

**INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE SANTA
CATARINA – CÂMPUS FLORIANÓPOLIS
DEPARTAMENTO ACADÊMICO DE CONSTRUÇÃO CIVIL
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL**

DAPHNE KALINY MIRANDA DE ARRUDA

**ANÁLISE TÉCNICO COMPARATIVA ENTRE UMA EDIFICAÇÃO EM
ALVENARIA ESTRUTURAL E UMA EDIFICAÇÃO EM SISTEMA
MONOLÍTICO DE EPS COM EMPREGO DO SOFTWARE ROBOT –
UM ESTUDO DE CASO**

FLORIANÓPOLIS, 2023.

**INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE SANTA
CATARINA – CÂMPUS FLORIANÓPOLIS
DEPARTAMENTO ACADÊMICO DE CONSTRUÇÃO CIVIL
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL**

DAPHNE KALINY MIRANDA DE ARRUDA

**ANÁLISE TÉCNICO COMPARATIVA ENTRE UMA EDIFICAÇÃO EM
ALVENARIA ESTRUTURAL E UMA EDIFICAÇÃO EM SISTEMA
MONOLÍTICO DE EPS COM EMPREGO DO SOFTWARE ROBOT –
UM ESTUDO DE CASO**

Trabalho de Conclusão de Curso submetido
ao Instituto Federal de Educação, Ciência e
Tecnologia de Santa Catarina como parte
dos requisitos para obtenção do título de
Engenheiro Civil.

Orientador:
Prof. Giovanni Antonio Ramos, Doutor

FLORIANÓPOLIS, 2023

PÁGINA PARA COLOCAÇÃO DA FICHA DE IDENTIFICAÇÃO DA OBRA

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor.

Arruda, Daphne

ANÁLISE TÉCNICO COMPARATIVA ENTRE UMA EDIFICAÇÃO EM ALVENARIA ESTRUTURAL E UMA EDIFICAÇÃO EM SISTEMA MONOLÍTICO DE EPS COM EMPREGO DO SOFTWARE ROBOT – UM ESTUDO DE CASO / Daphne Arruda; orientação de Giovanni Antonio Ramos. – Florianópolis, SC, 2024.

83 p.

Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) – Instituto Federal de Santa Catarina, Câmpus Florianópolis. Bacharelado em Engenharia Civil. Departamento Acadêmico de Construção Civil.

Inclui Referências.

1. PAINEL MONOLÍTICO. 2. EPS. 3. Dimensionamento.
4. Parede Estrutural. I. Ramos, Giovanni Antonio. II. Instituto Federal de Santa Catarina. III. ANÁLISE TÉCNICO COMPARATIVA ENTRE UMA EDIFICAÇÃO EM ALVENARIA ESTRUTURAL E UMA EDIFICAÇÃO EM SISTEMA MONOLÍTICO DE EPS COM EMPREGO DO SOFTWARE ROBOT – UM ESTUDO DE CASO .

**ANÁLISE TÉCNICO COMPARATIVA ENTRE UMA EDIFICAÇÃO EM
ALVENARIA ESTRUTURAL E UMA EDIFICAÇÃO EM SISTEMA
MONOLÍTICO DE EPS COM EMPREGO DO SOFTWARE ROBOT –
UM ESTUDO DE CASO**

DAPHNE KALINY MIRANDA DE ARRUDA

Este trabalho foi julgado adequado para obtenção do título de Engenheiro Civil em 2023 e aprovado na sua forma final pela banca examinadora do Curso Engenharia Civil do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Santa Catarina.

Florianópolis, 14 de dezembro, 2023.

Banca Examinadora:

Giovanny Antonio Ramos, Doutor

Alexandre Lima de Oliveira, Doutor
IFSC

Marcia Maria Machado Steil, Mestre
IFSC

Dedico este trabalho a Deus, que me socorreu nas aflições dessa trajetória e me fortaleceu e encorajou para alcançar meu objetivo.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus, pela minha vida, e por me permitir ultrapassar todos os obstáculos encontrados ao longo da realização deste trabalho, por ter me fortalecido quando meus pais e meu esposo enfrentaram problemas de saúde.

Agradeço ao meu esposo pelo apoio e paciência durante o período da graduação e elaboração deste trabalho, pelos abraços e consolo quando algo dava errado e pelo sorriso e ânimo quando dava certo, mesmo em meio a dificuldade.

Agradeço aos meus pais que sempre acreditaram em mim, que sonharam o meu sonho desde que decidi fazer engenharia civil no ensino fundamental, que me proporcionaram educação de qualidade e me incentivaram a correr atrás do meu objetivo. Agradeço a eles por sempre segurar a minha mão, independente das circunstâncias.

Agradeço aos meus irmãos por estarem ao meu lado, por me incentivarem nessa caminhada e realização deste trabalho e por acreditarem em mim.

Agradeço aos meus amigos, pela amizade incondicional e pelo apoio demonstrado ao longo de todo o período de tempo em que me dediquei a este trabalho.

Agradeço ao professor Giovanny Antonio Ramos por ter sido meu orientador e ter desempenhado tal função com dedicação.

Agradeço ao meu tio e engenheiro civil Marcelo Cechinel por todo apoio e paciência, por ter me incentivado e contribuído para o meu desenvolvimento profissional.

Aos professores, pelas correções e ensinamentos que me permitiram apresentar um melhor desempenho no meu processo de formação profissional ao longo do curso.

A todos que participaram, direta ou indiretamente do desenvolvimento deste trabalho, enriquecendo o meu processo de aprendizado.

“Combati o bom combate, terminei a corrida, guardei a fé.” 2 Timóteo 4. 7

RESUMO

O sistema construtivo de painéis monolíticos de isopor é relativamente novo no Brasil. Este sistema tem ganhado espaço entre as construções por apresentar colaboração sustentável, velocidade na obra e uma boa resistência estrutural por efeito do funcionamento monolítico. Porém, vale ressaltar que não há uma norma brasileira específica para os painéis, apenas uma diretriz, a SINAT nº 11 (2014), então, o dimensionamento, que visa garantir a estabilidade mediante aos esforços solicitantes nos painéis, é realizado conforme a ABNT NBR 16868-1 (2020). Deste modo, hoje os cálculos são feitos para o estado limite último e estado limite de serviço, considerando para as paredes monolíticas critérios de pilar-parede de alvenaria estrutural. Assim, o presente trabalho terá como objetivo buscar normas e diretrizes internacionais e realizar uma análise de cargas considerando os critérios de alvenaria estrutural, ABNT NBR 16868-1 (2020) - Alvenaria Estrutural - Parte 1: Projeto, para o dimensionamento de paredes em sistema monolítico de isopor. Para tanto, serão utilizados os resultados obtidos do software Robot Structural Analysis para promover uma análise da estrutura e contribuir para futuros dimensionamentos.

Palavras-chave: Painel Monolítico. EPS. Dimensionamento. Parede Estrutural.

ABSTRACT

The construction system of monolithic expanded polystyrene (EPS) panels is relatively new in Brazil. This system has gained traction in construction due to its sustainable collaboration, construction speed, and good structural resistance achieved through its monolithic functioning. However, it's worth noting that there isn't a specific Brazilian standard for these panels; only a guideline, SINAT No. 11 (2014). Therefore, the design, aimed at ensuring stability against the forces acting on the panels, follows ABNT NBR 16868-1 (2020). Consequently, calculations are carried out for the ultimate limit state and the serviceability limit state, considering masonry wall criteria for monolithic wall systems. This study aims to explore international standards and guidelines and perform a load analysis considering structural masonry criteria, ABNT NBR 16868-1 (2020) - Structural Masonry - Part 1: Design, for the design of walls in monolithic expanded polystyrene systems. To achieve this, results obtained from the Robot Structural Analysis software will be used to conduct a structural analysis, contributing to future design considerations.

Keywords: Monolithic Panel. EPS. Sizing. Structural Wall.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Composição do painel monolítico.....	18
Figura 2 – Arranques numa fundação de radier	21
Figura 3 - Arranques	22
Figura 4 – Painéis posicionados conforme os arranques	22
Figura 5 - Preparação dos painéis para a passagem de tubulações.....	23
Figura 6 - Instalações hidráulicas embutidas no painel.....	23
Figura 7 - Malha de reforço em L no encontro de paredes em T (Vista em planta) ..	24
Figura 8 - Malha de reforço em L nas paredes de canto (Vista em planta)	24
Figura 9 - Malha de reforço lisa (Vista em planta).....	24
Figura 10 - Malha de reforço em U na extremidade da parede (Vista em planta)	24
Figura 11 – Hotel em Pinamar.....	25
Figura 12 – Obra em andamento em Vinhedo - SP	26
Figura 13 – Obra finalizada em Vinhedo - SP	26
Figura 14 - Laje pré-moldada somente apoiada em duas bordas e com nervuras unidirecionais	31
Figura 15 - Laje pré-moldada somente apoiada em uma borda e engastada na outra, laje com nervuras unidirecionais.....	31
Figura 16 - Laje pré-moldada livre em uma borda e engastada na outra, laje com nervuras unidirecionais	32
Figura 17 - Influência das cargas verticais nas paredes	33
Figura 18 - Grupos de paredes	34
Figura 19 - Efeitos do desaprumo	36
Figura 20 - Abas em painéis de contraventamento	36
Figura 21 - Parede com aberturas gerando um pórtico.....	37
Figura 22 - Associação de pórticos e paredes	37
Figura 23 - Associação de pórticos e paredes	42
Figura 24 - Tensões no Estádio 1 na flexocompressão	43
Figura 25 - Flexocompressão em seção retangular	45
Figura 26 - Seção com armaduras iguais.....	46
Figura 27 - Momento de segunda ordem.....	46
Figura 28 - Parede de contraventamento sob flexocompressão	47
Figura 29 - Painel monolítico de isopor	51
Figura 30 – Barra de ferramentas do Robot.....	52
Figura 31 – Inspetor de objeto.....	52

Figura 32 – Vistas no Robot.....	53
Figura 33 – Ferramentas do Robot	53
Figura 34 – Definição de material no Robot	54
Figura 35 – Especificações do material de alvenaria estrutural	54
Figura 36 – Especificações do material em painel de EPS	55
Figura 37 – Seção de cargas no Robot.....	55
Figura 38 – Tipos de carga.....	56
Figura 39 – Combinações manuais no Robot	57
Figura 40 – Seção de análise no Robot	58
Figura 41 – Tipos de análise no Robot.....	58
Figura 42 – Cálculo no Robot.....	59
Figura 43 – Seção de resultados no Robot	59
Figura 44 – Valores das reações no Robot	60
Figura 45 – Deslocamento em UX	66
Figura 46 – Deslocamento em UY	67
Figura 47 – Deslocamento em UZ.....	67
Figura 48 – Parede representada na edificação.....	70
Figura 49 – Parede utilizada no dimensionamento	70
Figura 50 – Valor da força em FZ na parede.....	71

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Normas citadas na SINAT nº 11.....	27
Tabela 2 - Normas e documentos técnicos	27
Tabela 3 - Coeficientes de ponderação das resistências	39
Tabela 4 - Coeficientes de ponderação das forças de esforço normal.....	40
Tabela 5 - Valores do coeficiente j	48
Tabela 6 - Especificações do painel Emmedue.....	50
Tabela 7 - Dados alterados no Robot.....	72

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 – Reações máximas em FX.....	61
Gráfico 2 – Reações Mínimas em FX.....	61
Gráfico 3 – Reações máximas em FY	62
Gráfico 4 – Reações mínimas em FY.....	62
Gráfico 5 – Reações máximas em FZ	63
Gráfico 6 – Reações mínimas em FZ.....	63
Gráfico 7 – Deslocamentos máximos em UX.....	64
Gráfico 8 – Deslocamentos mínimos em UX.....	64
Gráfico 9 - Deslocamentos máximos em UY.....	65
Gráfico 10 - Deslocamentos mínimos em UY.....	65
Gráfico 11 - Deslocamentos mínimos em UZ.....	66
Gráfico 12 – Forças máximas FZ	68
Gráfico 13 – Forças Mínimas FZ.....	68
Gráfico 14 – Momentos máximos MX	69
Gráfico 15 – Momentos mínimos MX	69

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

A	Área da seção resistente
A_s	Área de armadura principal de flexão
$A_{s,min}$	Armadura mínima
A_{s1}	Área de armadura comprimida na face de maior compressão
A_{s2}	Área de armadura na outra face de compressão
b	Largura da seção transversal
d	Altura útil da seção transversal
d_1	Distância do centroide da armadura A_{s1} à borda mais comprimida
d_2	Distância do centroide da armadura A_{s2} à outra borda
e	Espessura da parede
e_x	Excentricidade resultante no plano de flexão
F_d	Valor de cálculo para a combinação última
f_d	Resistência à compressão de cálculo da alvenaria
$F_{G,k}$	Valor característico das ações permanentes
f_k	Resistência característica à compressão simples
$F_{Q,k}$	Valor característico das ações variáveis
f_s	Tensão na armadura
F_{vk}	Resistência característica de cisalhamento
γ_f	Coefficiente de ponderação de ações
γ_m	Coefficiente de ponderação das resistências
g_{pp}	Peso próprio da parede
h	Altura da parede
h_e	Altura efetiva do elemento comprimido
j	Coefficiente adimensional

K	Ajusta a resistência à compressão na flexão
M'_d	Momento fletor efetivo
M_{2d}	Momento de segunda ordem
M_d	Momento fletor de cálculo
M_{rd}	Momento fletor resistente de cálculo
N_d	Esforço normal de cálculo
$N_{g,k}$	Força normal característica devida às ações permanentes
N_{rd}	Força normal resistente de cálculo
R	Coeficiente redutor devido à esbeltez da parede
R_d	Esforço resistente de cálculo
S_1	Fator topográfico
S_2	Fator de rugosidade do terreno
S_3	Fator estatístico em função do uso da edificação
S_d	Esforço solicitante de cálculo
t	Dimensão da seção transversal da peça no plano de flexão
V_k	Velocidade característica
V_k	Força cortante
V_o	Velocidade básica
W	Mínimo módulo de resistência de flexão da seção resistente
y	Profundidade da região de compressão uniforme
γ	Peso específico da alvenaria
γ_g	Ponderador das ações permanentes
γ_q	Ponderador das ações variáveis
ΔP	Peso total do pavimento
ϵ_s	Deformação na armadura

θ_a	Ângulo para o desaprumo
σ	Tensão normal de pré-compressão na junta
f_{vk}	Resistência característica ao cisalhamento em juntas horizontais de parede
f_{pk}	Resistência a compressão do prisma

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	18
1.1	Justificativa	19
1.2	Objetivo Geral	20
1.3	Objetivos Específicos	20
2	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	21
2.1	Execução do sistema monolítico de isopor	21
2.2	Histórico	25
2.2.1	Histórico no mundo	25
2.2.2	Histórico no Brasil	26
2.3	Normas	26
2.3.1	Norma de Alvenaria Estrutural	28
2.4	Dimensionamento	28
2.4.1	Ações na análise estrutural	29
2.4.1.1	<i>Combinações últimas</i>	30
2.4.2	Distribuição das cargas	30
2.4.2.1	<i>Somente apoiada nas bordas</i>	30
2.4.2.2	<i>Somente apoiada em uma borda e na outra engastada</i>	31
2.4.2.3	<i>Laje em balanço</i>	32
2.4.3	Peso Próprio de Parede de Alvenaria Estrutural.....	32
2.4.3.1	<i>Influência de cargas entre paredes</i>	32
2.4.3.2	<i>Método para Distribuição de Cargas Verticais</i>	33
2.4.3.2.1	<i>Paredes isoladas</i>	33
2.4.3.2.2	<i>Grupos Isolados de Paredes</i>	33
2.4.4	Ações horizontais na estrutura	34
2.4.4.1	<i>Ação do vento</i>	34
2.4.4.2	<i>Desaprumo</i>	35
2.4.5	Abas em Painéis de Contraventamento	36
2.4.6	Paredes com aberturas	37
2.4.7	Estabilidade Global de Edifícios.....	38
2.5	Dimensionamento de Paredes de Alvenaria Estrutural (NBR 16868-01 (2020))	38
2.5.1	Compressão simples no ELU.....	39
2.5.2	Flexão Simples.....	40
2.5.3	Cisalhamento	41
2.5.4	Flexocompressão	42
2.5.5	Alvenaria não armada	43
2.6	Procedimento para situações usuais	44
2.6.1	Elementos esbeltos.....	46
2.6.2	Procedimento para parede de contraventamento	47
3	METODOLOGIA	49
3.1	Edificação	49
3.2	Métodos aplicados	49
3.3	Painéis monolíticos	50
3.4	Robot Structural Analysis	51
3.4.1	Utilização do software Robot.....	51

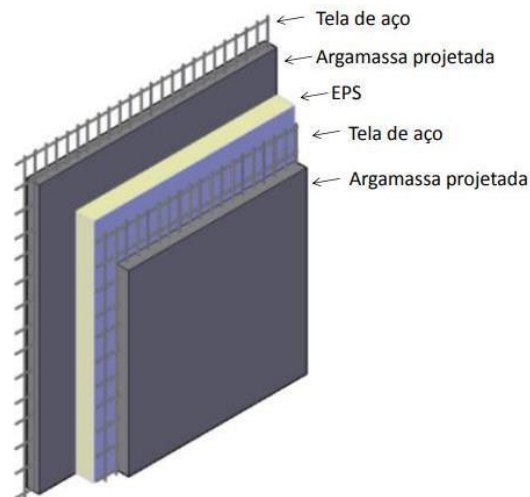
3.4.1.1	<i>Materiais no Robot</i>	53
3.4.1.2	<i>Cargas e combinações no Robot</i>	55
3.4.1.3	<i>Análise no Robot</i>	57
4	APRESENTAÇÃO DOS RESULTADOS	60
4.1	Resultados para paredes em alvenaria estrutural e em EPS	60
4.1.1	Reações (FX, FY, FZ)	60
4.1.2	Deslocamentos (UX, UY, UZ)	63
4.1.3	Forças (FZ, MX)	67
4.1.4	Verificação de uma parede	69
4.2	Análise	72
5	CONSIDERAÇÕES FINAIS	73
5.1	Sugestões para trabalhos futuros	74
	REFERÊNCIAS	75
	ANEXOS	78
	ANEXO A – 100 valores obtidos pelo software Robot de reações.....	79
	ANEXO B – Valores obtidos pelo software Robot de força e momento	82

1 INTRODUÇÃO

A construção em painéis monolíticos de isopor surgiu na Itália para atender requisitos climáticos e estruturais daquela região e com o tempo foi se difundindo pela Europa. Chegou ao Brasil nos anos 90, onde o sistema foi estudado e sujeito a ensaios pelo do IPT (Instituto de Pesquisas Tecnológicas de São Paulo) (BERTOLDI, 2007).

