e para o traço com 100 % de substituição 51L de água. A quantidade

de cimento em ambos os traços foi de 25 kg. A Tabela 2 apresenta esses valores de forma resumida.

Tabela 2 - Dosagem dos concretos usados na moldagem dos blocos

| Traço | Areia (kg) | Pó de brita (kg) | Brita 0 (kg) | Cimento (kg) | Água (L) |
|------------------------|------------|------------------|--------------|--------------|----------|
| Traço 1 (50 %) | 25 | 100 | 25 | 25 | 35 |
| Traço 2 (100 %) | 50 | 240 | 40 | 25 | 51 |

Fonte: Autora (2022)

Figura 7 - Blocos após moldagem



Fonte: Autora (2022)

Após a moldagem dos blocos, esses permaneceram em câmara para o processo de cura (Figura 8). Esta etapa se deu ao longo de sete dias consecutivos, até posterior transporte ao laboratório para iniciação dos ensaios.

Figura 8 - Cura dos blocos de concreto



Fonte: Autora (2022)

3.3 ESTÁGIO 3

Neste tópico são apresentados os métodos de ensaio executados com todas as amostras de acordo com o recomendado pelas normas.

3.3.1 Ensaio de acordo com normas vigentes

Como mencionado no Item 2.3.1, duas normas foram utilizadas de forma principal para a avaliação dos blocos de concreto com adição de agregado reciclado de telhas cerâmicas. A ABNT NBR 6136:2016 e a ABNT NBR 12118:2013.

A ABNT NBR 6136:2016 estabelece que os ensaios a serem executados são:

- Análise dimensional, absorção e área líquida, conforme ABNT NBR 12118;
- Resistência à compressão, conforme ABNT NBR 12118;
- Retração linear por secagem, conforme ABNT NBR 12118.

De acordo com a Norma, em cada um dos blocos da amostra representativa, devem ser verificadas as dimensões indicadas, que devem estar dentro das tolerâncias indicadas na Tabela 3.

Tabela 3 - Dimensões nominais de acordo com ABNT NBR 6136:2016

| Familia | | 20 x 40 | 15 x 40 | 15 x 30 | 12,5 x 40 | 12,5 x 25 | 12,5 x 37,5 | 10 x 40 | 10 x 30 | 7,5 x 40 | |
|----------------------|--|------------------|---------|---------|-----------|-----------|-------------|---------|---------|----------|-----|
| Medida Nominal mm | Largura | 190 | 140 | | 115 | | | 90 | | 65 | |
| | Altura | 190 | 190 | 190 | 190 | 190 | 190 | 190 | 190 | 190 | |
| | Comprimento | Inteiro | 390 | 390 | 290 | 390 | 240 | 365 | 390 | 290 | 390 |
| | | Meio | 190 | 190 | 140 | 190 | 115 | - | 190 | 140 | 190 |
| | | 2/3 | - | - | - | - | - | 240 | - | 190 | - |
| | | 1/3 | - | - | - | - | - | 115 | - | 90 | - |
| | | Amarração "L" | - | 340 | - | - | - | - | - | - | - |
| | | Amarração "T" | - | 540 | 440 | - | 365 | - | - | 290 | - |
| | | Compensador A | 90 | 90 | - | 90 | - | - | 90 | - | 90 |
| | | Compensador B | 40 | 40 | - | 40 | - | - | 40 | - | 40 |
| | | Canaleta inteira | 390 | 390 | 290 | 390 | 240 | 365 | 390 | 290 | - |
| | | Meia canaleta | 190 | 190 | 140 | 190 | 115 | - | 190 | 140 | - |
| | NOTA 1 As tolerâncias permitidas nas dimensões dos blocos indicados nesta Tabela são de $\pm 2,0$ mm para a largura e $\pm 3,0$ mm para a altura e para o comprimento. NOTA 2 Os componentes das famílias de blocos de concreto têm sua modulação determinada de acordo com a ABNT NBR 15873. NOTA 3 As dimensões da canaleta <i>J</i> devem ser definidas mediante acordo entre fornecedor e comprador, em função do projeto. | | | | | | | | | | |

Fonte: ABNT NBR 6136 (2016)

Ainda, a espessura das paredes dos blocos deve atender ao disposto na Tabela 4 e a menor dimensão do furo para as classes A e B com $D_{\text{furo}} \geq 70$ mm para blocos de 140 mm e $D_{\text{furo}} \geq 110$ mm para blocos de 190 mm.

Tabela 4 - Designação por classe, largura dos blocos e espessura mínima das paredes dos blocos

| Classe | Largura nominal mm | Paredes longitudinais ^a mm | Paredes transversais | |
|--------|-----------------------|--|----------------------------|--|
| | | | Paredes ^a mm | Espessura equivalente ^b mm/m |
| A | 190 | 32 | 25 | 188 |
| | 140 | 25 | 25 | 188 |
| B | 190 | 32 | 25 | 188 |
| | 140 | 25 | 25 | 188 |
| C | 190 | 18 | 18 | 135 |
| | 140 | 18 | 18 | 135 |

Fonte: ABNT NBR 6136 (2016)

Conforme estabelecido na norma, o ensaio de retração, por ser facultativo, foi descartado para a análise do presente trabalho, tendo em vista a falta da aparelhagem necessária à sua execução.

O tamanho da amostra foi determinado conforme estabelecida na norma, onde não tinha-se conhecimento do desvio-padrão da fábrica (critério estabelecido em 6.5.1 da ABNT NBR 6136:2016), e a quantidade de blocos do lote não ultrapassou 5000 unidades. Logo, para os ensaios foi considerado o destacado na Tabela 5.

Tabela 5 - Tamanho da amostra

| Quantidade de blocos do lote | Quantidade de blocos da amostra | | Quantidade mínima de blocos para ensaio dimensional e resistência à compressão axial | | Quantidade de blocos para ensaios de absorção e área líquida |
|------------------------------|---------------------------------|-------------|--|--------------------------------|--|
| | Prova | Contraprova | Critério estabelecido em 6.5.1 | Critério estabelecido em 6.5.2 | |
| Até 5 000 | 7 ou 9 | 7 ou 9 | 6 | 4 | 3 |
| 5 001 a 10 000 | 8 ou 11 | 8 ou 11 | 8 | 5 | 3 |
| Acima da 10 000 | 9 ou 13 | 9 ou 13 | 10 | 6 | 3 |

Fonte: ABNT NBR 6136 (2016)

3.3.1.1 Análise dimensional

Para este ensaio, fez-se o uso de paquímetro metálico calibrado (Figura 9) com resolução mínima de 0,05 mm e comprimento adequado as dimensões do bloco para a determinação das espessuras das paredes e, ainda, utilizou-se régua metálica (Figura 10) com resolução mínima de 1 mm para medição de comprimento, largura e altura. Para cada dimensão do corpo de prova,

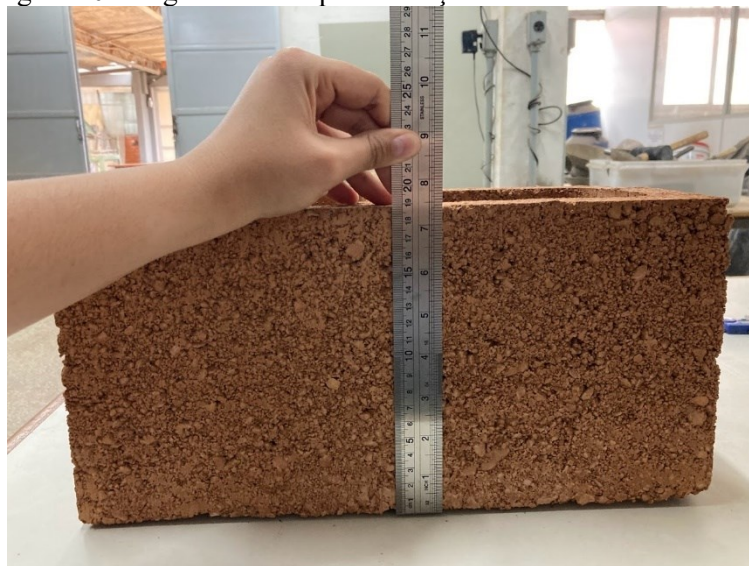
realizou-se três determinações em pontos distintos na face de maior espessura das paredes do bloco, com resolução de 1 mm, com leituras expressas em milímetros.

