



UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA

GUILHERME ÁLEF NÓBREGA MEDEIROS

**AVALIAÇÃO DE PAREDES SANDUÍCHE EM ARGAMASSA
ARMADA COM NÚCLEO DE EPS**

Orientador: Prof. Dr^o. Givanildo Alves de Azeredo

JOÃO PESSOA

2017



UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA

GUILHERME ÁLEF NÓBREGA MEDEIROS

**AVALIAÇÃO DE PAREDES SANDUÍCHE EM ARGAMASSA
ARMADA COM NÚCLEO DE EPS**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal da Paraíba – UFPB, em cumprimento à exigência para obtenção do grau de Bacharel em Engenharia Civil.

Orientador: Prof. Dr. Givanildo Alves de Azeredo.

JOÃO PESSOA

2017

M488a Medeiros, Guilherme Álef Nóbrega

Avaliação de paredes sanduíche em argamassa armada com núcleo de EPS./ Guilherme Álef Nóbrega Medeiros. – João Pessoa, 2017.

59f. il.:

Orientador: Prof. Dr. Givanildo Alves de Azeredo.

Monografia (Curso de Graduação em Engenharia Civil) Campus I - UFPB / Universidade Federal da Paraíba.

1. Sistema construtivo 2. Tela soldada 3. Poliestireno expandido
4. Avaliação de paredes sanduíche em argamassa armada com núcleo de EPS.. I. T´tulo

BS/CT/UFPB

CDU: 2.ed. 691.41043)


FOLHA DE APROVAÇÃO

GUILHERME ÁLEF NÓBREGA MEDEIROS

AVALIAÇÃO DE PAREDES SANDUÍCHE EM ARGAMASSA ARMADA COM NÚCLEO DE EPS

Trabalho de Conclusão de Curso em 20/11/2017 perante a seguinte Comissão Julgadora:

 Prof. Dr. Givanildo Alves de Azeredo Departamento de Engenharia Civil e Ambiental do CT/UFPB	<u>APROVADO</u>
 Prof. Msc. Carlos Antônio Taurino de Lucena Departamento de Engenharia Civil e Ambiental do CT/UFPB	<u>APROVADO</u>
 Prof. Dr. Primo Fernandes Filho Departamento de Engenharia Civil e Ambiental do CT/UFPB	<u>APROVADO</u>


Prof. Ana Cláudia Fernandes Medeiros Braga
Matrícula Siape: 1668619
Coordenadora do Curso de Graduação em Engenharia Civil

AGRADECIMENTOS

A Deus, acima de tudo, minha eterna gratidão. Aos meus pais Maria de Lourdes e Gildenor Xavier, pelo amor que sempre dedicaram, educação, sabedoria e toda a confiança prestada.

Ao meu irmão, Giancarlo, que sempre demonstrou confiança nesta minha caminhada.

Ao professor Givanildo Azeredo pela atenção, paciência e dedicação durante a orientação deste trabalho.

Aos meus colegas Lays Raianne, Fábio Mariz, Francisco Eli, Rennan Martins, Pedro Egídio, Philipe Alexandre e Reginaldo Brasileiro que me apoiaram nesta reta final, com auxílio incomparável nos projetos das disciplinas e me auxiliaram durante este trabalho.

A coordenadora Ana Claudia por sua inteira dedicação ao melhoramento deste curso.

Aos ilustres professores Primo e Taurino que são fontes de inspiração por sua dedicação aos alunos e a esta universidade.

A todos os professores do DECA que sempre estão à disposição para transmitirem seus conhecimentos aos alunos desta instituição de ensino.

ALEF, Guilherme. N. M. **Avaliação de Paredes Sanduiche em Argamassa Armada com Núcleo de EPS**. Trabalho de conclusão de curso (Graduação) – Universidade Federal da Paraíba. João Pessoa. 2017.

RESUMO

O presente trabalho tem como objetivo analisar a utilização de paredes sanduíche composta de argamassa armada com núcleo de EPS como elemento estrutural. Trata-se de uma pesquisa baseada, de forma comparativa, em ensaios existentes e pesquisa bibliográfica. Assim, verificou-se um conjunto de pesquisas sobre o tema, afim de proporcionar uma melhor explicação do caráter resistivo em que esta técnica iria proporcionar. O texto apresenta as informações coletadas e sistematizadas em seções que tratam, desde os aspectos históricos; conceituação básica; influência dos componentes na resistência; análise de desempenho; estimativas de resistência através do modelo de cálculo; impacto financeiro; que buscam avaliar a eficácia e viabilidade do procedimento em questão.