O painel monolítico é formado por um painel de EPS, revestido de uma malha de aço de alta resistência e uma camada de argamassa, conforme mostra a Figura 1. Esse conjunto é responsável pela distribuição linear das cargas nas paredes, que as distribui para as lajes e por fim para a fundação.

Figura 1 – Composição do painel monolítico



Fonte: SINAT (2014).

O sistema apresenta algumas características relativamente atrativas para a construção civil e para quem vai residir em uma casa com esse sistema construtivo. A ABRAPEX (2006) afirma que possui menos impactos ambientais, redução de resíduos, baixa condutividade térmica, resistência mecânica, absorção de choques e resistência à compressão.

Com o valor relativamente alto da mão de obra para construção civil, o painel em EPS tem uma grande vantagem em relação ao tempo de execução, que influencia diretamente no orçamento da obra. Conforme Mendes e Rodrigues (2021), a etapa de levantamento de paredes em blocos cerâmicos possui uma produtividade de 0,43 horas por metro quadrado, enquanto que o levantamento de paredes em painéis de EPS possui uma produtividade de 0,15 horas por metro quadrado.

É um sistema desenvolvido recentemente que apresenta também entre os seus benefícios a questão do conforto térmico, definido pela NBR 15575 (TIBURCIO, 2022). Conforme constatou Bertoldi (2007), em uma vedação vertical de 150 mm se obteve uma transmitância térmica de $0,43 \text{ W/m}^2\text{°C}$, enquanto que para se obter o mesmo valor de transmitância seria necessária uma vedação vertical de 980 mm em alvenaria de bloco cerâmico.

Por fim, vale ressaltar que o sistema apresenta um isolamento acústico adequado e que a obra em EPS é muito leve, em relação ao sistema de concreto armado, uma vez que não possui pilares e vigas na maioria das obras e tem o peso de 90 Kg/m^2 (CELERE, 2021) enquanto que uma parede de blocos cerâmicos pesa 160 Kg/m^2 (NBR 6120:2019), isso influencia diretamente na infraestrutura (TIBURCIO, 2022).

Todavia, apesar desses benefícios apresentados, no Brasil, ainda não há uma normalização específica para construções em painéis monolíticos de isopor, então se faz uso da diretriz SINAT nº 11, para paredes moldadas no local, constituídas por componentes de poliestireno expandido (EPS), aço e argamassa, microconcreto ou concreto.

1.1 Justificativa

O crescimento na utilização de construções em painel monolítico de EPS, no Brasil, é uma realidade. Apesar de ainda não existir normativa brasileira acerca do assunto algumas considerações são empregadas de forma a viabilizar sua utilização. Partindo do pressuposto que a falta desta normativa específica não desabone os procedimentos de cálculo, o estudo que segue vem com o intuito de servir como norte para a difusão deste método construtivo, demonstrando algumas de suas vantagens, bem como destacando os métodos de cálculo utilizados em nosso país para o emprego do mesmo. Para tanto, optou-se por elaborar uma comparação estrutural com outro método construtivo amplamente utilizado no Brasil, a alvenaria estrutural.

1.2 Objetivo Geral

Este trabalho tem como objetivo analisar informações de cargas obtidas pelo software Robot Structural Analysis de uma obra em painel monolítico de isopor e em seguida a mesma obra, porém em alvenaria estrutural, ambas calculadas pelo software por critérios da norma NBR 16868-1:2021 de alvenaria estrutural.

1.3 Objetivos Específicos

- a) gerar cargas de uma estrutura em painel monolítico de isopor de acordo com a norma de alvenaria estrutural;
- b) analisar os resultados obtidos no software Robot Structural Analysis;
- c) comparar os resultados da estrutura em painel monolítico de isopor com os resultados da estrutura em alvenaria estrutural;

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 Execução do sistema monolítico de isopor

A execução do sistema começa a partir da fundação (TIBURCIO, 2022). Segundo afirma Medeiros (2017), para esse modelo construtivo a fundação recomendada é o radier, uma vez que as cargas no radier são distribuídas de maneira uniforme no terreno, minimizando efeitos de recalque na estrutura. Mas a fundação não está limitada ao uso de radier, sendo assim, a determinação é feita pelo projetista, que avalia a melhor solução para a obra em específico.

É necessário dispor arranques (Figura 2, Figura 3 e Figura 4) de aço de 3,4 milímetros a 5 milímetros de diâmetro (varia de acordo com a definição de cálculo em razão do número de pavimentos) e com 20 centímetros de distância entre si. Os vergalhões devem ter 50 centímetros de comprimento, porém precisam estar 30 centímetros acima do piso, dispostos conforme o gabarito da obra para a face externa de onde serão posicionados os painéis (ALVES, 2015). Para montar os painéis no prumo podem ser utilizadas régua a cerca de 2 metros do piso, escoras e sarrafos. Mediante a montagem, executa-se a colocação dos reforços de cantos e encontros com cantoneiras de malha de arame – mesma malha usada nos painéis (ABRAPEX, 2006).

Figura 2 – Arranques numa fundação de radier



Fonte: Isoalfa (2022).

Figura 3 - Arranques



Fonte: Isoalfa (2022).

Figura 4 – Painéis posicionados conforme os arranques



Fonte: Isoalfa (2022).

Para instalação de tubulações elétricas e hidráulicas, observa-se o projeto e com spray é demarcada a passagem da tubulação, para, então, abrir a passagem com um soprador de ar quente (Figura 5). Posterior a isso acontece a colocação das tubulações (Figura 6). Com a instalação concluída é aplicado o revestimento de argamassa projetada (ABRAPEX, 2006).

Segundo a empresa Monopainel (2019), sendo necessário o corte da tela para passagem das tubulações, deve ser aplicada uma sobretela de reforço no ponto (KEVIN GENOL).

Figura 5 - Preparação dos painéis para a passagem de tubulações



Fonte: Santana, Gomes e Soares (2020).

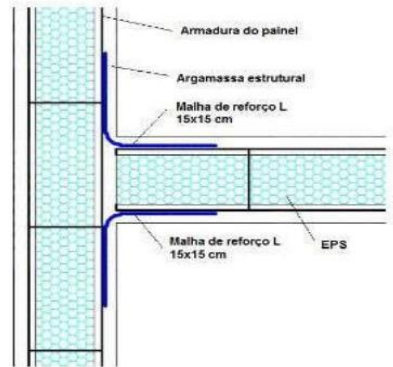
Figura 6 - Instalações hidráulicas embutidas no painel



Fonte: Santana, Gomes e Soares (2020).

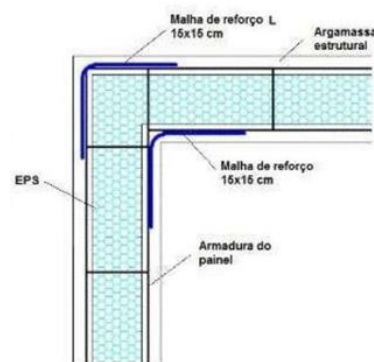
A estrutura monolítica se torna de fato única por apresentar malhas metálicas que interligam a montagem dos painéis e fortalecem prováveis pontos críticos da estrutura. A malha deve ser de aço galvanizado e pode estar num formato em L, em U ou liso (BARRETO, 2017). Cada formato é adequado para uma situação específica, tal como os reforços em L são utilizados em todos os encontros de paredes perpendiculares, paredes em T e cantos de paredes. O reforço liso é adequado para aberturas, como portas e janelas, sendo disposto na diagonal ao canto da abertura, e também é usado em cortes que foram realizados para passagem de tubulações (ALVES, 2015). A seguir encontram-se as representações das telas de reforço:

Figura 7 - Malha de reforço em L no encontro de paredes em T (Vista em planta)



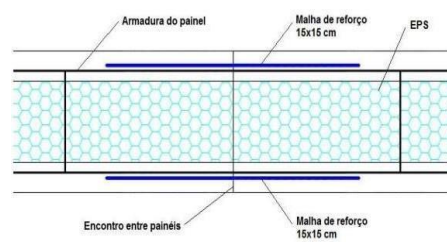
Fonte: Medeiros (2017).

Figura 8 - Malha de reforço em L nas paredes de canto (Vista em planta)



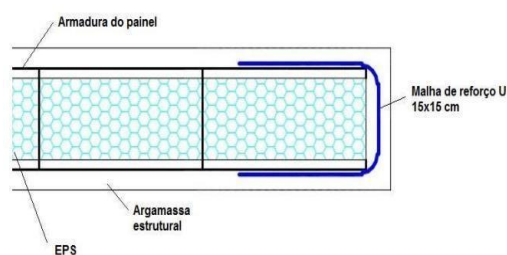
Fonte: Medeiros (2017).

Figura 9 - Malha de reforço lisa (Vista em planta)



Fonte: Medeiros (2017).

Figura 10 - Malha de reforço em U na extremidade da parede (Vista em planta)



Fonte: Medeiros (2017).

Para finalizar a formação do painel monolítico, é projetada uma argamassa para preenchimento da superfície do EPS, em seguida outra camada de revestimento final convencional. A primeira projeção tem o intuito de proporcionar mais adesão entre o painel de EPS e o revestimento final (COSTA, 2020).

2.2 Histórico

2.2.1 Histórico no mundo

O sistema monolítico de isopor foi idealizado inicialmente por Ângelo Candiracci em 1981, na Itália, onde ele fundou a empresa Monolite, que posteriormente foi chamada de Emmedue (EMMEDUE, 2023). O painel foi elaborado para satisfazer as necessidades técnicas, climáticas e construtivas da região, sendo principalmente considerado o fator de abalo sísmico (BERTOLDI, 2007). Atualmente, o sistema monolítico está presente em diversos países através dos painéis da Emmedue (Figura 11), a qual realizou testes e obteve certificações em vários países, tais como Rússia, países da Europa, Estados Unidos da América, Argélia, Índia, República Dominicana, Equador, Espanha, Argentina, Nicarágua, Uruguai, Romênia, Panamá, Peru, Irlanda, Jamaica, África do Sul, México, Porto Rico e Austrália (EMMEDUE, 2023).

Figura 11 – Hotel em Pinamar



Fonte: Emmedue (2023).

2.2.2 Histórico no Brasil

A tecnologia monolítica começou a ser difundida no Brasil na década de noventa, quando ensaios foram realizados junto ao Instituto de Pesquisa Tecnológico de São Paulo, segundo afirma Bertoldi (2007). Atualmente há várias empresas utilizando o sistema de painéis monolíticos, ainda que não haja aplicação referente a abalos sísmicos, o sistema atende itens de conforto térmico, resistência de carga, rápida instalação, sustentabilidade e eficiência energética, entre outros (EMMEDUE, 2023).

Figura 12 – Obra em andamento em Vinhedo - SP



Fonte: Monopainel (2023).

Figura 13 – Obra finalizada em Vinhedo - SP



Fonte: Monopainel (2023).

2.3 Normas

No Brasil, ainda não há normativa que verse sobre o dimensionamento, projeto e execução do sistema monolítico de isopor. Para tanto, tem-se apenas a

diretriz SINAT nº 11, a qual apresenta requisitos para caracterização dos materiais e componentes empregados em paredes formadas por painéis de EPS com argamassa, microconcreto ou concreto projetados no local.

A própria diretriz SINAT nº 1 apresenta normas complementares para alcançar alguns requisitos solicitados pela mesma. Serão citadas algumas normas nacionais na tabela abaixo:

Tabela 1 - Normas citadas na SINAT nº 11

NBR 5628:2022	Componentes construtivos estruturais – Determinação da resistência ao fogo
NBR 6118:2014	Projeto de estruturas de concreto – Procedimento
NBR 6123:1998	Forças Devidas ao Vento em Edificações
NBR 7480:2022	Aço destinado a armaduras para estruturas de concreto armado – Especificação
NBR 7481:2022	Tela de aço soldada – Armadura para concreto
NBR 7973:2007	Poliestireno expandido para isolamento térmica – Determinação de absorção de água.
NBR 11173:1990	Projeto e execução de argamassa armada – Procedimento
NBR 14026:2012	Concreto projetado — Especificação
NBR 15220:2005	Desempenho térmico de edificações
NBR 15575:2021	Edifícios habitacionais de até cinco pavimentos: Desempenho
NBR 16868-1:2020	Alvenaria estrutural – parte 1: projeto

Fonte: Diretriz SINAT nº 11 (2014).

Com relação a documentos internacionais, há um documento de avaliação técnica europeia a respeito do sistema de construção Emmedue, emitido pelo Instituto de Ciencias de la Construcción Eduardo Torroja (IETcc), chama-se ETA 20/0976 de 01/06/2021.

Para alcançar os objetivos propostos nesse trabalho serão utilizadas as normas e documentos técnicos apresentados na tabela abaixo:

Tabela 2 - Normas e documentos técnicos

NBR 16868-1:2020	Alvenaria estrutural – parte 1: projeto
------------------	---

NBR 6120:2019	Ações para o cálculo de estruturas de edificações
NBR 6123:1998	Forças devidas ao vento em edificações
NBR 6118:2014	Projeto de estruturas de concreto – Procedimento
SINAT nº 11	
ETA 20/0976	

Fonte: Autor (2022).

2.3.1 Norma de Alvenaria Estrutural

A NBR 16868-1:2020 é a norma que versa sobre alvenaria estrutural e que cancelou e substituiu as ABNT NBR 15812-1:2010 e ABNT NBR 15961-1:2011. Se refere à parte de projeto, estabelecendo requisitos para o projeto estrutural de alvenaria e abordando as propriedades da alvenaria e de seus elementos.

Para esse trabalho, as diretrizes mais relevantes dessa norma são com relação à segurança, ações na estrutura, análise estrutural, limites para dimensões, deslocamentos e fissuras, e por fim, o dimensionamento.

2.4 Dimensionamento

O dimensionamento de elementos estruturais, sejam eles em concreto armado, alvenaria estrutural ou mesmo painel monolítico de isopor passa, primeiramente, pelo emprego correto das metodologias de cálculo presentes nas normas pertinentes, seguindo para uma minuciosa e coerente análise estrutural para, por fim, culminar na elaboração do projeto estrutural composto por plantas, cortes e detalhamentos.

No que se refere as normativas, as mesmas, já foram abordadas no item anterior.

Já no caso da análise estrutural, a NBR 6118:2014 explícita que “o objetivo da análise estrutural é determinar os efeitos das ações em uma estrutura, com finalidade de efetuar verificações de estados limites últimos e de serviço”.

Finalmente, o projeto estrutural trata-se de um apanhado de informações, organizados e detalhados de forma que facilite a execução de tudo que foi apurado nas etapas anteriores resultando em uma obra que atenda a finalidade para a qual foi projetada.

2.4.1 Ações na análise estrutural

A análise abrange a consideração de todas as ações que têm impacto significativo na segurança da estrutura, tanto em condições de máxima solicitação quanto durante o uso habitual da mesma e tem como base para ações a ABNT NBR 8681 (ABNT NBR 16868-1, 2020).

Conforme ABNT NBR 16868-1 (2020), as ações são classificadas como permanentes, variáveis e excepcionais. As permanentes têm valores com pouca variação em relação à média durante praticamente toda a vida da estrutura. As variáveis têm valores com variação relevante durante a vida da estrutura. Já as excepcionais, são advindas de explosões, impactos, incêndios.

Destacam-se abaixo alguns exemplos de ações utilizadas em análise estrutural (BASTOS, 2021):

a) Ações permanentes: peso próprio, contrapiso ou argamassa de regularização sobre a laje, revestimento ou piso final, revestimento inferior, peso de paredes não estruturais;

b) Ações variáveis: forças ocasionadas pelo vento, pessoas, veículos, materiais, móveis (PEREIRA, 2022).

As ações que foram consideradas para este trabalho são as seguintes ações permanentes:

- Peso próprio;

- Laje.

E a seguinte ação variável considerada:

- Força devida ao vento.

Não foram consideradas ações excepcionais.

2.4.1.1 Combinações últimas

As combinações últimas para carregamentos permanentes e variáveis são obtidas pela equação (ABNT NBR 16868-1, 2020):

$$F_d = \gamma_g F_{G,k} + \gamma_q F_{Q,k}$$

Em que

F_d é o valor de cálculo para a combinação última;

γ_g é o ponderador das ações permanentes;

$F_{G,k}$ é o valor característico das ações permanentes;

γ_q é o ponderador das ações variáveis;

$F_{Q,k}$ é o valor característico das ações variáveis;

Ainda de acordo com a ABNT NBR 16868-1 (2020), as ações devem ser observadas aplicadas no topo da parede de estudo até a sua base e a partir do equilíbrio da estrutura e dos seus elementos se obtém o esforço cortante e o momento fletor.

2.4.2 Distribuição das cargas

Para o desenvolvimento do item 2.4.2 será apresentado um material didático elaborado pelo Professor Doutor Paulo Sérgio Bastos (2021) para a Universidade Estadual Paulista (UNESP).

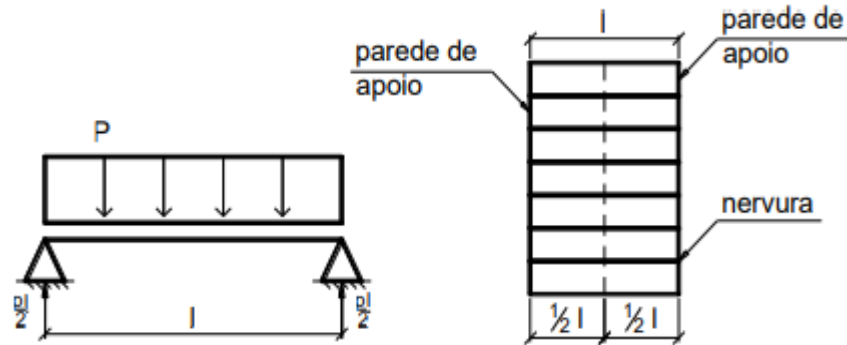
Os valores das cargas de lajes maciças que apoiam nas paredes são obtidos calculando-se as áreas de influência, nos critérios estabelecidos pela ABNT NBR 6118 (2014). Para lajes pré-moldadas unidirecionais se observam as situações a seguir:

2.4.2.1 Somente apoiada nas bordas

Nessa situação a laje pré-moldada somente apoia nas bordas que podem ser as paredes estruturais. A carga da laje em cima da parede estrutural de apoio é

igual a $\frac{pl}{2}$, em que p é a carga uniforme sobre a laje por unidade de área, e l é o vão da laje, na direção das nervuras unidirecionais.

