



**FALCÃO
BAUER**
Rua Aquinos, 111
Água Branca
05036-070 - São Paulo/SP
Tel/Fax (11) 3611-0833
www.institutofalcaobauer.com.br
inovacons@falcaobauer.com.br

Painéis de vedação pré-moldados mistos de concreto armado e blocos cerâmicos, sem função estrutural

Construtora Tenda S.A.
Rua Boa Vista, 280 – 8º andar – Centro
CEP: 01010-001 – São Paulo/SP
Tel.: (11) 3111 2682 / e-mail: amassote@tenda.com



SiNAT



Emissão
maio/2023

Considerando a avaliação técnica coordenada pela ITA Instituto Falcão Bauer da Qualidade e a decisão dos Técnicos Especialistas, indicados conforme a Portaria nº3.259, de 29 de dezembro de 2020, do Ministério do Desenvolvimento Regional, a Secretaria Nacional de Habitação resolveu conceder ao Proponente Construtora Tenda S.A. a Ficha de Avaliação de Desempenho N°061, em maio de 2023. Esta decisão é restrita às condições de uso definidas para o produto.

FAD
N°061

Considerações adotadas na avaliação técnica do produto “Painéis de vedações pré-moldados mistos de concreto armado e blocos cerâmicos, sem função estrutural” e no uso da FAD:

- A avaliação do produto considerou os painéis de vedação sem função estrutural pré-moldados mistos de concreto armado e blocos cerâmicos, empregados nas paredes externas e internas, bem como suas interfaces com pilares, vigas e lajes;
- Tratando-se de um painel de parede pré-moldado reticulado misto, sem função estrutural, destinado ao uso residencial, as avaliações realizadas abrangem os requisitos e critérios estabelecidos na ABNT NBR 16475, ABNT NBR 15575-1 e na ABNT NBR 15575-4;
- O painel de vedação pré-moldado misto de concreto armado e blocos cerâmicos, sem função estrutural, apresenta em sua moldagem viga incorporada na sua porção superior. Tal viga é parte integrante da estrutura monolítica concebida em concreto armado, conforme requisitos e critérios da ABNT NBR 9062, não sendo alvo da avaliação;
- A avaliação considerou análises projetuais e de cálculos, e resultados de ensaios estruturais, de modo a demonstrar a independência entre os painéis de vedação pré-moldados mistos de concreto armado e blocos cerâmicos, sem função estrutural, da estrutura monolítica em concreto armado da edificação (pilares, vigas e lajes);
- Foram avaliados os esforços atuantes no painel de vedação durante as fases de produção, transporte, montagem e em serviço, conforme o estabelecido na ABNT NBR 16475;
- A avaliação do projeto e cálculo estrutural foi realizada considerando o emprego dos painéis de vedação em edifícios habitacionais multifamiliares de até 26 pavimentos, onde a ação devida ao vento é da ordem $1,0\text{kN/m}^2$;
- A avaliação de desempenho estrutural considerou os ensaios de resistência a impactos de corpo mole e de corpo duro, solicitação transmitidas por portas para as paredes e solicitações de cargas de peças suspensas atuantes nas paredes;
- Foi realizado ensaio de resistência ao fogo conforme o estabelecido na ABNT NBR 10636-1;
- A estanqueidade à água foi avaliada por meio de ensaio laboratorial, análise de projetos e acompanhamento da montagem do protótipo, considerando os painéis, as juntas entre painéis e pilares, painéis e lajes e as interfaces com esquadrias. A estanqueidade à água das janelas não foi objeto da avaliação;
- O desempenho térmico foi avaliado para as oito zonas bioclimáticas, constantes da ABNT NBR 15220-3, considerando o procedimento simplificado conforme estabelecido na ABNT NBR 15575-4;
- A avaliação do desempenho acústico considerou o índice de redução sonora ponderado (R_w) do painel de parede cego determinado em ensaio de laboratório. As esquadrias utilizadas em fachadas devem ter valores adequados de R_w , de modo a atender ao critério normativo;

- A avaliação da durabilidade dos painéis de vedação, particularmente para o concreto armado, considerou a classe de concreto C40 ($f_{ck} \geq 40$ MPa, relação água/cimento $\leq 0,45$ e consumo mínimo de cimento de 360 kg/m^3) e cobrimento das armaduras dos painéis de vedação de 25 mm. A limitação deste cobrimento restringe o uso do painel às áreas de classes de agressividade ambiental I e II, correspondentes às zonas rural e urbana, respectivamente;

Os resultados apresentados no presente documento referem-se ao desempenho potencial obtido para o sistema avaliado. Para que o desempenho potencial da parede seja assegurado, faz-se necessária a execução em conformidade com as normas técnicas pertinentes, além da utilização de materiais que estão em conformidade às suas respectivas normas técnicas.

1. DESCRIÇÃO DO PRODUTO

O objeto desta FAD é o sistema de vedação vertical interno e externo, sem função estrutural, concebido por painéis pré-moldados mistos de concreto armado e blocos cerâmicos com espessura de 145 mm. Os painéis de vedação são produzidos simultaneamente com uma viga, a qual possui altura de acordo com o projeto específico e espessura de 145 mm, incorporada em sua porção superior (Figura 01).

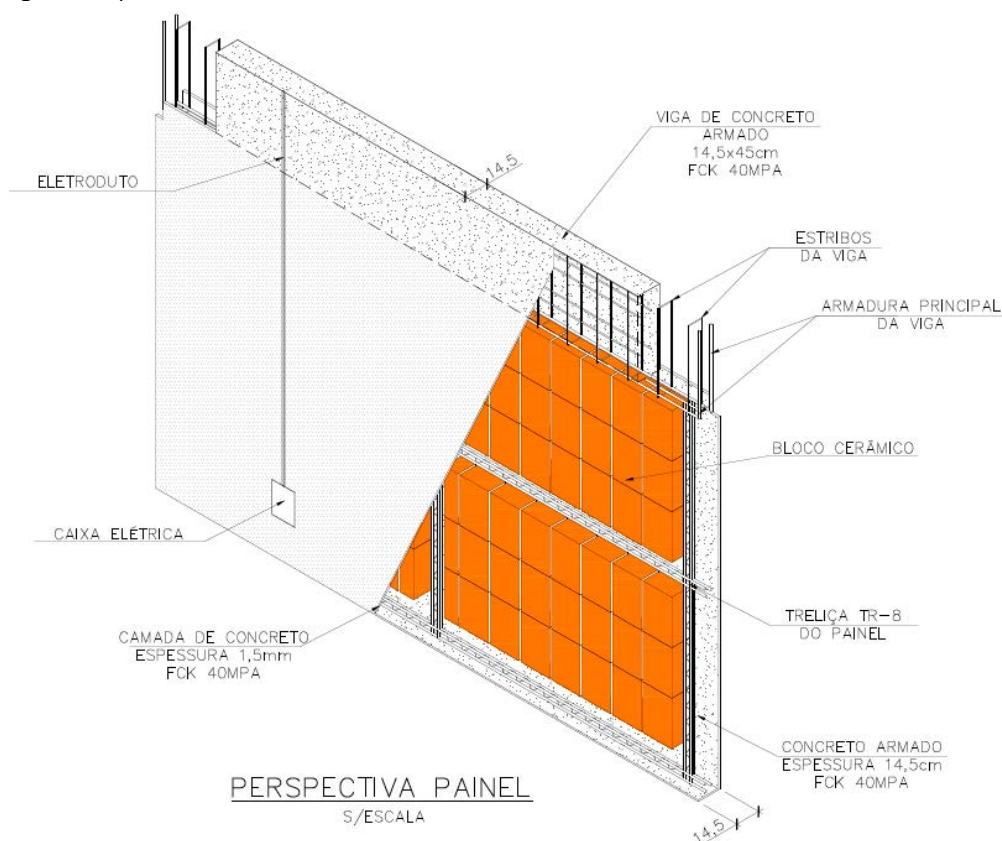


Figura 01 – Desenho esquemático do painel de vedação pré-fabricado com viga incorporada.