Palavras-chave: sistema construtivo, tela soldada, poliestireno expandido.

ALEF, Guilherme. N. M. **Evaluation of Sandwich Walls in Mortar Armed with EPS Core**. Completion of course work (graduation) – Universidade Federal da Paraíba. João Pessoa. 2017.

ABSTRACT

The present work aims to analyze the use of sandwich walls composed of reinforced mortar with EPS core as structural element. It is a research based, in a comparative way, on existing tests and bibliographic research. Thus, a set of researches on the subject was verified, in order to provide a better explanation of the resistive character in which this technique would provide. The text presents the information collected and systematized in sections that deal, from the historical aspects; basic conceptualization; influence of the components on the resistance; performance analysis; estimates of resistance through calculation model; financial impact; which seek to assess the effectiveness and feasibility of the procedure in question.

Key words: constructive system, welded fabric, expanded polystyrene.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Pannel simples	16
Figura 2 - Esquema da parede sanduíche	17
Figura 3 – Edifício construído exclusivamente em painéis sanduíche	18
Figura 4 - Casas de turismo construídas com painéis sanduíche em base de concreto armado	18
Figura 5 - Pré-Expansor de EPS.....	20
Figura 6 - Máquina de corte CNC para EPS.....	21
Figura 7 - Grampeador pneumático	24
Figura 8 - Processo de solda entre as telas.....	25
Figura 9 - Disposição das barras de ancoragem	27
Figura 10 - Ancoragem dos painéis.....	27
Figura 11 - Malha de reforço do tipo Lisa	28
Figura 12 - Malha de reforço do tipo L	28
Figura 13 - Ancoragem do painel em pilares	29
Figura 14 - Malha de reforço do tipo U	30
Figura 15 - Fixação das esquadrias	30
Figura 16 - Reforços em aberturas.....	31
Figura 17 - Visão esquemática 3D do painel e instalações.....	31
Figura 18 - Abertura de sulcos para instalações complementares	32
Figura 19 - Travamentos metálicos das paredes.....	32
Figura 20 - Projeção de argamassa estrutural nas paredes	34
Figura 21 - Projeção de argamassa estrutural nas lajes.....	34
Figura 22 - Esquema da parede sanduíche com núcleo de EPS.....	36
Figura 23 - Esquema da parede alvenaria de blocos cerâmicos.....	40
Figura 24 - Esquema dos pontos de impacto do ensaio de corpo mole.....	44
Figura 25 - Esquema dos esforços no painel.....	53
Figura 26 – Representação da vinculação dos painéis e comprimento equivalente le	55
Figura 27 -Pavimento térreo	59
Figura 28 - Primeiro pavimento.....	60
Figura 29 - Classes de Agressividade Ambiental.....	62
Figura 30 - Correspondência entre Classe de Agressividade e Qualidade do Concreto	62
Figura 31 - Correspondência entre Classe de Agressividade e Cobrimento Nominal ..	63
Figura 32 - Pórtico 3D gerado no CypeCAD.....	66
Figura 33 - Planta de formas do 1º Pavimento.....	67
Figura 34 - Planta de formas da Coberta	68
Figura 35 - Pórtico 3D em concreto armado	71
Figura 36 - Estrutura 3D	71
Figura 37 - Planta de formas 1º Pavimento	73
Figura 38 - Planta de formas da Coberta	74
Figura 39 - Esforço Normal no Primeiro Pavimento	76
Figura 40 - Esforço Normal no Pavimento Térreo.....	77
Figura 41 - Vinculação dos painéis analisados	77

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Comparativo entre as paredes.....	41
Quadro 2 - Critérios e níveis de desempenho para elementos estruturais localizados na fachada do edifício.....	44
Quadro 3 - Resultados do ensaio de corpo mole.....	45
Quadro 4 - Critérios e níveis de desempenho para impacto de corpo duro na face externa de elementos estruturais localizados na fachada do edifício e nas faces externas	46
Quadro 5 - Propriedades do EPS	48
Quadro 6 - Toxicidade de fumaça do EPS e materiais "naturais"	50
Quadro 7 - Verificação da armadura Q61	75
Quadro 8 - Verificação da armadura Q75	75
Quadro 9 - Verificação da armadura Q92	75