Figura 9 - Uso de paquímetro metálico para determinação das espessuras das paredes dos blocos



Fonte: Autora (2022)

Figura 10 - Régua metálica para medição de dimensões dos blocos



Fonte: Autora (2022)

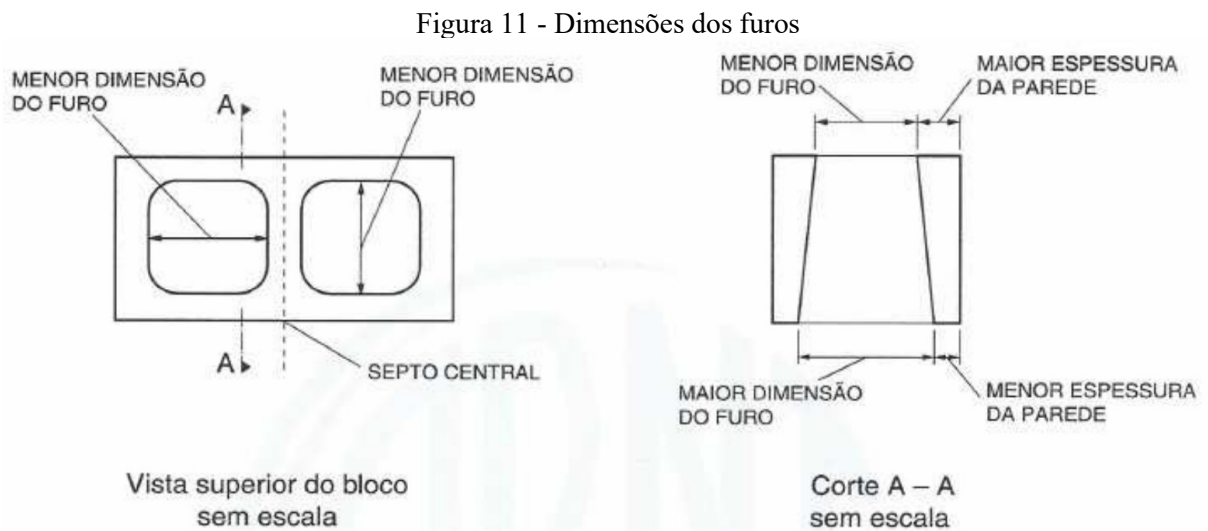
3.3.1.1.1 Espessura mínima das paredes

Realizou-se duas determinações em cada parede longitudinal do bloco e uma determinação em cada parede transversal, tomadas na face de menor espessura da parede (face inferior no momento do assentamento), com aproximação de 1 mm. Sendo a espessura mínima das paredes

a média das medidas das paredes tomadas no ponto mais estreito, separadas em longitudinal e transversal, com leituras expressas em milímetros.

3.3.1.1.2 Dimensões dos furos

Foram realizadas duas determinações no centro aproximado de cada furo do bloco, sendo uma na direção longitudinal do bloco e outra na direção transversal, tomadas na face de maior espessura da parede (face superior no momento do assentamento), com aproximação de 1 mm, conforme Figura 11.



Fonte: ABNT NBR 12118 (2013)

3.3.1.2 Absorção de água e área líquida

Seguindo os requisitos da ABNT NBR 12118:2013, para a determinação da absorção de água, fez-se necessário:

- a) balança com adaptação de dispositivo para pesagem hidrostática, com resolução mínima de 10 g e capacidade mínima 20 000 g;
- b) estufa capaz de manter a temperatura no intervalo de $(110 \pm 5) ^\circ\text{C}$;

A Figura 12 apresenta o uso da balança na execução do ensaio.

Figura 12 - Ensaio de absorção de água em bloco de concreto com uso de balança com adaptação hidrostática



Fonte: Autora (2022)

Na Figura 13 apresenta-se a estufa com termômetro usada para manter a temperatura dos blocos a (110 ± 5) °C para o ensaio de secagem.

Figura 13 - Blocos em estufa para ensaio de secagem



Fonte: Autora (2022)

3.3.1.3 Secagem

O ensaio de secagem foi executado da seguinte maneira, de acordo com as recomendações da ABNT NBR 12118:2013:

- a) levou-se os corpos de prova à estufa, com temperatura de 110 ± 5 °C e os manteve nessa condição por 24 h (Figura 14);
- b) determinou-se a massa do corpo de prova após o período de 24 h, anotando-se o valor encontrado e colocando-os novamente na estufa por no mínimo 2 h, sendo admissível que o corpo de prova permaneça no máximo 10 min fora da estufa durante a medida de sua massa;
- c) repetiu-se a operação descrita até que em duas determinações sucessivas não se registrasse para o corpo de prova a diferença de massa superior a 0,5 % em relação ao valor anterior, anotando-se então a sua massa seca m_1 .

3.3.1.4 Saturação

Para se verificar a saturação, foram tomadas as seguintes providências, de acordo com as recomendações da ABNT NBR 12118:2013:

- a) após os corpos de prova terem sido resfriados naturalmente (em contato com o ar) até a temperatura ambiente, estes foram imersos em água à temperatura de (23 ± 5) °C, mantendo-os assim por 24 h (Figura 14);
- b) pesou-se cada corpo de prova na condição de saturado com superfície seca, que foi obtida drenando o corpo de prova durante 60 segundos, removendo-se a água superficial visível com um pano úmido, e anotou-se a sua massa saturada m_2 .

Figura 14 - Blocos imersos em água para determinação de massa saturada



Fonte: Autora (2022)

3.3.1.5 Determinação da área líquida

Esta determinação pôde ser executada depois que todas as seções paralelas à seção de trabalho foram admitidas iguais e constantes (ABNT NBR 12118:2013).

3.3.1.5.1 Dimensões

O valor de cada dimensão do corpo de prova é o resultado da média de pelo menos três determinações executadas conforme 4.2.1

3.3.1.5.2 Massa aparente

O corpo de prova, após saturado conforme 3.3.1.4, teve sua massa determinada quando imerso em água à temperatura de $(23 \pm 5) ^\circ\text{C}$, por meio de balança hidrostática, sendo o valor encontrado denominado massa aparente m_3 .

3.3.1.6 Resistência à compressão

Ainda de acordo com os requisitos da ABNT NBR 12118:2013, para execução do ensaio de resistência à compressão, fez-se necessária uma prensa que foi disponibilizada pelo LabMAT-UFU, apresentada na Figura 15.

Figura 15 - Prensa usada no ensaio de resistência à compressão



Fonte: Autora (2022)

3.3.1.6.1 Preparo dos corpos de prova

Da amostra usada no trabalho, foram separados os blocos que constituíram os corpos de prova, conforme a ABNT NBR 6136, e ensaiados à compressão secos ao ar, incluindo os blocos da amostra usados na verificação da umidade relativa.

Inicialmente, fez-se a regularização das faces de trabalho dos corpos de prova, exceto os blocos destinados à verificação da umidade relativa, utilizando-se argamassa colocada sobre uma superfície plana (vidro), previamente untada com leve camada de óleo, estando suficientemente rígida e apoiada de modo que se evitasse deformações visíveis durante a operação de capeamento. Comprimiu-se a superfície do corpo de prova a ser capeado de encontro à argamassa, obrigando que as faces laterais do bloco ficassem perpendiculares à referida superfície. Foram capeadas ambas as faces para melhor planicidade. As Figuras 16, 17, 18, 19 e 20 apresentam o passo a passo desse processo.