2. LIMITES DE APLICAÇÃO E DE USO

2.1. Recomendações gerais

O uso dos painéis de vedações pré-moldados mistos de concreto armado e blocos cerâmicos, sem função estrutural é destinado para paredes internas e externas de edificações habitacionais multifamiliares.

Para os empreendimentos nos quais sejam utilizados estes painéis, a avaliação de desempenho térmico (nível mínimo) por meio do procedimento simplificado, conforme a ABNT NBR 15575-1, deve também considerar a avaliação do sistema de cobertura.

Adicionalmente, de acordo a ABNT NBR 15575-4, o desempenho acústico dos sistemas de vedação vertical interna e externa deve ser avaliado em campo com a determinação da isolamento ao ruído aéreo.

2.2. Restrições de uso

Os painéis de vedação sem função estrutural, concebidos conjuntamente com as vigas estruturais, permitem remoções totais ou parciais, abertura de vãos e rasgos para instalações hidráulicas e elétricas, desde que não impactem os elementos estruturais (vigas e pilares).

Os cuidados na utilização, as cargas máximas permitidas para a fixação de peças suspensas, a periodicidade de manutenção das pinturas sobre as paredes e eventuais reparos devem constar nos manuais de uso, operação e manutenção das edificações, elaborados de acordo com a ABNT NBR 14037.

Para a durabilidade dos painéis considerou-se exclusivamente as classes de agressividade ambiental I e II equivalentes a áreas rurais e urbanas, respectivamente, conforme requisitos e critérios estabelecidos na ABNT NBR 6118.

3. CARACTERIZAÇÃO DIMENSIONAL, VISUAL E DE COMPOSIÇÃO

Os painéis de vedação não possuem função estrutural e são constituídos por camadas de concreto com 15 mm de espessura nas suas faces interna e externa, e blocos cerâmicos com 115 mm de espessura no seu interior, totalizando 145 mm de espessura. O comprimento máximo é de 6 620 mm e a altura é equivalente ao pé-direito de projeto.

As nervuras do painel são armadas com treliças de aço CA-60 (TR08644) amarradas na armadura da viga, sendo o espaçamento determinado pelo projeto específico de cada painel. Reforços com barras de aço (CA-50) e fios de aço (CA-60), de $\varnothing 5$ mm a $\varnothing 12,5$ mm são posicionados nas laterais do painel de vedação e nas laterais dos vãos de esquadrias. Para o içamento, são posicionados dutos plásticos em formato de “U” na armadura da viga incorporada ao painel de vedação pelo qual é transpassado cabo de aço quando do içamento (Figura 02).

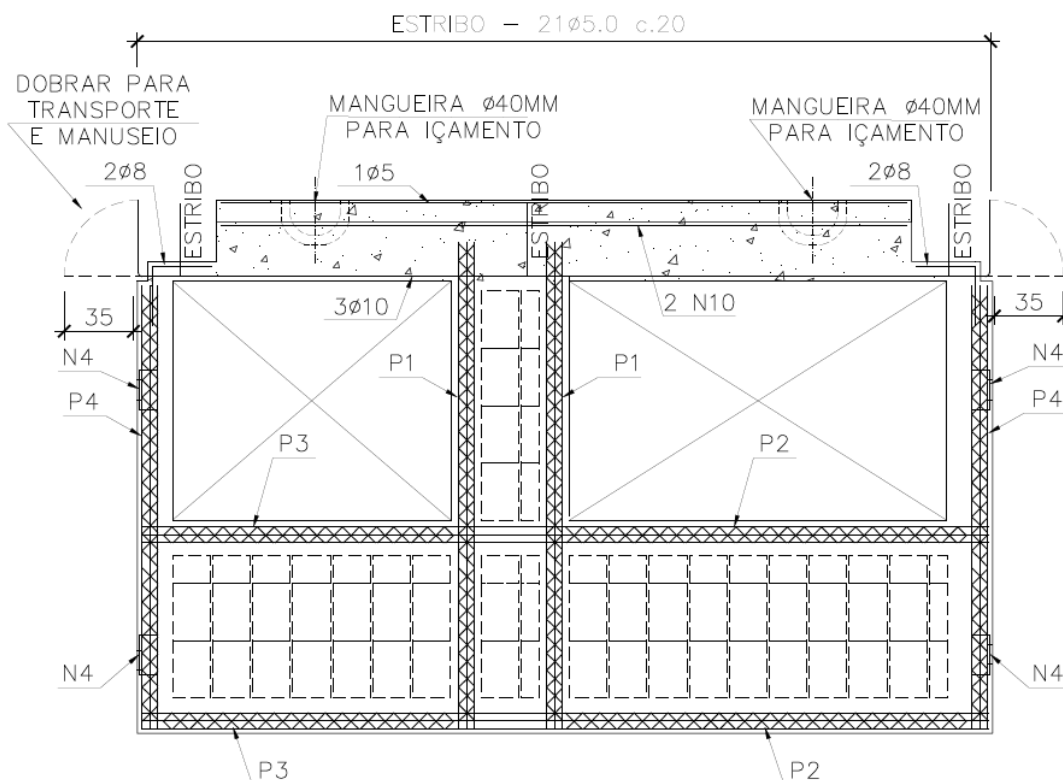


Figura 02 – Desenho esquemático do painel de vedação com viga incorporada.

A Tabela 1 apresenta o resumo das características dos materiais e componentes do painel de vedação.

Tabela 1 – Caracterização dos materiais e componentes construtivos

Materiais e componentes construtivos	Características	Método de ensaio
Concreto	Resistência característica à compressão (f_{ck}) 40MPa (28 dias)	ABNT NBR 5739
	Resistência à compressão para desmoldagem (f_{cj}) 16MPa (8 h)	
Blocos cerâmicos	8 furos com dimensões de 115 mm x 190 mm x 290 mm	ABNT NBR 15270-1
Armadura do painel	Treliça metálica em aço CA-60 Tipo TR08644	ABNT NBR 14859:3
Armaduras de reforço	Aço CA-50 Bitolas de 6,3 mm a 12,5 mm	ABNT NBR 7480

4. CONSIDERAÇÕES DE PROJETO E EXECUÇÃO

4.1. Premissas de projeto

O desempenho do sistema de vedação vertical sem função estrutural concebido por painéis mistos de concreto armado e blocos cerâmicos depende das características e desempenho de cada material e componente do sistema (concreto, bloco cerâmico, armaduras), além das especificações e detalhamento do projeto, tais como barras de reforço posicionadas nas laterais dos painéis e vãos de esquadrias, amarração das armaduras, alças de içamento, dentre outras. As especificações de projeto dos painéis pré-moldados devem ser estabelecidas considerando a ABNT NBR 16475.

