

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL  
ESCOLA DE ENGENHARIA  
CURSO DE ENGENHARIA CIVIL**

**Gabriel Schaan Chiele**

**AVALIAÇÃO DE DESEMPENHO DE SISTEMA DE VEDAÇÃO  
VERTICAL DE BLOCOS DE CONCRETO DE RCD**

Porto Alegre  
Outubro de 2022

**GABRIEL SCHAAAN CHIELE**

**AVALIAÇÃO DE DESEMPENHO DE SISTEMA DE  
VEDAÇÃO VERTICAL DE BLOCOS DE CONCRETO DE  
RCD**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à Comissão de  
Graduação do Curso de Engenharia Civil da Escola de Engenharia  
da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, como parte dos  
requisitos para obtenção do título de Engenheiro Civil

**Orientadores: Luiz Carlos Pinto da Silva Filho e  
Luciani Somensi Lorenzi**

Porto Alegre  
Outubro de 2022

**GABRIEL SCHAAN CHIELE**

**AVALIAÇÃO DE DESEMPENHO DE SISTEMA DE  
VEDAÇÃO VERTICAL DE BLOCOS DE CONCRETO DE  
RCD**

Este Trabalho de Diplomação foi julgado adequado como pré-requisito para a obtenção do título de ENGENHEIRO CIVIL e aprovado em sua forma final pela Banca Examinadora, pelo/a Professor/a Orientador/a e pela Comissão de Graduação do Curso de Engenharia Civil da Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

Porto Alegre, outubro de 2022

**BANCA EXAMINADORA**

**Prof. Luiz Carlos Pinto da Silva Filho (UFRGS)**  
PhD. Pela University of Leeds / UK  
Orientador

**Prof<sup>a</sup> Luciani Somensi Lorenzi (UFRGS)**  
Dra. pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul  
Orientadora

**Prof. Lucas Alexandre Reginato (UFRGS)**  
Dr. pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul

**Prof. Jean Marie Desir (UFRJ)**  
Dr. pela Universidade Federal do Rio de Janeiro

**Carolina Dal Agnol Dalazen (UFRGS)**  
Me. pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço aos meus pais César e Beatriz que me deram todo suporte e meios de estudar ao longo destes anos. Estiveram sempre junto a mim e serei eternamente grato por isso.

Agradeço a minha namorada Júlia por todos os momentos juntos ao longo dos últimos anos que tornaram as semanas mais felizes e alegres.

Agradeço ao Prof. Luiz Carlos pelo incentivo à pesquisa científica desde 2018, me apresentando oportunidades inovadoras e me proporcionando grandes experiências acadêmicas.

Agradeço a Prof<sup>a</sup> Luciani Lorenzi por toda a orientação para a realização dos ensaios técnicos do presente trabalho.

Agradeço a toda equipe técnica do LEME por todo auxílio durante a execução dos ensaios deste trabalho, em especial ao seu Edgar, que foi sempre solícito e atencioso às demandas que lhe foram apresentadas.

Agradeço a toda equipe da CTSA, pois sem eles nada disso teria sido possível. É uma satisfação enorme poder trabalhar com uma causa de tamanha relevância no meio da engenharia.

# **AVALIAÇÃO DE DESEMPENHO DE SISTEMA DE VEDAÇÃO VERTICAL DE BLOCOS DE CONCRETO DE RCD**

## **PERFORMANCE EVALUATION OF VERTICAL SEALING SYSTEM OF RECYCLED CONCRETE BLOCKS**

### **RESUMO**

O mercado da construção civil extrai altos índices de recursos naturais, causando impactos ambientais severos. Com o intuito de mitigar estes efeitos, a reciclagem é uma alternativa para a execução de construções mais sustentáveis. Na UFRGS, desde o ano de 2012, há pesquisas que visam o desenvolvimento de blocos de concreto a partir do aproveitamento de Resíduos de Construção e Demolição (RCD). Os blocos fabricados com RCD são certificados nos requisitos da ABNT NBR 6136 (2016). De forma a dar continuidade a essa pesquisa, o artigo apresenta resultados de desempenho do Sistema de Vedação Vertical Interno e Externo (SVVIE) composto pelos blocos de RCD. Para tanto, adotou-se como metodologia experimental a realização de ensaios para atendimento dos requisitos de segurança estrutural, habitabilidade e sustentabilidade. Portanto, realizou-se os ensaios de impacto de corpo mole e corpo duro, solicitação de peças suspensas com o objetivo de avaliar requisitos estruturais. No tocante a habitabilidade, realizou-se os ensaios de estanqueidade à água e desempenho térmico. Realizou-se, também, o ensaio de choque térmico para avaliar critérios de sustentabilidade do sistema. Obteve-se parâmetros satisfatórios em alguns ensaios para os requisitos estabelecidos na ABNT NBR 15575-4.

**Palavras Chave:** Sistema de vedação, Resíduos de Construção e Demolição, Blocos de concreto, Sustentabilidade

### **ABSTRACT**

The civil construction market extracts high rates of natural resources, causing severe environmental impacts. In order to mitigate these effects, recycling is an alternative for the execution of more sustainable works. At UFRGS, since 2012, there has been research aimed at developing concrete blocks from the use of Construction and Demolition Waste (RCD). The blocks manufactured with RCD are certified in the requirements of ABNT NBR 6136 (2016). To continue this research, the article presents performance results of the Internal and External Vertical Sealing System (SVVIE) composed of RCD blocks. To this end, as an experimental methodology, tests were carried out to meet the requirements of structural safety, habitability and sustainability. Therefore, tests of soft body impact, hard body impact and request of suspended parts were carried out to evaluate structural requirements. Regarding habitability, water tightness and thermal performance tests were held. A thermal shock test was also carried out to assess the system's sustainability criteria. Satisfactory parameters were obtained in some of the tests for the requirements established in ABNT NBR 15575-4.

**Keywords:** Construction and demolition waste, Performance, Concrete blocks

## 1 INTRODUÇÃO

O relatório da Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Econômico (OCDE) aponta que a utilização de materiais de construção duplicará no ano de 2060, podendo causar escassez de recursos naturais (OCDE, 2018). Na mesma linha, observa-se no relatório da World Wide Fund for Nature (WWF), que são extraídos anualmente entre 32-50 bilhões de toneladas de areia, um dos principais insumos no mercado da construção civil (WWF, 2018). Ademais, há um estudo recente da University Leiden, o qual refere que a demanda de consumo global de areia pode aumentar em 45% até o ano de 2060 (ZHONG, 2022). Conseqüentemente, esse elevado aumento pode resultar na escassez deste material, podendo colapsar o mercado da construção civil.

Segundo ZHONG (2022) é necessário conduzir estratégias para atenuar estes efeitos, como por exemplo a redução da obsolescência das edificações, o aumento da reutilização de resíduos em obras, planejamento sustentável da infraestrutura urbana. Sendo assim, caso os governantes e empresas consigam colocar em prática essas medidas, a demanda por areia poderá diminuir em 71%.

Além disso, o mercado da construção civil é o maior gerador de resíduos sólidos, pois há desperdício de materiais de construção nas obras, que, na maioria dos casos, são descartados incorretamente. Segundo o Panorama de Resíduos Sólidos emitido pela Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais (ABRELPE), no ano de 2021 cerca de 57% da totalidade de resíduos sólidos urbanos produzidos no Brasil provém da construção civil, ou seja, são 47 milhões de toneladas produzidas por ano. A ABRELPE realizou uma análise comparativa entre os anos de 2010 e 2019, em que houve um aumento de aproximadamente 33% na coleta total de Resíduos de Construção e Demolição (RCD) na última década (ABRELPE, 2021).

Assim, uma forma de reduzir o consumo de recursos naturais é através da reutilização de resíduos em diferentes campos da construção civil, como: pavimentação, blocos de concreto, comercialização de agregados (CABRAL *et al.*, 2008; GOMES *et al.*, 2019). Somando isso, afirma-se a viabilidade da fabricação de blocos de concreto para fins estruturais com resíduos provenientes de concreto (LINTZ *et al.*, 2012). Em relação a alvenaria de vedação, os estudos de MESQUITA (2015) e GOMES (2018) asseguram a utilização dos resíduos da construção civil nos blocos de concreto, sendo os resíduos a substituição dos agregados naturais. Com efeito, a produção e comercialização de blocos com RCD se enquadra na economia circular que é fundamental, tendo em vista que há uma ruptura do modelo econômico linear para a implementação de um modelo de maior eficiência e valorização dos produtos (IGLESIAS *et al.*, 2019).

Nesse sentido, o presente artigo mostra a viabilidade da fabricação de blocos de concreto com RCD, que nesta pesquisa são produzidos na Cooperativa de Transformação Sócio Ambiental (CTSA), localizada na cidade de Porto Alegre/RS. A equipe da Cooperativa é formada por ex-catadores de materiais recicláveis, sendo necessário o conhecimento científico buscando a orientação da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS). Os pesquisadores da UFRGS desenvolveram cursos técnicos para os cooperados, produzindo também a cartilha “Projeto Mãos à Obra: Tecnologias Sociais e Produção de Blocos com RCD” (BIGOLIN, 2014), financiada pelo projeto Morar.TS.