Figura 16 - Vidros untados usados como apoio para capeamento



Fonte: Autora (2022)

Figura 17 - Pasta de cimento CPV e água usada para execução de capeamento de blocos



Fonte: Autora (2022)

Figura 18 - Capeamento de topo de blocos com uso de argamassa



Fonte: Autora (2022)

Figura 19 - Blocos apoiados em superfície plana para capeamento



Fonte: Autora (2022)

Figura 20 - Bloco com as duas faces capeada



Fonte: Autora (2022)

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 ANÁLISE DIMENSIONAL

Após as medições determinadas conforme o Item 3.3.1.1, obteve-se os resultados das dimensões reais apresentados nas Tabelas 6, 7 e 8 para os Blocos Referência, Tabelas 9, 10 e 11 para os Blocos Traço 1 (50 %) e Tabelas 12, 13 e 14 para os Blocos Traço 2 (100 %).

Tabela 6 - Largura, comprimento e altura - Blocos Referência

| Largura, comprimento e altura - Blocos Referência | | | | | | | | | | | | | | |
|---|---------|--------|--------|---------|------------|---------|--------|--------|--------|------------|---------|--------|--|------------|
| | BLOCO 1 | | | | MÉDIA (mm) | BLOCO 2 | | | | MÉDIA (mm) | BLOCO 3 | | | MÉDIA (mm) |
| | | | | | | | | | | | | | | |
| ALTURA (mm) | 190,00 | 188,00 | 190,00 | 189,33 | 189,00 | 190,00 | 190,00 | 189,67 | 190,00 | 188,00 | 188,00 | 188,67 | | |
| LARGURA (mm) | 190,00 | 190,00 | 188,00 | 189,33 | 190,00 | 190,00 | 189,00 | 189,67 | 190,00 | 188,00 | 190,00 | 189,33 | | |
| COMPRIM. (mm) | 391,00 | 391,00 | 390,00 | 9390,67 | 389,00 | 390,00 | 390,00 | 389,67 | 391,00 | 389,00 | 390,00 | 390,00 | | |

Fonte: Autora (2022)

Tabela 7 - Espessura mínima das paredes - Blocos Referência

| Espessura mínima das paredes (mm) | | | | | | | | | | | | | | | | |
|-----------------------------------|---------|-------|-------|-------|-------|------------|---------|-------|-------|-------|------------|---------|-------|-------|-------|------------|
| | BLOCO 1 | | | | | MÉDIA (mm) | BLOCO 2 | | | | MÉDIA (mm) | BLOCO 3 | | | | MÉDIA (mm) |
| | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Parede longitudinal (2x) | 23,89 | 23,00 | 23,64 | 24,33 | 23,72 | 24,17 | 23,16 | 24,12 | 24,22 | 23,92 | 22,50 | 22,51 | 23,77 | 22,35 | 22,78 | |
| Parede transversal (1x) | 23,64 | 20,28 | 23,11 | | 22,34 | 23,60 | 22,46 | 24,05 | | 23,37 | 22,50 | 22,07 | 23,35 | | 22,64 | |

Fonte: Autora (2022)

Tabela 8 - Dimensões dos furos - Blocos Referência

| | BLOCO 1 | | | BLOCO 2 | | | BLOCO 3 | | |
|----------------------------|---------|--------|------------|---------|--------|------------|---------|--------|------------|
| | Furo 1 | Furo 2 | MÉDIA (mm) | Furo 1 | Furo 2 | MÉDIA (mm) | Furo 1 | Furo 2 | MÉDIA (mm) |
| Direção longitudinal | 15,50 | 15,50 | 15,50 | 15,50 | 15,40 | 15,45 | 15,20 | 15,40 | 15,30 |
| Direção transversal | 13,50 | 13,60 | 13,55 | 13,50 | 13,60 | 13,55 | 13,60 | 13,80 | 13,70 |

Fonte: Autora (2022)

Tabela 9 - Largura, comprimento e altura - Blocos Traço 1 (50 %)

| Largura, comprimento e altura - Blocos Referência | | | | | | | | | | | | | | |
|---|--------------------|--------|--------|--------|------------|---------|--------|--------|--------|------------|---------|--------|--------|------------|
| | BLOCO 1 | | | | MÉDIA (mm) | BLOCO 2 | | | | MÉDIA (mm) | BLOCO 3 | | | MÉDIA (mm) |
| | ALTURA (mm) | 188,00 | 189,00 | 190,00 | 189,00 | 188,00 | 188,00 | 188,00 | 188,00 | 188,00 | 189,00 | 189,00 | 190,00 | 189,33 |
| LARGURA (mm) | 189,00 | 189,00 | 190,00 | 189,33 | 189,00 | 190,00 | 189,00 | 189,33 | 189,33 | 192,00 | 193,00 | 190,00 | 191,67 | |
| COMPRIM. (mm) | 391,00 | 390,00 | 390,00 | 390,33 | 389,00 | 390,00 | 389,00 | 389,33 | 389,33 | 390,00 | 389,00 | 389,00 | 390,00 | |

Fonte: Autora (2022)

Tabela 10 - Espessura mínima das paredes - Blocos Traço 1 (50 %)

| Espessura mínima das paredes (mm) | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|-----------------------------------|---------------------------------|-------|-------|-------|-------|------------|---------|-------|-------|-------|-------|------------|---------|-------|-------|-------|------------|
| | BLOCO 1 | | | | | MÉDIA (mm) | BLOCO 2 | | | | | MÉDIA (mm) | BLOCO 3 | | | | MÉDIA (mm) |
| | Parede longitudinal (2x) | 23,38 | 23,22 | 23,06 | 23,91 | 23,39 | 24,75 | 23,05 | 23,66 | 23,05 | 23,63 | 24,02 | 24,20 | 24,12 | 23,04 | 23,85 | |
| Parede transversal (1x) | 23,23 | 20,51 | 22,90 | | 22,21 | 23,28 | 20,07 | 23,20 | | 22,18 | 23,84 | 22,08 | 23,51 | | 23,14 | | |

Fonte: Autora (2022)

Tabela 11 - Dimensões dos furos - Blocos Traço 1 (50 %)

| | BLOCO 1 | | | BLOCO 2 | | | BLOCO 3 | | |
|-----------------------------|---------|--------|------------|---------|--------|------------|---------|--------|------------|
| | Furo 1 | Furo 2 | MÉDIA (mm) | Furo 1 | Furo 2 | MÉDIA (mm) | Furo 1 | Furo 2 | MÉDIA (mm) |
| Direção longitudinal | 15,50 | 15,60 | 15,55 | 15,30 | 15,60 | 15,45 | 15,40 | 15,60 | 15,50 |
| Direção transversal | 13,60 | 13,50 | 13,55 | 13,60 | 13,60 | 13,60 | 13,60 | 13,50 | 13,55 |

Fonte: Autora (2022)

Tabela 12 - Largura, comprimento e altura - Blocos Traço 2 (100 %)

| Largura, comprimento e altura - Blocos Referência | | | | | | | | | | | | | | |
|---|---------|--------|--------|--------|------------|---------|--------|--------|--------|------------|---------|--------|--|------------|
| | BLOCO 1 | | | | MÉDIA (mm) | BLOCO 2 | | | | MÉDIA (mm) | BLOCO 3 | | | MÉDIA (mm) |
| ALTURA h (mm) | 187,00 | 187,00 | 186,00 | 186,67 | 189,00 | 190,00 | 190,00 | 189,67 | 188,00 | 190,00 | 189,00 | 189,00 | | |
| LARGURA b (mm) | 189,00 | 190,00 | 190,00 | 189,67 | 190,00 | 190,00 | 189,00 | 189,67 | 190,00 | 190,00 | 188,00 | 189,33 | | |
| COMPRIM. l (mm) | 390,00 | 390,00 | 388,00 | 389,33 | 389,00 | 390,00 | 390,00 | 389,67 | 390,00 | 390,00 | 391,00 | 390,33 | | |