4.2. Premissas de execução

Para que o desempenho potencial da parede seja assegurado faz-se necessária a execução em conformidade com as normas técnicas pertinentes, além da utilização de componentes e materiais que estão em conformidade às suas respectivas normas técnicas.

A moldagem dos painéis de vedação objeto desta FAD é realizada em unidade fabril. Os processos de produção, de montagem e de controle de qualidade devem atender ao estabelecido na ABNT NBR 16475 e ABNT NBR 9062.

4.3. Instalação, interfaces e condições de contorno

Os painéis de vedação pré-moldados são transportados para o local de montagem e são içados com o auxílio de guas ou guindastes. São apoiados sobre lâminas de EPS com 80 mm de largura e 25 mm de espessura, previamente posicionados sobre a laje, formando um vão suficiente para evitar a transmissão de cargas de um painel do pavimento para a viga do pavimento inferior (Figura 03). As ligações entre painéis de vedação e pilares são realizadas com a soldagem em 4 pontos de ancoragem (Figura 04). Nas interfaces entre painéis de vedação e pilares e entre painéis de vedação e lajes é realizado o preenchimento dos vãos com argamassa do tipo ACII com aditivo expansor. O tratamento das juntas internas e externas é realizado com tela poliéster e aplicação de impermeabilizante flexível à base de polímeros acrílicos e poliuretano, criando uma membrana híbrida monocomponente em dispersão aquosa.



Figura 03 – Posicionamento do painel de vedação sobre lâmina de EPS.



Figura 04 – Ligação entre painel de vedação e pilar.

Para o atendimento global do desempenho se faz necessário o controle das etapas de recebimento e aceitação dos materiais e componentes utilizados nos painéis, bem como das etapas de produção, armazenamento, transporte, montagem e aceitação final do produto. Tal controle é viabilizado por meio de procedimentos, quais sejam: instruções de trabalho, especificações técnicas, fichas de verificação de serviços, entre outros.

5. TABELA-RESUMO DA AVALIAÇÃO DE DESEMPENHO

A Tabela 2 apresenta o resumo da avaliação de desempenho do produto objeto desta FAD.

Tabela 2 – Resumo da Avaliação de Desempenho (continua).

Avaliação	Resultados	Documento técnico
Desempenho Estrutural		
Esforços atuantes nas fases de produção, transporte, montagem e em serviço (memória de cálculo)	Os painéis de vedação sem função estrutural atendem aos requisitos estabelecidos na ABNT NBR 16475.	Relatório de Avaliação, realizado pela IMF Engenharia, emitido em 20 de janeiro de 2023.
Ensaio de flexão ortogonal ao painel de vedação (sem viga incorporada)	De acordo com os resultados obtidos, tem-se que o momento fletor devido ao seu próprio peso é de $M_{pp} = 1,55\text{kN.m/m}$ e o momento fletor causador da 1ª fissura foi de $M_{1^a \text{ fissura}} = 1,55\text{kN.m/m} + 4,17\text{kN.m/m} = 5,72\text{kN.m/m}$, portanto, a relação $M_{1^a \text{ fissura}}/M_{pp} = 5,72/1,55 = 3,69$.	Relatório Técnico de Ensaio de Desempenho Estrutural, emitido pela Fundação Christiano Ottoni - UFGM
Ensaio de flexão ortogonal ao painel de vedação (com viga incorporada), vinculado a dois pilares	O painel e respectivas vinculações (viga e pilares) atendem aos requisitos estabelecidos na ABNT NBR 6123, uma vez que a carga correspondente à 1ª fissura é $Q_{1^a \text{ fissura}} = 2,43 \text{ kN/m}^2$ (peso próprio) + $1,3 \text{ kN/m}^2$ (sobrecarga de água) = $3,73 \text{ kN/m}^2$ e a carga devida ao vento é aproximadamente $Q_{\text{vento}} = 1,00 \text{ kN/m}^2$, ou seja, a relação $Q_{1^a \text{ fissura}}/Q_{\text{vento}} = 3,73/1,00=3,73$.	Relatório Técnico de Ensaio de Desempenho Estrutural, emitido pela Fundação Christiano Ottoni - UFGM
Ensaio de compressão no painel de vedação (com viga incorporada) sob carga concentrada	Verifica-se a partir dos resultados obtidos, que o peso próprio do painel é de $Q_{pp} = 2,16\text{kN}$ e a carga correspondente à 1ª fissura é de $Q_{1^a \text{ fissura}} = 2,16\text{kN} + 431\text{kN} = 433,16\text{kN}$; portanto, a relação $Q_{1^a \text{ fissura}}/Q_{pp} = 433,16/2,16$ é superior a 200.	Relatório Técnico de Ensaio de Desempenho Estrutural, emitido pela Fundação Christiano Ottoni - UFGM
Ensaio de compressão no painel de vedação (com viga incorporada) sob carga vertical centrada	Concluiu-se que, a flecha máxima obtida de 0,66 mm é inferior ao vão de 25 mm previsto na montagem dos painéis de vedação, conseqüentemente tal vão é suficiente para evitar a transmissão de cargas do painel de um pavimento para a viga do pavimento inferior.	Relatório Técnico de Ensaio de Desempenho Estrutural, emitido pela Fundação Christiano Ottoni - UFGM
Ensaio de resistência a impactos de corpo mole	Sem ocorrências de falhas para as energias de 120J a 720J. Nível de desempenho: superior	Relatórios de Ensaio Nº ENE/147.428-A/22 e Nº ENE/159.522-A/23, emitidos pela L.A. Falcão Bauer
Ensaio de resistência a impactos de corpo duro	Sem ocorrências de falhas para as energias de 2,5J e de 10J (SVVI) e de 3,75J e de 20J (SVVE). Nível de desempenho: superior	Relatórios de Ensaio Nº ENE/147.428-A/22 e Nº ENE/159.522-A/23, emitidos pela L.A. Falcão Bauer
Ensaio de solicitações transmitidas por portas	Sem ocorrências de falhas. Nível de desempenho: mínimo (único especificado)	Relatório de Ensaio Nº ENE 149.325 – 2/22, emitido pela L.A. Falcão Bauer
Ensaio de resistência às solicitações de cargas de peças suspensas atuantes nas paredes	Sem ocorrências de falhas para cargas de ensaio aplicadas de 0,8kN, sendo 0,4kN em cada ponto e de 1,2kN, sendo 0,6kN em cada ponto com a duração de 24 horas. Nível de desempenho: superior	Relatórios de Ensaio Nº ENE 159.512-1-A/23 e Nº ENE 160.354/23, emitidos pela L.A. Falcão Bauer
Segurança contra incêndio		
Ensaio de resistência ao fogo	Resistência ao fogo, no grau corta-fogo, pelo período de 120 minutos (CF120).	Relatório de Ensaio Nº4984/2022, emitido pela itt Performance, UNISINOS

Tabela 2 – Resumo da Avaliação de Desempenho (conclusão).