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Resistência à tração na flexão e resistência à compressão da argamassa	42
Tabela 2 - Resultados do ensaio de corpo duro.....	47
Tabela 3 - Total de materiais utilizados na estrutura da edificação	79
Tabela 4 - Traço utilizado.....	79
Tabela 5 - Total de constituintes do concreto	80
Tabela 6 - Quantidade de aço.....	80
Tabela 7 - Total de constituintes da vedação	81
Tabela 8 - Total de materiais utilizados na estrutura da edificação	81
Tabela 9 - Traço utilizado para argamassa estrutural	82
Tabela 10 - Total de constituintes da argamassa estrutural.....	82
Tabela 11 - Total de constituintes do concreto armado	83
Tabela 12 – Quantidade de aço em barras.....	83
Tabela 13 – Quantidade de tela eletrosoldada.....	83
Tabela 14 – Custo total dos materiais.....	84
Tabela 15 – Detalhamento do custo do modelo em Paredes Sanduíche	85

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	10
1.1 Justificativa	11
1.2 Objetivos	13
1.2.1 Objetivos geral	13
1.2.2 Objetivos específicos	13
1.3 Conteúdo do trabalho	13
2. CARACTERÍSTICAS DO SISTEMA CONSTRUTIVO DE PAREDES SANDUÍCHE EM ARGAMASSA ARMADA COM NÚCLEO DE EPS	15
2.1 Características gerais dos painéis sanduíche	16
2.2 Materiais utilizados	19
2.2.1 Poliestireno Expandido	19
2.2.2 Tela soldada	21
2.2.3 Argamassa armada	22
2.3 Método construtivo	23
2.3.1 Fabricação dos painéis	24
2.3.2 Montagem dos painéis e detalhes construtivos	26
2.3.3 Montagem e execução da laje	33
2.3.4 Projeção de argamassa estrutural	33
2.4 Análise de desempenho do sistema construtivo	34
2.4.1 Desempenho térmico	35
2.4.2 Comportamento estrutural	41
2.4.2.1 Ensaio de impacto de corpo mole e corpo duro	43
2.4.2.2 Critérios de impacto de corpo mole	43
2.4.2.3 Método de avaliação do ensaio de corpo mole	43
2.4.2.4 Critérios de impacto de corpo duro	46
2.4.2.5 Método de avaliação do ensaio de corpo duro	46
2.4.2.6 Avaliação dos resultados obtidos	47
2.4.3 Comportamento do poliestireno expandido ao fogo	47
2.5 Critérios de dimensionamento	51
2.5.1 Estado limite último	51
2.5.2 Avaliação do índice de esbeltez das paredes sanduíche	54
2.5.3 Momento de segunda ordem (processo simplificado)	56
2.5.4 Verificação do efeito de segunda ordem	57

3. ELABORAÇÃO DE PROJETOS ESTRUTURAIS EM CONCRETO ARMADO E PAREDES SANDUÍCHE AUTOPORTANTES COM NÚCLEO DE EPS.....	59
3.1 Dimensionamento da estrutura em concreto armado.....	61
3.1.1 Considerações Iniciais de Projeto.....	61
3.1.2 Lançamento da Estrutura no Programa.....	63
3.1.3 Ações consideradas.....	65
3.1.4 Visualização do Pórtico 3D e Plantas de Formas	66
3.2 Dimensionamento da estrutura em paredes sanduiche autoportantes com núcleo de EPS	68
3.2.1 Considerações Iniciais de Projeto.....	69
3.2.2 Lançamento da Estrutura	69
3.2.3 Ações consideradas.....	70
3.2.4 Visualização do Pórtico 3D e disposição das paredes sanduíche	71
3.2.5 Dimensionamento.....	74
4 LEVANTAMENTO DOS QUANTITATIVOS E ORÇAMENTOS DOS MATERIAIS EMPREGADOS NOS SISTEMAS CONTRUTIVOS APRESENTADOS	78
4.1 Quantitativos do sistema construtivo em concreto armado e vedação em alvenaria de blocos cerâmicos	79
4.2 Quantitativos do sistema construtivo em paredes sanduíche	81
4.3 Comparação do custo total entre o sistema construtivo em concreto armado e o sistema em argamassa armada.....	84
5. CONCLUSÃO	86
BIBLIOGRAFIA	88
ANEXO A – Tabela prática de traços de concreto para uso em obras: Engenheiro Abílio de Azevedo Caldas Branco.	91
APÊNDICE A – Memória de cálculo dos quantitativos – Sistema em Concreto Armado e Alvenaria de blocos cerâmicos.	92
APÊNDICE B – Memória de cálculo dos quantitativos – Sistema em Paredes Sanduíche.....	94
APÊNDICE C – Planilha orçamentária sintética – Sistema em Concreto Armado e Alvenaria de blocos cerâmicos.....	95
APÊNDICE D – Planilha orçamentária sintética – Sistema em Paredes Sanduíche.	96