Fonte: Autora (2022)

Tabela 13 - Espessura mínima das paredes - Blocos Traço 2 (100 %)

| Espessura mínima das paredes (mm) | | | | | | | | | | | | | | | |
|-----------------------------------|---------|-------|-------|-------|------------|---------|-------|-------|-------|------------|---------|-------|-------|------------|-------|
| | BLOCO 1 | | | | MÉDIA (mm) | BLOCO 2 | | | | MÉDIA (mm) | BLOCO 3 | | | MÉDIA (mm) | |
| Parede longitudinal (2x) | 24,09 | 24,50 | 24,29 | 23,93 | 24,20 | 23,65 | 24,09 | 23,00 | 24,40 | 23,79 | 22,38 | 22,15 | 22,66 | 23,30 | 22,62 |
| Parede transversal (1x) | 23,25 | 23,09 | 23,46 | 23,27 | 24,01 | 23,29 | 23,14 | 23,48 | 23,25 | 22,22 | 22,31 | 22,59 | | | |

Fonte: Autora (2022)

Tabela 14 - Dimensões dos furos - Blocos Traço 2 (100 %)

| | BLOCO 1 | | | BLOCO 2 | | | BLOCO 3 | | |
|-----------------------------|---------|--------|------------|---------|--------|------------|---------|--------|------------|
| | Furo 1 | Furo 2 | MÉDIA (mm) | Furo 1 | Furo 2 | MÉDIA (mm) | Furo 1 | Furo 2 | MÉDIA (mm) |
| Direção longitudinal | 15,50 | 15,30 | 15,40 | 15,50 | 15,70 | 15,60 | 15,20 | 15,30 | 15,25 |
| Direção transversal | 13,60 | 13,60 | 13,60 | 13,60 | 13,60 | 13,60 | 13,60 | 13,80 | 13,70 |

Fonte: Autora (2022)

Dessa forma, a espessura equivalente mínima (e_{eq}), pode-se ser calculada como a soma das espessuras de todas as paredes transversais dos blocos, dividida pelo comprimento real do bloco, conforme Equação (1) a seguir:

$$e_{eq} = \frac{\sum e_{ti}}{L_{real}} \quad (1)$$

Onde

e_{eq} é a espessura equivalente mínima, expressa em milímetros por metro (mm/m);

e_{ti} são as espessuras das paredes transversais do bloco, expressas em milímetros (mm);

L_{real} é o comprimento real do bloco, expresso em metros.

Dessa maneira, tem-se as espessuras equivalentes mínimas apresentadas nas Tabelas 15, 16 e 17 para os Blocos Referência, Traço 1 e Traço 2, respectivamente.

Tabela 15 - Espessura equivalente mínima das paredes (mm) - Blocos Referência

| Espessura equivalente mínima das paredes (mm) - Blocos Referência | | | | | | | | | | | | |
|---|------------------------------|-------|-------|---------------|------------------------------|-------|-------|---------------|------------------------------|-------|-------|---------------|
| | BLOCO 1 | | | SOMA (mm) | BLOCO 2 | | | SOMA (mm) | BLOCO 3 | | | SOMA (mm) |
| Parede transversal (1x) | 23,64 | 20,28 | 23,11 | 67,03 | 23,60 | 22,46 | 24,05 | 70,11 | 22,50 | 22,07 | 23,35 | 67,92 |
| COMPRIMENTO (m) | 0,391 | 0,391 | 0,390 | 0,391 | 0,389 | 0,390 | 0,390 | 0,390 | 0,391 | 0,389 | 0,390 | 0,390 |
| | e_{eq} (mm/m) | | | 171,58 | e_{eq} (mm/m) | | | 179,92 | e_{eq} (mm/m) | | | 174,15 |

Fonte: Autora (2022)

Tabela 16 - Espessura equivalente mínima das paredes (mm) - Blocos Traço 1 (50 %)

| Espessura equivalente mínima das paredes (mm) - Blocos Traço 1 (50 %) | | | | | | | | | | | | |
|---|------------------------------|-------|-------|---------------|------------------------------|-------|-------|---------------|------------------------------|-------|-------|---------------|
| | BLOCO 1 | | | SOMA (mm) | BLOCO 2 | | | SOMA (mm) | BLOCO 3 | | | SOMA (mm) |
| Parede transversal (1x) | 23,23 | 20,51 | 22,90 | 66,64 | 23,28 | 20,07 | 23,20 | 66,55 | 23,84 | 22,08 | 23,51 | 69,43 |
| COMPRIMENTO (m) | 0,391 | 0,390 | 0,390 | 0,390 | 0,389 | 0,390 | 0,389 | 0,389 | 0,390 | 0,389 | 0,389 | 0,389 |
| | e_{eq} (mm/m) | | | 170,73 | e_{eq} (mm/m) | | | 170,93 | e_{eq} (mm/m) | | | 178,33 |

Fonte: Autora (2022)

Tabela 17 - Espessura equivalente mínima das paredes (mm) - Blocos Traço 2 (100 %)

| Espessura equivalente mínima das paredes (mm) - Blocos Traço 2 (100 %) | | | | | | | | | | | | |
|--|------------------------------|-------|-------|---------------|------------------------------|-------|-------|---------------|------------------------------|-------|-------|---------------|
| | BLOCO 1 | | | SOMA (mm) | BLOCO 2 | | | SOMA (mm) | BLOCO 3 | | | SOMA (mm) |
| Parede transversal (1x) | 23,25 | 23,09 | 23,46 | 69,80 | 23,28 | 20,07 | 23,20 | 66,55 | 23,84 | 22,08 | 23,51 | 69,43 |
| COMPRIMENTO (m) | 0,390 | 0,390 | 0,388 | 0,389 | 0,389 | 0,390 | 0,390 | 0,390 | 0,390 | 0,390 | 0,391 | 0,390 |
| | e_{eq} (mm/m) | | | 179,28 | e_{eq} (mm/m) | | | 170,79 | e_{eq} (mm/m) | | | 177,87 |

Fonte: Autora (2022)

A área bruta (A_b) é calculada usando o valor médio das dimensões totais da seção de trabalho do corpo de prova, sem desconto das áreas de furos ou reentrâncias, expressas pela Equação 2:

$$A_b = b \times l \quad (2)$$

Onde

A_b é a área bruta, expressa em milímetros quadrados (mm^2);

l é o comprimento real do corpo de prova, expresso em milímetros (mm).

Assim, a área bruta dos corpos de prova dos Blocos Referência, Traço 1 e Traço 2, respectivamente, são apresentadas nas Tabelas 18, 19 e 20.