Avaliação	Resultados	Documento técnico
Desempenho acústico		
Ensaio em laboratório para determinar o índice de redução sonora ponderado (R_w)	O resultado obtido foi de 48dB para o painel de vedação cego com espessura de 145 mm.	Relatório de Ensaio N°5086/2023, emitido pelo itt Performance, UNISINOS
Desempenho térmico		
Procedimento simplificado	Atende aos requisitos e critérios de transmitância térmica (U_{par}) e capacidade térmica (CT_{par}) do sistema de vedação vertical externa (SVVE), em todas as zonas bioclimáticas.	Relatório Técnico N°005/2022_Rev.01, emitido pelo IFBQ
Estanqueidade à água		
Ensaio de estanqueidade à água de chuva das fachadas, considerando juntas verticais e juntas horizontais entre painéis cegos	Sem ocorrências de manchas de umidade na face oposta à incidência da água. Nível de desempenho: superior	Relatórios N° ENE 135.406/22 e ENE 135.412/22, emitidos pela L.A. Falcão Bauer Ltda..
Durabilidade		
Ensaio de resistência ao calor e choque térmico das paredes de fachada	Sem ocorrências de falhas e deslocamento horizontal instantâneo acima do limite estabelecido na ABNT NBR 15575-4. Nível de desempenho: mínimo (único especificado)	Relatórios N° ENE 135.406/22 e ENE 135.412/22, emitidos pela L.A. Falcão Bauer Ltda..

6. DESEMPENHO DO PRODUTO E IMPACTO NA EDIFICAÇÃO

A avaliação de desempenho objeto desta FAD, considerou os painéis analisados isoladamente e um protótipo montado no pátio da unidade fabril da Tenda em Atibaia/SP. Também foram considerados os respectivos projetos executivos e, adicionalmente, adotou-se como exemplo projeto executivo de edifício multifamiliar com 26 pavimentos.

Ressalta-se que o protótipo trata-se de edifício multifamiliar de 2 pavimentos concebido com sistema construtivo que utiliza os painéis pré-moldados sem função estrutural como vedações verticais interna e externa.

6.1. Desempenho estrutural

O desempenho estrutural dos painéis de vedação sem função estrutural foi avaliado considerando os requisitos de resistência às ações horizontais (ações do vento) e de resistência às ações verticais, resistência a impactos de corpo mole e de corpo duro, resistência a peças suspensas e resistência à solicitação de portas, conforme o estabelecido na ABNT NBR 15575-4.

As análises com base nas memórias de cálculo estrutural, no projeto estrutural e em ensaios, validam a independência entre a estrutura monolítica em concreto armado da edificação (pilares, vigas e lajes) e os painéis de vedação pré-moldados mistos de concreto armado e blocos cerâmicos, sem função estrutural.

Foi também realizada a avaliação do painel de vedação, considerando os esforços atuantes nas fases de produção, transporte, montagem e em serviço, conforme o estabelecido na ABNT NBR 16475. A verificação está contemplada no Relatório de Avaliação, realizado pela IMF Engenharia, emitido em 20 de janeiro de 2023.

Como conclusão, nota-se que os painéis de vedação pré-fabricados mistos de concreto armado e blocos cerâmicos sem função estrutural atendem aos requisitos e critérios estabelecidos na ABNT NBR 16475.

6.1.1. Ensaio de flexão ortogonal ao painel de vedação (sem viga incorporada)

O ensaio de resistência à flexão simples de paredes, verificou a capacidade resistente do painel sob ação de carregamentos normais ao seu plano, tais como ações provenientes do processo de desmoldagem, de içamento e de transporte.

Conforme apresentado no Relatório Técnico de Ensaios de Desempenho Estrutural, emitido pela Fundação Christiano Ottoni - UFMG, foram ensaiados quatro corpos de prova com dimensões de 120 cm x 240 cm, sem a viga incorporada. A Tabela 3 apresenta a síntese dos resultados obtidos.

Tabela 3 – Síntese dos resultados dos ensaios de flexão ortogonal ao painel de vedação (sem viga incorporada)

Corpo de prova ensaiado	Carga da 1ª fissura (kN)	Deslocamento vertical - 1ª fissura (mm)	Momento fletor máximo - 1ª fissura (kN.m/m)	Carga de ruptura (kN)
CP 1	13,35	0,96	4,45	15,13
CP 2	4,5	3,80	1,50	9
CP 3	21,4	0,86	7,13	28,9
CP 4	12,5	0,63	4,17	18,7
Carga devida ao peso próprio – $8,02 \text{ kN}/3,12\text{m}^2 = 2,57 \text{ kN}/\text{m}^2$; Momento Fletor Máximo devido ao peso próprio = $2,57 * 2,2 * 2,2/8 = 1,55 \text{ kN.m}/\text{m}$.				

De acordo com os resultados obtidos, tem-se que o momento fletor devido ao seu próprio peso é de $M_{pp} = 1,55 \text{ kN.m}/\text{m}$ e o momento fletor causador da 1ª fissura foi de $M_{1ª \text{ fissura}} = 1,55 \text{ kN.m}/\text{m} + 4,17 \text{ kN.m}/\text{m} = 5,72 \text{ kN.m}/\text{m}$, portanto, a relação $M_{1ª \text{ fissura}}/M_{pp} = 5,72/1,55 = 3,69$.

6.1.2. Ensaio de flexão ortogonal ao painel de vedação (com viga incorporada), vinculado a dois pilares

Conforme apresentado no Relatório Técnico de Ensaios de Desempenho Estrutural, emitido pela Fundação Christiano Ottoni - UFMG, foi realizado ensaio de flexão ortogonal ao painel de vedação com a viga incorporada e vinculado a dois pilares, para verificar a capacidade resistente do painel sob a ação de carregamentos uniformemente distribuídos ao seu plano, como ações devidas ao vento, bem como a capacidade resistente das vinculações viga/painel e pilares/painel.

O carregamento distribuído aplicado durante o ensaio foi gerado por meio de adição de água de forma gradativa até a ruptura do painel. Portanto, para a análise dos resultados, deve-se considerar o carregamento distribuído por meio da água e peso próprio do painel. A Tabela 4 apresenta a síntese dos resultados.

