

**Desempenho estrutural de painéis monolíticos de poliestireno
expandido como sistema construtivo alternativo**

Maurício Macedo da Silva

Engenheiro Civil, UFPE, Brasil
mauricio.macedo@ufpe.br

Douglas Mateus de Lima

Professor Doutor, UFPE, Brasil
douglas.mlima@ufpe.br

Luccas André Felix Silva

Engenheiro Civil, Mestrando, UFPE, Brasil
lucas.fsilva@ufpe.br

Iálysson da Silva Medeiros

Professor Especialista, Mestrando, UFPE, Brasil
ialysson.medeiros@ufpe.br

RESUMO

Buscando um sistema construtivo que pudesse complementar o convencional, surgiram as paredes autoportantes monolíticas de poliestireno expandido (EPS). Nessa perspectiva, neste artigo foi desenvolvido um projeto arquitetônico e estrutural para uma residência, cujo sistema construtivo são as paredes autoportantes de painéis monolíticos de EPS. Para definir as características do projeto, foi escolhido um lote na cidade de Petrolina-PE, utilizando-se o software SAP2000 para modelagem estrutural, a fim de determinar os esforços aos quais as paredes foram submetidas. O dimensionamento dos elementos estruturais se baseou na NBR6118:2014 e a verificação de abertura de fissura foi realizada conforme a NBR11173:1990. Em razão da pouca sobreposição de paredes no projeto arquitetônico, foi necessária a integração do sistema construtivo em EPS com vigas e pilares de concreto armado. A maioria dos pilares apresentou armadura mínima, enquanto as lajes apresentaram a armadura padrão da treliça da vigota. Já as vigas apresentaram dimensões e armaduras robustas devido aos elevados valores de momentos fletores obtidos. Apesar dos resultados satisfatórios, é necessário que se desenvolvam estudos acerca desse sistema construtivo, bem como são necessárias a normatização nacional e a implementação de programas específicos para a sua modelagem.

PALAVRAS-CHAVE: Painéis monolíticos de EPS. Desempenho estrutural. Dimensionamento.

1 INTRODUÇÃO

Na busca por um sistema construtivo que pudesse complementar o convencional (regionalmente feito em estruturas de concreto armado e vedação em alvenaria), alguns tipos de elementos construtivos vêm surgindo, dentre os quais podem-se citar as paredes monolíticas autoportantes de poliestireno expandido (AZEVEDO, 2013). Essas paredes são compostas por um núcleo em EPS e por duas placas laterais de 3 a 4 cm de espessura formadas por argamassa projetada e reforçadas por telas eletrossoldadas, além de serem enrijecidas com conectores entre as placas, conforme explica Siqueira (2017). Dentre as características que tornam esse sistema bastante atrativo, podem-se citar a resistência, durabilidade, isolamento térmico e acústico, impermeabilidade, facilidade de transporte e modelagem.

A análise para fins estruturais de painéis monolíticos de poliestireno expandido como sistema construtivo tem sido o objeto de estudos de diversos autores, dentre os quais se destacam: Fernando, Jayasinghe e Jayasinghe (2017); Chakraborty, Reddy e Subramaniam (2021); Li e Fan (2021); Ahmad e Singh (2021); Garhwal, Sharma e Danie Roy (2022). No mesmo sentido, no contexto brasileiro, as pesquisas sobre painéis monolíticos de EPS se encontram delimitadas aos seguintes aspectos: utilização desse sistema como componente do concreto estrutural, procedimento prático da instalação de suas paredes e comparações com o sistema construtivo em alvenaria estrutural, tanto do ponto de vista do planejamento de obras como da sustentabilidade ambiental. Entretanto, no aspecto estrutural, observa-se uma tímida apresentação sobre o dimensionamento e detalhamento estruturais de projetos, sendo mais comum encontrar trabalhos que realizam análises comparativas e estudos de impacto ambiental com a utilização do EPS.

Portanto, sendo um método construtivo relativamente recente no Brasil, e com metodologias de trabalho distintas dos principais sistemas tradicionalmente utilizados, há fatores que dificultam a sua adoção em larga escala no país. Dessa forma, é necessário que se amplie o conhecimento acerca dessa metodologia de trabalho, a qual, apesar de apresentar diversas vantagens, ainda envolve dificuldades para a sua implementação, devido à falta de conhecimentos suficientes a respeito do sistema por parte dos projetistas e construtores (AZEVEDO, 2013).

Tendo em vista a importância da realização de pesquisas a respeito de painéis

monolíticos de EPS utilizados como sistema construtivo estrutural alternativo, este trabalho apresenta uma situação real de projeto, na qual será desenvolvido um projeto arquitetônico e estrutural para uma residência, buscando mostrar as características do dimensionamento e dos elementos que compõem o sistema construtivo analisado. Com isso, este artigo demonstra uma contribuição como guia para profissionais que trabalham com painéis de EPS, observando a necessidade de mais conteúdos no setor, além de contribuir com o tema no âmbito científico, devido à atual ausência de normas nacionais sobre o projeto estrutural de tais elementos.

2 SISTEMA CONSTRUTIVO COM PAREDES MONOLÍTICAS DE EPS

O poliestireno expandido passou a ser utilizado na construção civil, que busca alternativas mais versáteis, rápidas e com melhor custo-benefício, devido às seguintes propriedades: resistência e durabilidade, isolamento térmico e acústico, impermeabilidade, facilidade de transporte, e fácil modelagem.

O sistema de paredes monolíticas de EPS é formado por um núcleo de EPS (Isopor), malhas de aço galvanizado de alta resistência e revestimento em argamassa projetada (MONOLITE BRASIL, 2021; Figura 1a). Segundo Chen e Hao (2014), é considerado sustentável, econômico, leve (facilitando a manuseabilidade e a transportabilidade), isolante termoacústico, sismorresistente, além de outras qualidades. Por sua característica leve, o enchimento de poliestireno expandido traz melhorias na qualidade de vida dos colaboradores, pois o desgaste físico gerado pela montagem dos painéis é menor quando comparado aos esforços para a realização dos serviços no sistema convencional, resultando em rapidez na montagem dos painéis (REIS, 2015).

Outro ponto relacionado ao manejo diz respeito à facilidade de embutir os acessórios das instalações elétricas e hidráulicas, em razão de o núcleo ser em poliestireno expandido (Figura 1b). Além disso, nesse sistema construtivo há a diminuição da carga sobre o solo (LUEBLE, 2004), o que, em muitas ocasiões, viabiliza a construção de residências com fundação em radier, um tipo de fundação mais rápido, simples e, a depender do caso, mais econômico.

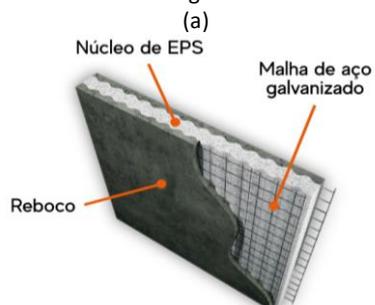
Depois de fixadas as barras na fundação, inicia-se a montagem das paredes pelos cantos. Os painéis são presos entre si com o auxílio de malhas eletrossoldadas: de formato tipo I (comprimento consideravelmente maior que a largura), quando o painel seguinte se encontra no mesmo eixo e necessita de reforço; ou L, quando o painel seguinte é perpendicular ao anterior (Figura 1c). As aberturas de vãos reservados para portas e janelas, após serem cortadas, recebem um reforço em suas bordas com tela eletrossoldada em formato U (dispostas “abraçando” as bordas da abertura) e telas tipo I (dispostas segundo uma inclinação de 45º nos cantos das aberturas, Figura 1d). Para a fixação das esquadrias, são utilizadas espumas expansivas de poliuretano.