1. INTRODUÇÃO

Segundo Gehbauer et al. (2002), observa-se que a qualidade dos métodos de construção e a intensidade com a qual a execução de uma obra é planejada e controlada não se desenvolveram tanto quanto, por exemplo, as teorias aplicadas às estruturas, ficando a execução muitas vezes aquém da sofisticação e qualidade com que são elaborados os projetos. Tendo isso, muitas construtoras acabam por utilizarem um modelo construtivo ao qual estão familiarizadas, sem buscar novas tecnologias e sistemas construtivos que melhor se enquadrem aos seus empreendimentos.

As construções em paredes, estruturais ou de vedação, com painéis de argamassa armada com núcleo de Poliestireno Expansível (EPS), também chamadas de paredes sanduíche, consistem em um sistema construtivo que pode proporcionar economia no consumo de materiais, produzir elementos mais leves e com resistência necessária para absorver os esforços solicitantes da edificação. Esse método é constituído basicamente de painéis internos, formando o núcleo, de material isolante (EPS), armados com telas soldadas, dispostas em cada uma das faces de microconcreto e interligadas por meio de barras soldadas, numa configuração tridimensional, que gera uma boa rigidez.

O sistema construtivo foi desenvolvido inicialmente na Europa, mais precisamente na Itália, para atender exigências estruturais e climáticas muito rigorosas, tais como terremotos e furacões. No Brasil, o sistema chegou por volta de 1990, quando foi submetido a análises do IPT (Instituto de Pesquisas Tecnológicas de São Paulo) onde foram obtidos resultados satisfatórios, entretanto este sistema construtivo, até o presente momento, vem sendo pouco utilizado no Brasil.

Muitos estudos são realizados de modo a obter o menor custo e melhor qualidade dentre os sistemas construtivos, uma vez que a economia gerada na construção implicará em maior lucro para o empresário e menor preço final da edificação, tornando o valor dos imóveis mais acessível para o consumidor final, o que é um fator essencial e decisivo em tempos de recessão econômica.

1.1 Justificativa

O sistema construtivo aqui destacado utiliza componentes industrializados que geram inúmeros benefícios para melhorar a qualidade e produtividade dentro da indústria da construção civil. No Brasil o concreto armado ainda é o método estrutural mais utilizado, uma vez que possui grande aceitação do mercado e diversas qualidades que o permitem vencer grandes vãos e alturas, com peças estruturais sendo moldadas de diversas formas, aliado ao seu processo de execução largamente difundido. Entretanto, pontos como a grande quantidade de mão-de-obra empregada, pequeno reaproveitamento de materiais e grande quantidade de resíduos gerados são fatores preocupantes.

O referido método possui grande potencial de utilização, podendo ser aplicado a edificações de diversos padrões e em habitações de larga escala, como conjuntos habitacionais. Apesar de existirem dúvidas que se manifestam dentro do processo construtivo, como a colaboração entre as placas resistentes de argamassa estrutural e desconfiança por parte dos construtores quanto à eficácia, o sistema construtivo vem sendo utilizado em vários países com eficácia comprovada, entre os quais estão Estados Unidos, Austrália, Venezuela e Itália.