Tabela 4 – Síntese dos resultados dos ensaios de flexão ortogonal ao painel de vedação (com viga incorporada e pilares vinculados)

Corpo de prova ensaiado	Carga da 1ª fissura na vinculação painel/pilar (kN/m ²)	Carga da 1ª fissura no painel (kN/m ²)	Carga de ruptura (kN/m ²)
CP 1	1,30	1,43	2,01
Carga devida ao peso próprio = $21,63 \text{ kN}/8,91\text{m}^2 = 2,43 \text{ kN}/\text{m}^2$			

A carga de serviço obtida de $2,43 \text{ kN}/\text{m}^2$ (devido ao peso próprio) acrescida de $1,3 \text{ kN}/\text{m}^2$ (devido à água), perfazendo $3,73 \text{ kN}/\text{m}^2$, permite concluir que o painel pode ser utilizado com segurança, como vedação, em edifício de até 26 pavimentos (térreo + 25 pavimentos), onde a ação devida ao vento é da ordem $1,0 \text{ kN}/\text{m}^2$.

Portanto, o painel e respectivas vinculações (viga e pilares) atende aos requisitos estabelecidos na ABNT NBR 6123, uma vez que a carga correspondente à 1ª fissura é $Q_{1ª \text{ fissura}} = 2,43 \text{ kN}/\text{m}^2$ (peso próprio) + $1,3 \text{ kN}/\text{m}^2$ (sobrecarga de água) = $3,73 \text{ kN}/\text{m}^2$ e a carga devida ao vento é aproximadamente $Q_{\text{vento}} = 1,00 \text{ kN}/\text{m}^2$, ou seja, a relação $Q_{1ª \text{ fissura}}/Q_{\text{vento}} = 3,73/1,00 = 3,73$.

6.1.3. Ensaio de compressão no painel de vedação (com viga incorporada) sob carga concentrada

Conforme apresentado no Relatório Técnico de Ensaios de Desempenho Estrutural, emitido pela Fundação Christiano Ottoni – UFMG, foram realizados ensaios laboratoriais para avaliar a resistência às ações verticais, considerando o estado-limite último e o estado-limite de serviço, conforme a ABNT NBR 15575-2. Os ensaios foram realizados em três corpos de prova de painéis de vedação com a viga incorporada (46 cm x 14,5 cm), com dimensões totais de 330 cm de comprimento, 270 cm de altura e espessura de 14,5 cm. Destaca-se que os painéis estavam apoiados em toda a sua extensão, na laje de reação do laboratório. Na Tabela 5 apresenta-se a síntese dos resultados dos ensaios de compressão realizados em laboratório.

Tabela 5 – Síntese dos resultados dos ensaios de compressão sob carga concentrada

Corpo de prova ensaiado	Carga da 1ª fissura (kN)	Carga de ruptura (kN)
CP 1	655	1024
CP 2	431	948
CP 3	432	1119

Verifica-se a partir dos resultados obtidos, que o peso próprio do painel é de $Q_{pp} = 2,16\text{kN}$ e a carga correspondente à 1ª fissura é de $Q_{1^{\text{a}} \text{ fissura}} = 2,16\text{kN} + 431\text{kN} = 433,16\text{kN}$; portanto, a relação $Q_{1^{\text{a}} \text{ fissura}}/Q_{pp} = 433,16/2,16$ é superior a 200.

6.1.4. Ensaio de compressão no painel de vedação (com viga incorporada) sob carga centrada

Conforme apresentado no Relatório Técnico de Ensaios de Desempenho Estrutural, emitido pela Fundação Christiano Ottoni – UFMG, foi realizado ensaio laboratorial em painel de vedação sem função estrutural contemplando a viga incorporada e os pilares vinculados no local, visando verificar o comportamento do conjunto estrutura-painel de vedação, de modo a ratificar que o vão de 20 mm previsto na montagem dos painéis de vedação é superior a flecha obtida no ensaio. O corpo de prova do painel de vedação com a viga incorporada (46 cm x 14,5 cm), possuía dimensões totais de 330 cm de comprimento, 270 cm de altura e espessura de 14,5 cm.

No ensaio, para verificar possíveis flechas oriundas do carregamento, foi deixado um vão livre entre a face da porção inferior do painel e a laje de piso do laboratório. Os painéis foram submetidos às ações verticais concentradas no meio dos respectivos vãos, aplicadas por meio da viga do pórtico de reação. O carregamento foi crescente até a ruptura. Foram medidos os deslocamentos verticais no espaço livre entre a face inferior do painel e a laje de piso do laboratório (flecha), bem como monitorado o aparecimento de fissuras no painel de vedação e na estrutura composta por viga e pilares. A Tabela 6 apresenta a síntese dos resultados do ensaio de compressão centrada.

Tabela 6 – Síntese dos resultados do ensaio de compressão centrada

Corpo de prova ensaiado	Carga da 1ª fissura (kN)	Carga de ruptura (kgf)	Deslocamento vertical máximo (mm)
CP 1	550	654	0,66

Conclui-se que, a flecha máxima obtida de 0,66 mm é inferior ao vão de 20 mm previsto na montagem dos painéis de vedação, conseqüentemente, tal vão é suficiente para evitar a transmissão de cargas do painel de um pavimento para a viga do pavimento inferior.

6.1.5. Resistência a impactos de corpo mole e de corpo duro

Foram realizados ensaios para verificação da resistência a impactos de corpo mole e de corpo duro para os painéis sem função estrutural utilizados no sistema de vedação vertical (interna e externa) do protótipo montado no pátio da unidade fabril da Tenda em Atibaia/SP, conforme apresentado nos Relatórios de Ensaios N° ENE/147.428-A/22 e N° ENE/159.522-A/23, emitido pela Falcão Bauer.

Tabela 7 – Síntese dos resultados de ensaios de resistência a impactos de corpo mole

Tipos de impactos	Elementos	Energias aplicadas	Resultados
Impactos de corpo mole	Vedação vertical externa/fachada sem função estrutural (impacto na face externa)	120 J a 720 J	Não apresentaram falhas (fissuras, mossas e frestas) e rupturas. Ausência de deslocamentos horizontal instantâneo e horizontal residual.
	Vedação vertical externa/fachada sem função estrutural (impacto na face interna)	120 J a 480 J	
	Vedação vertical interna sem função estrutural	120 J a 360 J	
Impactos de corpo duro	Vedação vertical externa/fachada sem função estrutural (impacto na face externa)	3,75 J e 20 J	Não apresentaram falhas (fissuras, mossas e frestas) e rupturas.
	Vedação vertical interna sem função estrutural	2,5 J e 10 J	

Os resultados denotam atendimento aos critérios estabelecidos na ABNT NBR 15575-4, apresentando nível de desempenho superior.

6.1.6. Solicitações transmitidas por portas para as paredes

Os ensaios de solicitações transmitidas por portas, considerando fechamento brusco e impacto de corpo mole realizados no protótipo montado no pátio da unidade fabril da Tenda em Atibaia/SP, consta do Relatório de Ensaio N° ENE 149.325 – 2/22, emitido pela L.A. Falcão Bauer.

Foi realizado ensaio na porta externa e em uma porta interna da unidade habitacional, em ambos os sentidos (abertura e fechamento). Não foram observadas falhas (fissurações, destacamentos, entre outras) no encontro com o marco, cisalhamentos nas regiões de solidarização do marco com a parede, nem destacamentos em juntas entre componentes das paredes, demonstrando atendimento ao critério estabelecido na ABNT NBR 15575-4.