A composição leve dos painéis possibilita uma versatilidade arquitetônica (REIS, 2015), pois permite a execução de elementos que não são passíveis ou viáveis de serem executados no sistema convencional. Ademais, a utilização de uma estrutura reciclável, sustentável e que gera poucos resíduos (LUEBLE, 2004) pode ser entendida como uma obra mais limpa, gerando melhor aproveitamento do investimento feito, além de ser ambientalmente amigável.

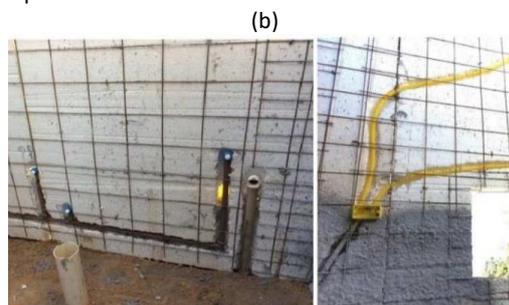
Por fim, por serem autoportantes, as paredes dispensam, em muitas ocasiões, o uso de vigas e pilares, o que significa redução de insumos relacionados a essas estruturas. Logo, são

perceptíveis os benefícios do uso das paredes monolíticas de EPS, tanto para o construtor, pois a obra será mais rápida, produtiva, limpa e econômica, quanto para o cliente, que obterá uma edificação mais barata, rápida, sustentável, segura, com bom conforto termoacústico e maiores possibilidades arquitetônicas em relação aos sistemas construtivos tradicionais.

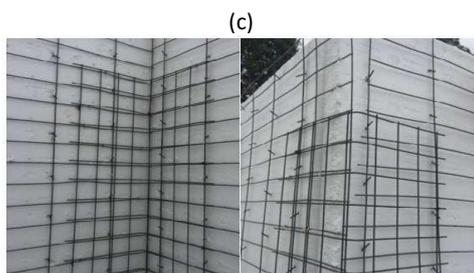
Figura 1 – Sistema Construtivo com paredes monolíticas de EPS



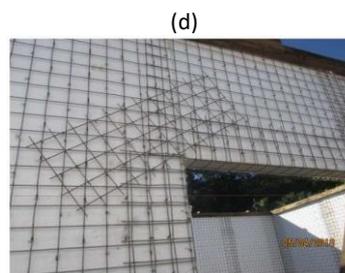
Fonte: Monolite Brasil, 2021.



Fonte: Balbino, 2020.



Fonte: Silveira, 2018.



Fonte: Balbino, 2020.

3 METODOLOGIA

3.1 Levantamento de dados

O projeto apresentado neste trabalho está localizado em Nova Petrolina, no município de Petrolina-PE. O lote tem área de 170,56 m², com dimensões de 8 m de largura e 21,32 m de profundidade. Segundo o plano diretor da cidade, o loteamento está inserido dentro da Zona Residencial 4 (ZR4), cujos índices urbanísticos constam na Tabela 1.

Tabela 1 - Parâmetros urbanísticos da ZR4

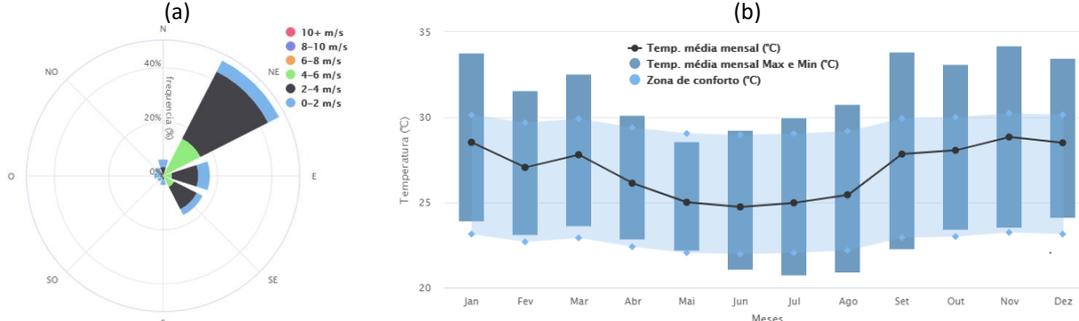
ZONA ZR4		
	Mínimo	0,2
Coeficiente de Aproveitamento (CA)	Básico	2,5
	Máximo	3
Taxa de Ocupação (TO) máxima		70%
Taxa de Solo Natural (TSN) mínima		10%
Afastamento Frontal (AF)		2,00 m
Afastamento Lateral e de Fundos (ALF)		1,50 m

Fonte: Adaptado Diário Oficial de Petrolina, 2006.

Para garantir que a edificação apresente um desempenho energético eficiente, é importante possuir dados relevantes, como o ângulo entre o norte do projeto e o norte geográfico, que definem o comportamento solar sobre a residência durante o ano, determinando a localização da edificação e a disposição dos cômodos para melhor aproveitamento da iluminação natural e conforto térmico. Além disso, são também importantes os dados de vento (direção, frequência e velocidade) e as temperaturas médias mensais para o estudo de ventilação e conforto térmico.

Os dados climáticos importantes para o projeto são obtidos por instituições governamentais e disponibilizados em diversas plataformas. Os principais órgãos que fazem esse trabalho são a Agência Nacional de Águas (ANA), o Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) e as agências estaduais, tais como a Agência Pernambucana de Águas e Clima (APAC). Para facilitar o acesso a esses dados e auxiliar em soluções energeticamente eficientes, o Ministério de Meio Ambiente (MMA) entrou em parceria com a Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC) no “Projeteee – Projetando Edificações Energicamente Eficientes”, tornando-se a primeira plataforma nacional a agrupar dados e soluções para um projeto de edifício eficiente (Figura 2).

Figura 2 – (a) Dados de ventos em Petrolina-PE; (b) dados de temperatura em Petrolina

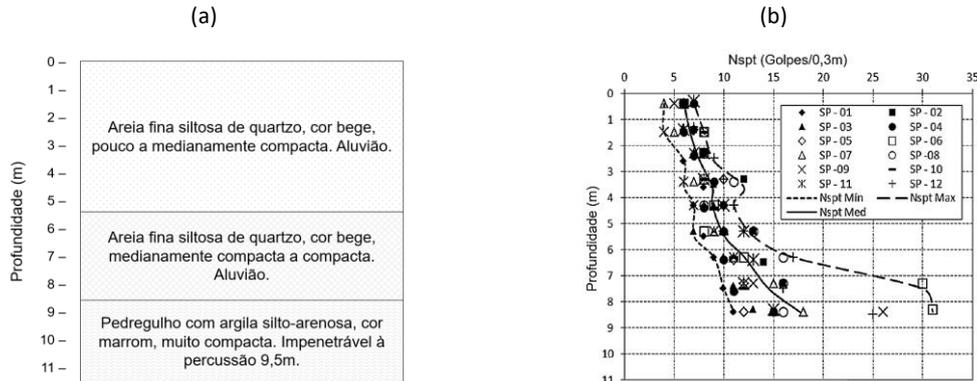


Fonte: Projeteee, 2021.