De fato, alguns aspectos dificultam a inserção de inovações tecnológicas no setor da construção civil brasileira, que está dividido nos seguintes subsetores (SEBRAE-MG, 2005): edificações, construção pesada e montagem industrial. De forma geral, o subsetor de edificações é o que apresenta maior atraso tecnológico, onde há uma acomodação no uso de métodos tradicionais que geram altos índices de desperdícios e queda na produção. Grande parcela desta acomodação é resultado dos lucros obtidos na construção civil que mesmo em crise ainda é muito rentável.

Apesar desta resistência, algumas empresas brasileiras estão começando a utilizar as paredes sanduíche em edificações, por acarretar numa série de benefícios e conseqüentemente na redução de custos, tornando-se um atrativo para empresários da construção civil. Alguns benefícios gerados pela utilização deste sistema estrutural na execução de obras estão listados a seguir:

- I. Estruturas rígidas e resistentes;
- II. Estruturas monolíticas;
- III. Alívio de cargas nas fundações;
- IV. Eliminação do uso de fôrmas;
- V. Rápida execução;
- VI. Redução no desperdício de materiais;
- VII. Racionalização da construção;
- VIII. Possibilidade de uso de mão-de-obra pouco especializada;
- IX. Desempenho termo acústico superior aos métodos tradicionais;
- X. Fácil compatibilização com instalações complementares.

Entretanto, com as exigências do mercado atual, as empresas têm procurado aumentar sua produtividade e reduzir o custo de produção a fim de obter maior competitividade. Segundo Costa et al. (2014), a competitividade é um desafio, uma vez que o setor é conhecido pelo elevado desperdício de materiais e de mão de obra, além de apresentar um grande atraso em relação a outros setores industriais, justificado principalmente pela dificuldade de gerir processos, dentre eles, a estimativa de custos.

As exigências da Norma de Desempenho, NBR 15.575 (2013), fazem com que o mercado seja mais disciplinado e com mais instrumentos de controle que beneficiam o usuário final. Entretanto, para os construtores torna-se um problema, pois tipologias tradicionais, como as paredes de blocos cerâmicos (tijolos furados), necessitam de tratamento para atender as exigências da norma e acarretam em maior custo de produção. Desse modo, vale ressaltar que a tipologia de paredes aqui mostrada ainda possui características que muitas vezes são qualificadas no nível “superior” dentro dos itens da Norma de Desempenho.

1.2 Objetivos

1.2.1 Objetivos geral

Apresentar as características do referido sistema construtivo e comparar os custos de materiais empregados na execução da estrutura e fechamentos de uma residência para os sistemas construtivos de paredes sanduíche de argamassa armada com núcleo de EPS e concreto armado com fechamento em blocos cerâmicos.

1.2.2 Objetivos específicos

- Avaliar os aspectos construtivos, estruturais e desempenho do referido sistema;
- Elaborar um modelo de dimensionamento para a seção dos painéis sanduíche isolados;
- Modelar computacionalmente a edificação em concreto armado;
- Modelar a edificação em paredes sanduíche;
- Comparar os custos de materiais empregados nos modelos.

1.3 Conteúdo do trabalho

Nos itens anteriores deste capítulo foram apresentados a justificativa para a escolha do tema e os objetivos do trabalho.

No capítulo 2 é apresentado o estado da arte de estruturas compostas de paredes armadas com núcleo de EPS, com foco principal nos métodos construtivos que utilizam painéis armados com posterior revestimento de argamassa estrutural; revisões bibliográficas obtidas através de literaturas sobre as características do sistema construtivo; os principais tipos de configurações utilizadas e sua finalidade; critérios para projeto; proposta de modelo de dimensionamento para paredes sanduíche; o desempenho do poliestireno em contato com o fogo; análise do desempenho do referido sistema tomando-se como base a Norma de Desempenho.

O capítulo 3 aborda a metodologia de pesquisa utilizada para a elaboração do trabalho. Neste capítulo são elaborados os dois projetos estruturais para cada um dos sistemas construtivos citados.

No capítulo 4 são apresentados o quantitativo e orçamento referentes à execução da estrutura e fechamento para cada um dos referidos sistemas construtivos.

O capítulo 5 apresenta os resultados do trabalho.

2. CARACTERÍSTICAS DO SISTEMA CONTRUTIVO DE PAREDES SANDUÍCHE EM ARGAMASSA ARMADA COM NÚCLEO DE EPS

Neste capítulo apresentam-se as características do referido sistema construtivo empregado, objeto deste trabalho, buscando informações em literaturas sobre seu uso, componentes, as vantagens e desvantagens, com objetivo de melhorar a compreensão do assunto.