Tabela 18 - Área bruta - Blocos Referência

| Área bruta - Blocos Referência | | | | | | | | | | | | |
|------------------------------------|-----------------------|--------|--------|---------------|-----------------------|--------|--------|---------------|-----------------------|--------|--------|---------------|
| | BLOCO 1 | | | MÉDIA (mm) | BLOCO 2 | | | MÉDIA (mm) | BLOCO 3 | | | MÉDIA (mm) |
| LARGURA b (mm) | 190,00 | 190,00 | 188,00 | 189,33 | 190,00 | 190,00 | 189,00 | 189,67 | 190,00 | 188,00 | 190,00 | 189,33 |
| COMPRIMENTO l (mm) | 391,00 | 391,00 | 390,00 | 390,67 | 389,00 | 390,00 | 390,00 | 389,67 | 391,00 | 389,00 | 390,00 | 390,00 |
| Área bruta (mm²) | Ab (mm ²) | | | 73966,22 | Ab (mm ²) | | | 73906,78 | Ab (mm ²) | | | 73840,00 |

Fonte: Autora (2022)

Tabela 19 - Área bruta - Blocos Traço 1 (50 %)

| Área bruta - Blocos Traço 1 (50 %) | | | | | | | | | | | | |
|------------------------------------|-----------------------|--------|--------|---------------|-----------------------|--------|--------|---------------|-----------------------|--------|--------|---------------|
| | BLOCO 1 | | | MÉDIA (mm) | BLOCO 2 | | | MÉDIA (mm) | BLOCO 3 | | | MÉDIA (mm) |
| LARGURA b (mm) | 189,00 | 189,00 | 190,00 | 189,33 | 189,00 | 190,00 | 189,00 | 189,33 | 192,00 | 193,00 | 190,00 | 191,67 |
| COMPRIMENTO l (mm) | 391,00 | 390,00 | 390,00 | 390,33 | 389,00 | 390,00 | 389,00 | 389,33 | 390,00 | 389,00 | 389,00 | 390,00 |
| Área bruta (mm²) | Ab (mm ²) | | | 73903,11 | Ab (mm ²) | | | 73713,78 | Ab (mm ²) | | | 74750,00 |

Fonte: Autora (2022)

Tabela 20 - Área bruta - Blocos Traço 2 (100 %)

| Área bruta - Blocos Traço 2 (100 %) | | | | | | | | | | | | |
|-------------------------------------|-----------------------|--------|--------|---------------|-----------------------|--------|--------|---------------|-----------------------|--------|--------|---------------|
| | BLOCO 1 | | | MÉDIA (mm) | BLOCO 2 | | | MÉDIA (mm) | BLOCO 3 | | | MÉDIA (mm) |
| LARGURA b (mm) | , | 190,00 | 190,00 | 189,67 | 190,00 | 190,00 | 189,00 | 189,67 | 190,00 | 190,00 | 188,00 | 189,33 |
| COMPRIMENTO l (mm) | 390,00 | 390,00 | 388,00 | 389,33 | 389,00 | 390,00 | 390,00 | 389,67 | 390,00 | 390,00 | 391,00 | 390,33 |
| Área bruta (mm²) | Ab (mm ²) | | | 73843,56 | Ab (mm ²) | | | 73906,78 | Ab (mm ²) | | | 73903,11 |

Fonte: Autora (2022)

Ainda, com base nos dados apresentados acima, tem-se que a espessura mínima da parede longitudinal dos blocos (e_l), média das medidas das paredes longitudinais para cada bloco, equivale ao apresentado na Tabela 21.

Tabela 21 - Espessura mínima das paredes longitudinais Blocos Referência, Traço 1 e Traço 2

| | BLOCO 1 | BLOCO 2 | BLOCO 3 |
|---|----------------|----------------|----------------|
| | MÉDIA (mm) | MÉDIA (mm) | MÉDIA (mm) |
| e_l referência | 23,72 | 23,92 | 22,78 |
| | MÉDIA (mm) | MÉDIA (mm) | MÉDIA (mm) |
| e_l Traço 1 (50 %) | 23,39 | 23,63 | 23,85 |
| | MÉDIA (mm) | MÉDIA (mm) | MÉDIA (mm) |
| e_l Traço 2 (100 %) | 24,20 | 23,79 | 22,62 |

Fonte: Autora (2022)

Nesta perspectiva, conforme a ABNT NBR 6136: 2016, tem-se que as dimensões nominais para todas as amostras estão dentro da faixa de tolerância permitida pela norma (conforme Tabela 3). E, a espessura mínima de quaisquer paredes dos blocos atendem à Tabela 2 da ABNT NBR 6136: 2016, sendo para todos os blocos classificação C, em que as espessuras médias equivalentes estão na faixa de 170 a 179 mm.

4.2 ABSORÇÃO DE ÁGUA

O valor da absorção de água de cada corpo de prova é calculado pela Equação 3.

$$a = \frac{m_2 - m_1}{m_1} \times 100 \quad (3)$$

Onde

a é a absorção total, expressa em porcentagem (%);

m_1 é a massa do corpo de prova seco em estufa, expressa em gramas (g);

m_2 é a massa do corpo de prova saturado, expressa em gramas (g).

A Tabela 22 apresenta os valores obtidos em gramas das massas secas dos corpos de prova submetidos ao ensaio descrito no Item 3.3.1.3.

Tabela 22 - Massa seca m_1 obtidas por secagem

| m_1 - Massa seca (g) | | | |
|--|---------|---------|---------|
| | BLOCO 1 | BLOCO 2 | BLOCO 3 |
| Blocos Referência | 12250 | 11900 | 11550 |
| Blocos 50 % | 9700 | 9650 | 9800 |
| Blocos 100 % | 8400 | 8300 | 8300 |

Fonte: Autora (2022)

Após submetidos ao ensaio descrito em 3.3.1.4, obteve-se os valores apresentados na Tabela 23, abaixo.

Tabela 23 - Massa saturada m_2 obtida por saturação

| m_2 - Massa saturada (g) | | | |
|--|---------|---------|---------|
| | BLOCO 1 | BLOCO 2 | BLOCO 3 |
| Blocos Referência | 13200 | 12900 | 12750 |
| Blocos 50 % | 11250 | 11200 | 11350 |
| Blocos 100 % | 10300 | 10200 | 10250 |

Fonte: Autora (2022)

Assim, utilizando a Equação 3, a absorção total para cada corpo de prova na idade de 7 dias corresponde ao apresentado na Tabela 24.

Tabela 24 - Absorção total dos corpos de prova

| a - Absorção total | | | | |
|---------------------------|---------|---------|---------|-------|
| | BLOCO 1 | BLOCO 2 | BLOCO 3 | Média |
| Blocos Referência | 8% | 8% | 10% | 9% |
| Blocos 50 % | 16% | 16% | 16% | 16% |
| Blocos 100 % | 23% | 23% | 23% | 23% |

Fonte: Autora (2022)

De acordo com os requisitos apresentados na Tabela 3 da ABNT NBR 6136: 2016, onde os blocos classificam-se como sendo sem função estrutural, apenas de vedação, Classe C, com adição de agregado leve, a porcentagem individual de absorção mínima exigida deve ser igual ou superior a 16 %. Sendo assim, os blocos com substituição de 50 % (Traço 1) bem como os blocos com substituição 100 % (Traço 2) atendem a este requisito, enquanto os Blocos Referência não corresponderam a este critério na idade de 7 dias.

4.3 ÁREA LÍQUIDA

Após submetidos ao ensaio descrito em 3.3.1.5, obteve-se os resultados de massa aparente para os blocos, descritos na Tabela 25.

Tabela 25 - Massa aparente dos blocos submetidos ao ensaio de determinação de área líquida

| | m₃ – Massa aparente (g) | | |
|--------------------------|---|---------|---------|
| | BLOCO 1 | BLOCO 2 | BLOCO 3 |
| Blocos Referência | 7154 | 7334 | 7154 |
| Blocos 50 % | 5824 | 5699 | 5765 |
| Blocos 100 % | 4815 | 4856 | 4905 |

Fonte: Autora (2022)

Assim, a área líquida é definida por meio da Equação 4, descrita abaixo.

$$A_{liq} = \frac{m_2 - m_3}{h \times \gamma} \times 1000 \quad (4)$$

Onde

A_{liq} é a área líquida de cada corpo de prova, em milímetros quadrados (mm²);

m_2 é a massa do corpo de prova saturado, expressa em gramas (g);

m_3 é a massa aparente do corpo de prova, expressa em gramas (g);

h é a altura média do corpo de prova, medida na direção perpendicular à seção de trabalho, determinada conforme Item 3.3.1.1, expressa em milímetros (mm);

γ é a massa específica da água utilizada no ensaio, expressa em gramas por centímetro cúbico (g/cm³).