Para entender como poderia ser o comportamento do solo no local, fez-se uma busca por estudos de sondagem na cidade para servir como referência. Dessa forma, um estudo sobre o solo petrolinense (TORRES, 2014) foi realizado utilizando 12 furos de sondagem à percussão, atingindo o impenetrável a uma profundidade de 9,50 m, sendo constituído pelas três camadas identificadas na Figura 3a. A Figura 3b mostra como o Índice de Resistência à Penetração do Solo (N_{spt}) de Petrolina cresce com a profundidade (Z em m), considerando os valores médios de N_{spt} (Equação 1):

$$N_{SPT} = 1,5 Z + 3,6 \quad (r^2 = 0,91) \quad \text{Eq. 1}$$

Figura 3 – Dados de sondagens à percussão em solo da cidade de Petrolina: (a) Perfil de sondagem; (b) N_{spt} do solo



Fonte: Torres, 2014.

3.2 Elaboração do projeto arquitetônico

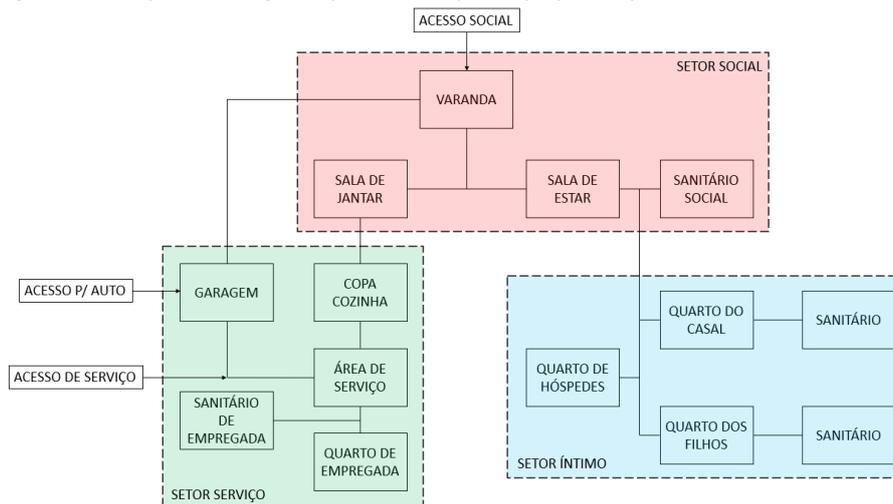
O local do projeto se situa no semiárido pernambucano, que é caracterizado por alto índice de insolação e temperaturas elevadas durante o ano (Figura 2b). Além disso, o lote se situa numa região pouco urbanizada e, segundo o plano diretor de Petrolina-PE, não são permitidas edificações de grande porte, o que auxilia na ventilação.

Holanda (1976) descreve um roteiro para construções em clima tropical visando à região Nordeste, na qual estão pontuados: uso de pés-direitos altos e com aberturas que possibilitem a passagem de ar; o uso de paredes recuadas para protegê-las da insolação direta; paredes vazadas para filtrar a luz e permitir a passagem de ar; proteção para insolação direta sobre as janelas; uso de portas largas que possam ficar abertas e também portas vazadas capazes de garantir privacidade sem que se perca a luz e a passagem de ar.

A partir dos parâmetros urbanísticos (Tabela 1), determinou-se a área máxima de ocupação do solo igual a 119 m², podendo alcançar até 425 m² de área construída. Além disso, é necessário obedecer aos recuos frontal, lateral e de fundos. Porém, é permitido construir a edificação em uma das divisas, desde que esteja em conformidade com os requisitos do plano diretor. Com isso, é possível ter noções sobre a disposição do imóvel no lote, atentando também aos dados climáticos coletados (Figura 2) e a carta solar do local, pois, dessa forma, inicia-se o processo de avaliação dos possíveis ambientes e localização dentro da edificação.

Na arquitetura, organizam-se os ambientes por meio de fluxogramas com base no programa de necessidades, pois, a partir disso, define-se a disposição dos ambientes de maneira mais adequada. O fluxograma serve como uma representação esquemática do trânsito entre os ambientes da edificação (BRAIDA; ALBERTO, 2011), os quais são divididos em três áreas: social, íntima e serviço (Figura 4).

Figura 4 - Exemplo de fluxograma para elaboração de projeto arquitetônico de uma residência



Fonte: Adaptado de Gurgel, 2018.

3.3 Elaboração do projeto estrutural

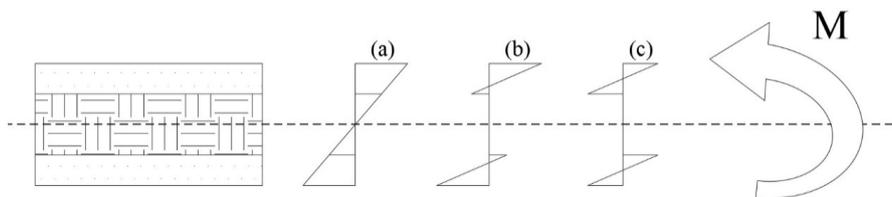
Para o dimensionamento dos elementos feitos em concreto armado, utilizaram-se as prescrições da NBR 6118 (ABNT, 2014). Para o dimensionamento, foram feitas verificações de estado limite último (ELU) e de serviço (ELS). Por fim, elaborou-se as plantas de forma e armação.

Para dimensionar as paredes autoportantes de uma estrutura monolítica de EPS, é necessário primeiro entender que essas paredes têm uma estrutura do tipo “sanduíche”, com camadas de argamassa armada. Esse elemento estrutural contém características que remetem a diferentes tipos de estruturas: paredes de alvenaria estrutural, parede de concreto armado, elementos de argamassa armada, além de pilares, pilares-parede e vigas-parede. Dessa forma, as seguintes normas foram utilizadas para servirem de embasamento para o dimensionamento teórico das paredes:

- NBR 16055 (ABNT, 2012): parede de concreto moldada no local para a construção de edificações;
- NBR 16868 (ABNT, 2021): paredes de alvenaria estrutural;
- NBR 11173 (ABNT, 1990): execução e projeto de argamassa armada;
- NBR 6118 (ABNT, 2014): estruturas em concreto armado.

Segundo Bertini (2002), paredes com a estrutura “sanduíche” podem apresentar comportamento não-composto, parcialmente composto ou totalmente composto (Figura 5), o que representa diferentes níveis de interação entre as camadas de argamassa armada, resultando em uma alteração na rigidez da parede e sua resistência aos esforços, principalmente quando submetidas à flexão.

Figura 5 - Composição da seção: (a) totalmente composto, (b) parcialmente composto e (c) não-composto



Fonte: Adaptado de Bertini, 2002.

É mais fácil e preciso o cálculo teórico das paredes quando há um comportamento totalmente composto. Porém, por serem adequadamente industrializados, com maior controle de qualidade e bons resultados entre a teoria e a metodologia, os painéis totalmente compostos não foram utilizados na análise. Ressalta-se, ainda, que o conhecimento acerca desse tipo comportamento já é consolidado.