Além disso, a UFRGS assessora tecnicamente com as pesquisas a certificação do produto em acordo com a ABNT NBR 6136 (2016). Diante das pesquisas prévias, a equipe adotou o traço 1:2,4:2,8 (cimento: agregado graúdo: areia) e relação água/cimento de 0,4. Ressalta-se que, em relação ao agregado miúdo, utiliza-se somente 15% de agregado reciclado,

sendo o restante areia natural. Além da certificação a nível de componente, é necessário avaliar o desempenho do sistema de vedação para validação como solução construtiva do bloco de concreto. Ademais, para avaliar o desempenho do sistema de vedação é necessário atender a requisitos da ABNT NBR 15575-4 (2021), que são definidos como condições que expressam qualitativamente os atributos que a edificação habitacional e seus sistemas devem possuir, a fim de que possam atender aos requisitos do usuário. Na norma técnica ABNT NBR 15575-1 (2021), são elencados três grandes grupos: segurança, habitabilidade e sustentabilidade.

Os blocos de concreto são empregados em obras pela CTSA na cidade de Porto Alegre. Os conhecimentos adquiridos com a presente pesquisa já estão sendo aplicados na prática para obtenção do melhor desempenho do sistema, conforme verificado em laboratório. Dessa forma, associando metodologia experimental e aplicação prática do bloco de concreto, é possível obter melhorias significativas no resultado final entregue aos usuários do produto.

Com efeito, o objetivo do presente trabalho é avaliar o desempenho do Sistema de Vedação Vertical Interno e Externo (SVVIE) composto por blocos de concreto fabricados com RCD, com foco nas exigências quanto à segurança estrutural, habitabilidade e sustentabilidade, estabelecidas na ABNT NBR 15575 – Desempenho de Edificações (2021). Além disso, o estudo se propõe a levantar dados científicos e embasar a confecção de uma cartilha de uso do bloco de concreto da CTSA, orientando os compradores sobre as características técnicas do produto.

## **2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**

Neste tópico são apresentados os estudos já desenvolvidos no bloco de concreto fabricado com Resíduos de Construção e Demolição (RCD), que ocorre desde o ano de 2009. Os acadêmicos desenvolvem pesquisas para adequação dos blocos de concreto para alvenaria de vedação, de acordo com a ABNT NBR 6136 (2016). A pesquisa de Bigolin (2013) avaliou indicadores de desempenho para blocos de concreto, a partir de uma análise sustentável de produção com a utilização de RCD. Como resultado, observou-se que os agregados apresentaram bom desempenho mecânico, atendendo às especificações da ABNT NBR 15116 (2004). Assim, o processo estabelecido na produção da CTSA indica a viabilidade do uso de agregados provenientes de RCD para a fabricação de blocos de concreto.

Chiele (2019) analisou a viabilidade da produção do bloco de concreto com o agregado reciclado, o qual obteve resultados positivos com a substituição parcial do agregado natural. O estudo demonstrou que com um consumo de cimento:agregado na relação 1:5 é possível a fabricação de blocos de concreto com a utilização de agregado reciclado.

No estudo de Vogt (2020) ensaiou-se três traços diferentes de blocos de concreto, com a intenção de criar parâmetros de comparação entre tipo de cimento utilizado, quantidade de RCD e proporção agregado graúdo/miúdo. Obteve-se melhores resultados e, principalmente, uma solução na utilização de agregado natural em detrimento da utilização do cimento CP V.

Em outra linha, o trabalho de Giazzon (2020) buscou quantificar e discutir a emissão de gás carbônico (CO<sub>2</sub>) na fabricação dos blocos de concreto. Para tanto, utilizou-se a cinza de casca de arroz (CCA) em substituição a 20% da quantidade de cimento. Como resultado, a produção seria mais viável economicamente e com menor prejuízo ao meio ambiente em relação à emissão de CO<sub>2</sub> na atmosfera. A pesquisa não avançou devido a dificuldade na obtenção de CCA para fabricação dos blocos de concreto em larga escala.

Os estudos realizados pelos pesquisadores do Laboratório de Ensaios e Modelos Estruturais (LEME) auxiliaram na segurança e certificação do bloco de concreto fabricado com RCD, que é comercializado pela CTSA com orientações técnicas de uso. Após o contexto histórico de pesquisa do bloco de concreto de RCD, passa-se a discorrer sobre o desempenho

de Sistemas de Vedação Vertical Interno e Externo (SVVIE) para atendimento dos requisitos da ABNT NBR 15575-4.

No Brasil, o aumento da incorporação de novas tecnologias exige a execução de ensaios de desempenho para validação da solução construtiva. Nesse sentido, afirma a doutora Luciani, “estão promovendo mudanças significativas na concepção de edificações e na quebra de paradigmas em relação à avaliação de desempenho de sistemas construtivos” (LORENZI, 2013, p. 1).

A pesquisa de Hattge (2004) avaliou o desempenho de SVVIE composto por blocos cerâmicos e blocos de concreto em relação à estanqueidade à água. Ambos sistemas apresentaram resultados insatisfatórios na execução do ensaio sem revestimento, pois a área com manchas de umidade foi acima de 30%. Por outro lado, em ambos os casos os corpos de prova não apresentaram manchas de umidade quando ensaiados com revestimento.

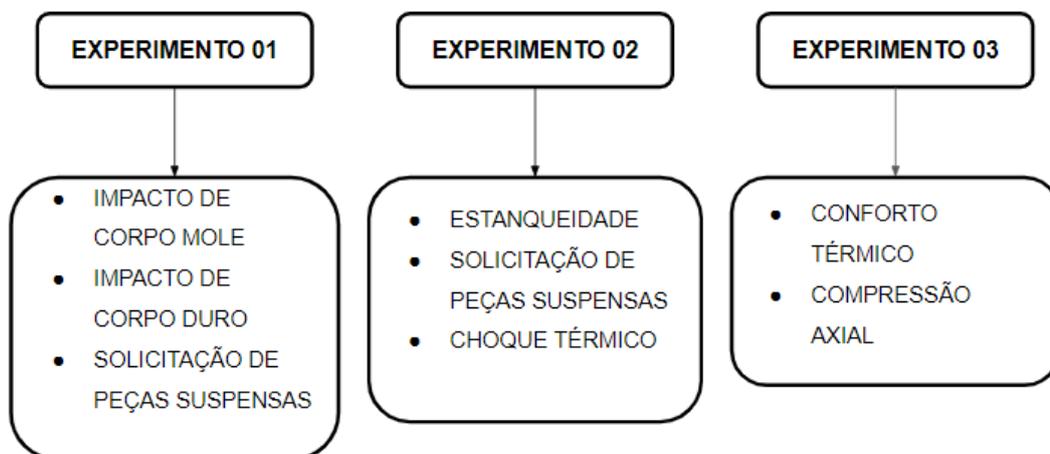
Giorgi (2016) obteve resultados positivos ao avaliar o desempenho de sistema de vedação vertical de blocos de solo-cimento com foco nas exigências de habitabilidade e sustentabilidade da NBR 15575-4. Concluiu-se que sistemas compostos por blocos cerâmicos e blocos de concreto apresentam melhor desempenho à estanqueidade que o sistema de blocos de solo-cimento.

Moraes (2015) estudou o comportamento de sistema de vedação vertical externa constituído de painéis de PVC preenchidos com concreto quando submetidos ao ensaio de ação de calor e choque térmico de acordo com o estabelecido na ABNT NBR 15575-4 (2021). Após serem submetidas aos 10 ciclos, os corpos-de-prova atenderam aos parâmetros de aceitabilidade da norma, “não apresentando deslocamentos horizontais instantâneos superiores ao exigido pela referida Norma e não apresentando danos aos painéis de PVC” (MORAES, 2015).

### 3 METODOLOGIA

Neste tópico é apresentada a metodologia adotada para avaliar o SVVIE constituído por blocos de concreto de RCD quanto ao seu desempenho. A Figura 01 representa os ensaios realizados durante a fase experimental.

Figura 01: Fluxograma da pesquisa



Fonte: Autoria própria

A construção dos corpos de prova em escala real e o desenvolvimento dos ensaios foram realizados no LEME da UFRGS; seguindo as exigências de segurança estrutural, habitabilidade e sustentabilidade, que constam na ABNT NBR 15575-4 (2021).

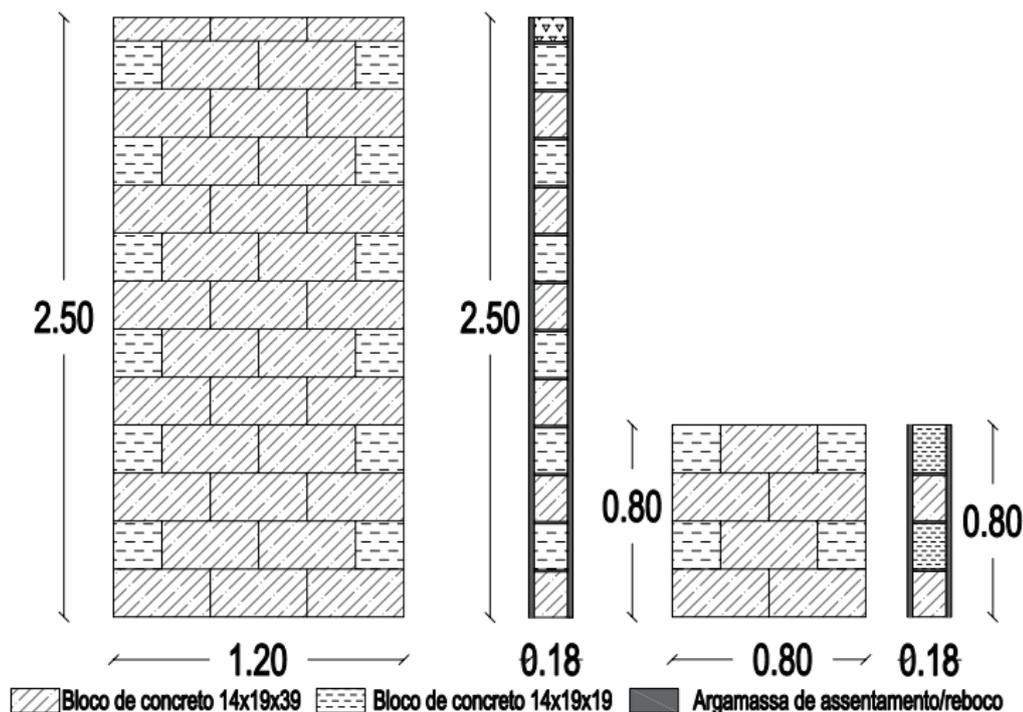
Analizou-se a segurança estrutural do sistema de vedação através de ensaios de impacto de corpo mole, impacto de corpo duro e sollicitação de peças suspensas. Como exigência de habitabilidade, analisou-se os fatores de estanqueidade e desempenho térmico. Por fim, verificou-se a partir do ensaio de choque térmico o desempenho do sistema em relação à exigência de sustentabilidade.