6.1.7. Solicitações de cargas de peças suspensas atuantes nas paredes

Os ensaios de verificação da capacidade de suporte de peças suspensas realizados no protótipo montado no pátio da unidade fabril da Tenda em Atibaia/SP, apresentados nos Relatórios de Ensaio N° ENE 159.512-1-A/23 e N° ENE 160.354/23, emitidos pela L.A. Falcão Bauer, consideraram dispositivos padrão com duas mãos francesas. As cargas de ensaio aplicadas foram de 0,8 kN, sendo 0,4 kN em cada ponto e de 1,2 kN, sendo 0,6 kN em cada ponto com a duração de 24 horas. O tipo de fixação utilizada nos ensaios foram buchas nylon S10 com $\varnothing 10$ mm e parafusos sextavados com dimensões de 11 mm x 63,61 mm.

Os resultados obtidos nos ensaios demonstraram atendimento ao critério superior da ABNT NBR 15575-4.

6.2. Segurança contra incêndio

Os painéis de vedação pré-fabricados mistos de concreto armado e blocos cerâmicos sem função estrutural são compostos por materiais incombustíveis, não se caracterizando como propagadores de incêndio. Também apresentam características adequadas em termos de desenvolvimento de fumaça, não agravando o risco de incêndio.

Foi realizado ensaio laboratorial de resistência ao fogo, conforme apresentado no Relatório de Ensaio N°4984/2022, emitido pela itt Performance, UNISINOS. Os resultados obtidos demonstram que o painel de vedação com viga incorporada, sem função estrutural, atendeu aos critérios de estanqueidade, estabilidade e isolamento térmico conforme o estabelecido na ABNT NBR 10636-1, apresentando resistência ao fogo, no grau corta-fogo, pelo período de 120 minutos (CF120).

Conclui-se que os painéis de vedação pré-fabricados mistos de concreto armado e blocos cerâmicos sem função estrutural, atendem ao critério estabelecido na ABNT NBR 15575-4 e ABNT NBR 14432, considerando edificações habitacionais de até 26 pavimentos (térreo + 25 pavimentos).

6.3. Desempenho acústico

Conforme estabelecido na ABNT NBR 15575-4, para estimar o isolamento acústico de um sistema construtivo com diversos elementos, é necessário conhecer o índice de redução sonora ponderado - R_w de cada um deles, para depois calcular o isolamento global do conjunto.

Foi realizado ensaio de laboratório conforme apresentado no Relatório de Ensaio N°5086/2023, emitido pelo itt Performance, UNISINOS, para verificar o índice de redução sonora ponderado (R_w) do painel de vedação cego com espessura de 145 mm. O resultado obtido foi de 48 dB.

6.1.1. R_w para vedações verticais internas

A síntese dos resultados para vedações verticais internas encontra-se apresentada na Tabela 8.

Tabela 8 – Síntese dos resultados obtidos em ensaio de laboratório – R_w (continua).

Elemento	Valor de referência, R_w (dB) (sistemas pesados conforme Anexo F da ABNT NBR 15575-4:2021)	Valor determinado em ensaio de laboratório - R_w (dB)
Parede entre as unidades habitacionais autônomas (parede de geminação), nas situações em que não haja ambiente dormitório.	≥ 43	48
Parede entre as unidades habitacionais autônomas (parede de geminação), caso pelo menos um dos ambientes seja dormitório.	≥ 48	

Tabela 8 – Síntese dos resultados obtidos em ensaio de laboratório – R_w (conclusão).

Elemento	Valor de referência, R_w (dB) (sistemas pesados conforme Anexo F da ABNT NBR 15575-4:2021)	Valor determinado em ensaio de laboratório - R_w (dB)
Parede cega de dormitórios entre uma unidade habitacional e as áreas comuns de trânsito eventual, como corredores e escadaria dos pavimentos.	≥ 43	48
Parede cega entre uma unidade habitacional e as áreas comuns de trânsito eventual, como corredores e escadaria dos pavimentos, nas situações em que não haja ambiente dormitório.	≥ 33	
Parede cega entre o dormitório ou sala de uma unidade habitacional e as áreas comuns de permanência de pessoas, atividades de lazer e atividades esportivas, como <i>home theater</i> , salas de ginástica, salão de festas, salão de jogos, banheiros e vestiários coletivos, cozinhas e lavanderias coletivas.	≥ 48	

Conclui-se a partir do resultado de ensaio que os painéis de vedação pré-fabricados mistos de concreto armado e blocos cerâmicos sem função estrutural, apresenta índice de redução sonora ponderado compatível com os valores de referência de R_w para atendimento ao critério mínimo de isolamento a ruído aéreo de vedações verticais internas.

6.1.2. R_w composto para fachadas

Para a determinação do R_w composto para fachadas, deve-se considerar o índice de redução sonora ponderado da parede e da esquadria, bem como as áreas da parede de fachada do dormitório e da esquadria, conforme o estabelecido no Anexo F da ABNT NBR 15575-4.

Com base nos resultados dos cálculos, considerando o resultado do ensaio realizado para o painel de fachada cego e os índices de redução sonora mínimo para a esquadria do dormitório, conclui-se que, o painel de vedação para fachada apresenta potencial de atendimento de desempenho acústico conforme ABNT NBR 15575-4.

6.4. Desempenho térmico

A verificação do desempenho térmico conforme o procedimento simplificado foi realizada com base na ABNT NBR 15575 – Edificações Habitacionais – Desempenho Parte 1: Requisitos gerais. Os requisitos e critérios aplicados aos sistema de vedação vertical externa (SVVE) são descritos na ABNT NBR 15575-4.

O procedimento simplificado avaliou o desempenho térmico dos painéis de vedação vertical externos isentos de aberturas (cegos), por meio da definição de suas propriedades térmicas (transmitância térmica e capacidade térmica).

De acordo com o Relatório Técnico N°005/2022_Rev.02, emitido pelo IFBQ, os cálculos para determinar a transmitância térmica e a capacidade térmica, levaram em consideração as seguintes seções do painel de vedação, conforme representado na Figura 05:

- Seção 01 (cor amarelo): Concreto + Concreto estrutural + Concreto;
- Seção 02 (cor laranja): Concreto + Septo do bloco cerâmico + Concreto;
- Seção 03 (cor azul): Concreto + Septo do bloco cerâmico + Ar do bloco + Septo do bloco cerâmico + Ar do bloco + Septo do bloco cerâmico + Concreto;
- Seção 04 (cor verde): Concreto.