Em contrapartida, o mesmo não acontece com os painéis não compostos. Logo, sabendo-se a respeito de obras feitas em painéis desse tipo, buscou-se uma metodologia de cálculo para estimar a sua resistência. Considera-se que, geralmente, o seu processo construtivo não contém controle de qualidade adequado, provavelmente apresentando resistências baixas e resultando em um potencial risco financeiro, além de, principalmente, risco às vidas envolvida por possibilidade de colapso da estrutura. Além disso, painéis com comportamento parcialmente composto tendem a ser mais econômicos que os painéis totalmente compostos, uma vez que usualmente não há necessidade de interação completa para resistir com segurança aos esforços correntes em casas no padrão analisado neste trabalho.

No processo de normatização internacional para dimensionamento dos painéis monolíticos de EPS, são necessários ensaios de ruptura, pois usualmente se utiliza um gráfico de interação que tem como eixos coordenados vertical e horizontal, respectivamente, o esforço normal e o momento fletor. Nesse gráfico, é preciso determinar três pontos para definir as condições de esforços em que o painel pode ser utilizado, sendo os pontos definidos pelos valores dos ensaios de ruptura por compressão (normal centrada), flexão simples (apenas momento fletor) e flexão composta (normal com excentricidade). Além disso, para se determinarem os esforços aos quais as paredes estarão submetidas, utilizam-se programas de análise de elementos finitos, pois simulam com mais qualidade o comportamento estrutural das paredes. Dessa forma, foi utilizado o software SAP2000 para fazer a modelagem da estrutura.

Em face da ausência de resultados experimentais, determinou-se a resistência de parede utilizando as formulações da teoria de flexocompressão normal, conforme Fusco (1981) e Araújo (2010), que determinam, por meio de um processo iterativo, dada uma seção transversal, a profundidade da linha neutra x , no intervalo $[0, \infty)$, e, conseqüentemente, o domínio de deformação do elemento estrutural a ser dimensionado. Para isso, os valores dos esforços e da geometria da seção armada devem ser conhecidos, segundo as variáveis da Equação 2, que terá ξ (relação entre a posição da linha neutra x e a altura da seção h) como sua única incógnita e raiz:

$$f(\xi) = [\mu - 0,5 v - r_c(\xi) \beta_c(\xi)] \sum_{i=1}^{n'} (n_i \sigma_{sai}) + (v - r_c) \sum_{i=1}^{n'} (n_i \beta_i \sigma_{sai}) = 0 \quad \text{Eq. 2}$$

na qual: i denota a camada de aço; n' representa o número de camadas de armadura; n_i corresponde ao número de barras da camada i ; n significa o número total de barras na seção transversal; r_c e θ_c são termos adimensionais em função de ξ ; v significa o esforço normal reduzido; μ representa o momento fletor reduzido; σ_{sdi} corresponde à tensão do aço na altura da camada i de barras de aço; β_i é um termo adimensional igual à razão entre a distância da camada de aço i até a borda mais comprimida (d_i) pela altura da seção transversal.

Para então aplicar as equações supracitadas, é necessário determinar a parcela dos esforços que se distribuem para cada camada de argamassa armada. Todavia, os dados e pesquisas sobre esse tema são escassos e, por vezes, antigos. Contudo, os dados existem apontam que as paredes com comportamento não composto mostraram, em ensaios de laboratórios, momentos de ruptura e fissuração que indicam algum grau de transferência do cisalhamento, como expõe Bertini (2002) em sua análise sobre ensaios realizados por diversos pesquisadores. Sendo assim, a capacidade resistente das paredes poderia ser incrementada com a tensão resistente cisalhante que existe entre as camadas e o núcleo de EPS das paredes, pois mesmo tendo uma resistência à aderência baixa, as áreas de contato são elevadas. Assim, esse efeito afeta o comportamento da parede, resultando em uma maior rigidez, a depender do caso, que a prevista inicialmente nos cálculos.

Dessa forma, apesar de os painéis serem não compostos, considera-se que as conexões dispostas entre as malhas garantam que, quanto à análise de instabilidade (flambagem), as camadas de argamassa armada interajam como uma camada única, podendo ser considerada uma parede com espessura equivalente maior que simplesmente a soma das espessuras das camadas individualmente.

A parcela de cada camada da parede resistente será feita a partir de uma consideração que busca representar o comportamento estrutural da parede em função da transmissão dos esforços (Equações 3). Dessa forma, os esforços calculados (momento fletor – M_d e esforço normal – N_d) no programa de modelagem da estrutura são utilizados para verificar a segurança estrutural dos painéis.

$$N_{d1,2} = \frac{N_d}{2} \mp \frac{M_d}{t + t_{EPS}} \quad \text{Eq. 3}$$

em que: t é a espessura da camada de argamassa armada; t_{EPS} é a espessura do núcleo de EPS; N_{d1} e N_{d2} representam os esforços no centro das armaduras de cada camada mais ou menos comprimida, respectivamente.

Foi feita a verificação de abertura de fissura conforme a NBR 11173 (ABNT, 1990), pois se adequa mais à situação da camada da parede que a prevista pela NBR 6118 (ABNT, 2014). Já a verificação de deformação excessiva foi feita conforme esta última. E, por fim, foi realizada a verificação de cisalhamento quando houvesse a atuação de esforços horizontais.

3.3.3 Radier

A escolha da fundação em radier foi devido à economia, facilidade e rapidez da execução, pois, sendo uma estrutura mais leve devido ao método construtivo empregado, possibilita o uso desse tipo de fundação, além de trabalhar bem em solos com pouca resistência por distribuir os esforços em áreas maiores. O dimensionamento de radier é complexo de se

fazer sem o uso de um programa de análise de elementos finitos, já que os esforços na placa dependem sempre do arranjo das estruturas que estão sobrepostas à fundação. Além disso, os programas geralmente se utilizam da teoria das grelhas, a qual substitui o radier por um sistema de malha com molas nos nós (DÓRIA, 2007). Nesse sentido, o procedimento empregado para se determinar os coeficientes das molas que representam a resistência do solo foi feito conforme explica Silva (2021). Sendo assim, o programa utilizado para o dimensionamento do radier também foi o SAP2000, em razão da possibilidade de modelar a superestrutura e a infraestrutura de maneira integrada, propiciando a qualidade e interação dos resultados.

Para o processamento do modelo no SAP2000, foram necessários dados acerca do radier e do solo. Entretanto, o que mais interfere na análise dos esforços no radier são as características do solo (tipo de solo, N_{spt} , módulo de elasticidade, coeficiente de Poisson, camada de solo etc.), pois tais propriedades determinam como o solo reage às cargas solicitantes; daí a necessidade da Equação 1 e dos perfis de sondagem da Figura 3. A partir dos esforços gerados no software, utilizou-se o procedimento para cálculo de lajes maciças, NBR 6118 (ABNT, 2014).