Dessa forma, adotou-se como experimento 01 os ensaios realizados no corpo de prova nº 01 com medidas de 1,20 x 2,50m, relativos à segurança estrutural. Como experimento 02, considerou-se os ensaios realizados no corpo de prova nº 02, também com dimensões de 1,20 x 2,50m. Executou-se os ensaios de estanqueidade, ação de calor e choque térmico e a repetição do ensaio de sollicitação de peças suspensas. Já no experimento 03, realizou-se ensaios de conforto térmico e de resistência à compressão axial dos 04 protótipos de parede com dimensões de 0,80 x 0,80m.

### 3.1 Caracterização do SVVIE

O sistema de vedação vertical avaliado possuiu como componentes: bloco vazado de concreto, argamassa de assentamento, argamassa de reboco. Construiu-se 02 corpos de prova 1,20 x 2,50m e 04 corpos de prova 0,80 x 0,80m. Visualiza-se na Figura 02 o desenho esquemático dos corpos de prova construídos para a presente pesquisa com as medidas em metro.

Figura 02: Desenho esquemático dos corpos de prova



Fonte: Autoria própria

O bloco de concreto é caracterizado, segundo a ABNT NBR 6136 (2016), como Classe C – com ou sem função estrutural para uso em elementos de alvenaria acima do nível do solo. Possui dimensões de 14 cm x 19 cm x 39 cm com furos na vertical. O material que é utilizado para a fabricação do bloco de concreto é constituído majoritariamente por materiais classificados como Classe A1, segundo a Resolução 307/2002 do CONAMA e ABNT NBR 15113 (2004). A composição granulométrica é regulamentada pela ABNT NBR 9935 (2011), sendo os resultados apresentados em pesquisa desenvolvida no ano de 2020 (VOGT et al., 2020).

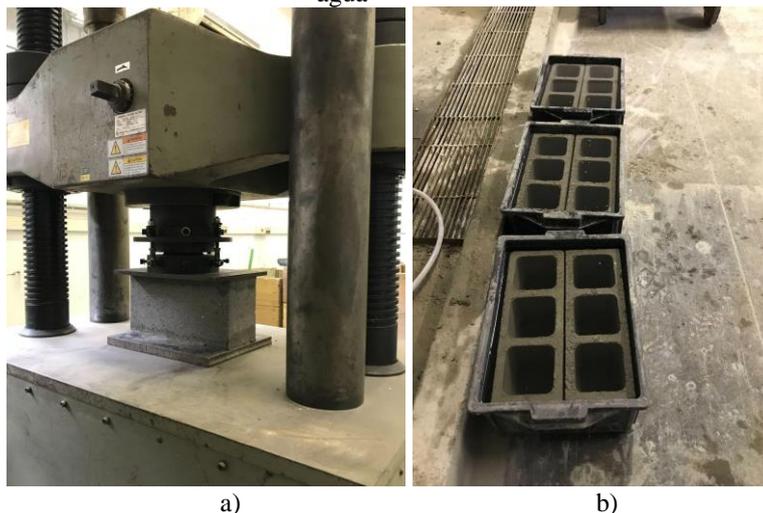
Para o assentamento e revestimento dos blocos de concreto utilizou-se argamassa industrializada média, com resistência à compressão de 2 MPa. Como limitação técnica, a argamassa precisava ter resistência à compressão abaixo do bloco de concreto. Assim, optou-se por uma argamassa classificada como P1, conforme ABNT NBR 13281 (2005).

Os corpos de prova foram construídos com o auxílio de profissional da área da engenharia civil, sendo empregadas técnicas construtivas padronizadas de execução de alvenaria.

### 3.2 Ensaios componente – bloco de concreto

Os blocos de concreto para alvenaria de vedação necessitam atender requisitos da ABNT NBR 6136 (2016), sendo eles: resistência à compressão e absorção de água. Os métodos de ensaios constam na ABNT NBR 12118 (2013), sendo realizados os procedimentos e utilização dos equipamentos necessários de instalações do LEME. A Figura 03 representa a realização destes ensaios.

Figura 03: a) realização do ensaio de resistência à compressão b) realização do ensaio de absorção de água

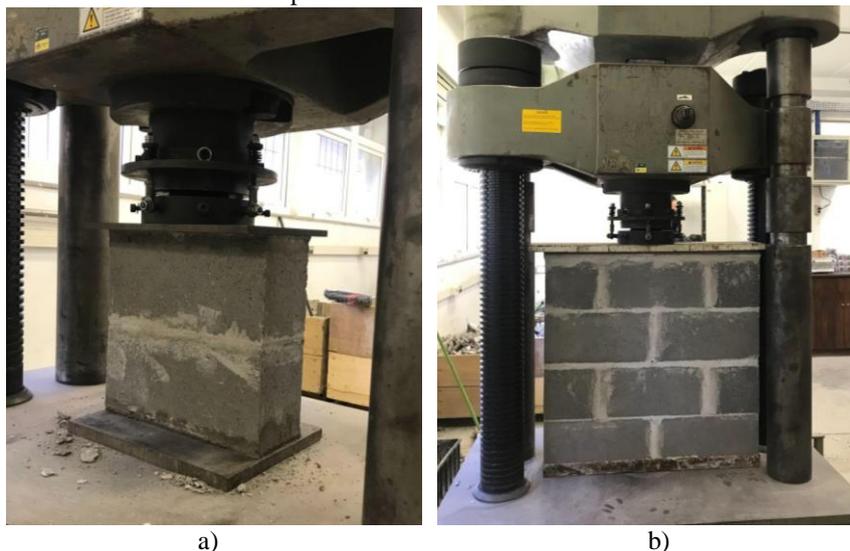


Fonte: Autoria própria

Nos ensaios de resistência à compressão realizados nos blocos, prismas e pequenas paredes utilizou-se argamassa preparada em laboratório para a regularização das faces dos corpos de prova. A argamassa foi preparada na relação de 1:2 (cimento:areia) e relação água/cimento igual a 0,5.

A resistência à compressão de prismas e protótipos de parede em dimensão reduzida podem ser determinadas conforme Anexo A da ABNT NBR 16868-3 (2020). Os métodos de ensaio foram os mesmos aos adotados nos ensaios de resistência à compressão dos blocos de concreto. A Figura 04 representa a realização destes ensaios.

Figura 04: a) ensaio de resistência à compressão em prismas b) ensaio de resistência à compressão em protótipos de parede em dimensão reduzida



Fonte: Autoria própria

### 3.3 Ensaio Sistema - SVVIE

Os ensaios têm por objetivo atender aos requisitos de segurança estrutural, habitabilidade e durabilidade da ABNT NBR 15575-4 (2021). Detalha-se, abaixo, as metodologias utilizadas em cada ensaio.

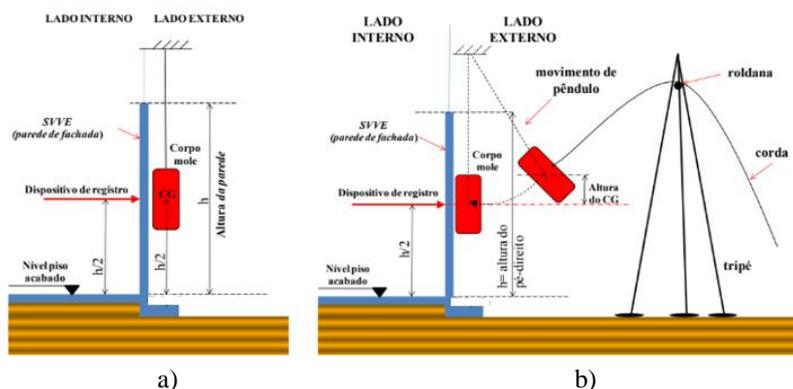
#### 3.3.1 Segurança estrutural

Em relação a segurança estrutural, realizou-se ensaios no SVVIE com o objetivo de verificar os seguintes requisitos: capacidade de suporte para peças suspensas, resistência a impactos de corpo mole e resistência a impactos de corpo duro.