Figura 14 - Laje pré-moldada somente apoiada em duas bordas e com nervuras unidirecionais

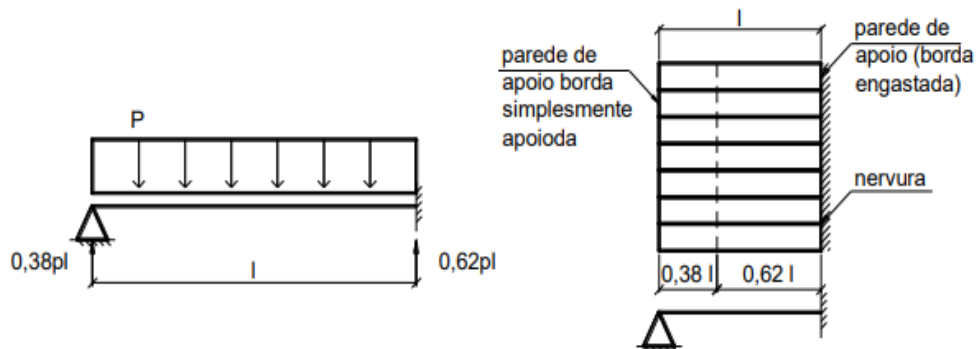


Fonte: BASTOS (2021).

2.4.2.2 Somente apoiada em uma borda e na outra engastada

Nessa situação uma borda está engastada e a outra somente apoiada, sendo assim, a borda que está engastada recebe uma carga maior, enquanto a outra borda recebe uma carga menor.

Figura 15 - Laje pré-moldada somente apoiada em uma borda e engastada na outra, laje com nervuras unidirecionais

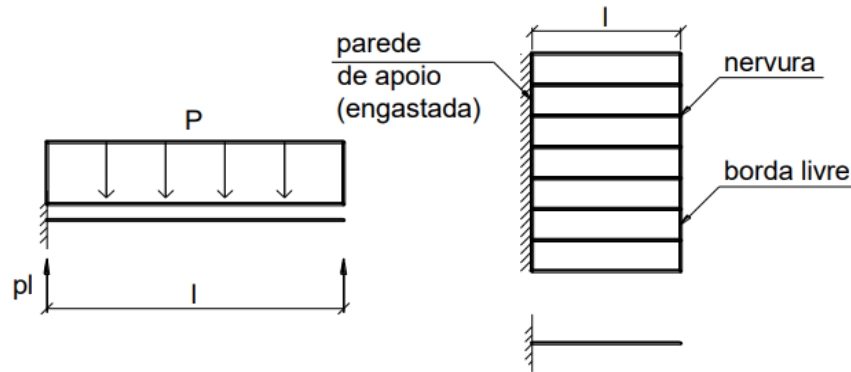


Fonte: BASTOS (2021).

2.4.2.3 Laje em balanço

Para essa situação se considera uma borda livre e uma borda engastada na laje pré-moldada com nervuras unidirecionais em balanço, e a carga sobre a parede é igual a p_l .

Figura 16 - Laje pré-moldada livre em uma borda e engastada na outra, laje com nervuras unidirecionais



Fonte: BASTOS (2021).

2.4.3 Peso Próprio de Parede de Alvenaria Estrutural

O peso próprio da parede que é utilizado no cálculo de cargas da edificação é dado pela equação abaixo:

$$g_{pp} = \gamma \cdot e \cdot h$$

Sendo,

γ = peso específico da alvenaria;

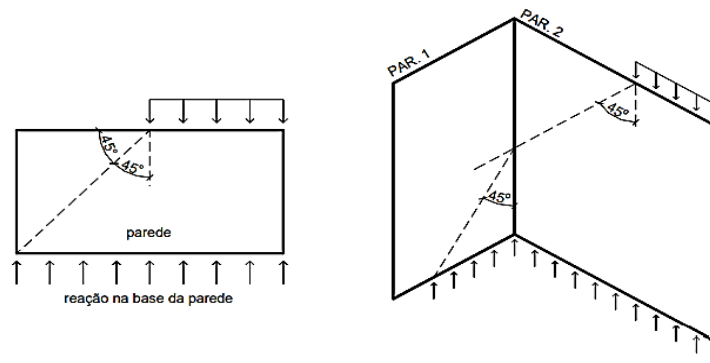
e = espessura da parede (inclui blocos e revestimentos);

h = altura da parede.

2.4.3.1 Influência de cargas entre paredes

As cargas verticais que as paredes recebem não funcionam de maneira pontual, funcionam sendo uma parede parcialmente carregada em que as cargas se propagam pela altura da parede, acontecendo também nas paredes de bordas com amarração indireta entre paredes e cantos.

Figura 17 - Influência das cargas verticais nas paredes



Fonte: RAMALHO e CORRÊA, 2007, apud BASTOS (2021).

As portas, janelas e demais aberturas interferem na uniformização dos carregamentos verticais nas paredes. Portanto, deve-se buscar alternativas a fim de diminuir esse efeito de interrupção da uniformização das cargas. Para tal finalidade podem ser utilizados os seguintes elementos estruturais:

- a) amarração direta das paredes em cantos e bordas;
- b) construção de cintas sob as lajes e à meia altura da parede;
- c) lajes maciças;
- d) vergas e contravergas

2.4.3.2 Método para Distribuição de Cargas Verticais

Na alvenaria estrutural são utilizados alguns métodos para determinar a distribuição de cargas verticais nas paredes. De acordo com Ramalho e Corrêa (2007) apud Bastos (2021), esses procedimentos podem ter vantagens e desvantagens, as quais serão abordadas a seguir.

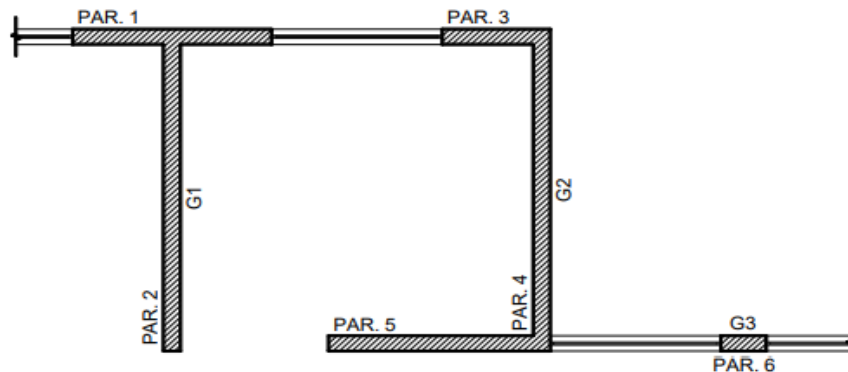
2.4.3.2.1 Paredes isoladas

Nesse método todas as paredes são independentes uma das outras, não interagem. Porém não é um método que retrata a realidade da estrutura, não é econômico e não deve ser utilizado para edificações altas.

2.4.3.2.2 Grupos Isolados de Paredes

Nesse método são separadas algumas paredes para formar um grupo, esses grupos geralmente são limitados por aberturas, como janelas e portas. Dessa maneira, são desconsideradas as forças que promovem a uniformização de cargas entre os grupos e cada grupo trabalha de forma isolada.

Figura 18 - Grupos de paredes



Fonte: RAMALHO e CORRÊA, 2007, apud BASTOS (2021).

Todavia, dentro do grupo ocorre a uniformização das cargas entre as paredes daquele grupo específico. A carga total é dividida pelo comprimento total das paredes do grupo e dessa maneira ocorre a uniformização. Com esse método é possível obter resultados seguros, econômicos e pode ser utilizado para edificações de qualquer altura.

2.4.4 Ações horizontais na estrutura

Considera-se que as ações são distribuídas nos painéis de contraventamento para analisar as ações horizontais que atuam no edifício, através das lajes do pavimento. São verificados o desaprumo da edificação e a ação do vento.

2.4.4.1 Ação do vento

A ABNT NBR 6123 (1988) deve ser utilizada para calcular os efeitos do vento que é uma força horizontal agindo perpendicularmente à parede externa. Estas paredes transmitem força às lajes, que atua como um diafragma rígido e distribui a força aos painéis portantes de acordo com a rigidez de cada painel.

De acordo com Parsekian e ABNT NBR 6123 (1988) apud Rodrigues et al. (2021), o efeito do vento deve ser levado em consideração em quase todos os projetos. O vento é causado por diferenças de pressão na atmosfera que faz com que o ar se mova. Se houver um obstáculo a esse movimento, então ocorre a força ou efeito do vento que pode ocorrer nas mais diversas direções, sentidos e intensidades.

Para realizar o projeto são utilizados alguns fatores com relação a força do vento, sendo eles:

- a) Local;
- b) Dimensões da construção;
- c) Tipo de terreno;
- d) Tipo de ocupação;
- e) Rugosidade de terreno.

Mediante a velocidade básica (V_0), em que cada cidade possui uma própria, calcula-se a velocidade característica V_k específica para a estrutura em análise (ABNT NBR 6123, 1988):

$$V_k = V_0 \times S1 \times S2 \times S3$$

No qual:

S1= fator topográfico;

S2= fator de rugosidade do terreno;

S3= fator estatístico em função do uso da edificação.

2.4.4.2 Desaprumo

O desaprumo é considerado pela ABNT NBR 16868-1 (2020) como uma ação imposta pelas imperfeições geométricas do tipo global. O ângulo para o desaprumo do eixo da estrutura é calculado com a expressão:

$$\theta_a = \frac{1}{100\sqrt{H}} \leq \frac{1}{40H}$$

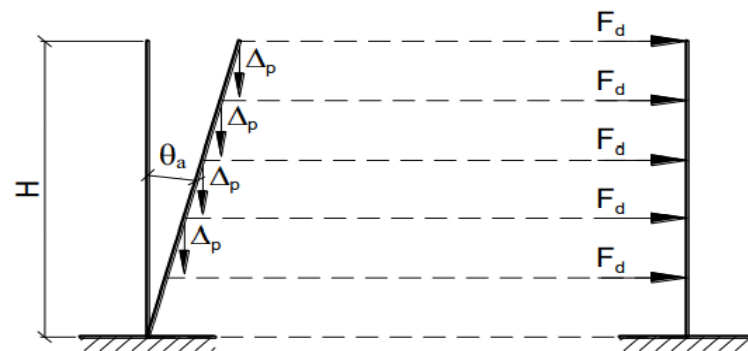
A força horizontal equivalente (F_d , da Figura 19), aplicada ao nível de cada pavimento, é (BASTOS, 2021):

$$F_d = \Delta P \cdot \theta_a$$

Sendo ΔP o peso total do pavimento que foi levado em consideração.

Essas forças que são geradas em virtude desse desaparecimento na edificação são analisadas com a força de vento, uma vez que ambas são consideradas forças horizontais e podem ser somadas para se realizar o dimensionamento adequado (RAMALHO e CORRÊA, 2007, apud BASTOS, 2021).

Figura 19 - Efeitos do desaparecimento

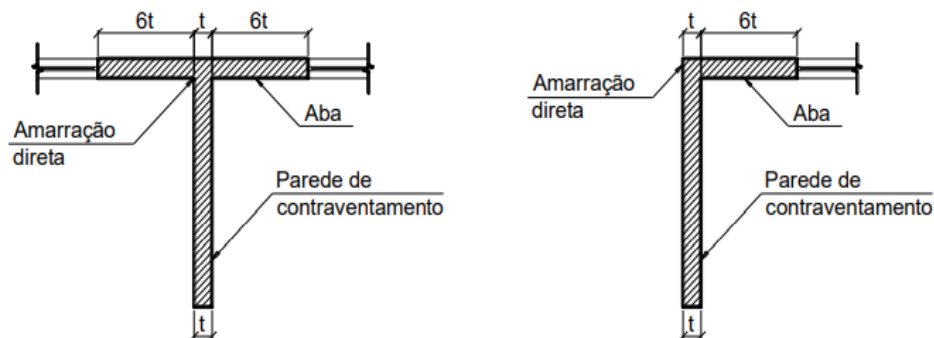


Fonte: RAMALHO e CORRÊA, 2007, apud BASTOS (2021).

2.4.5 Abas em Painéis de Contraventamento

Quando se tem uma parede de contraventamento, uma parte da parede transversal (nos cantos, bordas, etc.) deve-se considerar como parte da parede uma outra parte da parede transversal, conforme indica a Figura 20.

Figura 20 - Abas em painéis de contraventamento

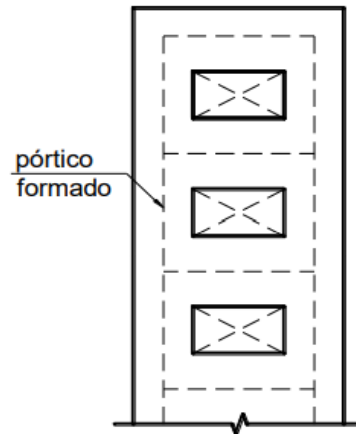


Fonte: RAMALHO e CORRÊA, 2007, apud BASTOS (2021).

2.4.6 Paredes com aberturas

Em paredes com aberturas, o sistema deve ser considerado como pórtico, em que a parede representa o pilar e as vigas são as partes entre as aberturas, conforme indica a Figura 21.

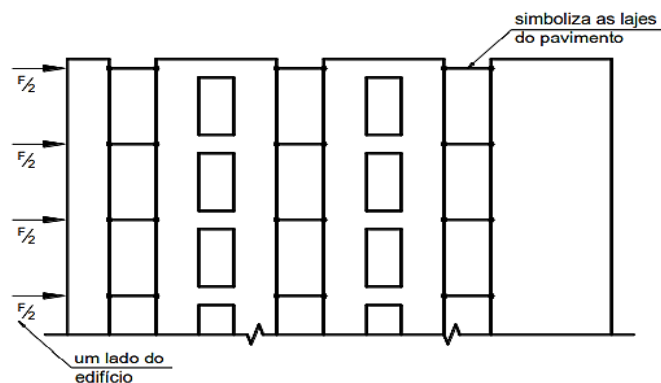
Figura 21 - Paredes com aberturas gerando um pórtico



Fonte: RAMALHO e CORRÊA, 2007, apud BASTOS (2021).

Cada pórtico, ou parede isolada sem janelas e portas, recebe uma parte da ação horizontal total, de acordo com sua rigidez. As forças que atuam sobre esses elementos são determinadas por uma associação planar de pórticos e paredes.

Figura 22 - Associação de pórticos e paredes



Fonte: RAMALHO e CORRÊA, 2007, apud BASTOS (2021).

2.4.7 Estabilidade Global de Edifícios

A norma NBR 16868-1 (2020) define uma verificação para estabilidade global de edifícios, em que os efeitos de 2ª ordem não podem ser maiores que 10% dos efeitos de 1ª ordem. Para realizar a verificação é necessário utilizar o parâmetro γ_z da ABNT NBR 6118 (2014).

2.5 Dimensionamento de Paredes de Alvenaria Estrutural (NBR 16868-01 (2020))

A ABNT NBR 16868-01 (2020) apresenta um procedimento para dimensionamento em alvenaria estrutural, o qual será utilizado como base para o dimensionamento dos painéis monolíticos de isopor. Admitindo-se que o elemento está em estado-limite último.

A consideração inicial é de que:

$$S_d \leq R_d$$

Sendo:

S = esforço solicitante de cálculo;

R = esforço resistente de cálculo.

Deve-se considerar, também, a seção homogênea e com a sua área bruta.

Admite-se o seguinte:

- as seções transversais se mantêm planas após a deformação;
- as armaduras aderentes têm a mesma deformação que a alvenaria em seu entorno;
- a resistência à tração da alvenaria é nula;
- as máximas tensões de compressão devem ser menores ou iguais à resistência à compressão da alvenaria indicada em 6.2.2.3;
- a distribuição de tensões de compressão nos elementos de alvenaria submetidos à flexão pode ser representada por um diagrama retangular, conforme 11.3.2;

- para flexão ou flexocompressão, o máximo encurtamento da alvenaria se limita a 0,30 %;
- o máximo alongamento do aço se limita a 1%.

2.5.1 Compressão simples no ELU

Para encontrar o valor do esforço resistente de cálculo (N_{rd}) será utilizada a seguinte equação:

$$N_{rd} = f_d \times A \times R$$

Em que

N_{rd} é a força normal resistente de cálculo;

f_d é a resistência à compressão de cálculo da alvenaria;

A é a área da seção resistente;

R é o coeficiente redutor devido à esbeltez da parede, sendo $R = \left[1 - \left(\frac{\lambda}{40} \right)^3 \right]$

A resistência à compressão de cálculo da alvenaria (f_d) é obtida pela seguinte equação:

$$f_d = \frac{f_k}{\gamma_m}$$

Em que f_k é a resistência característica à compressão simples;

E γ_m é o coeficiente de ponderação das resistências.

Já o γ_m é dado conforme tabela 4 para coeficientes de ponderação das resistências, o valor será escolhido a favor da segurança, já que não há um coeficiente específico para o painel monolítico em EPS, assim, tem-se que $\gamma_m = 2,0$.

Tabela 3 - Coeficientes de ponderação das resistências

Combinações	Alvenaria	Graute	Aço
Normais	2,0	2,0	1,15

Especiais ou de construção	1,5	1,5	1,15
Excepcionais	1,5	1,5	1,0

Fonte: ABNT NBR 16868-1 (2020).

Para verificar o elemento estrutural quanto à compressão simples é necessário utilizar da consideração do início do dimensionamento $S_d \leq R_d$.

O esforço normal de cálculo (N_d) é dado pelo esforço normal característico multiplicado por um coeficiente ponderador.

Tabela 4 - Coeficientes de ponderação das forças de esforço normal

Categoria da ação	Tipo de estrutura	Efeito	
		Desfavorável	Favorável
Permanentes	Edificações Tipo 1 e pontes em geral	1,35	0,9
	Edificações Tipo 2	1,40	0,9
Variáveis	Edificações Tipo 1 e pontes em geral	1,5	-
	Edificações Tipo 2	1,40	-

Edificações Tipo 1 são aquelas em que as cargas acidentais superam 5 kN/m³.

Edificações Tipo 2 são aquelas em que as cargas acidentais não superam 5 kN/m³.

Fonte: ABNT NBR 16868-1 (2020).

Então, tem-se que $N_d = 1,4 \times F_k$.