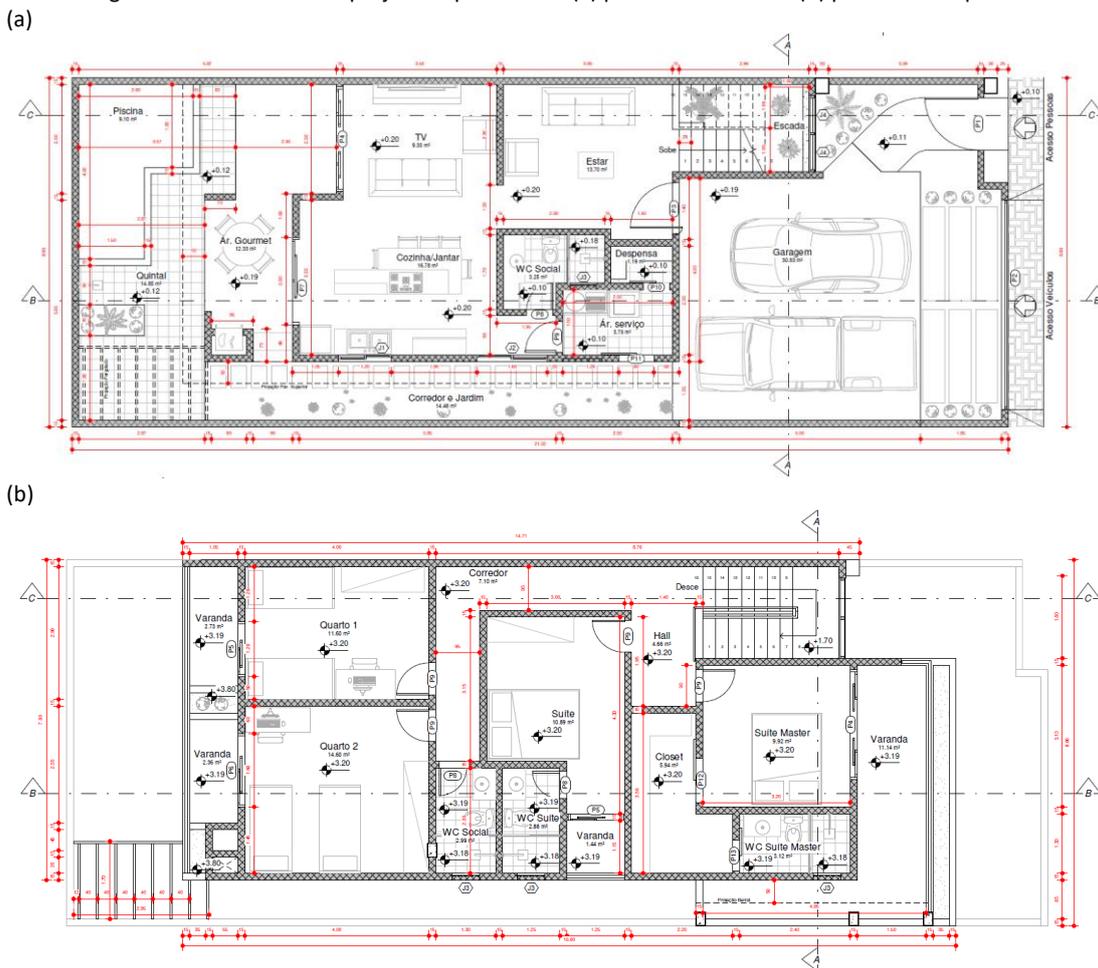
4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 Projeto arquitetônico

O projeto arquitetônico (Figura 6) priorizou a utilização de ambientes com pé-direito mais elevado. Todavia, em razão do limite de altura imposta no plano diretor para edificações na Zona Residencial 4 (ZR4) e das dimensões das vigas, a utilização de pé-direito com uma altura acima de 2,70 m foi impossibilitada. Outra recomendação seguida foi a utilização de paredes recuadas e beirais que auxiliam no sombreamento das janelas. Consideraram-se também as recomendações do uso de portas largas, paredes em cobogós, áreas molhadas no sentido do sol nascente e portas com aberturas para ventilação.

O principal problema associado ao projeto de arquitetura foi a dificuldade na concepção da estrutura, em razão do número reduzido de sobreposição de paredes, já que no método construtivo com paredes monolíticas de EPS, semelhantemente à alvenaria estrutural e às paredes de concreto, é recomendado que as paredes estruturais entre os pavimentos estejam sobrepostas para garantir segurança e facilidade no dimensionamento do projeto estrutural. Sendo assim, no projeto em questão, houve a necessidade de fazer a integração do sistema construtivo de parede monolíticas de EPS com vigas e pilares de concreto armado, pois a distribuição interpavimentos irregular das paredes não permitiu o uso de parte delas como elementos estruturais, limitando a utilização exclusiva das paredes como elementos estruturais da superestrutura da edificação analisada.

Figura 6 – Planta baixa do projeto arquitetônico: (a) pavimento térreo e (b) pavimento superior.

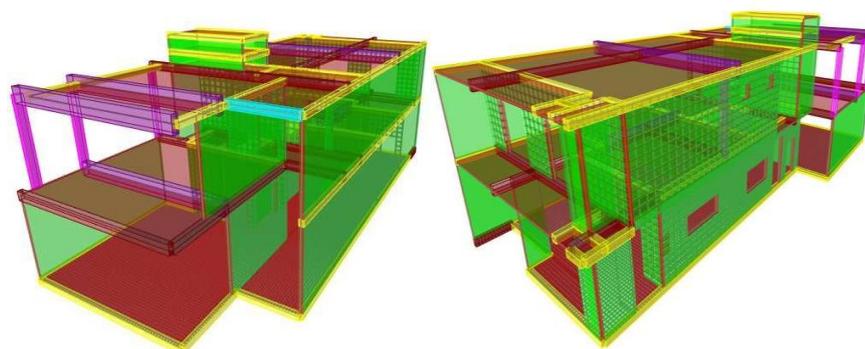


4.2 Projeto estrutural

Conforme comentado no item anterior, antes de se conceber a estrutura, imaginou-se que pudessem ser utilizadas todas as paredes como estrutura visando a uma melhor distribuição das cargas. Todavia, essa ideia foi descartada quando se observou que implicaria uma compreensão errônea da distribuição de esforços para a modelagem da estrutura. Dessa forma, fez-se a remodelagem da estrutura conforme exposto na Figura 7.

Com base na análise da modelagem, percebe-se que paredes perpendiculares às vigotas de lajes unidirecionais e distantes das bordas paralelas às vigotas podem ser utilizadas como paredes estruturais e consideradas como cargas concentradas no perfil da laje. Porém, tal possibilidade deve ser evitada ou desconsiderada se não houver um estudo detalhado.

Figura 7 – Perspectivas isométricas da modelagem da estrutura: (a) frontal e (b) posterior

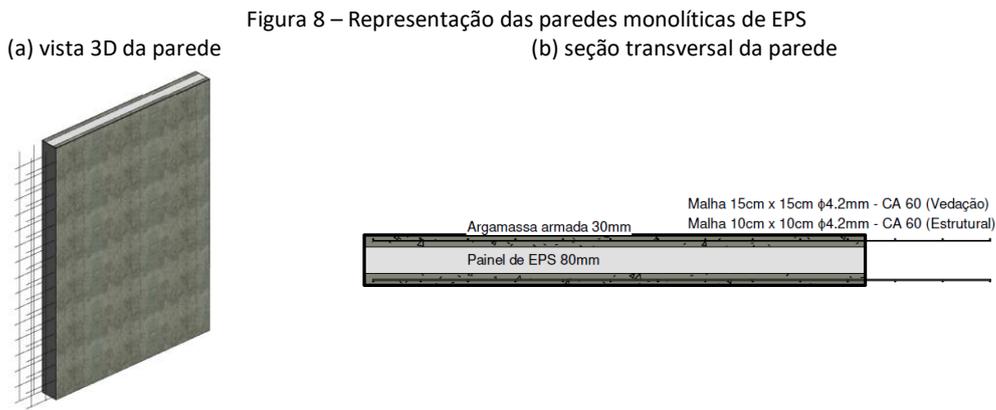


Para edificações construídas nesse sistema, é dispensável a utilização de painéis estruturais em todas as paredes, possibilitando que se usem painéis menos resistentes nas paredes que não são estruturais, o que acarretará maior economia devido à provável diferença de preço. Pode-se omitir a utilização de pilares e vigas se forem usados painéis compostos e com resistência definida por meio de ensaios, ou no caso de a construção possuir um arranjo estrutural simples.