Dessa forma, obteve-se os resultados apresentados na Tabela 26.

Tabela 26 - Área líquida dos corpos de prova ensaiados à 7 dias

| | A_{liq} - Área líquida (mm²) | | | | | |
|--------------------------|--|---------|---------|--------------|---------------------------|---|
| | BLOCO 1 | BLOCO 2 | BLOCO 3 | h Média (mm) | gama (g/cm ³) | Média A_{liq} (mm²) |
| Blocos Referência | 31,95 | 29,42 | 29,57 | 189 | 1,00 | 30,31 |
| Blocos 50 % | 28,74 | 29,14 | 29,59 | 189 | 1,00 | 29,16 |
| Blocos 100 % | 29,11 | 28,36 | 28,36 | 188 | 1,00 | 28,61 |

Fonte: Autora (2022)

Tabela 27 - Dimensões reais das seções de trabalho - Blocos referência 14 dias

| Largura, comprimento e altura - Blocos Referência – Idade 14 dias | | | | | | | | | | | | | | |
|---|----------------|--------|--------|--------|-------------------|----------------|--------|--------|--------|-------------------|----------------|--------|--------|-------------------|
| | BLOCO 1 | | | | MÉDIA (mm) | BLOCO 2 | | | | MÉDIA (mm) | BLOCO 3 | | | MÉDIA (mm) |
| ALTURA (mm) | 193,00 | 193,00 | 193,00 | 193,00 | 193,00 | 194,00 | 193,00 | 192,00 | 193,00 | 193,00 | 192,00 | 190,00 | 191,00 | 191,00 |
| LARGURA (mm) | 190,00 | 190,00 | 190,00 | 190,00 | 190,00 | 190,00 | 190,00 | 190,00 | 190,00 | 190,00 | 192,00 | 194,00 | 193,00 | 193,00 |
| COMPRIM. (mm) | 390,00 | 390,00 | 390,00 | 390,00 | 390,00 | 390,00 | 390,00 | 390,00 | 390,00 | 390,00 | 389,00 | 390,00 | 389,00 | 389,33 |

Fonte: Autora (2022)

Tabela 28 - Dimensões reais das seções de trabalho - Blocos Traço 1 (50 %) 14 dias

| Largura, comprimento e altura - Blocos Traço 1 (50 %) – Idade 14 dias | | | | | | | | | | | | | | |
|---|----------------|--------|--------|--------|-------------------|----------------|--------|--------|--------|-------------------|----------------|--------|--------|-------------------|
| | BLOCO 1 | | | | MÉDIA (mm) | BLOCO 2 | | | | MÉDIA (mm) | BLOCO 3 | | | MÉDIA (mm) |
| ALTURA (mm) | 194,00 | 194,00 | 196,00 | 194,67 | 194,67 | 194,00 | 194,00 | 194,00 | 194,00 | 194,00 | 190,00 | 190,00 | 190,00 | 190,00 |
| LARGURA (mm) | 190,00 | 190,00 | 190,00 | 190,00 | 190,00 | 191,00 | 191,00 | 192,00 | 191,33 | 191,33 | 193,00 | 194,00 | 192,00 | 193,00 |
| COMPRIM. (mm) | 390,00 | 389,00 | 392,00 | 390,33 | 390,33 | 390,00 | 390,00 | 390,00 | 390,00 | 390,00 | 390,00 | 390,00 | 390,00 | 390,00 |

Fonte: Autora (2022)

Tabela 29 - Dimensões reais das seções de trabalho - Blocos Traço 2 (100 %) 14 dias

| Largura, comprimento e altura - Blocos Traço 2 (100 %) – Idade 14 dias | | | | | | | | | | | | | | |
|--|----------------|--------|--------|--------|-------------------|----------------|--------|--------|--------|-------------------|----------------|--------|--------|-------------------|
| | BLOCO 1 | | | | MÉDIA (mm) | BLOCO 2 | | | | MÉDIA (mm) | BLOCO 3 | | | MÉDIA (mm) |
| ALTURA (mm) | 195,00 | 194,00 | 195,00 | 194,67 | 194,67 | 196,00 | 193,00 | 195,00 | 194,67 | 194,67 | 190,00 | 190,00 | 192,00 | 190,67 |
| LARGURA (mm) | 190,00 | 190,00 | 190,00 | 190,00 | 190,00 | 190,00 | 190,00 | 190,00 | 190,00 | 190,00 | 190,00 | 190,00 | 189,00 | 189,67 |
| COMPRIM. (mm) | 391,00 | 392,00 | 390,00 | 391,00 | 391,00 | 390,00 | 390,00 | 390,00 | 390,00 | 390,00 | 390,00 | 390,00 | 391,00 | 390,33 |

Fonte Autora (2022)

Tabela 30 - Dimensões reais das seções de trabalho - Blocos referência 28 dias

| Largura, comprimento e altura - Blocos Referência – Idade 28 dias | | | | | | | | | | | | | | |
|---|----------------|--------|--------|--------|-------------------|----------------|--------|--------|--------|-------------------|----------------|--------|--------|-------------------|
| | BLOCO 1 | | | | MÉDIA (mm) | BLOCO 2 | | | | MÉDIA (mm) | BLOCO 3 | | | MÉDIA (mm) |
| ALTURA (mm) | 192,00 | 192,00 | 190,00 | 191,33 | | 194,00 | 194,00 | 195,00 | 194,33 | | 192,00 | 192,00 | 191,00 | 191,67 |
| LARGURA (mm) | 190,00 | 190,00 | 190,00 | 190,00 | | 189,00 | 189,00 | 190,00 | 189,33 | | 189,00 | 189,00 | 190,00 | 189,33 |
| COMPRIM. (mm) | 389,00 | 390,00 | 392,00 | 390,33 | | 390,00 | 389,00 | 391,00 | 390,00 | | 390,00 | 390,00 | 390,00 | 390,00 |

Fonte: Autora (2022)

Tabela 31- Dimensões reais das seções de trabalho - Blocos Traço 1 (50 %) 28 dias

| Largura, comprimento e altura - Blocos Traço 1 (50 %) – Idade 28 dias | | | | | | | | | | | | | | |
|---|----------------|--------|--------|--------|-------------------|----------------|--------|--------|--------|-------------------|----------------|--------|--------|-------------------|
| | BLOCO 1 | | | | MÉDIA (mm) | BLOCO 2 | | | | MÉDIA (mm) | BLOCO 3 | | | MÉDIA (mm) |
| ALTURA (mm) | 193,00 | 194,00 | 195,00 | 194,00 | | 190,00 | 192,00 | 191,00 | 191,00 | | 191,00 | 193,00 | 191,00 | 191,67 |
| LARGURA (mm) | 190,00 | 190,00 | 191,00 | 190,33 | | 189,00 | 189,00 | 189,00 | 189,00 | | 190,00 | 191,00 | 191,00 | 190,67 |
| COMPRIM. (mm) | 390,00 | 390,00 | 389,00 | 389,67 | | 390,00 | 390,00 | 390,00 | 390,00 | | 391,00 | 394,00 | 392,00 | 392,33 |

Fonte: Autora (2022)