2.5.2 Flexão Simples

A flexão simples é uma solicitação usual em estruturas em alvenaria estrutural. Ocorre em paredes, pilares, vigas, paredes de muros de contenção e reservatórios, muros sob a influência do vento etc. A flexão simples geralmente ocorre com vigas e vergas (BASTOS, 2021).

2.5.3 Cisalhamento

A resistência característica de cisalhamento em juntas horizontais, conforme a ABNT NBR 16868-1 (2020), depende da resistência média à compressão da argamassa para que se defina a equação adequada, sendo assim:

A) Entre 1,5 e 3,4 MPa

$$Fvk = 0,10 + 0,5\sigma \leq 1,0 \text{ MPa}$$

B) Entre 3,5 e 7,0 MPa

$$Fvk = 0,15 + 0,5\sigma \leq 1,4 \text{ MPa}$$

C) Acima de 7,0 MPa.

$$Fvk = 0,35 + 0,5\sigma \leq 1,7 \text{ MPa}$$

σ é a tensão normal de pré-compressão na junta, tendo em conta somente as ações permanentes que foram ponderadas por um coeficiente de 0,9 (ação favorável).

As partes estruturais da alvenaria, se forem submetidas à flexão, ou se estiverem presentes elementos de enrijecimento no plano de cisalhamento e com grautes, o resultado da resistência pode ser caracterizado por cisalhamento e alcançado por (RODRIGUES et al., 2021):

$$Fvk = 0,35 + 17,5p \leq 0,7 \text{ MPa}$$

Limitando dessa maneira sua taxa geométrica para armaduras com seu maior valor em 2% (RODRIGUES et al., 2021):

$$P = \frac{As}{bd}$$

Em que,

As é a área de armadura principal de flexão;

b é a largura da seção transversal;

d é a altura útil da seção transversal.

Por fim, é necessário realizar uma verificação conforme a relação de esforços de cisalhamento abaixo (PEREIRA, 2022):

$$\frac{V_k \cdot \gamma_f}{b \cdot d} \leq \frac{f_{vk}}{\gamma_m}$$

γ_m – Coeficiente de ponderação de resistência;

V_k – Força cortante;

d – altura útil da seção transversal;

b – Largura da seção transversal;

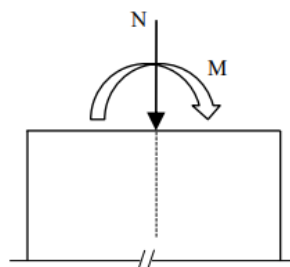
γ_f - Coeficiente de ponderação de ações;

f_{vk} – Resistência característica ao cisalhamento em juntas horizontais de parede.

2.5.4 Flexocompressão

A flexão composta, segundo Bastos (2021), ocorre na atuação simultânea da força normal e do momento fletor. Caso seja uma solicitação de força de tração, tem-se a flexotração, caso seja uma solicitação de força de compressão, tem-se a flexocompressão, ainda Bastos (2021) exemplifica: “paredes que fazem parte do sistema de contraventamento, paredes com cargas verticais sob empuxos do solo ou da água, paredes com carga excêntrica, etc.”.

Figura 23 - Associação de pórticos e paredes



Fonte: BASTOS (2021).

Para dimensionar com segurança um elemento de alvenaria que esteja sendo solicitado por flexocompressão deve-se garantir que o elemento resista à força

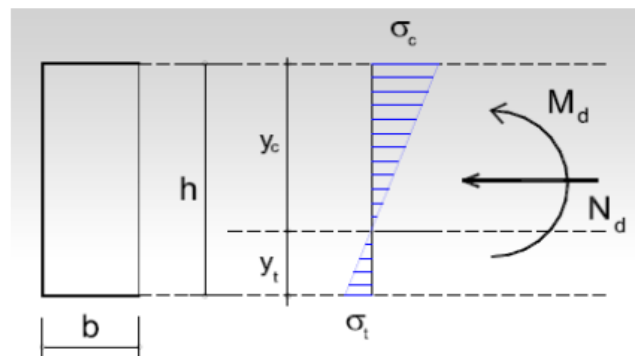
de compressão de cálculo atuante, prezando as forças normais resistentes de cálculo de paredes e pilares (N_{Rd}), e com a devida consideração à compressão simples (BASTOS, 2021):

$$N_d \leq N_{Rd} = f_d \cdot A \cdot R$$

2.5.5 Alvenaria não armada

Semelhante ao concreto, a alvenaria tem baixa resistência à tração e boa resistência à compressão. O Estádio 1 representa o funcionamento da alvenaria não armada que está submetida à flexocompressão, como indica a seção transversal na Figura 24 (BASTOS, 2021).

Figura 24 - Tensões no Estádio 1 na flexocompressão



Fonte: RAMALHO e CORRÊA, 2007, apud BASTOS (2021).

A sobreposição das tensões normais lineares resultantes do momento fletor com as tensões normais uniformes resultantes da força de compressão geram as tensões normais da seção transversal que devem atender à equação a seguir (ABNT NBR 16868-1, 2020):

$$\frac{N_d}{A \cdot R} + \frac{M_d}{W \cdot K} \leq f_d$$

N_d = força normal de cálculo;

f_d = resistência à compressão de cálculo da alvenaria;

M_d = momento fletor de cálculo;

A = área da seção resistente;

R = coeficiente redutor devido à esbeltez do elemento;

W = mínimo módulo de resistência de flexão da seção resistente;

O fator “K” que aparece na equação acima é responsável por ajustar a resistência à compressão na flexão. O seu valor depende se a flexão está fora ou dentro do plano da parede. Quando a flexão está fora se tem $K=1,5$ (em trechos não grauteados) e $K=2,0$ (em trechos grauteados). Quando a flexão está dentro do plano da parede se tem $K=1,5$ (tanto para trechos grauteados quanto não grauteados). O valor de K precisa ser multiplicado por R no caso de a extremidade não ser travada por flange.

Por fim, é necessária a seguinte verificação (ABNT NBR 16868-1, 2020):

$$\frac{M_d}{W} - \frac{N_d}{A} \leq f_{td}$$

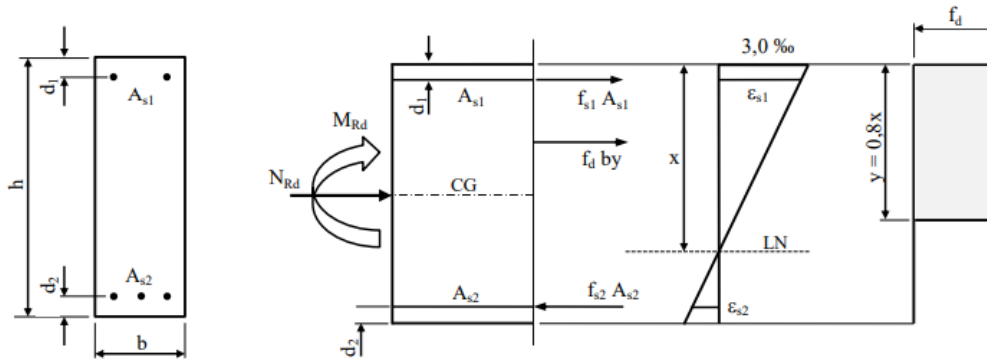
Em que $N_d = 0,9N_{g,k}$ e $N_{g,k}$ é a força normal característica devida às ações permanentes (BASTOS, 2021).

2.6 Procedimento para situações usuais

O dimensionamento de elementos em situações usuais pode ser realizado conforme o procedimento elaborado por Ramalho e Corrêa (2007) apud Bastos (2021), o qual será apresentado a seguir:

- a) adotar y ;
- b) sugestão: iniciar com $y = 0,8(h - d_2)$, linha neutra em A_{s2} ;
- c) usar diagrama de deformações e calcular ε_{s1} e ε_{s2} ;
- d) calcular f_{s1} e f_{s2} ;
- e) calcular N_{Rd} e M_{Rd} ;
- f) se $N_{Rd} \geq N_d$ e $M_{Rd} \geq M_d$, o equilíbrio está estabelecido;
- g) caso contrário, reduzir y e reiniciar o processo.

Figura 25 - Flexocompressão em seção retangular



Fonte: BASTOS (2021).

As tensões e deformações nas armaduras são dadas por:

$$\varepsilon_{s1} = 0,003 \frac{x - d_1}{x}$$

$$\varepsilon_{s2} = 0,003 \frac{h - x - d_2}{x}$$

$$f_{s1} = E_s \varepsilon_{s1}$$

$$f_{s2} = E_s \varepsilon_{s2}$$

Caso seja adotado o mesmo valor para as armaduras A_{s1} e A_{s2} no dimensionamento simplificado, utilizam-se as seguintes equações:

$$A_{s1} = A_{s2} = A_s$$

$$d_1 = d_2 = d'$$

$$f_{s1} = \text{tensão limite } f_s$$

$$f_{s2} = \text{tensão limite } f_s$$

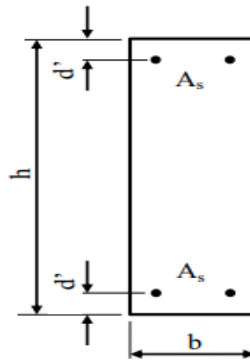
$$N_{Rd} = f_d b y + f_{s1} A_{s1} - f_{s2} A_{s2} \rightarrow N_{Rd} = f_d b y$$

$$y = \frac{N_{Rd}}{f_d b}$$

$$M_{Rd} = 0,5 f_d b y (h - y) + f_{s1} A_{s1} (0,5 h - d_1) + f_{s2} A_{s2} (0,5 h - d_2)$$

$$A_s = \frac{M_{Rd} - 0,5 f_d b y (h - y)}{f_s (h - 2d')}$$

Figura 26 - Seção com armaduras iguais



Fonte: BASTOS (2021).

2.6.1 Elementos esbeltos

Os elementos esbeltos, que possuem índice de esbeltez maior que 16, são dimensionados levando em consideração o acréscimo dos efeitos de segunda ordem, no sentido de menor inércia, aos efeitos de primeira ordem. É possível que o momento de segunda ordem seja aproximado pelas equações a seguir (ABNT NBR 16868-1, 2020):

$$M_{2d} = \frac{N_d h_e^2}{3600 t}$$

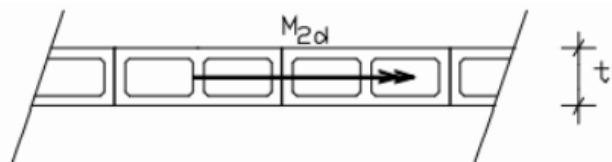
Em que,

N_d = força normal de cálculo;

h_e = altura efetiva do elemento comprimido;

t = dimensão da seção transversal da peça no plano de flexão.

Figura 27 - Momento de segunda ordem



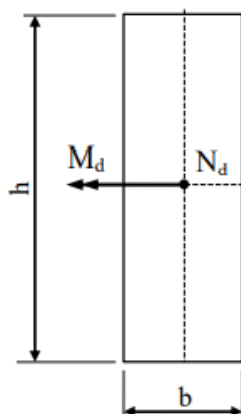
Fonte: BASTOS (2021).

2.6.2 Procedimento para parede de contraventamento

O dimensionamento de elementos em situações de contraventamento pode ser realizado conforme o procedimento elaborado por Ramalho e Corrêa (2007) apud Bastos (2021), o qual será apresentado a seguir:

- M_d segundo a maior dimensão;
- M_d devido ao vento;
- N_d devida às ações verticais;
- Excentricidades grandes;
- Normalmente $\lambda > 16$.

Figura 28 - Parede de contraventamento sob flexocompressão



Fonte: BASTOS (2021).

O procedimento de Ramalho e Corrêa (2007) apud Bastos (2021) segue com as equações abaixo:

Verificar a máxima carga de compressão simples:

$$N_{Rd} = f_d A R \quad (\text{paredes, } h > 5b)$$

$$N_{Rd} = 0,9f_d A R \quad (\text{pilares, } h \leq 5b)$$

$$N_d \leq N_{Rd}$$

adicionar M_{2d} para a direção de $\lambda > 16$:

$$M_{2d} = \frac{N_d h_e^2}{3600 t}$$

encontrar o momento fletor efetivo (M'_d):

$$M'_d = M_d + j \frac{h}{b} M_{2d}$$

j é um coeficiente adimensional determinado pela Tabela 5.

Tabela 5 - Valores do coeficiente j

Valor de $N_d / (A f_k)$	j
0,0	1,00
0,1	0,88
0,2	0,77
0,3	0,65
0,4	0,53
0,5	0,42
0,6	0,30

Fonte: ABNT NBR 16868-1 (2020) apud BASTOS (2021).

Verificação da tensão de tração para alvenaria não armada:

$$\frac{M_d}{W} - \frac{0,9N_{g,k}}{A} \leq f_{td} = \frac{f_{tk}}{\gamma_m}$$

Verificação da tensão de compressão para alvenaria não armada:

$$\frac{N_d}{AR} + \frac{M_d}{WK} \leq f_d;$$

$$A = b \cdot h \quad ; \quad R = \left[1 - \left(\frac{h_e}{40b} \right)^3 \right]$$

$$W = \frac{b h^2}{6} \quad ; \quad f_d = \frac{f_k}{\gamma_m}$$

Se for necessário dispor armadura:

$$f1) N_d \leq N_{Rd}$$

$$N_d \leq f_d b \left(h - 2 \frac{M_d}{N_d} \right) \rightarrow A_{s,min} = 0,10\% b h$$

f2) $N_d > N_{Rd}$

$$y = \frac{N_d}{f_d b} \rightarrow A_s = \frac{M'_d - 0,5 f_d b y (h - y)}{f_s (h - 2d')}$$

3 METODOLOGIA

3.1 Edificação

A edificação selecionada para fins de análise foi concebida utilizando o software Robot Structural Analysis, da Autodesk, com ênfase em parâmetros estruturais críticos. Foi projetada pela empresa ABC, que modelou a edificação no Robot, extraiu as cargas do software para continuar o projeto no software Eberick, da Alto QI, gerando o dimensionamento das suas respectivas formas, para então realizar a modulação das fiadas e elevações no Autodesk Revit. Esta construção apresenta um pavimento térreo, dois pavimentos tipo, um pavimento cobertura, por último um terraço com previsão para piscina e a caixa d'água com cobertura de telhado, somando 2635 metros quadrados de área construída e com pé direito de 2 metros e 72 centímetros em todos os pavimentos. Foi projetada especificamente para a implementação de paredes de alvenaria estrutural.

3.2 Métodos aplicados

Para a execução deste estudo, empregou-se o modelo estrutural da edificação no software Robot, previamente delineado pela empresa ABC. Adicionalmente, foram introduzidas as combinações de carga, acompanhadas de seus respectivos fatores de ponderação, e procedeu-se ao cálculo. No contexto da análise estrutural da edificação composta por painéis monolíticos de isopor, foram ajustados os parâmetros do material de cada painel, seguido pelo procedimento de cálculo. Os resultados obtidos foram então submetidos a uma análise dos extremos globais, além de uma comparação sistemática entre os valores correspondentes à edificação em alvenaria estrutural e àquela composta por painéis monolíticos de isopor.

3.3 Painéis monolíticos

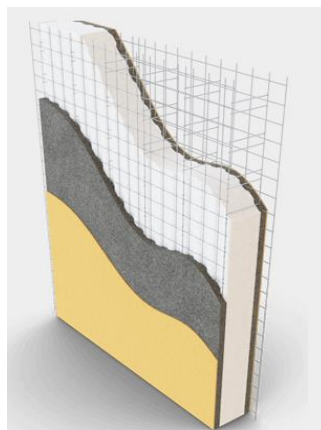
O painel adotado para análise é de criação da empresa italiana Emmedue, que disponibilizou informações das especificações dos materiais utilizados e dos ensaios realizados. O painel Emmedue é formado por um núcleo em poliestireno expandido em forma de ondas e uma malha de aço galvanizado eletrossoldado em cada face do EPS. É dessa forma que o painel é comercializado (EMMEDUE, 2023).

Na tabela abaixo estão as especificações do painel e do concreto projetado utilizado no painel de ensaio.

Tabela 6 - Especificações do painel Emmedue

f_k (mín)	20 MPa
Ø (malha de aço)	2,5 mm
Ø (conectores)	3,0 mm
ϵ_{yk}	0,305889 %
f_{yk}	600 MPa
Ea (módulo de elasticidade equivalente do painel)	3807 MPa
Conectores	50 g/m ²
Painel EPS	Classe F
Altura do painel (h)	270 cm
Espessura total do painel (e)	14 cm
Largura do painel (b)	120 cm
Peso específico equivalente	11,9 KN/m ³

Fonte: Emmedue (2023).

Figura 29 - Painel monolítico de isopor

Fonte: Emmedue (2023).

3.4 Robot Structural Analysis

O Autodesk Robot Structural Analysis Professional, desenvolvido pela Autodesk, é uma solução avançada para análise estrutural. Projetado para avaliar diversos tipos de estruturas, não se restringindo apenas a edifícios, abrange materiais como concreto armado, aço e madeira. O software oferece flexibilidade ao permitir a análise global de um edifício ou a focalização em elementos específicos. Suas capacidades incluem o cálculo preciso da quantidade de aço necessária para reforço estrutural, operação em três dimensões, consideração de diferentes combinações de carga e muito mais. Além disso, o Robot está integrado ao fluxo de trabalho do Building Information Modeling (BIM), facilitando a eficiente troca de dados com o Autodesk Revit. Em resumo, o Robot é uma ferramenta abrangente para análise estrutural, caracterizada por funcionalidades versáteis e integração eficaz com outras ferramentas de design e modelagem de construção (CARDIAL, 2017 apud LUCAS e SOUZA, 2021).

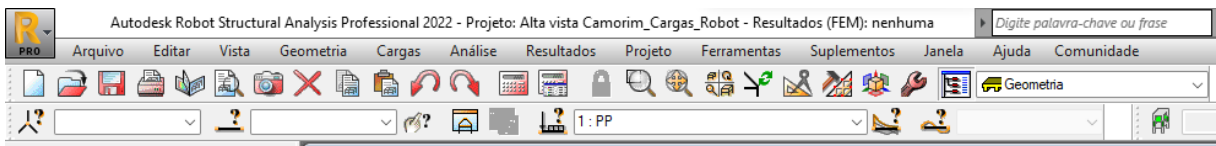
3.4.1 Utilização do software Robot

Fornecendo recursos avançados de simulação e análise para estruturas grandes e complexas em edifícios, o Autodesk Robot Structural Analysis Professional é um software utilizado por engenheiros estruturais. Com um fluxo de trabalho suave,

possibilita uma realização mais rápida de simulações e análises em diversas estruturas (AUTODESK, 2021 apud LUCAS e SOUZA, 2021).