O dimensionamento das paredes monolíticas de EPS foi feito buscando obter os valores da resistência dos painéis não compostos. Dessa forma, a partir da análise resultante da modelagem no SAP2000, determinou-se o conjunto crítico de esforços (momento fletor e esforço normal). Os parâmetros que representam a parede utilizada no projeto estão apresentados na Tabela 2 e detalhados na Figura 8.

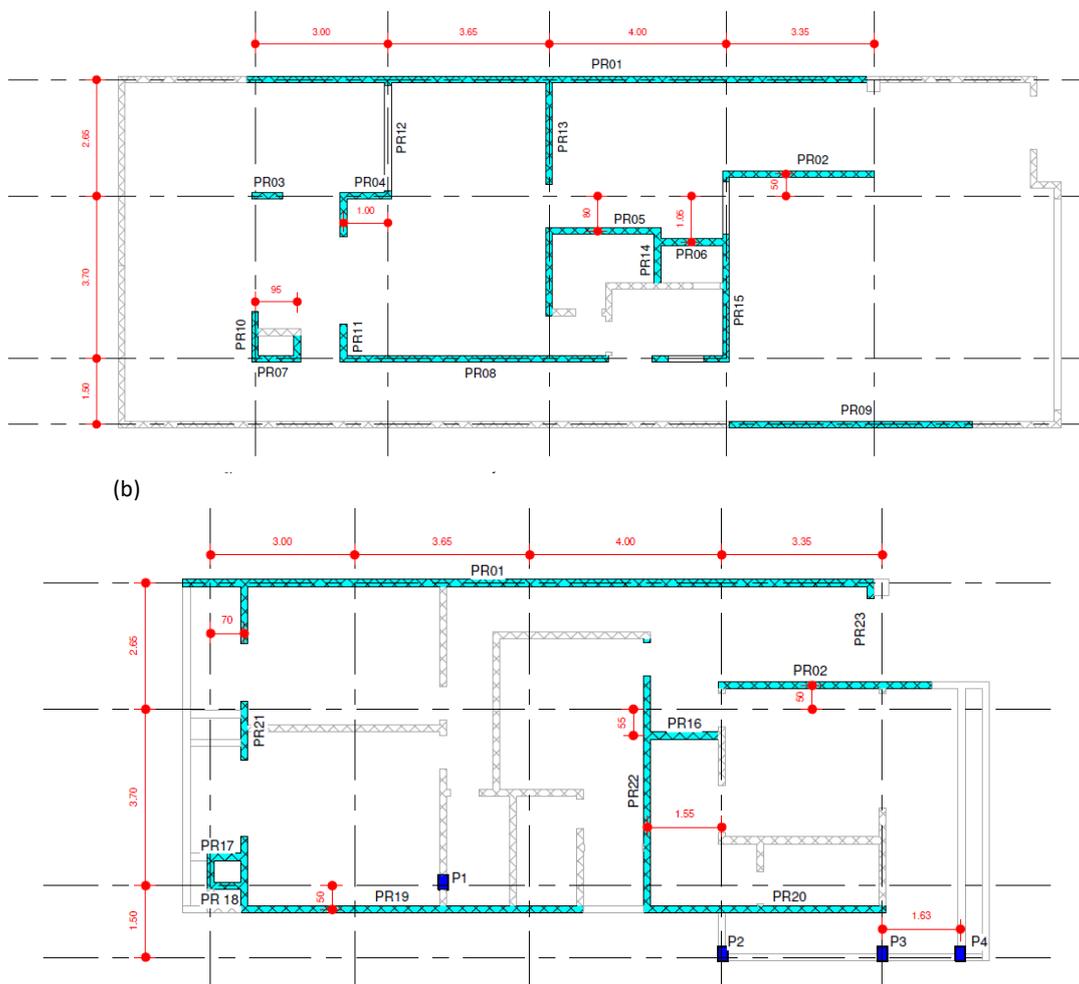
Tabela 2 - Parâmetros das paredes monolíticas de EPS

Descrição	Valor
Espessura da parede estrutural	14 cm
Comprimento do painel na análise	100 cm
Altura da parede na análise	300 cm
Espessura média do painel de EPS	8 cm
Espessura da camada de argamassa armada	3 cm
Resistência característica da argamassa	35 MPa
Ø malha	3,4 mm
Resistência característica do aço	600 MPa
Arranjo da malha	10 cm x 10 cm
Núcleo de EPS	Classificação F



Na Figura 9 expõe-se a disposição concebida para as paredes e pilares.

Figura 9 – Planta de locação das paredes monolíticas de EPS: (a) pavimento térreo e (b) pavimento superior

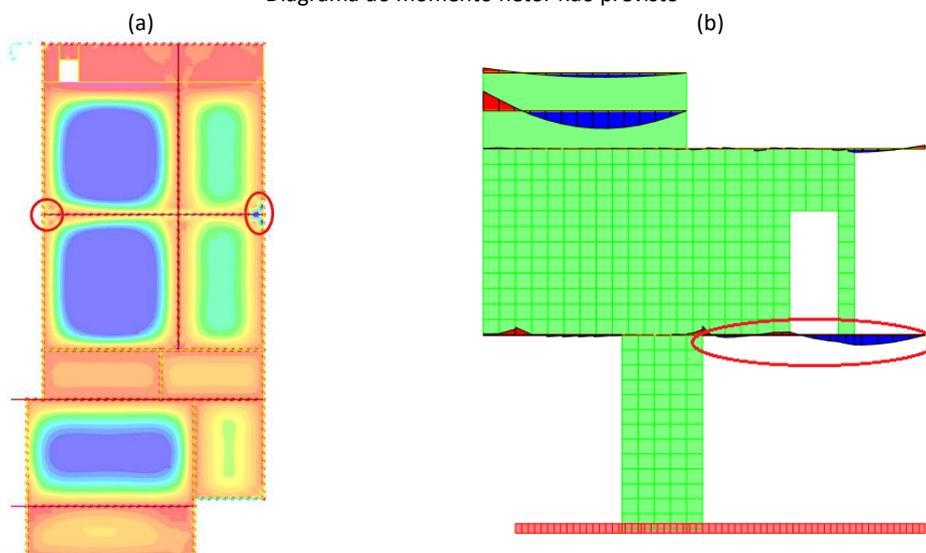


Observou-se que as paredes que estão sobre lajes e paralelas às suas vigotas apresentam picos de tensão nos cantos inferiores em razão do deslocamento da laje (Figura 10a), o que torna o contato entre a parede e a laje inexistente, ou seja, falta de apoio para as diagonais comprimidas formadas nas paredes. Sendo assim, recomenda-se não utilizar paredes estruturais que estejam nessa circunstância, ou, caso estas estejam apoiadas nos entornos das

lajes, deve-se considerá-las como vigas-parede, semelhantemente ao que é feito para paredes de concreto armado no item 17.1 da NBR 16055 (ABNT, 2012).