##### 3.3.1.1 Impacto de corpo mole

O ensaio de impacto de corpo mole é realizado com o intuito de analisar o comportamento do SVVIE, quanto à resistência ao ser submetido a impactos sucessivos de energias distintas. Os materiais utilizados foram os recomendados pela ABNT NBR 15575-4 (2021), sendo estes: saco impactador, corda e roldana, estes dois últimos para possibilitar o movimento pendular. A Figura 05 demonstra os procedimentos adotados para a realização do ensaio em laboratório.

Figura 05: Desenho esquemático do ensaio: (a) localização do corpo mole, facetando o corpo de prova e (b) detalhe do movimento pendular livre do corpo mole



Fonte: Lorenzi, 2013

Posicionou-se o corpo mole no ponto de aplicação dos impactos, representando a situação mais desfavorável, ou seja, no centro de gravidade do corpo de prova do SVVIE. Ergueu-se o corpo mole nas alturas equivalentes a 15, 30, 45, 60, 90, 120 e 180 centímetros, abandonando-o em movimento pendular livre e ocasionando impacto no corpo de prova. A Figura 06 demonstra a realização do ensaio no LEME.

Figura 06: realização do ensaio de impacto de corpo mole



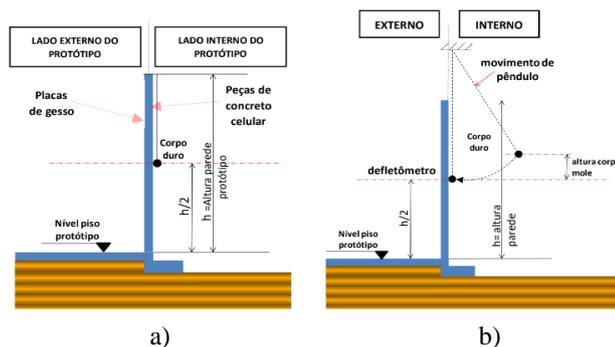
Fonte: Autoria própria

Neste ensaio, para medir o deslocamento horizontal do corpo de prova, posicionou-se um lápis na face oposta fixado ao corpo de prova que fazia marcações em um papel milimetrado, conforme deslocamentos sofridos pelo corpo de prova. Assim, mediu-se os deslocamentos horizontais instantâneos ( $d_{hi}$ ) e residuais ( $d_{hr}$ ) em cada impacto realizado.

### 3.3.1.2 Impacto de corpo duro

O ensaio de impacto de corpo duro é realizado com o intuito da verificação da resistência do SVVIE à indentação provocada pelo impacto de corpo duro. Os materiais utilizados foram os recomendados pela NBR 15575-4, sendo eles duas esferas de aço e paquímetro. A execução do ensaio baseou-se na liberação pendular, em repouso, de esferas de aço de 0,5kg e 1kg, nas alturas de 75cm e 200cm, respectivamente. Foram registrados os deslocamentos e as eventuais falhas. A Figura 07 apresenta uma representação esquemática do corpo de prova e da estratégia de ensaio adotada para o SVVIE.

Figura 07: Desenho esquemático do ensaio: (a) localização do corpo duro, face externa do corpo de prova e (b) detalhe do movimento pendular livre da esfera para realização do ensaio.



Fonte: Lorenzi, 2013

A norma preconiza que os impactos sejam aplicados em pontos aleatórios distintos e sem repiques. Após cada impacto, o corpo de prova é inspecionado visualmente, registrando-se a existência ou não de danos. Quando há ocorrência de mossa, mede-se a profundidade destas. Na Figura 08, visualiza-se a realização do ensaio no LEME.

Figura 08: Realização do ensaio de impacto de corpo duro



Fonte: Autoria própria

### 3.3.1.3 Solicitações de peças suspensas

Realizou-se o ensaio de solicitação de peças suspensas com o objetivo de simular a fixação de mobiliários residenciais no sistema. O principal objetivo é avaliar o comportamento de diferentes sistemas de bucha-parafuso quando submetidos a esforços de cargas verticais.

O ensaio consiste em submeter o SVVIE a esforços fletores e de cisalhamento solicitantes, por meio de aparelhagem ou dispositivos de carga compatíveis com a peça que se pretende ensaiar. Assim, aplicou-se a carga em patamares de 50 N em cada recipiente e sem golpes, aguardando-se um intervalo de 3 min entre patamares. Conforme aplicavam-se as cargas, realizava-se leituras do arrancamento sofrido pelo sistema. Os equipamentos utilizados durante a realização do ensaio foram pesos de 50 N, paquímetro, sistema de mão-francesa e relógios comparadores analógicos.

Realizaram-se testes com 02 sistemas bucha-parafuso diferentes com o intuito de simular usos distintos de mobiliários em uma moradia. Inicialmente testou-se o corpo de prova nº 01 o sistema de bucha e parafuso do tipo FU, própria para tijolo furado. Em seguida realizou-se o ensaio no corpo de prova nº 02 com a bucha universal UX.

Figura 09: ensaio de solitação de peças suspensas em andamento



Fonte: Autoria própria

### 3.3.2 Habitabilidade

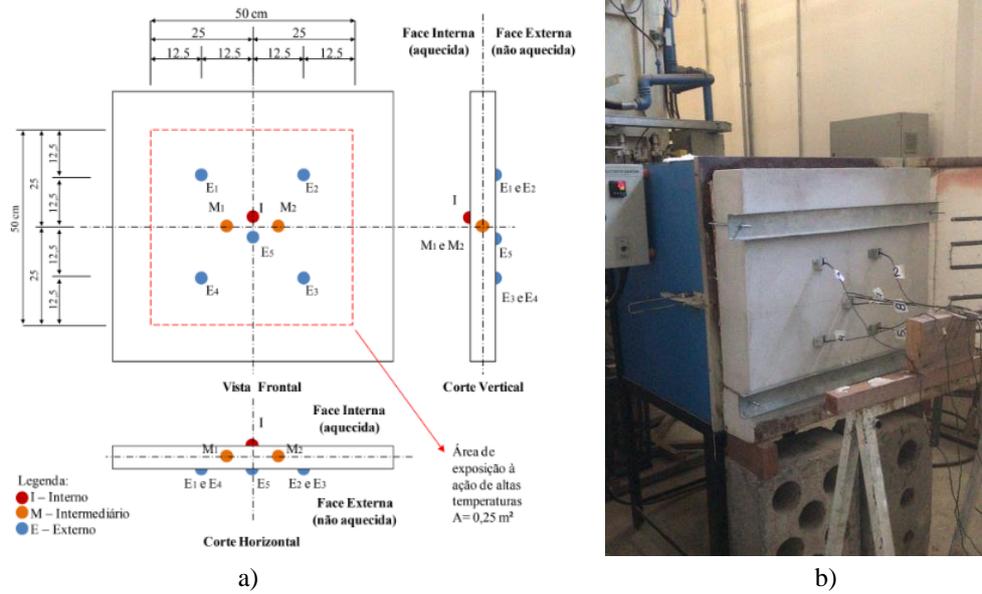
Para este estudo, analisou-se o ensaio de desempenho térmico e a estanqueidade à água.

#### 3.3.2.1 Desempenho térmico

O ensaio de desempenho térmico realizado não é regulamentado pela ABNT NBR 15575-4 (2021). Assim, o ensaio seguiu o procedimento de Lorenzi (2013), que consiste em submeter o corpo de prova, em escala reduzida, a um aquecimento constante, com temperatura na face interna (exposta ao aquecimento) de  $85^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$ , durante 8 horas. A temperatura é monitorada até atingir o patamar especificado, a partir desse ponto, o forno permanece ligado, porém, com potência variável, apenas para manter a temperatura no intervalo estipulado. Na Figura 10 demonstra-se a localização dos termopares fixados na face externa e interna do corpo de prova, conforme sugerido por Lorenzi (2013). É possível visualizar, também, a realização do ensaio no LEME.

As temperaturas são monitoradas durante o ensaio tanto na face externa (não exposta) do SVVIE (elemento) como na interna (exposta). Após o período de ensaio (8 horas), o forno é desligado, mas o elemento continua acoplado ao mesmo até que se resfrie à temperatura ambiente. Nesse período, as temperaturas continuam sendo monitoradas e registradas por um sistema de aquisição de dados, tipo Datalogger, que permite o acompanhamento dos perfis de temperatura desenvolvidos.

Figura 10: a) figura esquemática do ensaio de desempenho térmico; b) ensaio de desempenho térmico em andamento



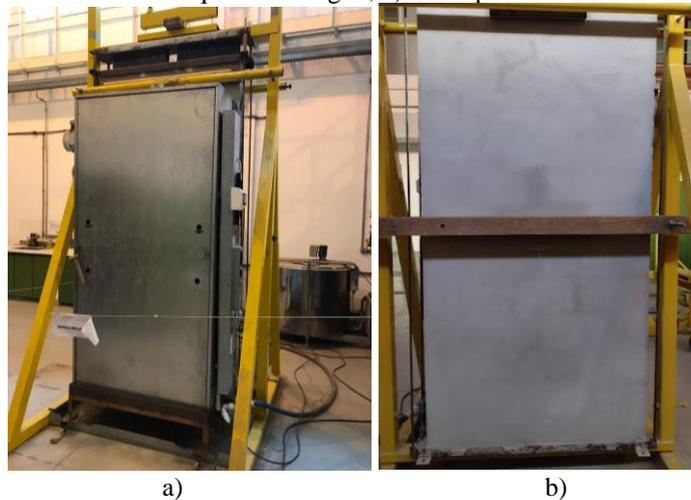
Fonte: (Lorenzi (2013), Autoria própria)

### 3.3.2.2 Estanqueidade à água

No ensaio de estanqueidade à água, que avalia o SVVIE à água proveniente de chuvas incidentes ou de outras fontes, utilizou-se no ensaio o corpo de prova nº 02 com dimensões de 1,20 x 2,50m. Estabeleceu-se a parte interna do SVVIE com revestimento de argamassa e a parte externa com soluções variáveis. Inicialmente, ensaiou-se sem revestimento externo. Em seguida realizou-se o ensaio com a aplicação de impermeabilizante para áreas externas. Por fim, realizou-se o ensaio com a aplicação de chapisco rolado e revestimento de argamassa sobre o impermeabilizante.