Ao abrir o Robot, pode-se perceber no layout uma barra de ferramentas, conforme indica Figura 30.

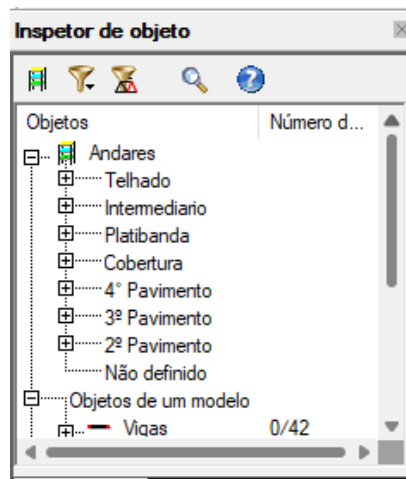
Figura 30 – Barra de ferramentas do Robot



Fonte: Autor (2024).

Para localização dos andares e objetos há o inspetor de objeto conforme a Figura 31.

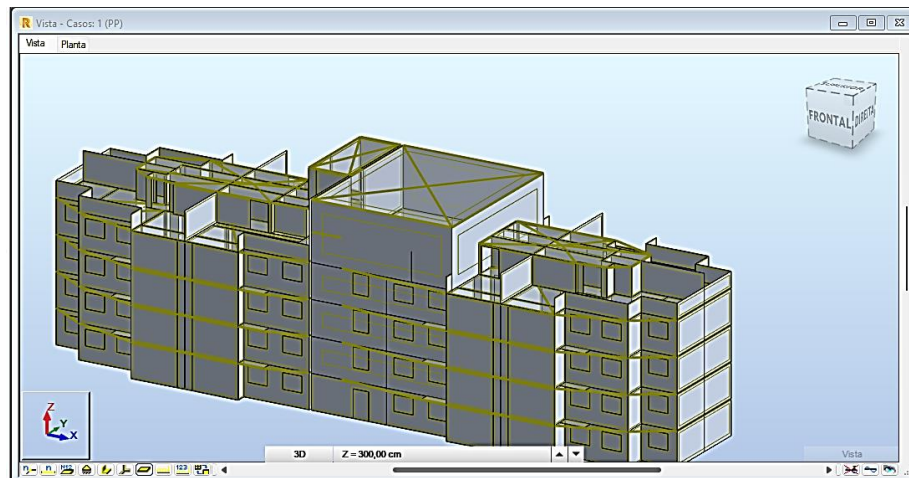
Figura 31 – Inspetor de objeto



Fonte: Autor (2024).

Para visualização do objeto há a aba vista, podendo ser a vista 3D, em planta 2D, apenas um objeto, uma barra (Figura 32).

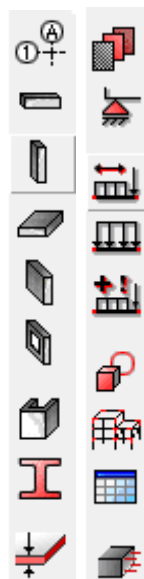
Figura 32 – Vistas no Robot



Fonte: Autor (2024).

O Robot possui mais uma barra de ferramentas, porém ferramentas diretas que permitem adicionar vigas, pisos, colunas, apoios, materiais, como indicado na Figura 33.

Figura 33 – Ferramentas do Robot



Fonte: Autor (2024).

3.4.1.1 Materiais no Robot

O Robot traz alguns tipos de materiais pré-definidos, tais como aço, concreto, alumínio e madeira, com suas respectivas especificações, conforme indica Figura 34.

Figura 34 – Definição de material no Robot

Definição de material

Aço Concrete Alumínio Madeira Outros

Nome: AÇO Descrição:

Elasticidade

Módulo de Young, E: 210000,00 (MPa)

Coefficiente de Poisson, ν: 0,3

Módulo de cisalhamento, G: 80800,00 (MPa)

Peso específico (peso unitário): 0,00 (tf/cm³)

Coef. de expansão térmica: 0,000011 (1/°C)

Relação de amortecimento: 0,06

Resistência

Características: 255,00 (MPa)

Fator de redução de cisalh.: 1,73

Resistência limite da tensão: 255,00 (MPa)

Aço recozido

Adicionar Excluir OK Cancelar Ajuda

Fonte: Autor (2024).

O material utilizado para a edificação estava configurado para alvenaria estrutural com as especificações indicadas na Figura 35.

Figura 35 – Especificações do material de alvenaria estrutural

Geometria		Grupos
Nome	Valor	Unida
Geometria		
Definição ...		
Área	236175,00	(cm ²)
Tipo de ob...	Contorno	
Segmentos	4	
Propriedades		
Espressur...	14 cm	
Material	fbk4=MPa	
E	2510,50	(MPa)
NI	0,20	
G	1046,37	(MPa)
Re	25,00	(MPa)
RO	0,00	(tf/c...)
LX	0,00	(1/°C)
Tipo de ar	Recozido de CA	

Painéis

Fonte: Autor (2024).

Para verificação em painel monolítico de isopor foi criado um novo material com as especificações segundo consta na Figura 36.

Figura 36 – Especificações do material em painel de EPS

The image shows a software dialog box titled "Definição de material" (Material Definition). It has tabs for "Aço", "Concreto", "Alumínio", "Madeira", and "Outros". The "Nome" (Name) is set to "EPSALV" and the "Descrição" (Description) is "EPS".

The dialog is divided into two main sections: "Elasticidade" (Elasticity) and "Resistência" (Strength).

Elasticidade:

- Módulo de Young, E: 3800,00 (MPa)
- Coefficiente de Poisson, ν : 0,2
- Módulo de cisalhamento, G: 1046,37 (MPa)
- Peso específico (peso unitário): 0,00 (tf/cm³)
- Coef. de expansão térmica: 0,000010 (1/°C)
- Relação de amortecimento: 0,15

Resistência:

- Resistência de projeto: 20,00 (MPa)
- Fator de redução de cisalh.: 1

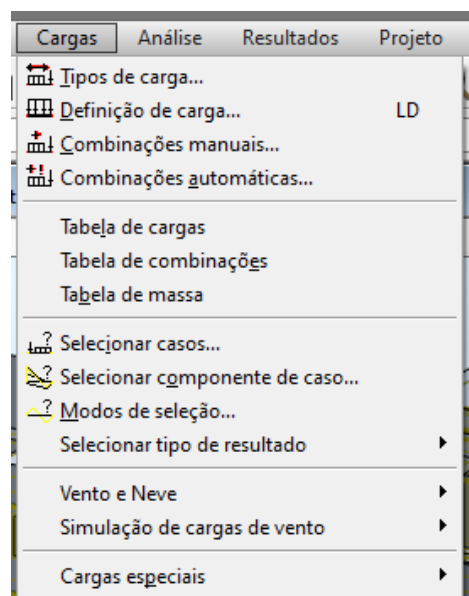
At the bottom, there are buttons for "Adicionar", "Excluir", "OK", "Cancelar", and "Ajuda".

Fonte: Autor (2024).

3.4.1.2 Cargas e combinações no Robot

A seção de cargas (Figura 37) no Robot apresenta os tipos de cargas e também as combinações de ações que podem ser configuradas. O arquivo utilizado possuía combinações e cargas já configuradas, porém não foram utilizadas todas as combinações dispostas.

Figura 37 – Seção de cargas no Robot



Fonte: Autor (2024).

Pode-se adicionar novas cargas em tipos de cargas e definir a sua natureza (Figura 38), para posteriormente configurar as combinações.

Figura 38 – Tipos de carga

Tipos de carga

Descrição do caso

Número: 34 Legenda: DL29

Natureza: morto

Nome: DL29

Adicionar Modificar

Lista de casos definidos:

Nº.	Nome do caso	Natureza
➔ 1	PP	morto
2	REV	morto
3	AC	acidental
4	X+	vento
5	Y+	vento
6	X-	vento
7	Y-	vento
8	DES PP+AC: 1G+1AC	morto
9	DFS P. AC: 1G+1AC+0.6Vx+	morto

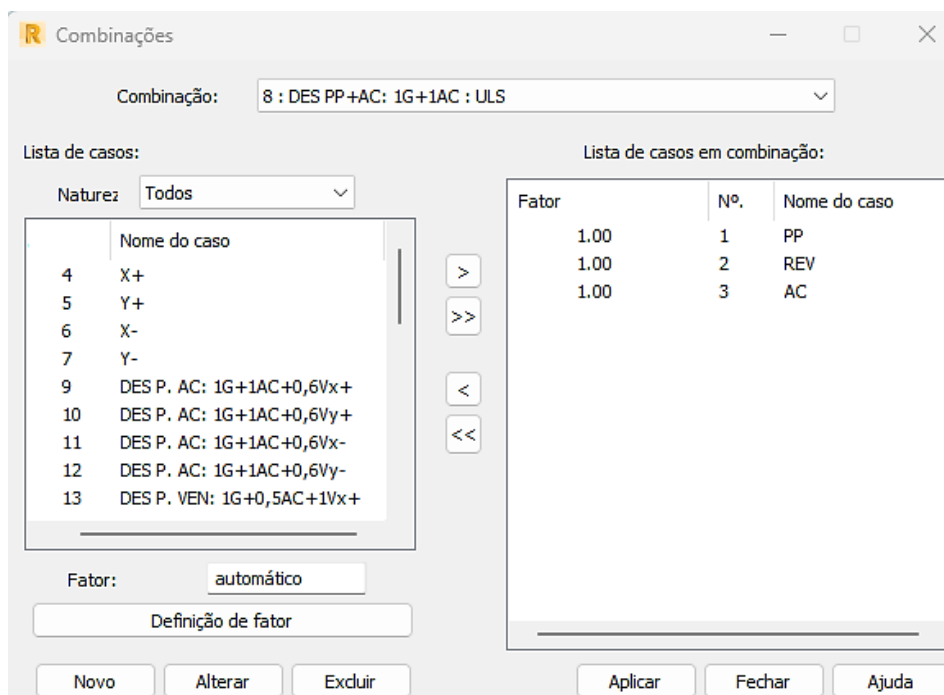
Excluir Excluir tudo

Fechar Ajuda

Fonte: Autor (2024).

Com as cargas definidas é possível selecionar ou adicionar uma combinação para que seja feita a análise estrutural. Na seção de combinações manuais (Figura 39) também é possível definir os fatores de ponderação dos elementos.

Figura 39 – Combinações manuais no Robot



Fonte: Autor (2024).

Dentre as 33 combinações configuradas no arquivo, foram utilizadas apenas as configurações 8 e 21, listadas abaixo:

8: DES PP+AC: 1G+1AC

21: ELU PP+AC: 4,41G+4,41AC

Sendo,

DES - Descrição

PP – peso próprio;

AC – acidental, carga acidental;

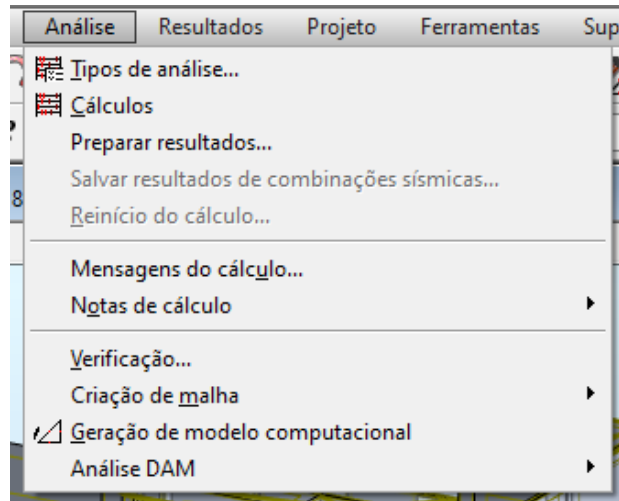
G – carga permanente;

ELU – estado limite último.

3.4.1.3 Análise no Robot

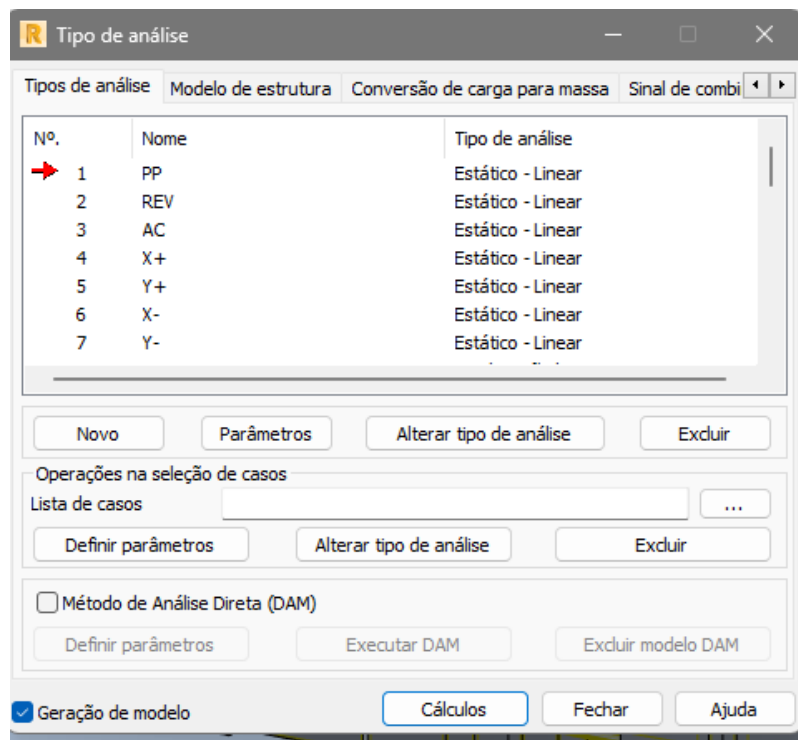
A análise realizada no Robot pode ser configurada na seção de análise (Figura 40) na parte dos tipos (Figura 41), que já estava configurada para a obra em alvenaria estrutural. Após a verificação pode-se dar início ao cálculo (Figura 42).

Figura 40 – Seção de análise no Robot



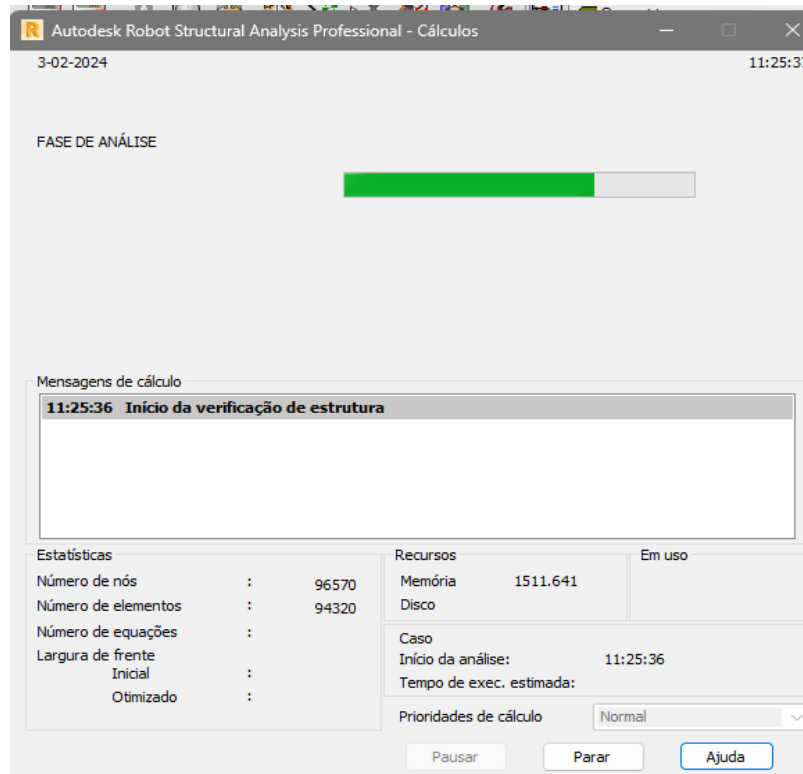
Fonte: Autor (2024).

Figura 41 – Tipos de análise no Robot



Fonte: Autor (2024).

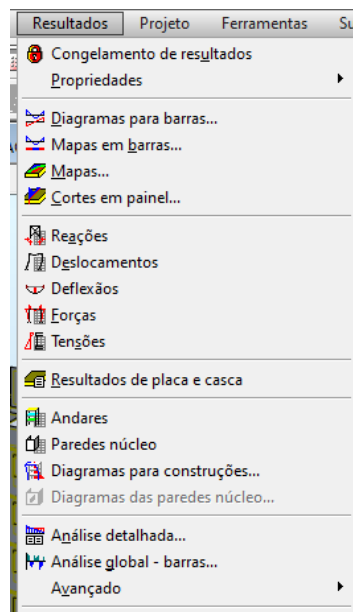
Figura 42 – Cálculo no Robot



Fonte: Autor (2024).

Os resultados obtidos são apresentados em tabelas, mapas, diagramas, conforme indica a Figura 43.

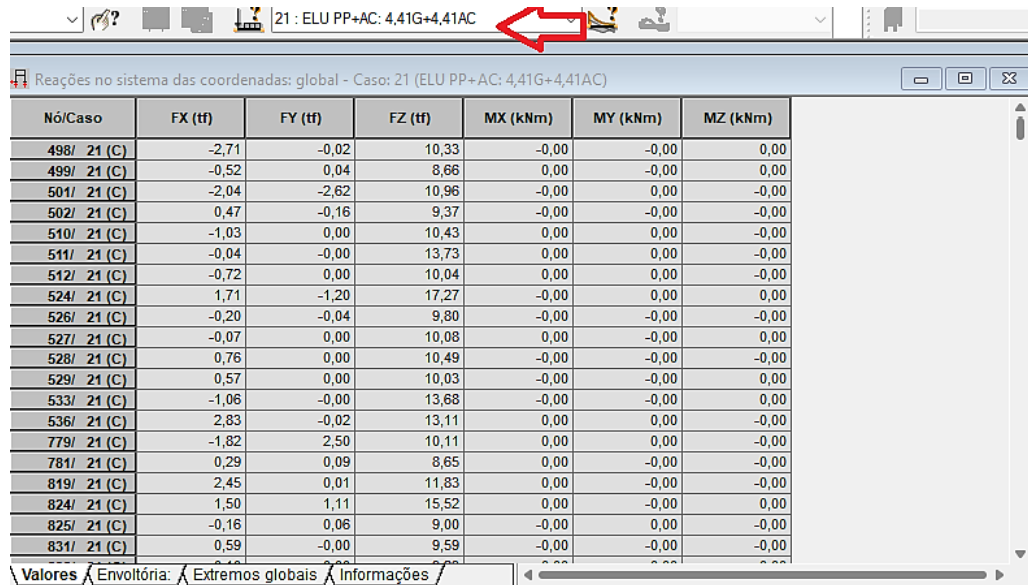
Figura 43 – Seção de resultados no Robot



Fonte: Autor (2024).