As paredes estruturais contínuas (presentes em mais de uma laje), que estão sobre os vãos das lajes, podem, em razão do engastamento, ocasionar a suspensão no ponto de contato (a parede trabalha como viga invertida), o que pode não ser previsto e, portanto, acarretar um comportamento estrutural inseguro, além de ser pouco viável construtivamente (Figura 10b). Caso haja a necessidade de se considerar uma parede estrutural na circunstância descrita acima, é recomendado evitar a abertura de espaços na parede próximos aos cantos, pois, considerando a direção da diagonal comprimida, tal abertura impedirá a distribuição das tensões de compressão, o que é potencialmente perigoso. Além disso, caso não se estabeleça uma análise precisa da distribuição de carga, é recomendado considerar que a parede possui metade da resistência prevista, pois pode haver a distribuição apenas para um dos cantos, ao invés de ambos.

Figura 10 – (a) Representação dos picos de tensão nas extremidades inferiores de paredes apoiadas sobre laje e (b) Diagrama do momento fletor não previsto



Além disso, as vigas VC02, VC03, VC06, VC07 do pavimento superior necessitam ser invertidas em razão do pé-direito e a altura limite da edificação. Portanto, constatou-se que projetos arquitetônicos de imóveis devem se atentar à sobreposição de paredes entre os pavimentos e simplificação da estrutura, para que o projeto estrutural seja mais otimizado, simples e, conseqüentemente, mais econômico.

Os resultados do dimensionamento dos elementos convencionais de concreto armado, como as lajes, vigas, pilares e radier, estão nas Tabela 3, 4, 5 e 6. Esses elementos foram dimensionados por meio de planilha eletrônica, conforme a NBR 6118 (ABNT, 2014).

Os pilares apresentaram armadura mínima em três dos quatro existentes no projeto, enquanto parte das vigas apresentaram dimensões e armaduras robustas devido aos momentos fletores elevados. As lajes apresentaram, na sua maioria, apenas a armadura padrão da treliça da vigota como armadura positiva, com as exceções indicadas na Tabela 5.

No radier, como os esforços são bem distribuídos em função da distribuição das paredes estruturais, foi necessário apenas um arranjo simples (Tabela 6), necessitando de reforços em algumas áreas de maior carregamento.

Como critério de padronização, foram utilizadas malhas de 15 cm x 15 cm com barras de diâmetro de 4,2 mm, nas seguintes situações: armadura de distribuição, armadura negativa (complementada, quando necessário, com barras de diâmetro 5,0 mm) nas lajes; armadura principal, armadura de distribuição e de reforço (quando necessário) no radier.

Tabela 3 – Detalhamento de projeto dos pilares

Código	Seção Transversal		Armadura Longitudinal		Estribos	
	h (cm)	b (cm)	Φ (mm)	Qtd.	S (cm)	Φ (mm)
P1	30	20	10,0	6	12	5,0
P2 = P3 = P4	30	20	10,0	4	12	5,0

Tabela 4 – Detalhamento de projeto das vigas

Código	Seção Transversal		Armadura positiva		Armadura negativa		Estribos	
	h (cm)	b (cm)	Φ (mm)	Qtd.	Φ (mm)	Qtd.	S (cm)	Φ (mm)
VS01	40	20	8,0	2	10,0	8	7	8,0
VS02; VC02; VC07	40	20	10,0	6; 4; 4	10,0	6; 3; 2	20	6,3
VS03	30	15	10,0	2	8,0	2	15	5,0
VS04; VC01	30	15	8,0	2	6,3; 8,0	2; 4	15	5,0
VS05	30	15	10,0	2	10,0	2	15	6,3
VS06; VC05	30	15	10,0	3; 2	6,3	2	15	5,0
VS07; VS08; VC04	30	15	10,0	2	10,0	2	15	5,0
VS09	50	20	10,0	7	6,3	2	14	5,0
VS10; VC06	40	20	10,0	4; 6	6,3	2	20	6,3
VC03	50	20	12,5	5	10,0	4	14	5,0

Tabela 5 – Detalhamento de projeto das lajes

Código	L _x (cm)	L _y (cm)	h (cm)	Armadura complementar/vigota
LS01; LS02; LS04; LS05; LS07; LS08; LS09; LS11; LS12; LS15; LS16; LS17; LS18; LC01; LC04; LC05; LC06; LC09; LC11; LC12; LS03; LS13; LS14; LC02	1,28; 2,30; 2,45; 1,55; 2,15; 1,28; 1,30; 1,80; 2,45; 0,58; 0,58; 0,58; 0,58; 1,28; 1,55; 2,15; 1,28; 1,55; 1,53; 0,58; 2,65; 1,55; 0,58; 2,65	2,65; 2,65; 3,45; 3,70; 5,68; 3,10; 3,70; 3,70; 2,90; 0,58; 0,70; 8,40; 1,55; 2,65; 3,70; 3,11; 3,10; 3,15; 5,63; 1,10; 3,65; 2,65; 0,60; 4,15	12	Sem complemento
LC03	2,65	4,25	12	1x Φ5,0 mm
LS06; LS10	3,35; 2,85	5,68; 3,70	12	1x Φ6,3 mm
LC07; LC08	4,15; 4,15	4,20; 4,25	16	1x Φ8,0 mm
LC10	3,35	5,63	12	1x Φ8,0 mm

Tabela 6 – Informações de projeto do radier

Descrição	Valor
Altura do radier	15 cm
Altura do lastro	5 cm
Resistência característica (f_{ck})	25 MPa
Malha superior utilizada	15 cm x 15 cm Φ4,2 mm
Malha inferior utilizada	15 cm x 15 cm Φ4,2 mm
Reforço em áreas solicitadas	Malha 15 cm x 15 cm Φ4,2 mm
Resistência característica do aço (f_{yk})	600 MPa

5 CONCLUSÕES

Com base nas análises realizadas neste trabalho, conclui-se que é essencial, para o conforto e bem-estar dos usuários, que a arquitetura de uma edificação seja adequada ao clima do local onde se encontra. Destaca-se, ainda, a necessidade de uma boa concepção estrutural no sistema construtivo de paredes monolíticas de EPS.

São necessárias mais pesquisas acerca dos painéis não compostos, pois estudos anteriores demonstraram que estes eram consideravelmente resistentes, apresentando comportamento parcialmente composto. Porém, não há uma metodologia padrão para determinar o grau de interação entre as camadas e o núcleo de EPS.

A simplificação para dimensionamento do sistema é possível e viável, mas é preciso haver uma normatização que padronize os cálculos e as considerações que devem ser realizadas. Por exemplo, podem-se definir parâmetros que estejam em função dos conectores e seus espaçamentos, tendo em vista que esses são os principais diferenciais entre os painéis comercializados. Com base em estudos prévios, os conectores ditam os comportamentos composto, parcialmente composto ou não-composto da parede e a sua rigidez.