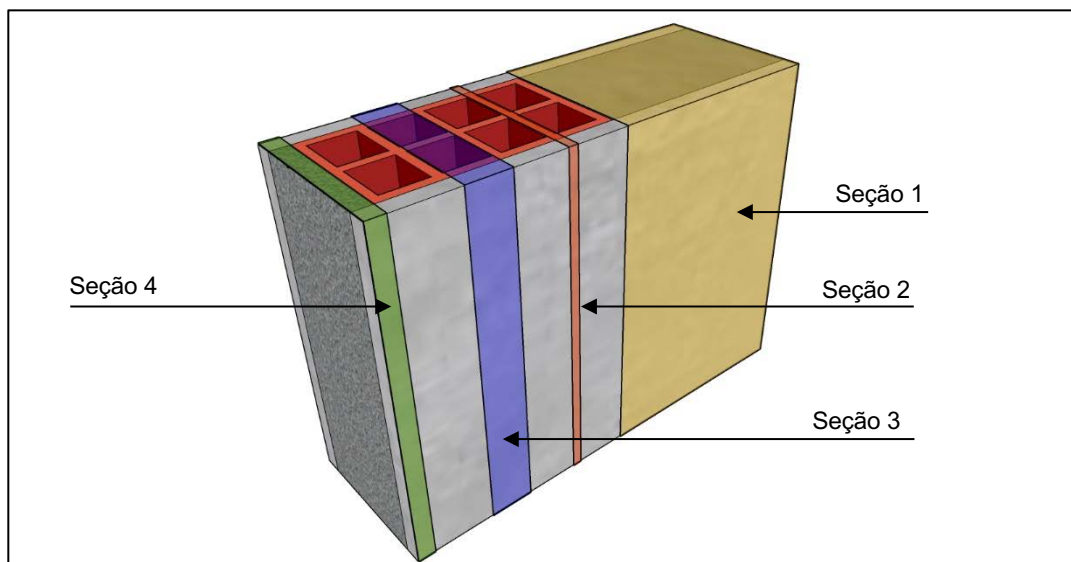


Figura 05 – Corte esquemático do painel de vedação indicando as seções utilizadas nos cálculos.

Na Tabela 9 são apresentados os resultados de transmitância térmica dos painéis de vedação.

Tabela 9 – Valores de transmitância térmica

Elemento	Seção	Resist. térmica (Rc;op) m²K/W	Limite superior da resist. térmica total (Rtot;upper) m²K/W	Limite inferior da resist. térmica total (Rtot;lower) m²K/W	Resist. térmica total (Rtot) m²K/W	Estimativa de erro %	Transmit. térmica (U) W/m²K
Painéis de vedação pré-moldados sem função estrutural	1 (amarelo)	0,5729	0,5626	0,3016	0,4321	5,64	2,31
	2 (laranja)	0,6349					
	3 (azul)	0,5338					
	4 (verde)	0,6071					

Na Tabela 10 são apresentados os resultados da capacidade térmica para as paredes externas.

Tabela 10 - Valores de capacidade térmica

Elemento	Seção	Capacidade térmica (CT) kJ/m²·K	Capacidade térmica da parede (CT _{par}) kJ/m²·K
Painéis de vedação pré-moldados sem função estrutural	1 (amarelo)	319	155
	2 (laranja)	214	
	3 (azul)	97	
	4 (verde)	285	

De acordo com os resultados obtidos conforme método de cálculo estabelecido na ABNT NBR 15220-2, tem-se que a transmitância térmica (U_{par}) e a capacidade térmica (CT_{par}) do painel atendem aos critérios estabelecidos na ABNT NBR 15575-4.

6.5. Estanqueidade à água

Foram realizados ensaios de estanqueidade à água de chuva das fachadas, considerando juntas verticais e juntas horizontais entre painéis cegos, conforme apresentado nos Relatórios Nº ENE 135.406/22 e ENE 135.412/22, emitidos pela L.A. Falcão Bauer Ltda..

O ensaio consistiu em submeter, durante um período de 7 h, a face externa do corpo de prova a uma vazão de água de 3 L/min/m², criando uma película homogênea e contínua, com a aplicação simultânea de uma pressão pneumática de 50 Pa sobre esta mesma face. Foram ensaiados dois corpos de prova, sendo um painel conformando juntas verticais e outro conformando juntas horizontais, os quais receberam tratamento com tela poliéster e aplicação de impermeabilizante flexível à base de polímeros acrílicos e poliuretano, criando uma membrana híbrida monocomponente em dispersão aquosa, conforme norma ABNT NBR 13321.

Os resultados obtidos demonstram que foram atendidos os critérios de nível de desempenho superior estabelecidos na ABNT NBR 15575-4.

Foram também realizadas análises de projeto para avaliar os aspectos que influenciam a estanqueidade à água dos painéis de parede em relação às fontes de umidade externas e internas à edificação. A estanqueidade à água das paredes externas e internas foi considerada satisfatória em razão das características construtivas do painel e das soluções propostas entre interfaces, bem como dos revestimentos e acabamentos especificados. Na face externa dos painéis foi especificado selador acrílico e textura acrílica. E na face interna dos painéis foi especificada pintura látex à base de PVA (áreas secas) ou acrílica (áreas molhadas e molháveis) e revestimento cerâmico.

Quanto à estanqueidade da interface entre painéis de parede e de pisos internos e externos, verificou-se diferença de cota entre o piso acabado interno e o externo e entre o piso acabado do banheiro e o do box. Em todos os ambientes de áreas molháveis (cozinha, lavabo, sacada coberta) ou molhadas (banheiro e área de serviço) foi especificado impermeabilizante de base cimentícia no piso e nas paredes, de modo a conformar um barrado de 300 mm de altura, previamente ao assentamento do revestimento cerâmico.

Com relação à impermeabilização na interface dos painéis de parede e laje de piso, verificou-se que os painéis são apoiados sobre lâminas de EPS e que o vão entre a parte inferior do painel e a laje de piso é preenchida com argamassa do tipo ACII com aditivo expansor (dosagem 2%). Nas bases das paredes externas são especificadas uma faixa de 600 mm de emulsão acrílica e tela de poliéster com 300 mm de largura, sendo 150 mm aplicada sobre a base da parede e 150 mm sobre a calçada perimetral.

Conclui-se que os resultados obtidos nos ensaios laboratoriais e as análises realizadas no projeto adotado como exemplo indicam o potencial atendimento ao critério especificado na ABNT NBR 15575-4.

6.6. Durabilidade e manutenibilidade

Para a durabilidade do produto, painéis de vedação pré-moldados mistos de concreto armado e blocos cerâmicos, sem função estrutural, considerou-se o projeto, as características dos materiais e os procedimentos de manutenção contemplados no Manual de uso, operação e manutenção.

Verificou-se a relação entre a classe de agressividade ambiental e as características do concreto especificado, como a resistência à compressão, a relação água-cimento e o consumo mínimo de cimento por metro cúbico de concreto. O concreto utilizado enquadra-se na classe C40 para as classes de agressividade ambiental I a IV ($f_{ck} \geq 40$ MPa, relação água/cimento $\leq 0,45$ e consumo mínimo de cimento de 360 kg/m³).

Quanto ao cobrimento das armaduras, tem-se que as armaduras dos painéis de vedação possuem cobrimento de 25 mm pelo concreto, obtido por meio de espaçadores plásticos tipo centopeia (CT-25), com 25 mm de altura.

Ressalta-se que o cobrimento das armaduras das vigas, pilares e lajes, devem também estar em acordo com a ABNT NBR 6118.