Quando é selecionado o tipo de resultado pode-se escolher para quais combinações, ou combinação, gostaria de ver os valores, envoltória, extremos globais e informações (Figura 44).

Figura 44 – Valores das reações no Robot



Nó/Caso	FX (tf)	FY (tf)	FZ (tf)	MX (kNm)	MY (kNm)	MZ (kNm)
498/ 21 (C)	-2,71	-0,02	10,33	-0,00	-0,00	0,00
499/ 21 (C)	-0,52	0,04	8,66	0,00	-0,00	0,00
501/ 21 (C)	-2,04	-2,62	10,96	-0,00	0,00	-0,00
502/ 21 (C)	0,47	-0,16	9,37	-0,00	-0,00	-0,00
510/ 21 (C)	-1,03	0,00	10,43	0,00	0,00	-0,00
511/ 21 (C)	-0,04	-0,00	13,73	0,00	0,00	-0,00
512/ 21 (C)	-0,72	0,00	10,04	0,00	0,00	-0,00
524/ 21 (C)	1,71	-1,20	17,27	-0,00	0,00	0,00
526/ 21 (C)	-0,20	-0,04	9,80	-0,00	-0,00	-0,00
527/ 21 (C)	-0,07	0,00	10,08	0,00	-0,00	0,00
528/ 21 (C)	0,76	0,00	10,49	-0,00	-0,00	-0,00
529/ 21 (C)	0,57	0,00	10,03	-0,00	-0,00	0,00
533/ 21 (C)	-1,06	-0,00	13,68	-0,00	-0,00	0,00
536/ 21 (C)	2,83	-0,02	13,11	0,00	0,00	-0,00
779/ 21 (C)	-1,82	2,50	10,11	0,00	0,00	-0,00
781/ 21 (C)	0,29	0,09	8,65	0,00	-0,00	-0,00
819/ 21 (C)	2,45	0,01	11,83	0,00	-0,00	-0,00
824/ 21 (C)	1,50	1,11	15,52	0,00	-0,00	0,00
825/ 21 (C)	-0,16	0,06	9,00	-0,00	0,00	-0,00
831/ 21 (C)	0,59	-0,00	9,59	-0,00	-0,00	-0,00

Fonte: Autor (2024).

4 APRESENTAÇÃO DOS RESULTADOS

4.1 Resultados para paredes em alvenaria estrutural e em EPS

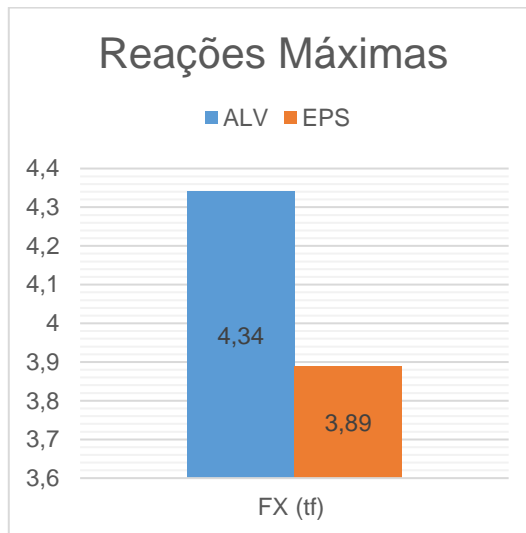
A seguir, são apresentados os resultados obtidos por meio dos cálculos realizados pelo software Robot Structural Analysis para as paredes que exibem as propriedades típicas associadas ao painel monolítico de isopor (EPS) e alvenaria estrutural (ALV).

4.1.1 Reações (FX, FY, FZ)

As reações de cargas do edifício, elementos fundamentais na compreensão do comportamento estrutural da construção, foram calculadas dentre 33 tipos de combinações estabelecidas no software. A combinação selecionada para análise dos valores críticos foi a combinação 21. Os gráficos apresentados abaixo representam

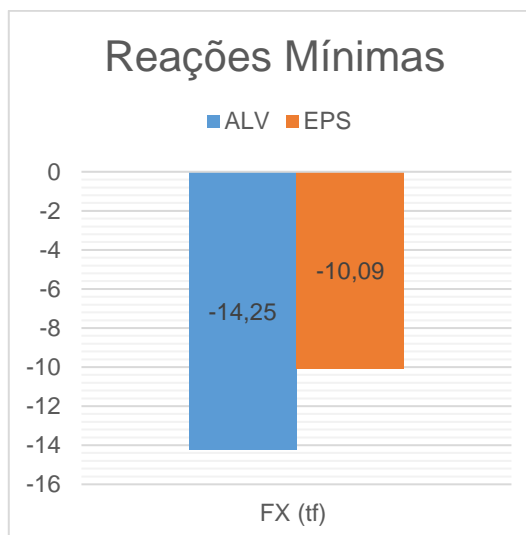
uma comparação entre as reações obtidas para alvenaria estrutural e para painel monolítico de isopor.

Gráfico 1 – Reações máximas em FX

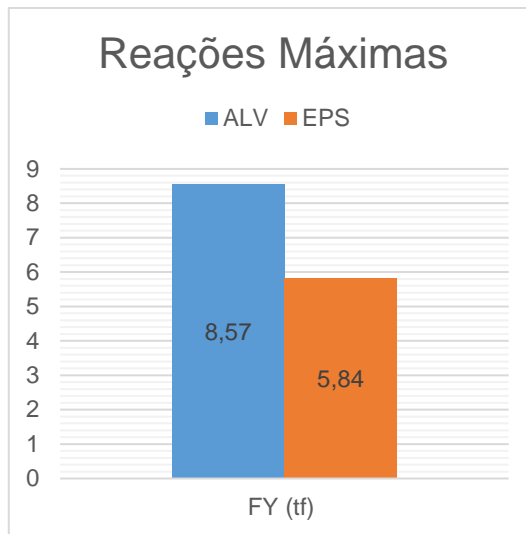


Fonte: Autor (2024).

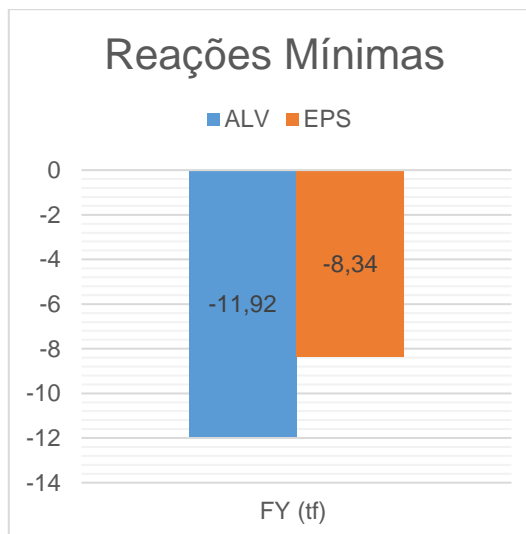
Gráfico 2 – Reações Mínimas em FX



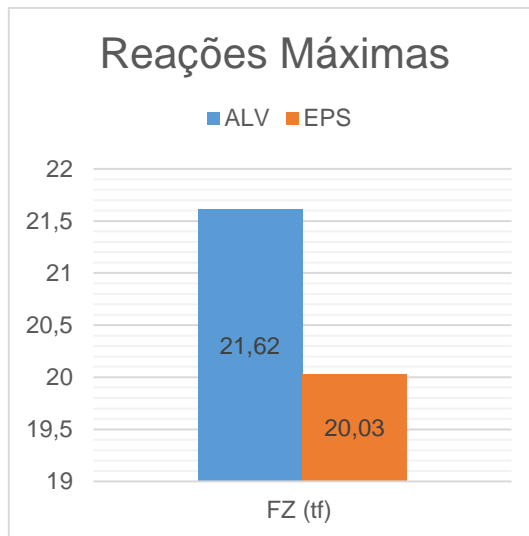
Fonte: Autor (2024).

Gráfico 3 – Reações máximas em FY

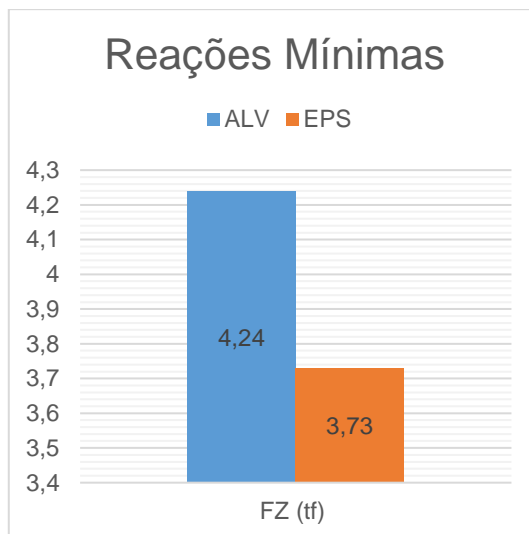
Fonte: Autor (2024).

Gráfico 4 – Reações mínimas em FY

Fonte: Autor (2024).

Gráfico 5 – Reações máximas em FZ

Fonte: Autor (2024).

Gráfico 6 – Reações mínimas em FZ

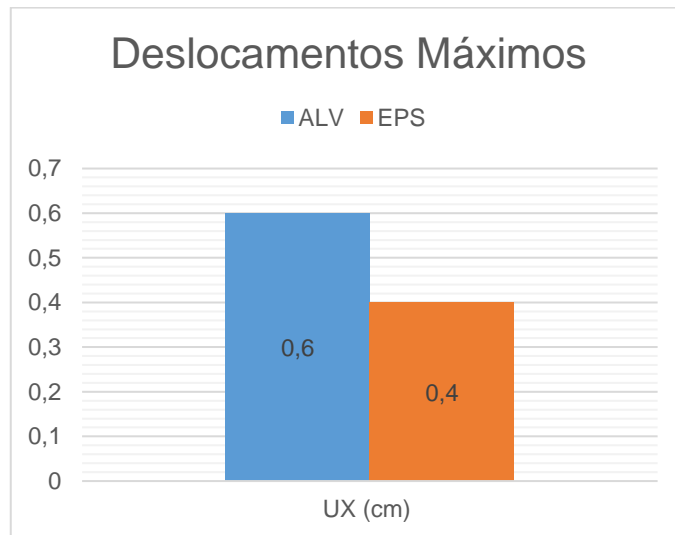
Fonte: Autor (2024).

4.1.2 Deslocamentos (UX, UY, UZ)

Os deslocamentos, deformação da estrutura em resposta a cargas aplicadas ou variações ambientais, foram gerados em centímetros. Dentre 33 tipos de combinações estabelecidas no software, a combinação selecionada para análise dos valores críticos foi a combinação 21. Os gráficos apresentados abaixo representam

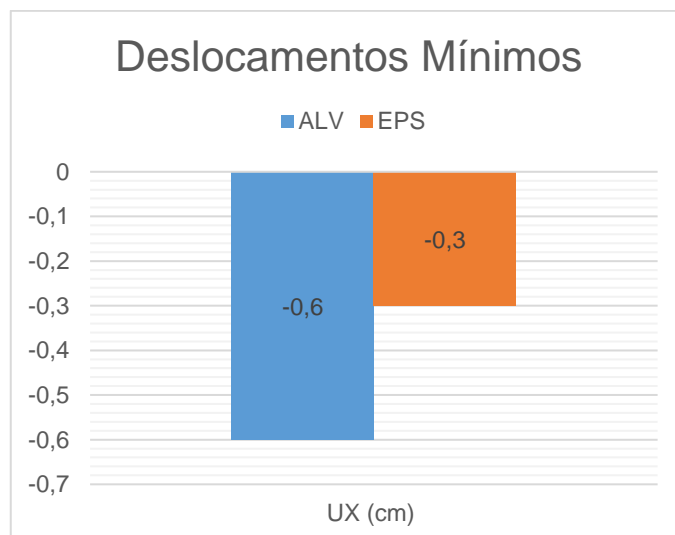
uma comparação entre as reações obtidas para alvenaria estrutural e para painel monolítico de isopor.

Gráfico 7 – Deslocamentos máximos em UX

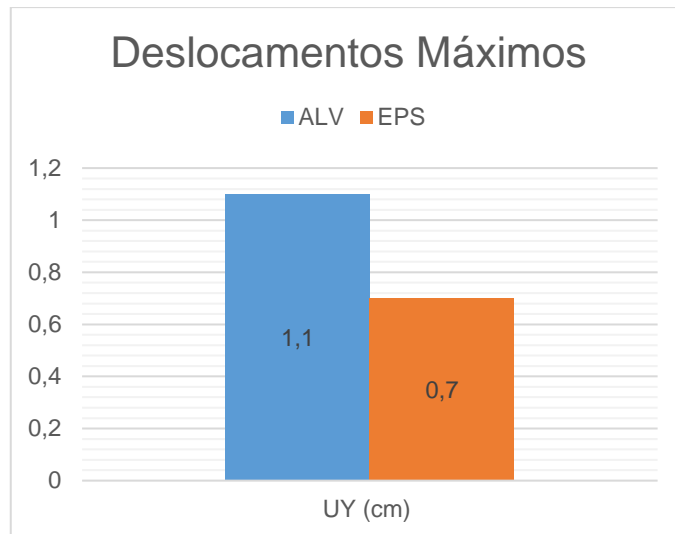


Fonte: Autor (2024).

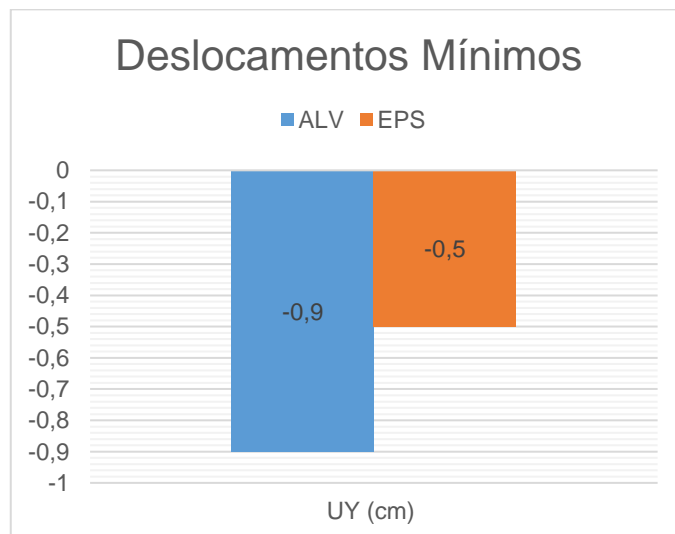
Gráfico 8 – Deslocamentos mínimos em UX



Fonte: Autor (2024).

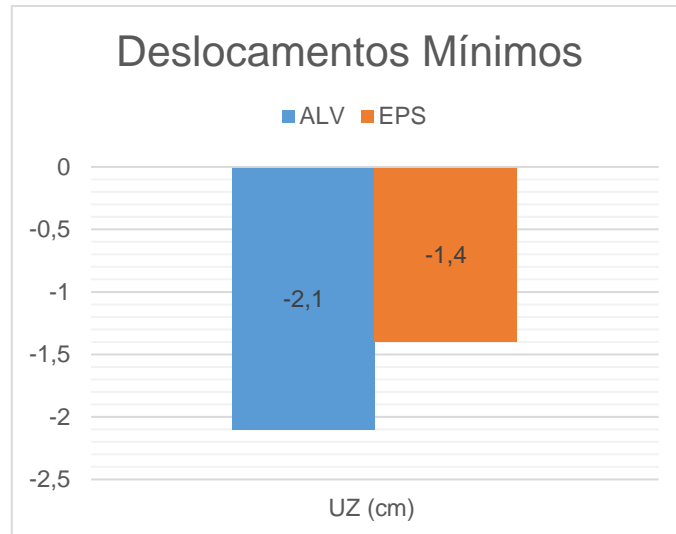
Gráfico 9 - Deslocamentos máximos em UY

Fonte: Autor (2024).

Gráfico 10 - Deslocamentos mínimos em UY

Fonte: Autor (2024).

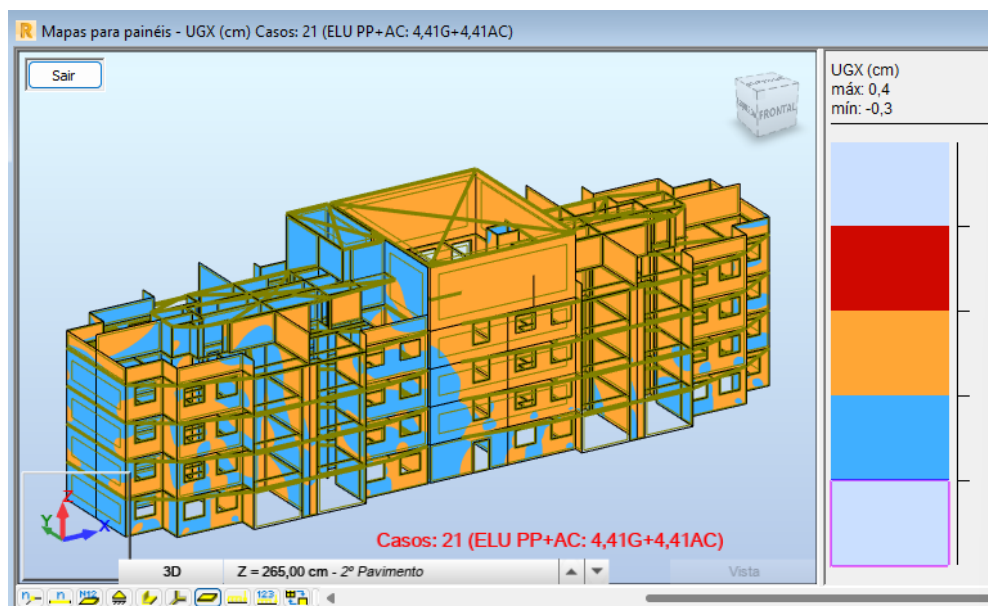
Gráfico 11 - Deslocamentos mínimos em UZ



Fonte: Autor (2024).