Muitas informações que viabilizam a normatização podem ser extraídas de normas já existentes, como a norma para paredes de concreto armado moldadas in loco NBR 16055 (ABNT, 2012), a norma de paredes de alvenaria estrutural NBR 16868 (ABNT, 2021), a norma de execução e projeto de argamassa armada NBR 11173 (ABNT, 1990) e a norma de estruturas em concreto armado NBR 6118 (ABNT, 2014), além de alguns estudos realizados sobre o tema.

Para facilitar o uso em larga escala do sistema construtivo de paredes monolíticas de EPS, é interessante que haja programas adaptados ao seu dimensionamento, pois a forma atualmente disponível para fazê-lo é lenta, complexa e mais trabalhosa que o dimensionamento usual de estruturas em concreto armado. Dessa forma, nota-se que a inexistência de uma norma específica também afeta o desenvolvimento de programas comerciais, pois prejudica a criação de roteiros de dimensionamento adequados.

Tendo em vista o que foi explanado neste trabalho, conclui-se que futuros estudos podem ser realizados, inclusive com a realização de ensaios de ruptura, buscando um conhecimento mais aprofundado sobre as paredes de painéis monolíticos de EPS. Faz-se importante, por exemplo, o desenvolvimento mais apurado de uma formulação teórica da distribuição dos esforços atuantes e dimensionamento dos painéis.

REFERÊNCIAS

- AHMAD, A.; SINGH, Y. Flexural behavior of Expanded Polystyrene core Reinforced Concrete Sandwich Panels with different construction methods and end conditions. **Structures**, v. 34, p. 2900-2911, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.istruc.2021.09.051>
- ARAÚJO, J. M. de. **Curso de concreto armado**. Vol. 3, 3. ed. Rio Grande, RS: Dunas, 2010.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 11173**: Projeto e execução de argamassa armada — procedimento. Rio de Janeiro, 1990.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 16055**: Parede de concreto moldada no local para a construção de edificações — Requisitos e procedimentos. Rio de Janeiro, 2012.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 16868**: Alvenaria estrutural - Parte 1: Projeto. Rio de Janeiro, 2021.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6118**: Projeto de estruturas de concreto — Procedimento. Rio de Janeiro, 2014.
- AZEVEDO, M. P. **Estudo de comportamento de painéis sandwich com conectores em GFRP: ensaios à escala real**. Minho, 2013. 219 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) — Escola de Engenharia, Universidade do Minho, Minho, 2013.

- BALBINO, M. S. **Sistema construtivo em painéis monolíticos de EPS: uma solução para a construção de habitações populares no Brasil.** Paraíba, 2020. 106 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Civil) – Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, 2020.
- BERTINI, A. A. **Estruturas tipo sanduíche com placas de argamassa projetada.** São Paulo, 2002. 221 f. Tese (Doutorado em Engenharia de Estruturas) – Escola de Engenharia de São Carlos, São Carlos, SP, 2002.
- BRAIDA, F.; ALBERTO, K. C. **Desenhos para análise urbana e diagramas.** 2011. Departamento de arquitetura e urbanismo, Universidade Federal de Juiz de Fora, Juiz de Fora, RJ, 2011. Disponível em: <<https://www.ufjf.br/projeto3/files/2011/03/Desenhos-de725-an%C3%A1lise-e-Fluxograma.pdf>>. Acesso em: 14 abr. 2021.
- CHAKRABORTY, S.; REDDY, S.; SUBRAMANIAM, K. V. L. Experimental evaluation and analysis of flexural response of sandwich beam panels with an expanded polystyrene core. **Structures**, v. 33, p. 3798-3809, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.istruc.2021.06.088>
- CHEN, W.; HAO, H. Experimental and numerical study of composite lightweight structural insulated panel with expanded polystyrene core against windborne debris impacts. **Materials and Design**, n. 60, p. 409 – 423, 2014.
- DÓRIA, L. E. S. **Projeto de estrutura de fundação em concreto do tipo radier.** Alagoas, 2007. 93 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil-Estruturas) – Universidade Federal de Alagoas, Maceió, 2007.
- FERNANDO, P. L. N.; JAYASINGHE, M. T. R.; JAYASINGHE, C. Structural feasibility of Expanded Polystyrene (EPS) based lightweight concrete sandwich wall panels. **Construction and Building Materials**, v. 139, p. 45-51, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2017.02.027>
- FUSCO, P. B. **Estruturas de concreto: solicitações normais.** Rio de Janeiro: Editora Guanabara Dois, 1981.
- GARHWAL, A.; SHARMA, S.; DANIE ROY, A. B. Performance of Expanded Polystyrene (EPS) sandwiched concrete panels subjected to accelerated corrosion. **Structures**, v. 43, p. 1057-1072, 2022. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.istruc.2022.07.020>
- GURGEL, A. P. **Organogramas e fluxogramas na arquitetura.** (2018). 29 Slides. Disponível em: <<https://docplayer.com.br/52904186-Organogramas-e-fluxogramas-na742-arquitetura.html>>. Acesso em: 14 abr. 2021.
- HOLANDA, A. **Roteiro para construir no Nordeste.** Pernambuco, 1976. Dissertação (Mestrado de Desenvolvimento Urbano) – Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 1976.
- LI, S.; FAN, H. Flexural behaviors and local failure analyses of EPS foam-filled GFRC truss-core sandwich panels. **Case Studies in Construction Materials**, v. 15, p. e00688, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.cscm.2021.e00688>
- LUEBLE, A. R. C. P. **Construção de habitações com painéis de eps e argamassa armada.** In: Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído, 10, 2004, São Paulo. Anais... São Paulo: 2004.
- MONOLITE BRASIL. **O QUE É? O sistema monolite.** 2021. Disponível em: <<https://monolitebrasil.com.br/>>. Acesso em: 13 fev. 2023.
- PETROLINA. Pernambuco. Lei de n. 1875, de 14 de novembro de 2006. Dispõe sobre o plano diretor participativo do município de Petrolina, e dá outras providências Plano Diretor. Petrolina, 2006. **Diário Oficial de Petrolina**, Petrolina, PE, 2006.
- PROJETEEE. **Dados climáticos.** Disponível em: <http://projeteee.mma.gov.br/dados771-climaticos/?cidade=PE+-+Petrolina&id_cidade=bra_pe_petroolina.819910_inmet>. Acesso em: 14 abr. 2021.
- REIS, C. **Painéis Monolíticos em EPS (Poliestireno Expandido).** Guia da obra, 2015. Disponível em: <<http://www.guiadaobra.net/painel-monolitico-eps-poliestireno-expandido780718/>>. Acesso em: 14 abr. 2021.
- SILVA, J. P. **Previsão de comportamento de fundação em radier estaqueado utilizando o método dos elementos finitos e análise de prova de carga: estudo de caso.** Pernambuco, 2021. 120 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Pernambuco, Caruaru, 2021.
- SILVEIRA, G. V. V. **Proposta de caderno de encargos para utilização do sistema construtivo monolítico em painéis de EPS na execução de habitações de interesse social.** Santa Catarina, 2018. 66 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Civil) – Instituto Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2018.
- SIQUEIRA, T. E. **Análise de desempenho e custos de sistema de vedação em EPS.** Paraná, 2017. 116 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Civil) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Pato Branco, 2017.
- TORRES, M. S. **Avaliação da Colapsibilidade e da Resistência de Ponta de um Solo de Petrolina Devido a Inundação.** Pernambuco, 2014. 97 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2014.