Demonstrou-se a eficiência das soluções empregadas para análise dos parâmetros e atendimento dos requisitos da ABNT NBR 15575-4 (2021). Na Figura 11 visualiza-se a realização do ensaio em laboratório.

Figura 11: a) Realização do ensaio de estanqueidade à água; b) Face que se verifica as manchas de umidade



Fonte: Autoria própria

O teste consistiu em submeter, durante 7 horas ininterruptas, a face externa do SVVIE a uma vazão de água de 3 L/min/m<sup>2</sup>, criando uma película homogênea e contínua, com a aplicação simultânea de uma pressão pneumática sobre essa face de 50 Pa.

### 3.3.3 Sustentabilidade

Para este requisito executou-se o ensaio de ação de calor e choque térmico.

#### 3.3.3.1 Ação de calor e choque térmico

O ensaio de ação de calor e choque térmico recomendado na ABNT NBR 15575-4 (2021) analisa o comportamento do SVVIE quanto a danos e deslocamentos, ao ser submetido a ciclos sucessivos de aquecimento por fonte de calor e resfriamento por jatos de água. O intuito é simular a tensão causada pela variação de temperatura e umidade associada à ação das chuvas sobre os elementos (paredes) aquecidos, que ocorre durante a vida útil de um edifício exposto a intempéries.

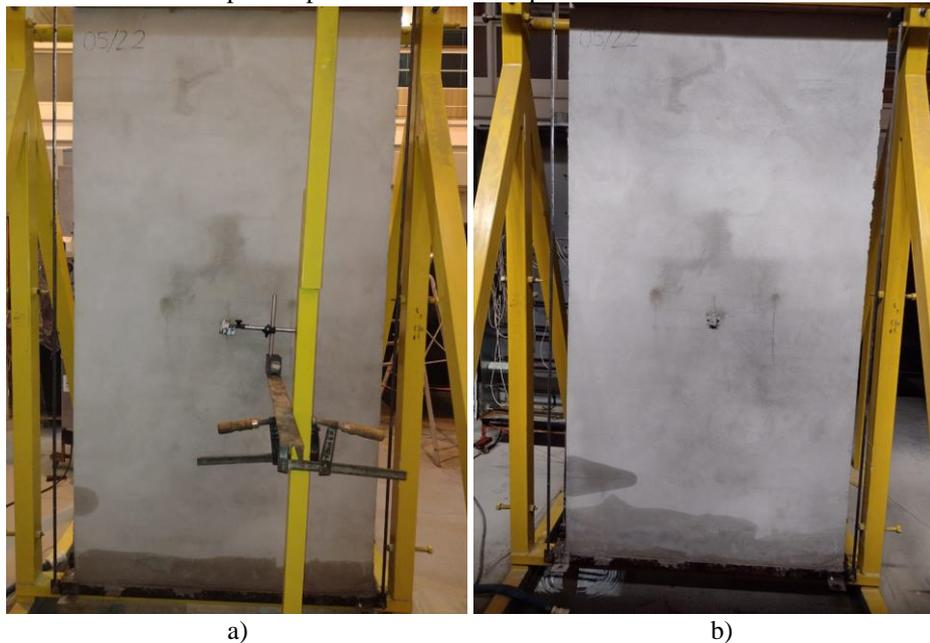
O procedimento de ensaio consiste em aplicar dez ciclos sucessivos de aquecimento e resfriamento do corpo de prova, sendo os ciclos espaçados em 24h. Posicionaram-se termopares na face do corpo de prova para medição da temperatura ao longo do ensaio. Na face oposta à aplicação do ensaio posicionou-se um defletômetro, com o intuito de medir os deslocamentos sofridos devido à variação de temperatura do SVVIE ao longo do ensaio.

Realizou-se o aquecimento do corpo de prova para atingir temperatura igual até  $80 \pm 3$  °C, esta temperatura foi mantida durante 1h. Imediatamente após a supressão da radiação, submeteu-se o corpo de prova a um resfriamento com jatos de água em toda sua superfície até atingir a temperatura de  $20 \pm 5$  °C. Realizou-se o monitoramento dessas temperaturas via aquisição de dados tipo Datalogger.

Os deslocamentos horizontais foram medidos em três instantes: ao atingir a temperatura de  $80 \pm 3$  °C, após o aquecimento de 1h nesta temperatura e após o resfriamento. Ao final dos dez ciclos, o painel foi afastado para verificar a ocorrência de fissuras, trincas, deslocamentos ou outras deteriorações através de inspeção visual, em ambas faces do corpo de prova. Na Figura 12 demonstra-se a realização do ensaio em laboratório.

Seguindo a proposição de Lorenzi (2013), ao ser finalizado este ensaio, realizou-se, novamente, o ensaio de estanqueidade à água com o intuito de verificar a degradação do sistema para além da inspeção visual. Pois, segundo a autora, “a inspeção visual nem sempre é suficiente para uma avaliação precisa quanto à degradação sofrida pelo corpo de prova” (LORENZI, 2013).

Figura 12: a) Situação corpo de prova após o fim dos 10 ciclos de aquecimento e resfriamento b) Corpo de prova após o ensaio de estanqueidade



Fonte: Autoria própria

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

### 4.1 Caracterização do componente

Abaixo são apresentados os resultados de resistência à compressão e absorção de água, ensaios para qualificação dos blocos de concreto em relação a ABNT NBR 6136 (2016). Os ensaios realizados em prismas e protótipos de parede em dimensão reduzida foram realizados para estabelecer um comparativo de resistência à compressão com os obtidos em blocos de concreto.

Conforme apresentado na Tabela 01, a resistência característica do bloco de concreto foi de 3,01 MPa, atendendo ao requisito da norma técnica de 3,0 MPa. O bloco de concreto é classificado como de alvenaria de vedação classe C para usos em alvenarias com ou sem função estrutural.

Tabela 01: Resultados do ensaio de resistência à compressão de blocos

Corpo de Prova	Força (kN)	Tensão (MPa)
01	179	3,32
02	267,20	4,89
03	232,20	4,25
04	190,20	3,49
05	234,40	4,29
06	214,80	3,80
RESISTÊNCIA CARACTERÍSTICA (fbk)		3,01

Analisou-se também os parâmetros de absorção de água apresentados pelo bloco de concreto, conforme apresentado na Tabela 02. Diante dos resultados obtidos de absorção individual e absorção média de, respectivamente, 10,01% e 9,54%, atendendo às exigências da ABNT NBR 6136 (2016). Estabelecendo um comparativo com o histórico da própria pesquisa até o momento, obteve-se o menor resultado deste parâmetro. A obtenção de melhores resultados na taxa de absorção de água ocorreu devido a maior percentagem de agregados advindos de concreto na composição do RCD, qualificando a mistura do bloco de concreto.

Tabela 02: Resultados do ensaio de absorção de água

Corpo de Prova	Massa seca (kg)	Massa úmida (kg)	Absorção (%)
01	9,340	10,430	10,45
02	9,726	10,760	9,61
03	9,700	10,630	8,75
04	10,013	11,050	9,38
05	9,480	10,510	9,80
06	9,556	10,530	9,25
MÉDIA TOTAL			9,54

Com o intuito de atender aos requisitos da ABNT NBR 16868-3 (2020), analisou-se a resistência à compressão de prismas, conforme demonstrado na Tabela 03. Conforme Parkesian e Soares (2011), estima-se que o fator prisma/bloco seja de 0,5, ou seja, a resistência característica do prisma deve ser no mínimo a metade da resistência obtida no bloco de concreto. Assim, verifica-se desempenho satisfatório no resultado da resistência característica do prisma, uma vez que se obteve fator acima de 0,7.

Tabela 03: Resultados do ensaio de resistência à compressão de prismas

Corpo de Prova	Força (kN)	Tensão (MPa)
01	130,40	2,38
02	164,40	3,01
03	152,00	2,78
04	154,80	2,83
05	158,00	2,89
06	218,50	4,00
RESISTÊNCIA CARACTERÍSTICA (fek,est)		2,12

Por fim, analisou-se a resistência à compressão de pequenas paredes, conforme demonstrado na Tabela 04. Conforme Parkesian e Soares (2011) estima-se que o fator entre protótipo de parede com dimensões reduzidas e bloco concreto seja superior ao coeficiente 0,38. Observa-se resultados positivos dos protótipos de paredes com dimensões reduzidas quando comparados aos obtidos para blocos de concreto.

Tabela 04: Resultados do ensaio de resistência à compressão de pequenas paredes

Corpo de Prova	Força (kN)	Tensão (MPa)
01	191,50	1,71
02	153,50	1,37
03	161,50	1,44
04	177,00	1,58
RESISTÊNCIA CARACTERÍSTICA (fek,est)		1,15

Dessa forma, com os resultados apresentados assegura-se a qualidade do bloco de concreto para alvenaria Classe C - com ou sem função estrutural.