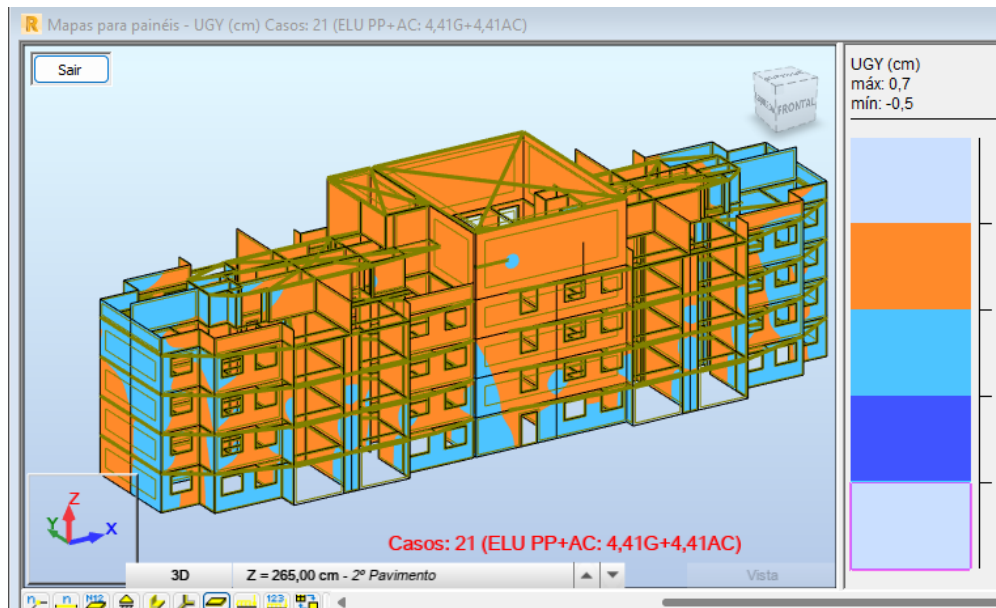
A partir do Robot foi possível gerar mapas com os valores máximos e mínimos dos deslocamentos para a edificação em painel monolítico de isopor, conforme mostram as figuras abaixo.

Figura 45 – Deslocamento em UX



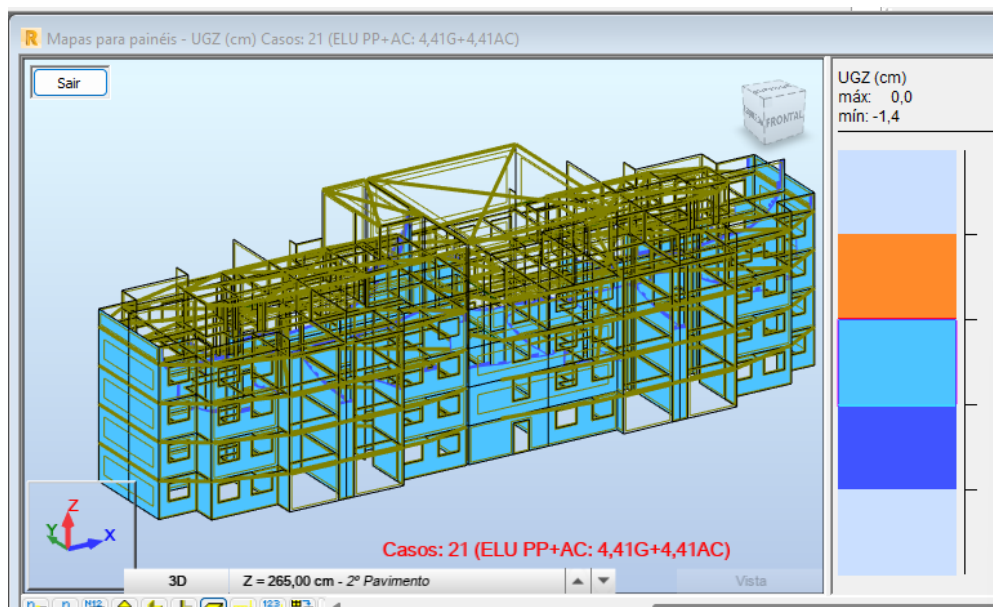
Fonte: Autor (2024).

Figura 46 – Deslocamento em UY



Fonte: Autor (2024).

Figura 47 – Deslocamento em UZ



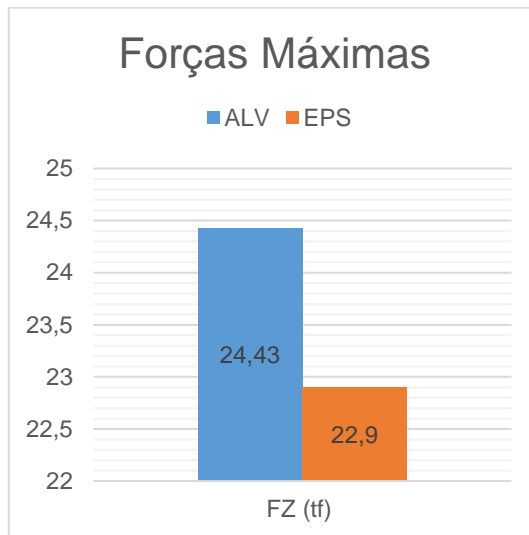
Fonte: Autor (2024).

4.1.3 Forças (FZ, MX)

Os valores críticos para as forças aplicadas foram identificados em FZ e MX, dentre 33 tipos de combinações estabelecidas no software, a combinação selecionada para análise dos valores críticos foi a combinação 21. Os gráficos

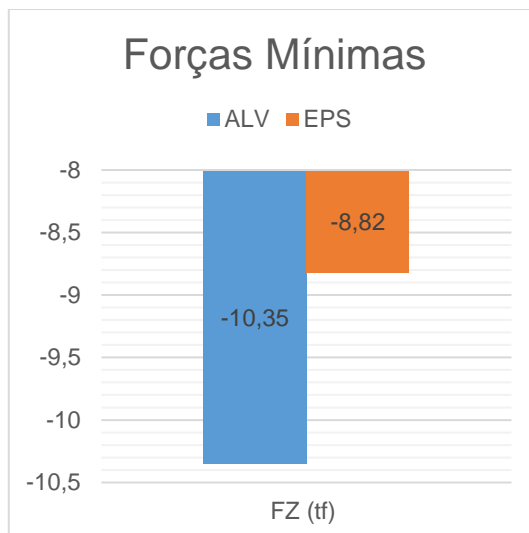
apresentados abaixo representam uma comparação entre as reações obtidas para alvenaria estrutural e para painel monolítico de isopor.

Gráfico 12 – Forças máximas FZ

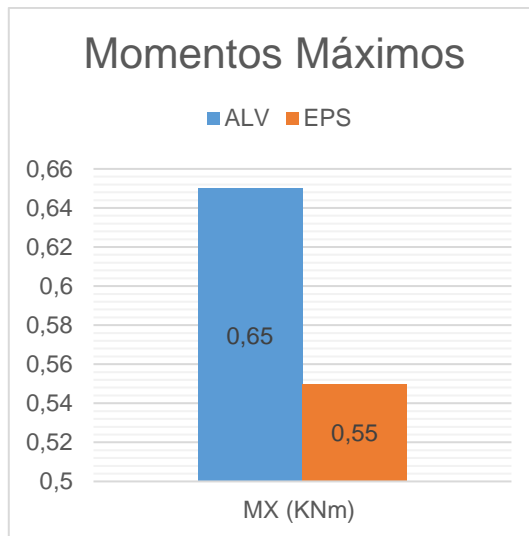


Fonte: Autor (2024).

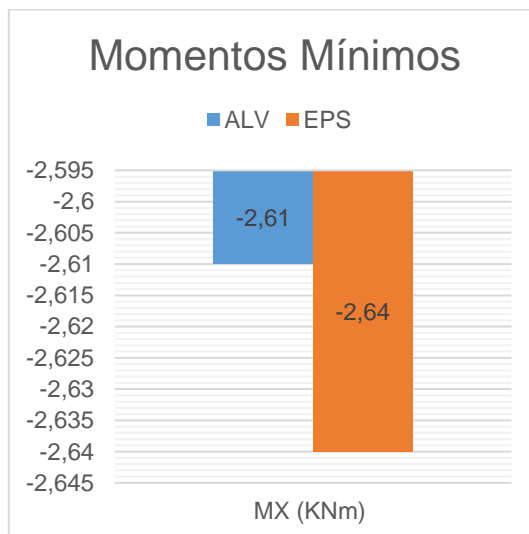
Gráfico 13 – Forças Mínimas FZ



Fonte: Autor (2024).

Gráfico 14 – Momentos máximos MX

Fonte: Autor (2024).

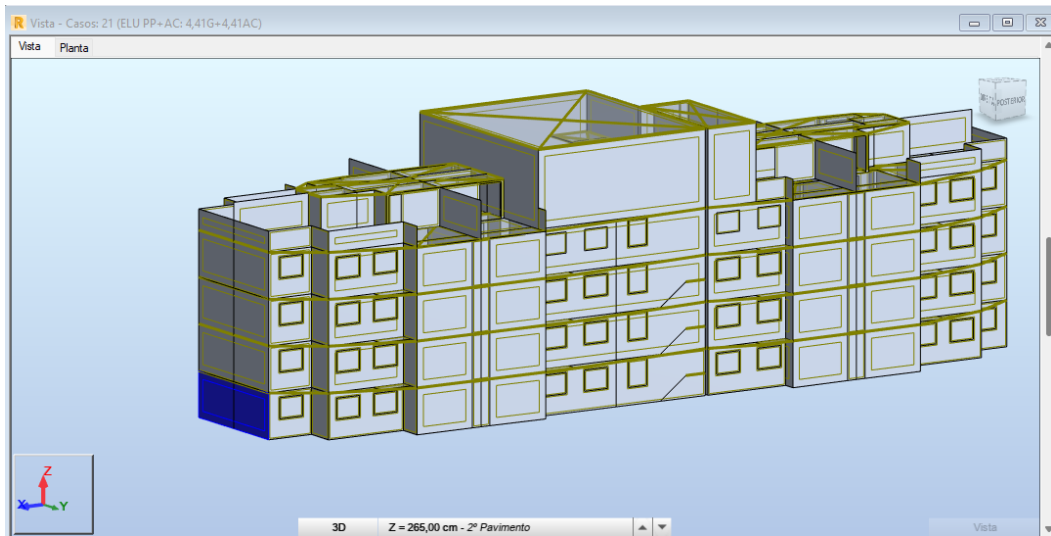
Gráfico 15 – Momentos mínimos MX

Fonte: Autor (2024).

4.1.4 Verificação de uma parede

Efetua-se uma avaliação quanto ao dimensionamento de uma parede específica da edificação, com propósito didático para a aplicação do estudo delineado. A parede em questão encontra-se representada na Figura 48 e na Figura 49.

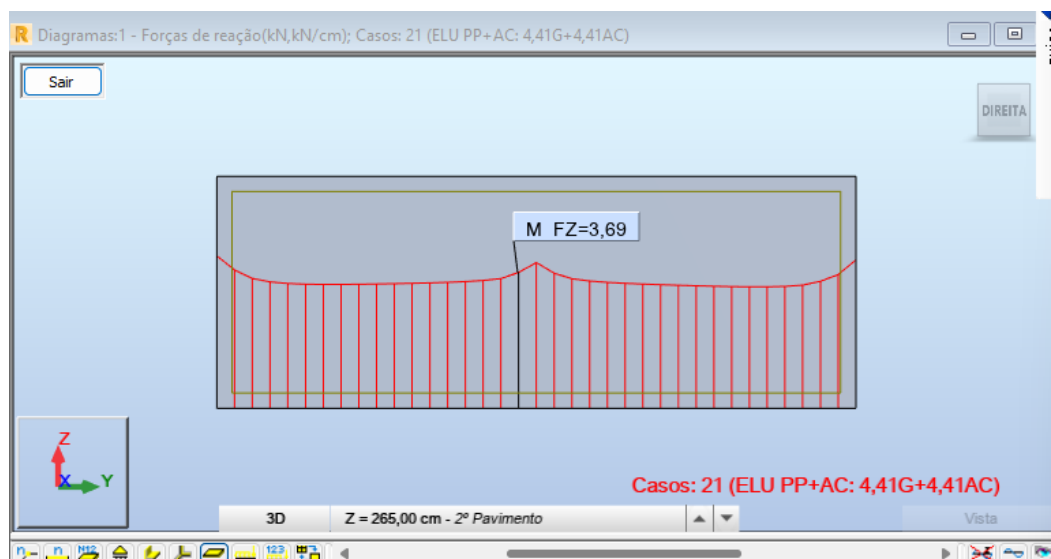
Figura 48 – Parede representada na edificação



Fonte: Autor (2024).

A parede em análise possui as dimensões de 2,72 metros de altura, 7,3 metros de comprimento e espessura de 0,14 metros. Os dados obtidos a partir dos cálculos realizados no software Robot foram empregados para a condução da verificação. A figura abaixo ilustra o valor médio da reação em F_z , correspondente ao valor de f_{pk} , que denota a resistência à compressão do prisma.

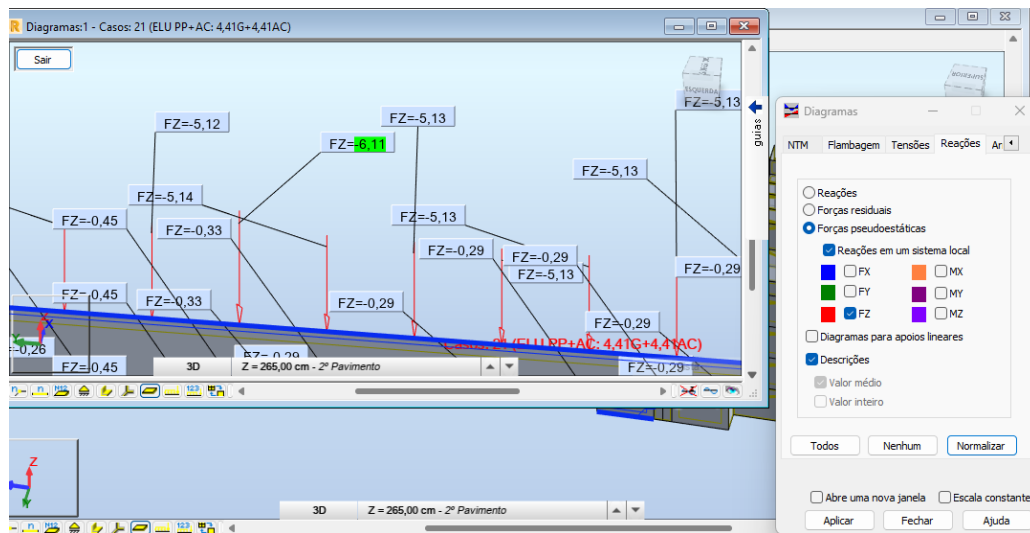
Figura 49 – Parede utilizada no dimensionamento



Fonte: Autor (2024).

A magnitude da força aplicada em FZ na parede foi derivada dos cálculos efetuados pelo software Robot, o qual disponibiliza os valores em diversos pontos ao longo da parede. Contudo, para a realização da verificação, optou-se por selecionar o maior valor em módulo entre os pontos considerados.

Figura 50 – Valor da força em FZ na parede



Fonte: Autor (2024).

Para iniciar a verificação da parede será calculado o coeficiente redutor devido à esbelteza da parede (R):

$$R = \left[1 - \left(\frac{\lambda}{40} \right)^3 \right] = \left[1 - \left(\frac{h_{ef}/t_{ef}}{40} \right)^3 \right] = \left[1 - \left(\frac{2,72/0,14}{40} \right)^3 \right] = 0,885$$

O valor da área da seção resistente (A) é dado por:

$$A = l \cdot t_{ef} = 7,3 \cdot 0,14 = 1,022 \text{ m}^2$$

O valor de f_d é dado por:

$$f_d = \frac{0,7 \cdot f_{pk}}{\gamma_m} = \frac{0,7 \cdot 3,69}{2} = 1,29 \text{ KN/m}$$

Com os dados obtidos e calculados pode-se seguir para a parte da verificação:

$$S_d \leq R_d$$

$$S_d \leq f_d \times A \times R$$

$$\frac{6,11}{7,3} \leq 1,29 \cdot 1,022 \cdot 0,884$$

$$0,84 \leq 1,17 \text{ KN/m}$$

Portanto, a parede analisada está resistindo aos esforços solicitantes.

4.2 Análise

Com as cargas geradas no software, é possível analisar uma diferença encontrada entre as forças e reações atuantes em X, Y, Z, no momento em X, bem como nos deslocamentos apresentados devido ao fato da alteração dos dados de entrada do material da parede no Robot Structural Analysis. Os dados alterados foram o peso específico do material, módulo de elasticidade e resistência característica, conforme a Tabela 7.

Tabela 7 - Dados alterados no Robot

	Painel EPS	Alvenaria Estrutural
Peso específico	11,9 KN/m ³	14 KN/m ³
Módulo de Elasticidade	3800 MPa	2510 MPa
Resistência	20 MPa	25 MPa

Fonte: Autor (2023).

Com base nessas informações, nos resultados e ainda na equação da combinação última para carregamentos permanentes e variáveis, percebe-se que o peso específico, que é uma carga permanente, conforme ABNT NBR 16868-1 (2020), influenciou diretamente nas diferenças obtidas no software Robot Structural Analysis.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

No que tange alguns parâmetros analisados, os dois sistemas apresentam pouca variação em termos de grandeza de valores.

O sistema de alvenaria estrutural já é, deveras, conhecido e avalizado no Brasil, existindo no mercado nacional uma grande quantidade de obras que empregam a tecnologia.

Já, no que se refere ao sistema monolítico em EPS, tal sistema ainda está buscando seu espaço entre os diversos sistemas estruturais do mercado brasileiro.

Apesar de seu emprego ter ganho destaque nos últimos anos, o sistema ainda encontra resistência por parte de construtores e usuários.

Todavia, o sistema monolítico de EPS apresenta algumas vantagens em relação ao sistema de alvenaria estrutural que devem ser destacadas, tais como: facilidade na execução de instalações prediais em geral, leveza de seus elementos (o que facilita o seu transporte e manuseio), grande diminuição nos resíduos de obra, podendo ser considerada uma edificação ecologicamente correta e, o principal, sua celeridade de execução.