Bertini (2002) define as paredes compostas por camadas de diferentes materiais, como sendo paredes sanduíche: “Uma estrutura mista do tipo sanduíche é composta por duas ou mais camadas de materiais diferentes, fazendo com que o conjunto ganhe em termos estruturais.”.

No desenvolvimento da construção de edificações, diversas técnicas construtivas foram desenvolvidas, sendo estas as mais variadas na execução, desde processos artesanais, como os tijolos de argila, até a utilização de blocos industrializados com alta tecnologia. A busca por elementos de vedação que sejam capazes de conciliar conforto, resistência e baixo custo está cada vez maior.

Os painéis sanduíche além de possuírem função de vedação também possuem função estrutural, de modo que a estrutura formada tem característica monolítica e apresenta boa rigidez. Os próprios painéis apresentam uma maior rigidez, obtida devido ao afastamento das camadas resistentes, conseguindo-se ainda estruturas mais leves devido ao seu núcleo (geralmente a camada mais espessa do painel) constituído de EPS.

A ideia de elementos estruturais sanduíche foi utilizada pela primeira vez na construção civil em 1849 por Willian Fairbairn em ensaios de vigas compostas utilizando madeira e concreto para compor a estrutura de pontes (COLLINS, 1954).

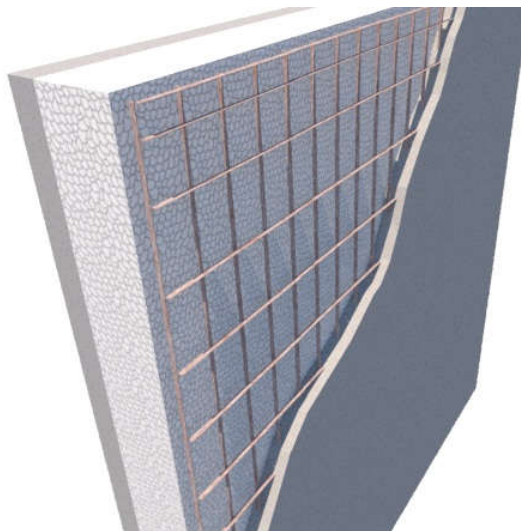
Em 1967, Victor Weisman apresentou a patente, nos Estados Unidos, de um sistema de paredes sanduíche bastante semelhante dos encontrados atualmente no mundo inteiro (PICKARD, 1990). O sistema é constituído basicamente de pré-painéis de material isolante (geralmente poliestireno ou

poliuretano) armados com uma tela soldada disposta em cada uma das faces e interligadas por meio de barras soldadas numa configuração tridimensional de barra com elevada rigidez.

2.1 Características gerais dos painéis sanduíche

Os painéis sanduíche podem ser montados de diversas maneiras. O presente trabalho tem como foco de estudo o painel simples, que é constituído de três camadas, sendo as camadas das faces placas compostas por revestimento estrutural, em microconcreto, associado com tela eletrosoldada e a camada central ou núcleo uma placa de EPS. A estrutura do painel é representada na Figura 1.