#### 4.2 Segurança Estrutural

Para este estudo, realizaram-se os ensaios de impacto de corpo mole, impacto de corpo duro e solitação de peças suspensas. Abaixo apresentam-se os resultados dos mesmos.

##### 4.2.1 Impacto de corpo mole

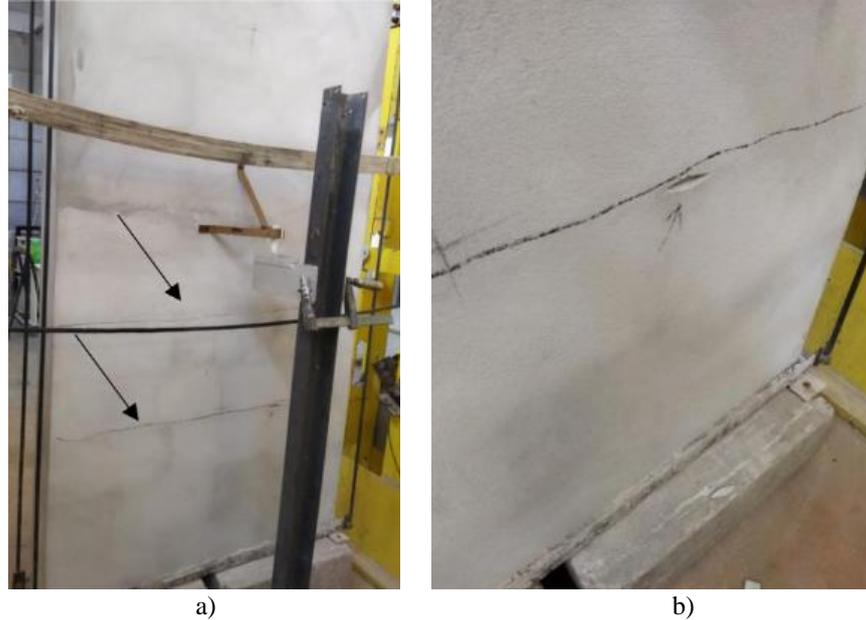
Apresenta-se a Tabela 05 que contém os resultados do ensaio de impacto de corpo mole.

Tabela 05: Resultado do ensaio de impacto de corpo mole

Energia (J)	Altura equivalente (cm)	dhi (m)	dhr (m)	Descrição de danos
60	15	1,45	0,00	Nenhuma ocorrência
120	30	1,90	0,00	Nenhuma ocorrência
180	45	3,40	1,90	Nenhuma ocorrência
240	60	4,25	2,20	Nenhuma ocorrência
360	90			Nenhuma ocorrência
480	120			Nenhuma ocorrência
720	180			Fissura horizontal

A energia máxima para SVVIE sem função estrutural é 480J, no qual o comportamento do corpo de prova ficou dentro do critério de não ocorrência de ruína, conforme estabelece a ABNT NBR 15575-4 (2021). O ensaio seguiu para verificar o comportamento do corpo de prova em energias mais elevadas, onde constatou-se que para energia de 720J correram duas fissuras transversais ao corpo de prova, bem como ocorreu uma falha localizada em uma pequena região onde houve deslocamento do revestimento na face interna do elemento, conforme demonstrado na Figura 13. Assim, interrompeu-se o ensaio, devido às fissuras colocarem em risco o equipamento do ensaio e o entorno.

Figura 13: a) Fissuras transversais ao corpo de prova e b) falha localizada no reboco



Fonte: Autoria própria

Ao analisar os resultados do ensaio, frente ao deslocamento horizontal instantâneo ( $d_{hi}$ ) e residual ( $d_{hr}$ ), observa-se que para energia de 240J o resultado foi de, respectivamente, 4,25 mm e 2,20 mm. Ambos os resultados ficaram abaixo do limite estabelecido na ABNT NBR 15575-4 (2021), onde  $d_{hi} \leq 20$  mm e  $d_{hr} \leq 4$ mm. Bem como não foi evidenciado nenhuma ocorrência de falha no corpo de prova representativo do SVVIE. Para as demais energias de 360J e 480 J não houve ocorrência de ruína.

#### 4.2.2 Impacto de corpo duro

Apresenta-se a Tabela 06 que contém os resultados do ensaio de impacto de corpo duro.

Tabela 06: Resultado do ensaio de impacto de corpo duro

Identificação do corpo duro (g)	Altura equivalente (cm)	Impactos	Profundidade das mossas (mm)	Descrição de sinais de falhas
500	75	1	0,50	Sem danos
		2	0,90	Sem danos
		3	0,85	Sem danos
		4	1,10	Sem danos
		5	1,05	Sem danos
		6	1,05	Sem danos
		7	0,65	Sem danos
		8	0,65	Sem danos
		9	1,00	Sem danos
		10	0,75	Sem danos
1000	200	1	1,15	Sem danos
		2	2,15	Sem danos
		3	1,95	Sem danos
		4	1,55	Sem danos
		5	1,80	Sem danos
		6	2,50	Sem danos
		7	1,90	Sem danos
		8	1,50	Sem danos
		9	1,40	Sem danos
		10	1,50	Sem danos

Realizou-se a medição das profundidades das mossas para as energias de 3,75 J e 20J. Para energia de 3,75 J não houve falhas e a maior profundidade de mocha foi de 1,10 mm, abaixo do limite  $\leq 2,0$  mm. O sistema é aceitável quanto ao requisito de resistência a impactos de corpo duro, visto que apresentou desempenho superior quanto ao atendimento dos critérios da tabela 07 da ABNT NBR 15575-4 (2021).

#### 4.2.3 Solicitação de peças suspensas

Durante a execução do ensaio de solicitação de peças suspensas verificou-se deslocamentos horizontais instantâneos (dh) satisfatórios, uma vez que se obteve resultados menores que 5 mm. Conforme requisitos da ABNT NBR 15575-4 (2021), o dh precisa atender a condição descrita na Equação 01:

$$dh \leq h/500 \quad \text{Eq 01.}$$

Assim, observa-se na Tabela 07 os valores obtidos de dh para cada carregamento nos ensaios realizados em ambos corpos de prova. Apesar dos resultados satisfatórios de deslocamento horizontal, observou-se o escorregamento do sistema bucha-parafuso antes permanência de 24h com o carregamento de 800N em ambos os casos. O CP nº01 não atendeu a 24 horas de carregamento com 800 N, já o CP nº02 atendeu ao carregamento de 24 horas com 800N. Entretanto, ambos tiveram o ensaio finalizado frente ao escorregamento e arrancamento do dispositivo de fixação. Os resultados que apresentam valores negativos representam deslocamentos do sistema no sentido inverso.

Tabela 07: Resultados do ensaio de solicitação de peças suspensas

Peso (N)	CP nº01	CP nº02
0	0,00	0,00
100	0,06	0,01
200	0,09	0,01
300	0,09	-0,01
400	0,08	0,99
500	0,08	-0,07
600	0,07	-0,05
700	0,03	-0,05
800	0,02	-0,05
800 (após 24h)	-	-

A referência ou posição "0" é a posição do relógio analógico comparador instalado na parede antes do carregamento. Após o carregamento, os relógios avançam ou retornam de sua posição inicial, sendo o avanço registrado com o sinal negativo e o retorno com o sinal positivo.

O SVVIE teve desempenho insatisfatório para a carga de 800N, carga estabelecida na ABNT NBR 15575-4 (2021) para o nível de desempenho mínimo para um SVVIE, tanto para o CP nº01 e CP nº02. Entende-se que o SVVIE ensaiado tem desempenho satisfatório para carga total de 400N ou 200 N por ponto.

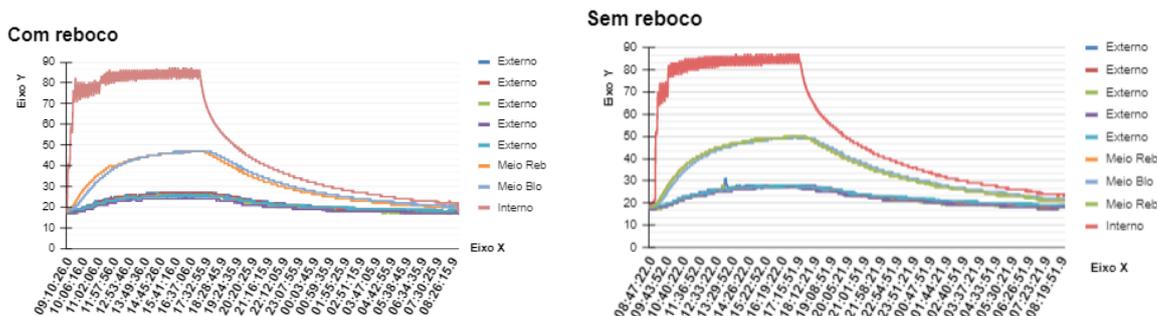
### 4.3 Habitabilidade

Para este estudo, realizaram-se os ensaios de desempenho térmico e estanqueidade à água. Abaixo apresentam-se os resultados dos mesmos.

#### 4.2.1 Desempenho térmico

No ensaio de desempenho térmico verificou-se a diferença entre um sistema com revestimento de argamassa e sem argamassa. Na Figura 13, demonstra-se os gráficos extraídos dos ensaios, sendo o eixo X a marcação das horas e o eixo Y a temperatura.