Tabela 32- Dimensões reais das seções de trabalho - Blocos Traço 2 (100 %) 28 dias

| Largura, comprimento e altura - Blocos Traço 2 (100 %) – Idade 28 dias | | | | | | | | | | | | | | |
|--|----------------|--------|--------|--------|-------------------|----------------|--------|--------|--------|-------------------|----------------|--------|--------|-------------------|
| | BLOCO 1 | | | | MÉDIA (mm) | BLOCO 2 | | | | MÉDIA (mm) | BLOCO 3 | | | MÉDIA (mm) |
| ALTURA (mm) | 190,00 | 191,00 | 192,00 | 191,00 | | 191,00 | 191,00 | 191,00 | 191,00 | | 190,00 | 190,00 | 190,00 | 190,00 |
| LARGURA (mm) | 189,00 | 190,00 | 191,00 | 190,00 | | 190,00 | 190,00 | 189,00 | 189,67 | | 189,00 | 189,00 | 190,00 | 189,33 |
| COMPRIM. (mm) | 390,00 | 389,00 | 390,00 | 389,67 | | 390,00 | 389,00 | 393,00 | 390,67 | | 389,00 | 389,00 | 390,00 | 389,33 |

Fonte: Autora (2022)

4.4.1 Valor estimado de resistência característica à compressão dos blocos ($f_{bk,est}$)

Como o desvio-padrão da fábrica não é conhecido, estimou-se a resistência característica à compressão por meio da Equação 5.

$$f_{bk,est} = 2 \left[\frac{f_{b(1)} + f_{b(2)} + \dots + f_{b(i-1)}}{i-1} \right] - f_{bi} \quad (5)$$

Sendo

$i = n/2$, como n é par, $i = 6/2$, $i = 3$;

Onde

$f_{bk,est}$ é a resistência característica estimada da amostra, expressa em megapascals;

$f_{b(1)}, f_{b(2)}, \dots, f_{bi}$ são os valores de resistência à compressão individuais dos corpos de prova da amostra, ordenados crescentemente;

n é igual à quantidade de blocos da amostra, correspondente a 6.

Neste sentido, os valores de resistência características para cada amostra apresentam-se na Tabela 33 e 34, para as idades de 14 e 28 dias, respectivamente.

Tabela 33 - Valores de resistência características para cada amostra para a idade de 14 dias

| Ensaio resistência à compressão 14 dias | | | | | | |
|--|----------------|----------------|----------------|--------------------|-----------------------------|--------------------|
| | f_{b1} (Mpa) | f_{b2} (Mpa) | f_{b3} (Mpa) | $f_{bk,est}$ (Mpa) | $\Psi \cdot f_{b(1)}$ (Mpa) | $f_{bk,est}$ (Mpa) |
| Blocos Referência | 3,78 | 4,16 | 4,2 | 3,74 | 3,36 | 3,74 |
| Blocos 50 % | 2,2 | 2,29 | 2,79 | 1,70 | 1,96 | 1,96 |
| Blocos 100 % | 1,29 | 1,53 | 2,44 | 0,38 | 1,15 | 1,15 |

Fonte: Autora (2022)

Tabela 34 - Valores de resistência características para cada amostra para a idade de 28 dias

| Ensaio resistência à compressão 28 dias | | | | | | |
|--|----------------|----------------|----------------|--------------------|-----------------------------|--------------------|
| | f_{b1} (Mpa) | f_{b2} (Mpa) | f_{b3} (Mpa) | $f_{bk,est}$ (Mpa) | $\Psi \cdot f_{b(1)}$ (Mpa) | $f_{bk,est}$ (Mpa) |
| Blocos Referência | 3,05 | 3,39 | 4,03 | 2,41 | 2,71 | 2,71 |
| Blocos 50 % | 1,27 | 1,92 | 2,7 | 0,49 | 1,13 | 1,13 |
| Blocos 100 % | 1,38 | 1,53 | 1,6 | 1,31 | 1,23 | 1,31 |

Fonte: Autora (2022)

Logo, de acordo com os resultados encontrados de resistência à compressão e verificando-se os requisitos de aceitabilidade das amostras, presentes na Tabela 3 da ABNT NBR 6136:2016, no que diz respeito à Resistência característica à compressão axial obtida aos 28 dias para blocos

sem função estrutural (classe C), onde F_{bk} deve ser superior ou igual a 3,0 Mpa, os resultados para ambos os Traços, com substituição de 50 % e 100 % do agregado não foram satisfatórios neste quesito, não atingindo o valor desejado.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

No que diz respeito à geração de resíduos de construção civil, no município de Uberlândia, estima-se a geração de aproximadamente 2 kg/hab.ano. Quando calculado para os dias atuais, desconsiderando o crescimento do setor, estimando para uma população de 691.305 pessoas (IBGE, 2021), este valor pode corresponder a aproximadamente cerca de 1.382,6 toneladas de entulho gerados por ano. Quando se avalia em escala federal ou até mesmo global, os dados são ainda mais preocupantes. Neste sentido, apresentar alternativas que venham a dar destinação adequada e reaproveitamento da grande quantidade de material gerado é de extrema importância para a sustentabilidade ambiental e economia local.

Concomitante a isso, o presente trabalho buscou apresentar o estudo acerca da substituição de agregados reciclados na incorporação de um produto bastante utilizado no setor da construção. Os blocos de concreto para vedação apresentam-se como alternativa viável na execução de alvenarias. A utilização deste produto aliado à utilização de produto reciclado de telha cerâmica mostrou-se satisfatório nos requisitos normativos vigentes quanto à aparência, peso próprio, absorção de água e área líquida. Em contrapartida, devido à impossibilidade de ser executada a análise granulométrica dos agregados utilizados no Traço Referência, por serem disponibilizadas apenas pequenas amostras para simples comparações, não foi possível avaliar o teor de vazios e finos presentes nas amostras, podendo estas terem influência significativa nos resultados encontrados.

De acordo com os requisitos apresentados na ABNT NBR 6136: 2016, a porcentagem individual de absorção de água mínima exigida para blocos de vedação não estruturais deve ser igual ou superior a 16 %. De acordo com os requisitos apresentados na ABNT NBR 6136: 2016, a porcentagem individual de absorção mínima exigida deve ser igual ou superior a 16 %. Sendo assim, os blocos com substituição de 50 % (Traço 1) bem como os blocos com substituição 100 % (Traço 2) atendem a este requisito, enquanto os Blocos Referência não corresponderam a este critério na idade de 7 dias. Este é um fator importante na aderência e está diretamente relacionada à impermeabilidade do produto, facilitando a aplicação do chapisco ou reboco na

sua superfície. Ainda seguindo os requisitos normativos, as dimensões nominais, bem como espessuras mínimas, para todas as amostras apresentaram dentro da faixa de tolerância permitida. Apenas o critério de resistência característica de compressão axial não se deu como satisfatório. Este fato pode ser justificado pela não adequação do consumo de cimento, tendo em vista a adição de finos na composição do concreto. Em trabalhos futuros, pode-se analisar, além da substituição do agregado por material reciclado, a variação do consumo de cimento e diminuição do teor de água presente na dosagem dos traços. Aumentando-se o consumo de cimento e reduzindo o teor de água, tem-se como resultado o aumento da resistência à compressão, por ser fatores inversamente proporcionais.

Nesta perspectiva, diante de todos os aspectos mencionados, o presente trabalho pôde alcançar o objetivo principal de avaliar a incorporação de agregado reciclado de telha cerâmica nas propriedades físico-mecânicas dos blocos de concreto usados para vedação. Desenvolvendo um trabalho teórico-experimental que poderá fornecer subsídios futuros para o avanço do conhecimento sobre a utilização dos agregados reciclados de telhas cerâmicas na produção de blocos de concreto para vedação, visto que são mínimas ou pequenas referências encontradas que tratam desta avaliação. Ainda, o presente trabalho poderá auxiliar na análise e estudo da influência do teor de substituição de agregado reciclado de telha cerâmica na resistência à compressão dos blocos de concreto, bem como na caracterização de suas propriedades físico-mecânicas, verificando o cumprimento incondicional às normas técnicas vigentes.