Adicionalmente, no Manual de Uso, Operação e Manutenção, são previstas manutenções periódicas da unidade habitacional pelo usuário, particularmente quanto à pintura das paredes.

Do ponto de vista da durabilidade da estrutura, quanto à proteção contra a corrosão das armaduras, conclui-se que os painéis de vedação atendem às exigências previstas para as regiões rurais e urbanas, ou seja, Classes I e II de agressividade ambiental. Para outras classes de agressividade ambiental devem ser considerados os critérios contidos na ABNT NBR 6118 e em regulamentos aplicáveis, considerando-se a classe de resistência do concreto, a máxima relação a/c, o consumo mínimo de cimento e os cobrimentos nominais da armadura pelo concreto.

Os painéis de vedação pré-moldados, incluindo seus tratamentos de juntas (verticais e horizontais), foram expostos ao ensaio de choque térmico (calor e resfriamento por meio de jato de água) composto por dez ciclos sucessivos. O resultado do ensaio demonstrou a não ocorrência de falhas como fissuras, destacamentos, deformações, empolamentos, descoloração ou outros danos e deslocamento horizontal instantâneo (dh) inferior a $h/300$ (8 mm), conforme apresentado nos Relatórios N° ENE 135.406/22 e N° ENE 135.412/22, emitidos pela L.A. Falcão Bauer Ltda..

A manutenibilidade dos painéis de vedação pré-moldados que compõem a edificação deve ser prevista e realizada conforme estabelecido nos manuais de uso, operação e manutenção da edificação. Neles devem constar os prazos de vida útil de projeto (VUP) com respectivo programa de manutenções preventivas e corretivas, além de informações como condições de uso (fixação de peças suspensas), localização das instalações hidráulicas e elétricas e respectivas formas de inspeções e manutenções.

7. USO E MANUTENÇÃO

O uso e manutenção do produto deve ser realizado conforme o estabelecido no Manual de Uso, Operação e Manutenção, elaborado em conformidade com a ABNT NBR 14037.

8. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os painéis de vedação pré-moldados mistos de concreto armado e blocos cerâmicos, sem função estrutural devem ser utilizados de acordo com as instruções dos respectivos projetistas e executores, considerando as suas restrições de uso e conforme as condições de avaliação técnica constantes desta FAD. O SiNAT e a ITA IFBQ não assumem qualquer responsabilidade sobre perda ou dano advindos do resultado direto ou indireto de aplicação ou uso do objeto da FAD, conforme art. 5º da Portaria nº 3259, de 29 de dezembro de 2020.

9. FONTES E DOCUMENTOS DE REFERÊNCIA

9.1. Normas Técnicas

- ABNT NBR 5674:2012 - Manutenção de edificações - Requisitos para o sistema de gestão de manutenção;
- ABNT NBR 5739:2018 - Concreto - Ensaio de compressão de corpos de prova cilíndricos;
- ABNT NBR 6118:2014 - Projeto de estruturas de concreto - Procedimento;
- ABNT NBR 7480:2022 - Aço destinado às armaduras para estruturas de concreto armado - Requisitos;
- ABNT NBR 9062:2017 - Projeto e execução de estruturas de concreto pré-moldado;
- ABNT NBR 10636-1:2022 - Componentes construtivos não estruturais - Ensaio de resistência ao fogo - Parte 1: Paredes e divisórias de compartimentação;
- ABNT NBR 13321:2008 - Membrana acrílica para impermeabilização;
- ABNT NBR 14037:2011 Versão corrigida: 2014 - Diretrizes para elaboração de manuais de uso, operação e manutenção das edificações - Requisitos para elaboração e apresentação dos conteúdos;
- ABNT NBR 14432:2001 - Exigências de resistência ao fogo de elementos construtivos de edificações - Procedimento;
- ABNT NBR 14859-3:2017 - Lajes pré-fabricadas de concreto - Parte 3: Armadura treliçadas eletrossoldadas para lajes pré-fabricadas - Requisitos;
- ABNT NBR 15220-2:2022 - Desempenho térmico de edificações - Parte 2 – Componentes e elementos construtivos das edificações - Resistência e transmitância térmica - Métodos de cálculo (ISO 6946:2017 MOD);
- ABNT NBR 15220-3:2005 - Desempenho térmico de edificações - Parte 3: Zoneamento bioclimático brasileiro e diretrizes construtivas para habitações unifamiliares de interesse social;
- ABNT NBR 15270-1:2017 - Componentes cerâmicos - Blocos e tijolos para alvenaria Parte 1: Requisitos;
- ABNT NBR 15575-1:2021 - Edificacoes habitacionais – Desempenho – Parte 1: Requisitos gerais;
- ABNT NBR 15575-4:2021 - Edificacoes habitacionais – Desempenho – Parte 1: Requisitos para os sistemas de vedações verticais internas e externas – SVVIE;
- ABNT NBR 16475:2017 - Painéis de parede de concreto pré-moldado - Requisitos e procedimentos.

9.2. Documentos Técnicos (Relatórios de ensaios, laudos e outras fontes de informação)

As principais fontes de informação utilizadas para a elaboração deste documento são os Relatórios Técnicos de avaliação e de ensaio, conforme a listagem descrita a seguir:

- Relatório de Avaliação do painel de vedação, emitido pela IMF Engenharia;
- Relatório Técnico de avaliação da memória de cálculo para edificações habitacionais multifamiliares de até 26 pavimentos (térreo + 25 pavimentos), emitido pela Fundação Christiano Ottoni - UFMG;

- Relatório Técnico de Ensaios de Desempenho Estrutural, emitido pela Fundação Christiano Ottoni - UFMG;
- Relatório de Ensaio N° ENE/147.428-A/22 (ensaio de resistência a impactos de corpo mole e de corpo duro para vedação vertical interna), emitido pela Falcão Bauer;
- Relatório de Ensaio N° ENE/159.522-A/23 (ensaio de resistência a impactos de corpo mole e de corpo duro para vedação vertical externa), emitido pela Falcão Bauer;
- Relatório de Ensaio N° ENE 149.325 – 2/22 (ensaio de solicitações transmitidas por portas para as paredes), emitido pela Falcão Bauer;
- Relatórios de Ensaio N° ENE 159.512-1-A/23 e N° ENE 160.354/23 (ensaio de solicitações de cargas de peças suspensas atuantes nas paredes), emitido pela Falcão Bauer;
- Relatório de Ensaio N°4984/2022 (ensaio de resistência ao fogo), emitido pela itt Performance, UNISINOS;
- Relatórios de Ensaio N° ENE 135.406/22 e N° 135.412/22 (ensaio de estanqueidade e choque térmico), emitido pela Falcão Bauer;
- Relatório Técnico N°005/2022_Rev.02(verificação do desempenho térmico – procedimento simplificado), emitido pelo IFBQ;
- Relatório de Ensaio N°5086/2023 (ensaio de determinação do índice de redução sonora ponderado), emitido pelo itt Performance, UNISINOS;
- Manual de uso, operação e manutenção – edifício multifamiliar de 26 pavimentos.