Figura 14: a) resultados do corpo de prova com revestimento de argamassa b) resultados do corpo de prova sem revestimento de argamassa



a)

b)

Fonte: Autoria própria

Após a realização dos ensaios, não se identificou nenhuma degradação na inspeção visual nos corpos de prova. No tocante ao conforto térmico, obteve-se parâmetros satisfatórios ao verificar a temperatura máxima na face externa de 28°C do corpo de prova. O Caderno de Critérios Mínimos de Desempenho para Habitações Térreas de Interesse Social IPT (2000) estabelece que a temperatura máxima de conforto para o verão é de 29°C e, assim, o SVVIE com velocidade do ar = 0,5 m/s. Assim, observa-se que a temperatura de 28°C na face externa do corpo de prova, que corresponde à parede interna de uma residência, está dentro dos requisitos mínimos.

Percebe-se que os índices de temperatura do corpo de prova com revestimento de argamassa apresentaram resultados melhores, quando comparados com os sem revestimento. Esperava-se este resultado, uma vez que o revestimento de argamassa exerce função de barreira física, permitindo a entrada do calor de forma mais dificultada.

#### 4.2.2 Estanqueidade à água

Segundo a ABNT NBR 15575-4 (2021), os SVVIE da edificação habitacional devem permanecer estanques e não apresentar infiltrações que proporcionem manchas de umidade na face interna. Podem ocorrer pequenas manchas de umidade, com percentual indicado na Tabela 08, conforme o tipo de edificação.

Tabela 08: Estanqueidade à água da chuva de vedações verticais externas

Edificação	Tempo de ensaio	Percentual máximo da soma das áreas das manchas de umidade na face oposta à incidência de água, em relação à área total do corpo de prova ao final do ensaio
Térrea	7 horas	10%
Com mais de um pavimento	7 horas	5%

Sendo o sistema estudado de uso em edificações térreas e sem função estrutural, o percentual máximo da área de manchas permitido é de 10%. O corpo de prova possui dimensões de 1,20m m x 2,50 m (largura x altura), resultando em uma área de 2,88 m<sup>2</sup>. Portanto, a área permitida das manchas de umidade na face oposta à incidência de água após o ensaio de estanqueidade é de 0,288 m<sup>2</sup>.

Nos três ensaios realizados testou-se o corpo de prova com a aplicação de revestimento de argamassa na face interna, variando as condições na face externa.

Tabela 09: Resultados do ensaio de estanqueidade à água

Teste	Taxa de umidade
Sem revestimento externo	70%
Com impermeabilizante	60%
Com revestimento externo	2%

Observou-se a ocorrência de uma mancha contínua na base, sendo causada pela falta de vedação da base de apoio do corpo de prova. Assim, os resultados dos ensaios sem revestimento e com aplicação de impermeabilizante foram insatisfatórios, pois houve alta taxa de áreas com manchas de umidade. O resultado do ensaio com a aplicação de revestimento externo foi satisfatório, atendendo aos requisitos da ABNT NBR 15575-4 (2021). Na Figura 14 evidencia-se a ocorrência de manchas de umidade nos ensaios realizados.

Figura 14: a) Corpo de prova sem revestimento b) Corpo de prova com impermeabilizante c) Corpo de prova com revestimento de argamassa



a)

b)

c)

Fonte: Autoria própria

Comparando com outros estudos referenciados na revisão bibliográfica, os blocos de concreto apresentaram melhores resultados em relação aos blocos de solo cimento, apresentados por Giorgi (2016). Apresentaram resultados similares aos obtidos por Hattge (2005), que realizou teste de estanqueidade em SVVIE composto por blocos de concreto e blocos cerâmicos.

#### 4.4 Sustentabilidade

Os parâmetros de aceitabilidade do ensaio de ação de calor e choque térmico, conforme a ABNT NBR 15575-4 (2021), são:

a) não apresentar deslocamento horizontal instantâneo, que é medido após 45 minutos da estabilização da temperatura, no plano perpendicular ao corpo de prova superior a  $h/300$ , onde  $h$  é a altura do corpo de prova em milímetros, ou seja, o corpo de prova não pode apresentar deslocamento acima de 8 mm;

b) não apresentar ocorrência de falhas, como fissuras, deslocamentos, empolamentos, descoloramentos e outros danos que possam comprometer a utilização do sistema de vedação vertical externo.

Em cada ciclo, para fins de nomenclatura,  $D_{hi}$  é o deslocamento horizontal instantâneo medido após 45 minutos da estabilização da temperatura em  $80 \pm 3$  °C;  $D_{hr}$  é o deslocamento horizontal residual medido após o resfriamento da parede a temperatura de  $20 \pm 5$  °C; e,  $D_h$  é o deslocamento horizontal total sofrido pela parede a cada ciclo. A Tabela 10 apresenta os resultados do ensaio de choque térmico.

Tabela 10: Resultados do ensaio de choque térmico

Ciclos	$D_{hi}$	$D_{hr}$	$D_h$
1	1,35	1,00	0,35
2	1,48	1,06	0,42
3	1,14	1,25	-0,11
4	1,54	1,25	0,29
5	1,53	1,33	0,2
6	1,71	2,55	-0,84
7	1,4	1,67	-0,27
8	1,17	0,79	0,38
9	1,56	0,11	1,45
10	1,51	1,03	0,48

Ao observar a Tabela 10, nota-se que o deslocamento instantâneo máximo foi de 1,71mm no ciclo nº 06. Conforme recomendações da ABNT NBR 15575-4 (2021), a qual especifica que o deslocamento máximo instantâneo permitido é de 8,0 mm, conclui-se que os deslocamentos estão dentro do limite.

Observou-se a ocorrência de uma fissura com espessura de 0,2 mm após a realização do ciclo nº 10, o que não é permitido conforme a norma técnica. No entanto, a fissura não gerou deslocamento do reboco e consequências visuais mais graves no corpo de prova. Não se identificou infiltração de água no corpo de prova ao repetir o ensaio de estanqueidade à água após a execução dos 10 ciclos do ensaio de choque térmico, mesmo com a ocorrência da fissura.

## **5 CONCLUSÃO**

Com o presente trabalho demonstrou-se um caminho alternativo para o mercado da construção civil em relação à mitigação dos efeitos da elevada extração de recursos naturais, através da comercialização de blocos de concreto produzidos com RCD. Os estudos desenvolvidos em laboratório apresentaram o desempenho do SVVIE como solução construtiva.

Inicialmente, caracterizou-se o bloco de concreto a partir da realização dos ensaios de resistência à compressão e absorção de água da ABNT NBR 6136 (2016). Obteve-se o resultado para resistência característica de 3,01 MPa e 9,54% de absorção de água, caracterizando o bloco de concreto como Classe C da norma técnica. Executou-se os ensaios de resistência a compressão de prismas e protótipos de parede em dimensão reduzida para atendimento de requisitos da ABNT NBR 16868-3 (2020). Obteve-se o resultado de resistência característica para prismas e protótipos de parede em dimensão reduzida de, respectivamente, 2,33 MPa e 1,15 MPa. Considerou-se os parâmetros de caracterização do bloco de concreto como positivos.

No âmbito da norma de desempenho ABNT NBR 15575-4 (2021), em relação ao requisito de segurança estrutural o ensaio de impactos de corpo mole, impacto de corpo duro e solitação de peças suspensas. No ensaio de impacto de corpo mole verificou-se desempenho superior do SVVIE pela não ocorrência de ruína na energia de impacto igual a 480J. Na energia de impacto igual a 240J, os resultados de deslocamento instantâneo (dhi) e deslocamento residual (dhr) foram, respectivamente, de 4,25 mm e de 2,20 mm, ou seja, atendendo aos requisitos da norma técnica. No ensaio de impacto de corpo duro observou-se desempenho superior do SVVIE para as energias de impacto de 3,75J e 20J. Por último, o ensaio de solitação de peças suspensas apresentou resultados insatisfatórios para a carga de 800N com a utilização das buchas do tipo FU e UX 8mm. Em ambos os casos houve escorregamento e arrancamento do dispositivo de fixação, pois não ocorreu engastamento da solução no bloco de concreto. Observou-se que diferentemente de blocos cerâmicos, os blocos de concreto possuem menos áreas favoráveis ao engastamento adequado da fixação no bloco. Assim, é necessário a realização de novo ensaio com a fixação do sistema bucha-parafuso em uma das paredes transversais do bloco de concreto, com o objetivo de testar a eficiência da ancoragem nesta região.

Em relação ao requisito de habitabilidade, executou-se os ensaios de desempenho térmico e estanqueidade à água. O ensaio de desempenho térmico, apesar de não ser normatizado, ocorreu conforme procedimentos sugeridos por Lorenzi (2013), sendo possível a simulação de situações reais em corpos de prova com escala reduzida. A face exposta ao aquecimento dos corpos de prova não apresentou degradação, bem como a face externa não apresentou temperaturas superiores a 29°C, que é a temperatura máxima de conforto para o verão. No ensaio de estanqueidade à água, observou-se taxa de umidade igual a 2% da área total do SVVIE com a aplicação de revestimento de argamassa nas suas duas faces. Na realização dos ensaios com a face externa sem revestimento e somente com a aplicação de

impermeabilizante obteve-se resultados insatisfatórios. Sugere-se a execução de novo ensaio com ambas as faces do corpo de prova somente com revestimento de argamassa para a verificação do comportamento do sistema sob estas condições.