6 REFERÊNCIAS

_____. **NBR 15116:** Agregados reciclados de resíduos sólidos da construção civil - Utilização em pavimentação e preparo de concreto sem função estrutural – Requisitos. Rio de Janeiro, 2004.

_____. **NBR 6136:** Blocos vazados de concreto simples para alvenaria — Requisitos. Rio de Janeiro, 2016.

_____. **NBR 7184:** Blocos vazados de concreto simples para alvenaria - Determinação da resistência à compressão. Rio de Janeiro, 1992.

ANDRADE, Izaac Oliveira. **Proposta de implementação de um planejamento estratégico: um estudo de caso aplicado em uma indústria de produção de cerâmica vermelha localizada na cidade de Russas-CE.** Universidade Federal do Ceará. Russas, 2022. Disponível em: <https://repositorio.ufc.br/bitstream/riufc/67450/1/2022_tcc_ioandrade.pdf>. Acesso em 18 de novembro de 2022.

ÂNGULO, S. C. **Produção de concretos com agregados reciclados**. Londrina, 1998. 86p. Trabalho de Conclusão de Curso (Engenharia Civil) – Departamento de Construção Civil, Universidade Estadual de Londrina.

ANICER - Associação Nacional da Indústria Cerâmica. **Relatório anual: 2015**. 2015. 38p. Disponível em: <https://www.anicer.com.br/wpcontent/uploads/2016/11/relatorio_2015.pdf>. Acesso em: 30 mar. 2020.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 12118: Blocos vazados de concreto simples para alvenaria — Métodos de ensaio**. Rio de Janeiro, 2014.

BARROS, C. **Edificações - Técnicas construtivas – Alvenarias**. IFAM Sul Rio Grandense, 2009. Disponível em: <<https://edificacoes.files.wordpress.com/2009/12/5-mat-alvenaria.pdf>>. Acesso em: 03 dez. 2020.

BASTOS, I. A. *et al.* **Fabricação de blocos de concreto para vedação com o uso de agregados reciclados em canteiro de obras**. Revista Científica Faesa, Vitória, ES, v. 12, n. 1, p. 52-58, 2016.

CARRIJO, P. M. **Análise da influência da massa específica de agregados graúdos provenientes de resíduos de construção e demolição no desempenho mecânico do concreto**. 2005. 128f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil)-Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. São Paulo, 2005.

CUNHA, R. R., JESUS, L. F. O.; TELES, R. C. Principais aplicações de resíduos de construção e demolição (RCD) visando a redução e o reaproveitamento. **Revista Concreto & Construções**. São Paulo: IBRACON, 2009. n.54. p.64-68.

DIAS, J. F.; TOFOLLI, S. M.; AGOPYAN, V. Absorção de telhas de cerâmica vermelha. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CERÂMICA, 48., 2004, Curitiba. **Anais...** São Paulo: ABC, 2004. ref.5-64. 10p.

EMIC. Disponível em: <<https://www.emic.com.br/>>. Acesso em: 22 de dezembro de 2022.

FONSECA, A, P. **Estudo comparativo de concretos com agregado graúdo reciclado de telha cerâmica e agregado natural**. 2006. 200f. Dissertação de mestrado - Faculdade de Engenharia Civil, Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2006.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatísticas. **Cidades e Estados**: Uberlândia, 2021. Disponível em: <<https://www.ibge.gov.br/cidades-e-estados/mg/uberlandia.html>>. Acesso em: 02 mar. 2021.

INSTITUTO NACIONAL DE METROLOGIA, QUALIDADE E TECNOLOGIA - INMETRO. **Blocos de concreto para alvenaria sem função estrutural**. Rio de Janeiro: INMETRO, 2002. Disponível em: <<http://www.inmetro.gov.br/consumidor/produtos/blocoConcreto.asp>>. Acesso em: 30 mar. 2020.

L. L. BRASILEIRO, J. M. E. MATOS. **Revisão bibliográfica: reutilização de resíduos da construção e demolição na indústria da construção civil**. Disponível em: <<https://www.scielo.br/j/ce/a/8v5cGYtby3Xm3Snd6NjNdtQ/?format=pdf&lang=pt>>. Acesso em 2 set. 2021.

LEITE, M. B. **Avaliação das propriedades mecânicas de concretos produzidos com agregados reciclados de resíduos de construção e demolição**. 290p. Tese (Doutorado em Engenharia). Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, UFRGS, Porto Alegre.

LEVY, S. M. **Contribuição ao estudo da durabilidade de concretos produzidos com resíduos de concreto e alvenaria.** 2002. 194p. Tese (Doutorado) - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo. São Paulo, 2002.

MOHAMAD, G.; SANTOS, J. C. P.; SANTOS, J. L. P.; HAAS, A.; KOTHE, K. K. **Introdução à alvenaria estrutural.** In: Mohamad, G. (org.). **Construções em alvenaria estrutural: materiais, projetos e desempenho.** 2. ed. São Paulo: Blucher, 2020. p.13-52

NAGALLI, A. **Gerenciamento de Resíduos Sólidos na Construção Civil.** São Paulo: Oficina de Textos, 2014. 176p.

PAIXÃO, Suelen de Oliveira. **Estudo do uso de resíduo cerâmico de obras como agregado miúdo para a fabricação de argamassas para revestimento de alvenarias.** Projeto de Graduação apresentado ao Curso de Engenharia Civil da Escola Politécnica, Universidade Federal do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, 2019. Acesso em: fev. 2021.

PARSEKIAN, G. A. **Parâmetros de Projeto de Alvenaria Estrutural com Blocos de Concreto.** São Carlos: ABCP – UFSCar, 2012. Disponível em: Acesso em: 03 dez. 2020.

PETRUCCI, E. G. R. **Concreto de cimento portland.** 12ed. São Paulo, 1998.

PINTO, T. P. **Metodologia para a gestão diferenciada de resíduos sólidos da construção urbana.** 1999. 186p. Tese (Doutorado) - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo. São Paulo, 1999.

RODRIGUES, Alex Lopes. **Aproveitamento do RCD (resíduos de tijolo cerâmico) para fabricação de artefatos de concreto.** Revista Científica Multidisciplinar Núcleo do Conhecimento. Ano 04, Ed. 05, Vol. 01, pp. 137-156 Maio de 2019. ISSN: 2448-0959

SALVADOR FILHO, J.A.A. **Blocos de concreto para alvenaria em construções Industrializadas.** Tese de Doutorado em Engenharia de Estruturas. Escola de Engenharia de São Carlos. Universidade de São Paulo. São Carlos, 2007. Disponível em: Acesso em: 03 dez. 2020.

SANTOS, G. M. **Estudo do comportamento térmico de um forno túnel aplicado à indústria de cerâmica vermelha.** 2001. 135p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2001.

SILVA, Danillo Almeida; DE MELO, Carlos Eduardo Luna. **Utilização de material cerâmico proveniente do RCD para aplicação em concreto: uma revisão.** Revista de pesquisa em arquitetura e urbanismo. Risco, 2021. Disponível em: <www.iau-usp.br>. Acesso em 20 ago. 2021.

SILVA, R.B. **Síntese e caracterização de um aglomerante hidráulico a partir de resíduo de telha cerâmica vermelha.** 2015. 75f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Civil) – Universidade Federal do Mato Grosso, Barra do Garças, 2015.

WADA, Patrycia Hanna. **Estudo da Incorporação de Resíduos de Cerâmica Vermelha na Composição de Concreto para Uso em Estacas Moldadas *In Loco*.** Dissertação de mestrado – Universidade Estadual Paulista. Ilha Solteira, 2010. Acesso em: 10 set. 2021.