Conforme citado anteriormente, o sistema monolítico de EPS não dispõe de normativas brasileiras específicas, o que faz com que o mesmo, para ser utilizado, seja dimensionado com base em normas diversas. Desta forma, talvez o sistema possa encontrar-se prejudicado em relação a suas vantagens estruturais.

Outrossim, não está se dizendo que exista vantagens estruturais contundentes em relação ao sistema de alvenaria estrutural. Aventa-se apenas a possibilidade de existirem, fato que só será realmente comprovado, ou não, a partir da elaboração de uma norma específica.

Agora, analisando meramente os resultados obtidos, percebe-se que a escolha de uma obra em EPS implica, certamente, na redução das cargas na fundação e conseqüentemente economia de materiais em volume de concreto e aço para o radier. Todavia, por demandar de mão-de-obra especializada apresenta custos mais elevados para sua execução. Já o sistema em alvenaria estrutural, como já frisado, mais consolidado no Brasil e com maior acesso à mão de obra já treinada

para sua execução, apresenta menor custo em relação ao sistema EPS no que tange a sua execução.

Porém, cabe lembrar que todo novo sistema enfrenta desafios até que se consolide. Foi assim com a própria alvenaria estrutural.

Desta forma entende-se que ambos os métodos têm suas vantagens e desvantagens, a depender da prioridade entre economia, tempo de execução, mão de obra, normas construtivas, assim sendo, é necessário avaliar e escolher o tipo de sistema adequado para cada situação.

5.1 Sugestões para trabalhos futuros

- Realizar um estudo comparativo entre os dois métodos utilizando as normativas internacionais adaptadas ao cenário brasileiro no que se refere ao sistema monolítico de paredes de EPS;

- Realizar o dimensionamento do radier para os dois sistemas em questão analisando a economia gerada pela menor carga do sistema monolítico de EPS;

- Realizar um estudo comparativo entre o sistema monolítico de EPS e o sistema convencional em concreto armado;

- Realizar ensaios em laboratório para verificar as características do painel.

REFERÊNCIAS

ABRAPEX. Manual de Utilização EPS na Construção Civil. São Paulo: Pini, 2006.
ALVES, João Paulo de Oliveira. Sistema construtivo em painéis de EPS. 2015.

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

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 16868:1**: Alvenaria Estrutural parte 1: projeto. Rio de Janeiro: Abnt, 2020.

BALBINO, Matheus de Souza. SISTEMA CONSTRUTIVO EM PAINÉIS MONOLÍTICOS DE EPS: uma solução para a construção de habitações populares no Brasil. 2020. 107 f. TCC (Graduação) – Curso de Engenharia Civil, Engenharia Civil e Ambiental, Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, 2020.

BASTOS, Paulo Sérgio. **ALVENARIA ESTRUTURAL**. Bauru: Universidade Estadual Paulista, 2021. 125 p.

BERTOLDI, Renato Hercílio. Caracterização de sistema construtivo com vedações constituídas por argamassa projetada revestindo núcleo composto de poliestireno expandido e telas de aço: dois estudos de caso em Florianópolis. 2007.

COSTA, Lucas Felipe Terencio. CASA DE EPS: análise do uso dos painéis monolíticos de poliestireno expandido em construções residenciais. 2019. 34 f. TCC (Graduação) Curso de Engenharia Civil, Centro Universitário Cesmac, Maceió, 2019.

CSIR – Central Building Research Institute Roorkee (org.). **Manual for Expanded Polystyrene (EPS) Core Panel System and its field Application**. Índia: CBRI, 2017. 152 p.

FONSÊCA, Fernando Jufat Cavalcanti da. PROJETO DE PAINÉIS SANDUÍCHE DE CONCRETO PRÉ-MOLDADO. 1994. 172 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Engenharia de Estruturas, Universidade de São Paulo, São Carlos, 1994.

GOULART, Letícia Beraldo; SOARES JUNIOR, Gilomé Candido; RODRIGUES, Vitor Franco. SISTEMA CONSTRUTIVO MONOLÍTICO EM EPS. 2018. 10 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Civil, Centro Universitário de Mineiros, Mineiros, 2018.

GUILHERME SILVA NEVES, 2022, Mineiros. **ESTUDO COMPARATIVO ENTRE O SISTEMA CONSTRUTIVO COM PAINÉIS MONOLÍTICOS E O SISTEMA CONSTRUTIVO DE ALVENARIA**. Mineiros: Unifimes, 2022. Disponível em: <https://publicacoes.unifimes.edu.br/index.php/anais-semana-universitaria/article/view/2011/1599>. Acesso em: 15 nov. 2023.

ISOALFA. **Painéis Monolíticos**. Disponível em: <https://isoalfa.com.br/paineis-monoliticos/>. Acesso em: 10 nov. 2023.

LUCAS, Elidiane da Silva; SOUZA, Wendell Rossine Medeiros de. **O USO DO SOFTWARE AUTODESK® ROBOT™ STRUCTURAL ANALYSIS PROFESSIONAL NA DISCIPLINA DE MECÂNICA DAS ESTRUTURAS**. 2021. 14 f. TCC (Graduação) - Curso de Ciência e Tecnologia, Universidade Federal Rural do Semiárido, Mossoró, 2021.

MAZUCO, Rafael; LIMA, Matheus. **PAINÉIS MONOLÍTICOS EM EPS NA CONSTRUÇÃO CIVIL**. 2018. 18 f. TCC (Graduação) – Curso de Engenharia Civil, Universidade São Francisco, São Francisco, 2018.

MEDEIROS, Guilherme Álef Nóbrega. **AVALIAÇÃO DE PAREDES SANDUÍCHE EM ARGAMASSA ARMADA COM NÚCLEO DE ÉPS**. 2017. 98 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, 2017.

MOBUSS CONSTRUÇÃO. Principais impactos ambientais da construção civil e como evitá-los. 2018. Disponível em: <https://www.mobussconstrucao.com.br/blog/impactos-ambientais-da-construcao/>. Acesso em: 05 nov. 2021.

MONOPAINEL. **Sistema Construtivo em EPS**. Disponível em: <https://monopainel.com.br/#cases>. Acesso em: 27 out. 2023.

PAVESI, Dante et al. Estudo comparativo dos sistemas construtivos light steel frame e de placas monolíticas de poliestireno expandido aplicados à construção de habitações de interesse social. 2016. Disponível em: [https://repositorio.ufsc.br/bitstream/handle/123456789/171773/TCC%20Reposit%C3%B3rio.p df?sequence=1&isAllowed=y](https://repositorio.ufsc.br/bitstream/handle/123456789/171773/TCC%20Reposit%C3%B3rio.p%20df?sequence=1&isAllowed=y)>. Acesso 06 de Nov. 2021.

RODRIGUES, Bruna Aparecida Lopes *et al.* **DIMENSIONAMENTO DE UMA PAREDE DE ALVENARIA ESTRUTURAL, CONSIDERANDO A NBR 16868:2020**. 2021. 131 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Civil, Centro Universitario Unifaat, Atibaia, 2021.

SANTANA, Murillo Rodrigues Cappelle; GOMES, Kíria Nery Alves do Espírito Santo; SOARES, Renato Alberto Brandão. Estudo de paredes, moldadas no local, constituídas por componentes de poliestireno expandido (EPS), aço e argamassa. Brazilian Journal Of Development. Curitiba, p. 16568-16586. mar. 2020.

SISTEMA NACIONAL DE AVALIAÇÕES TÉCNICAS. N° 011: Paredes, moldadas no local, constituídas por componentes de poliestireno expandido (EPS), aço e argamassa, microconcreto ou concreto. Brasília: Secretaria Nacional da Habitação Programa Brasileiro da Qualidade e Produtividade do Habitat, 2014.

SOUZA, Angela Cristina Alves Guimarães de. **ANÁLISE COMPARATIVA DE CUSTOS DE ALTERNATIVAS TECNOLÓGICAS PARA CONSTRUÇÃO DE HABITAÇÕES POPULARES**. 2009. 180 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de

Engenharia Civil, Engenharia das Construções, Universidade Católica de Pernambuco, Recife, 2009.

TIBURCIO, Igor Torres. **ESTUDO COMPARATIVO ENTRE O SISTEMA CONSTRUTIVO EM PAINÉIS MONOLÍTICOS EM EPS E O SISTEMA CONVENCIONAL COM ESTRUTURA DE CONCRETO E VEDAÇÕES EM ALVENARIA**. 2022. 54 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2022.

ANEXOS

ANEXO A – 100 valores obtidos pelo software Robot de reações

Nó/Caso	FX (tf)	FY (tf)	FZ (tf)
498/ 21 (C)	-2,42	-0,01	8,94
499/ 21 (C)	-0,49	0,03	7,53
501/ 21 (C)	-1,78	-2,27	9,57
502/ 21 (C)	0,39	-0,14	8,16
510/ 21 (C)	-0,96	0	9,29
511/ 21 (C)	-0,13	0	12,21
512/ 21 (C)	-0,67	0	8,95
524/ 21 (C)	1,54	-1,11	15,82
526/ 21 (C)	-0,22	-0,05	8,95
527/ 21 (C)	-0,08	0	8,99
528/ 21 (C)	0,67	0	9,34
529/ 21 (C)	0,5	0	8,95
533/ 21 (C)	-0,95	0	12,17
536/ 21 (C)	2,48	-0,01	11,94
779/ 21 (C)	-1,6	2,19	8,95
781/ 21 (C)	0,24	0,1	7,65
819/ 21 (C)	2,18	0,01	10,83
824/ 21 (C)	1,35	1,04	14,31
825/ 21 (C)	-0,18	0,06	8,26
831/ 21 (C)	0,54	0	8,65
832/ 21 (C)	-0,1	0	8,34
833/ 21 (C)	0,42	0	8,31
834/ 21 (C)	-0,56	0	11,12
835/ 21 (C)	-0,65	0	8,31
846/ 21 (C)	-0,87	0	8,68
848/ 21 (C)	0,04	0	11,14
858/ 21 (C)	-2,52	0,02	8,46
859/ 21 (C)	-0,29	-0,04	7,11
1435/ 21 (C)	0,21	0	10,11
1449/ 21 (C)	-0,57	2,64	16,01
1452/ 21 (C)	2,9	-0,01	5,67
1453/ 21 (C)	0,06	0	11,24
1456/ 21 (C)	-0,85	0,09	9,47
1489/ 21 (C)	-2,78	0,01	12,67
1498/ 21 (C)	-1,65	1,18	16,82
1499/ 21 (C)	0,08	0,07	9,69
1500/ 21 (C)	0,36	0	13,45
1501/ 21 (C)	-0,91	0	10,42
1502/ 21 (C)	-0,8	0	10,01
1503/ 21 (C)	-0,24	0	10,08
1504/ 21 (C)	0,28	0	10,67

1506/ 21 (C)	-1,58	0	13,71
1507/ 21 (C)	0,29	0	10,13
1514/ 21 (C)	1,91	0,03	12,71
1537/ 21 (C)	0,1	0,09	10,04
1538/ 21 (C)	0,3	0,01	10,08
1539/ 21 (C)	0,47	0,01	9,99
1540/ 21 (C)	0,76	0,01	10
1543/ 21 (C)	0,58	0,01	10,49
1544/ 21 (C)	-0,68	-0,01	9,7
1545/ 21 (C)	-0,32	0	9,9
1546/ 21 (C)	-2,77	-0,01	5,13
1547/ 21 (C)	-0,38	0	9,55
1548/ 21 (C)	-0,18	0	9,48
1549/ 21 (C)	0,17	0	9,4
1550/ 21 (C)	0,44	0	9,35
1551/ 21 (C)	0,31	0	9,37
1552/ 21 (C)	0,01	0	9,44
1553/ 21 (C)	0,66	0	9,35
1554/ 21 (C)	0,77	0	9,39
1555/ 21 (C)	0,98	0,02	9,7
1556/ 21 (C)	0,45	0,2	11,32
1557/ 21 (C)	1,02	-0,05	10,12
1558/ 21 (C)	0,88	0	9,49
1559/ 21 (C)	0,55	0	9,34
1560/ 21 (C)	2,77	3,03	13,51
2086/ 21 (C)	0,63	-0,07	8,19
2087/ 21 (C)	0,73	-0,05	8
2138/ 21 (C)	0,45	-0,1	8,44
2140/ 21 (C)	-0,26	-2,85	16,83
2142/ 21 (C)	-0,68	-0,1	9,93
2160/ 21 (C)	0,57	-0,09	10,35
2187/ 21 (C)	0,04	-0,19	8,86
2198/ 21 (C)	-3,19	-0,02	15,01
2205/ 21 (C)	0,46	0	15,55
2206/ 21 (C)	-0,88	0	11,56
2207/ 21 (C)	-1,02	0	12,05
2210/ 21 (C)	-1,94	-1,43	20,03
2211/ 21 (C)	0,15	-0,08	11,52
2212/ 21 (C)	-0,22	0	11,62
2213/ 21 (C)	0,42	0	11,65
2214/ 21 (C)	0,46	0	12,23
2216/ 21 (C)	-1,51	0	15,67
2223/ 21 (C)	2,39	-0,03	13,47
2226/ 21 (C)	-0,47	0,01	10,22

2244/ 21 (C)	0,79	-0,01	10,01
2245/ 21 (C)	0,84	-0,01	9,98
2249/ 21 (C)	-0,72	-0,01	12,73
2251/ 21 (C)	1,63	0,01	11,67
2252/ 21 (C)	-0,66	0,03	9,19
2253/ 21 (C)	-9,85	-8,34	16,74
2254/ 21 (C)	-0,53	0	9,41
2255/ 21 (C)	-0,47	0,01	9,37
2257/ 21 (C)	-0,53	-0,29	9,77
2259/ 21 (C)	0,84	-0,03	7,87
2260/ 21 (C)	0,98	-0,01	7,74
2261/ 21 (C)	0,91	-0,02	7,78
2262/ 21 (C)	1,14	0	7,73
2264/ 21 (C)	1,36	-0,01	7,78

ANEXO B – Valores obtidos pelo software Robot de força e momento

Barra/Nó/Caso	FZ (tf)	MX (kNm)
1/ 1/ 21 (C)	5,74	0
1/ 2/ 21 (C)	8,17	-0,31
2/ 3/ 21 (C)	5,61	0
2/ 2/ 21 (C)	9,13	0,3
3/ 4/ 21 (C)	5,74	0
3/ 5/ 21 (C)	8,26	0,32
4/ 6/ 21 (C)	5,7	0
4/ 5/ 21 (C)	8,53	-0,31
5/ 7/ 21 (C)	5,41	0
5/ 8/ 21 (C)	10,62	-0,51
6/ 8/ 21 (C)	-7,5	0
6/ 9/ 21 (C)	-5,8	0,55
7/ 10/ 21 (C)	-7,85	0
7/ 11/ 21 (C)	-5,77	-0,55
8/ 12/ 21 (C)	5,58	0
8/ 10/ 21 (C)	9,43	0,49
9/ 13/ 21 (C)	6,12	0
9/ 14/ 21 (C)	-2,51	-0,64
10/ 15/ 21 (C)	7,15	0
10/ 16/ 21 (C)	7,68	-0,29
11/ 17/ 21 (C)	6,98	0
11/ 16/ 21 (C)	9,07	0,27
12/ 18/ 21 (C)	7,12	0
12/ 19/ 21 (C)	8,02	0,3
13/ 20/ 21 (C)	7,11	0
13/ 19/ 21 (C)	8,14	-0,29
14/ 21/ 21 (C)	6,68	0
14/ 22/ 21 (C)	11,47	-0,49
15/ 22/ 21 (C)	-6,87	0
15/ 23/ 21 (C)	-7,21	0,55
16/ 24/ 21 (C)	-7,29	0
16/ 25/ 21 (C)	-7,19	-0,57
17/ 26/ 21 (C)	6,91	0
17/ 24/ 21 (C)	9,66	0,45
18/ 27/ 21 (C)	22,9	0
18/ 28/ 21 (C)	-8,82	-2,64
19/ 29/ 21 (C)	0,71	0
19/ 30/ 21 (C)	-0,72	-0,2
20/ 31/ 21 (C)	-2,02	0
20/ 32/ 21 (C)	-1,51	-0,13
21/ 33/ 21 (C)	5,72	0

21/ 34/ 21 (C)	8,37	-0,3
22/ 35/ 21 (C)	5,65	0
22/ 34/ 21 (C)	8,84	0,3
23/ 36/ 21 (C)	5,72	0
23/ 37/ 21 (C)	8,4	0,32
24/ 38/ 21 (C)	5,7	0
24/ 37/ 21 (C)	8,54	-0,32
25/ 39/ 21 (C)	5,55	0
25/ 40/ 21 (C)	9,65	-0,49
26/ 40/ 21 (C)	-7,96	0
26/ 41/ 21 (C)	-5,75	0,51
27/ 42/ 21 (C)	-8,17	0
27/ 43/ 21 (C)	-5,74	-0,51
28/ 44/ 21 (C)	5,64	0
28/ 42/ 21 (C)	8,99	0,48
29/ 45/ 21 (C)	5,9	0
29/ 46/ 21 (C)	-2,29	-0,74
30/ 47/ 21 (C)	0,91	0
30/ 48/ 21 (C)	-0,92	-0,18
31/ 49/ 21 (C)	-2	0
31/ 50/ 21 (C)	-2,53	-0,1
32/ 51/ 21 (C)	4,81	0
32/ 52/ 21 (C)	6,38	-0,24
33/ 53/ 21 (C)	4,63	0
33/ 52/ 21 (C)	7,85	0,25
34/ 54/ 21 (C)	4,8	0
34/ 55/ 21 (C)	6,61	0,26
35/ 56/ 21 (C)	4,76	0
35/ 55/ 21 (C)	6,88	-0,24
36/ 57/ 21 (C)	4,32	0
36/ 58/ 21 (C)	10,1	-0,43
37/ 58/ 21 (C)	-5,39	0
37/ 59/ 21 (C)	-4,91	0,44
38/ 60/ 21 (C)	-5,92	0
38/ 61/ 21 (C)	-4,87	-0,44
39/ 62/ 21 (C)	4,56	0
39/ 60/ 21 (C)	8,35	0,39
40/ 63/ 21 (C)	6,7	0
40/ 64/ 21 (C)	-3,09	-0,41
41/ 65/ 21 (C)	0,08	0
41/ 66/ 21 (C)	-0,08	-0,13
42/ 67/ 21 (C)	-2,57	0
42/ 68/ 21 (C)	-0,12	0,48