Em relação ao requisito de sustentabilidade, executou-se o ensaio de ação de calor e choque térmico. Verificou-se o deslocamento máximo instantâneo de 1,71 mm, sendo menor ao máximo permitido, neste caso equivalente a 8mm. Ao término do ciclo nº 10, observou-se uma fissura de 0,2mm no SVVIE, no entanto não ocorreu deslocamento do revestimento de argamassa ou outras consequências visíveis. Após o ensaio de choque térmico, realizou-se novamente o ensaio de estanqueidade à água e não ocorreu infiltrações acima da taxa permitida. Concluiu-se que a fissura não gerou consequências mais graves à durabilidade do SVVIE.

Com o intuito de estimular a continuidade da pesquisa, sugere-se a execução de mais ensaios para validação do sistema em outros requisitos da ABNT NBR 15575-4 (2021), como: segurança contra incêndio e desempenho acústico. No critério de segurança contra incêndio, o SVVIE deve ser capaz de dificultar a ocorrência da inflamação generalizada no ambiente de origem do incêndio e não gerar fumaça excessiva capaz de impedir a fuga dos ocupantes em situações de incêndio. Em relação ao critério de desempenho acústico, o SVVIE deve apresentar bons resultados de isolamento acústico em vedações externas e internas. Estes dois requisitos são de extrema relevância para a complementação dos resultados obtidos no presente artigo.

Em suma, conclui-se que o objetivo principal do trabalho foi atingido, uma vez que foi possível avaliar o desempenho do SVVIE, obtendo alguns resultados que atendem aos requisitos mínimos da norma técnica. Com os resultados da presente pesquisa, forneceu-se as informações técnicas para elaboração de uma cartilha de uso dos blocos de concreto. A cartilha será utilizada para compartilhamento com construtores a fim de mitigar riscos como medidas de prevenção em relação à umidade, indicação de sistemas de fixação para mobiliários residenciais e, também, o conforto térmico fornecido pela solução. Estas medidas promovem o melhor desempenho do sistema na construção civil, sendo equivalente a sistemas convencionais. Espera-se que com o resultado da pesquisa se aumente a comercialização dos blocos de concreto reciclados para as empresas do mercado da construção civil.

## REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6136**: blocos vazados de concreto simples para alvenaria - requisitos. Rio de Janeiro: ABNT, 2016.

\_\_\_\_\_. **NBR 12118**: blocos vazados de concreto simples para alvenaria - métodos de ensaio. Rio de Janeiro: ABNT, 2014.

\_\_\_\_\_. **NBR 15116**: agregados reciclados de resíduos sólidos da construção civil – utilização em pavimentação e preparo de concreto sem função estrutural – Requisitos. Rio de Janeiro: ABNT, 2004.

\_\_\_\_\_. **NBR 15575-1**: edificações Habitacionais – desempenho - parte 1 - requisitos para os sistemas de vedações verticais internas e externas - SVVIE. Rio de Janeiro: ABNT, 2021.

\_\_\_\_\_. **NBR 15575-4**: edificações Habitacionais – desempenho - parte 4 - requisitos para os sistemas de vedações verticais internas e externas - SVVIE. Rio de Janeiro: ABNT, 2021.

\_\_\_\_\_. **NBR 13281**: argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos — requisitos. Rio de Janeiro: ABNT: ABNT, 2005.

\_\_\_\_\_. **NBR 16868-3**: alvenaria estrutural – Parte 3: Métodos de ensaio. Rio de Janeiro: ABNT, 2020.

\_\_\_\_\_. **NBR 9935**: Agregados – Terminologia. Rio de Janeiro, 2011

- BIGOLIN, Morgane. et al. (Orgs). **Projeto mãos à obra: tecnologias sociais e produção de blocos com RCD**. Porto Alegre: UFRGS, 2014.
- BIGOLIN, Morgane. **Indicadores de desempenho para blocos de concreto: uma análise de requisitos mais sustentáveis para a produção a partir de RCD**. Porto Alegre, 2013. 163 p. Dissertação - Pós- Graduação em Engenharia Civil - Universidade Federal do Rio Grande do Sul.
- CHIELE, Gabriel Schaan. et al. Análise da viabilidade da produção de blocos de concreto com utilização de agregados reciclados. *In: Encontro Nacional Sobre Aproveitamento de Resíduos na Construção Civil*, 6, 2019, Pará. **Anais Eletrônicos** [...] Belém do Pará, UFPA, 2019. p. 186 -199 Disponível em: <<https://bit.ly/2JMrwPc>>. Acesso em: 26 ago. 2022
- CAVALLI, Juliana Giazzon. et al. Análise de índices ambientais e aspectos econômicos de blocos de concreto fabricados com resíduo de construção e demolição e cinzas de casca de arroz. *In: XVIII Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído*, 18, 2020, Porto Alegre. **Anais Eletrônicos** [...] Porto Alegre, ANTAC, 2020. p. 1 -8. Disponível em: <<https://bit.ly/3QUURaO>>. Acesso em: 26 ago. 2022
- GIORGI, Priscila. **Avaliação de desempenho de sistema de vedação vertical de bloco de solo-cimento conforme NBR 15575 referente à habitabilidade e sustentabilidade**. Santa Maria, 2016. 98 p. Dissertação - Mestrado em Engenharia Civil do programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, da Universidade Federal de Santa Maria.
- GOMES, Camila Lacerda. et al. Concretos com agregados reciclados de resíduos de construção e demolição e adições minerais: uma análise bibliográfica. **Revista Matéria** [online], v. 24, n. 2, 2019. Disponível em: <<https://revistas.ufrj.br/index.php/rm/article/view/28998>>. Acesso em: 5 out. 2022.
- HATTGE, Alex Fabiano. **Estudo comparativo sobre a permeabilidade das alvenarias em bloco cerâmicos e alvenarias em bloco de concreto**. Porto Alegre, 2004. 138 p. Dissertação - Mestrado em Engenharia Civil – Escola de Engenharia, Programa de Pós- Graduação em Engenharia Civil – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.
- IGLESIAS, Jádri Tosta Ventin. et al. **A economia circular no setor da construção Civil: Uma análise sobre a gestão e reciclagem**. *In: Encontro Nacional Sobre Aproveitamento de Resíduos na Construção Civil*, 6, 2019, Pará. **Anais Eletrônicos** [...] Belém do Pará, UFPA, 2019. p. 62-84. Disponível em: <<https://bit.ly/2JMrwPc>>. Acesso em: 09 abr. 2022.
- INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS (IPT). (2000). **Normas Técnicas para Avaliação de Sistemas Construtivos Inovadores para Habitações**.
- Koehnken, L., and Rintoul, M. (2018) **Impacts of Sand Mining on Ecosystem Structure, Process and Biodiversity in Rivers**. WWF. Disponível em: <[https://d2ouvy59p0dg6k.cloudfront.net/downloads/sand\\_mining\\_impacts\\_on\\_world\\_rivers\\_final\\_.pdf](https://d2ouvy59p0dg6k.cloudfront.net/downloads/sand_mining_impacts_on_world_rivers_final_.pdf)> Acesso em: 05 out. 2022.
- LORENZI, Luciani Somensi. **Análise crítica e proposições de avanço nas metodologias de ensaios experimentais de desempenho à luz da ABNT NBR 15575 (2013) para edificações habitacionais de interesse sociais térreas**. Porto Alegre, 2013. 245 p. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Escola de Engenharia, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.
- LINTZ, Rosa Cristina Cecche. et al. Estudo do reaproveitamento de resíduos de construção em concretos empregados na fabricação de blocos. **Revista IBRACON de Estruturas e Materiais** [online], v. 5, n. 2, p. 166-181, abril de 2012. Disponível em: <[http://www.ibracon.org.br/publicacoes/revistas\\_ibracon/riem/volume5\\_n2.asp](http://www.ibracon.org.br/publicacoes/revistas_ibracon/riem/volume5_n2.asp)>. Acesso em: 12 mar. 2022.
- MORAES, Fernanda Ramos. **Sistema de vedação vertical externo composto por concreto e PVC frente ao ensaio de ação de calor e choque térmico – Norma de Desempenho NBR**

**15575/2013.** Porto Alegre, 2015. 82 p. Monografia (Graduação em Engenharia Civil) – Escola de Engenharia, Departamento de Engenharia Civil – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.

OECD (2018). **Global Material Resources Outlook to 2060: Economic Drivers and Environmental Consequences**, OECD Publishing, Paris. Disponível em:

<<https://www.oecd.org/environment/waste/highlights-global-material-resources-outlook-to-2060.pdf>>. Acesso em: 05 out. 2022.

PARKESIAN, Guilherme Aris; SOARES, Márcia Melo. Alvenaria Estrutural em Blocos Cerâmicos: projeto, execução e controle. São Paulo: Nome da Rosa, 2011.

VOGT, Maira Machado. et al. Análise do desempenho de blocos de concreto produzidos a partir de agregados reciclados. In: Congresso Brasileiro do Concreto, IBRACON, 2020, Florianópolis, 62ª Congresso Brasileiro do Concreto.

Zhong, Xiaoyang. et al. Increasing material efficiencies of buildings to address the global sand crisis Nature Sustainability [online] v.5, p. 389- 392, 24 de março de 2022. Disponível em: <<https://www.nature.com/articles/s41893-022-00857-0>>. Acesso em: 02 out. 2022.