Figura 1 – Painel simples

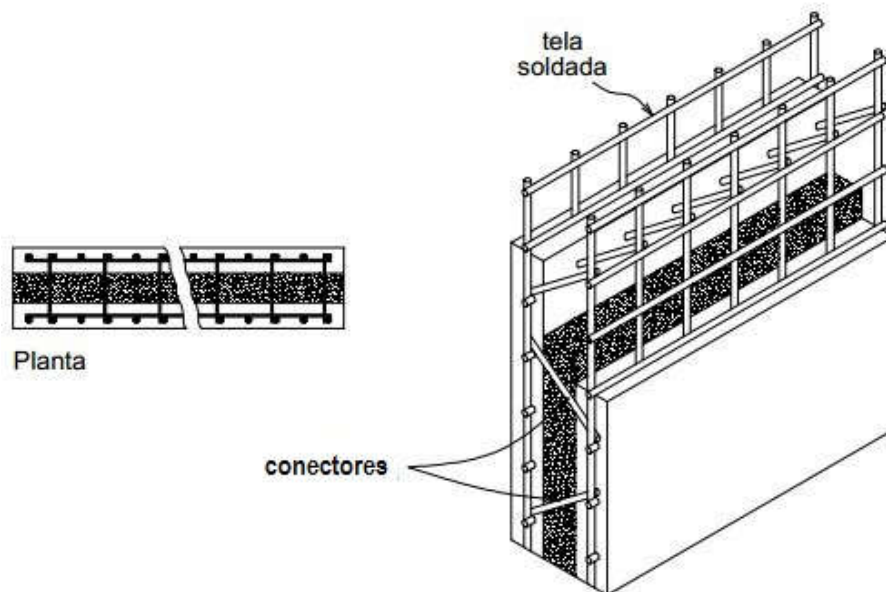


Fonte: Acervo próprio.

O núcleo de EPS garante leveza para a estrutura, facilidade de transporte e montagem, além de garantir excelente isolamento termo acústico. O EPS permite que as placas de concreto sejam ligadas por conectores de aço que atravessam o núcleo. O aço utilizado é o CA60, inclusive os conectores, que são

soldados as duas telas e garantem rigidez construtiva ao painel, facilitando assim a aplicação do concreto (Figura 2).

Figura 2 - Esquema da parede sanduíche



Fonte: BERTINI, (2002, p.18).

Segundo trabalhos realizados por Hanai e Takeya (1994) o núcleo de EPS é responsável por significativa resistência ao cisalhamento, devido à aderência entre o núcleo e as placas resistentes, e os conectores de aço não oferecem contribuição significativa ao cisalhamento quando os painéis são submetidos a carregamentos perpendiculares as faces.

Para garantir um bom funcionamento estrutural deve existir uma conexão eficiente entre as placas resistentes, feita pelo próprio núcleo ou por meio de conectores e nervuras. Assim, a quantidade de conectores é muito importante do ponto de vista econômico, evitando exageros e desperdícios, uma vez que boa parte da transferência de esforços é realizada pelo núcleo, que mesmo sendo pouco resistente, possui grande área de contato, colaborando para a transferência de cisalhamento para as placas resistentes. O PCI (1997) recomenda que os conectores típicos tenham espaçamentos que variam entre 406 mm x 406 mm e 1219 mm x 1219 mm.

Os painéis são montados de variadas maneiras, devido a gama de telas eletrosoldadas existentes, das malhas, da espessura dos fios, e variações com relação ao núcleo de densidade, espessura e comprimento variados, o que possibilita a construção de painéis com até quatro metros de altura e capacidades de suporte diferentes (Figura 3). Desta forma, a vasta gama de configurações possibilita produzir os elementos estruturais, de vedação ou acabamento necessário para executar uma obra, demonstrando grande flexibilidade e integração a outros sistemas construtivos (Figura 4).

Figura 3 – Edifício construído exclusivamente em painéis sanduíche



Fonte: M2 Emmedue, Advanced Building System.

Figura 4 - Casas de turismo construídas com painéis sanduíche em base de concreto armado



Fonte: M2 Emmedue, Advanced Building System.

As camadas externas são constituídas de microconcreto, aqui chamado de argamassa armada, com espessuras variando de 1,5 a 5 cm, podendo ser aplicada de modo manual ou projetada, não necessitando de vibração, apresentando alta resistência, baixa retração e ótima trabalhabilidade, principalmente se o revestimento for aplicado de modo manual.

O painel duplo é constituído por dois painéis simples, espaçados um do outro, de acordo com a necessidade estrutural, unidos por meio de conectores de aço, entre os quais é possível colocar uma armadura adicional, quando necessário, e efetuar o enchimento de seu interior com concreto, formando, assim, uma parede estrutural mais resistente e que possibilita a construção de edificações mais altas. Vale destacar que o painel além de compor a parede, também exerce função de fôrma para a execução da estrutura de concreto, substituindo as convencionais fôrmas de madeira.

Além de possibilitar reforço estrutural quando necessário, os painéis duplos podem ser utilizados para aumentar o isolamento acústico devido a possíveis exigências da construção. De uma forma geral, o sistema possui grande flexibilidade, podendo compor elementos de vedação horizontal em lajes entre pisos, coberturas, lajes planas, inclinadas e em arco, podendo ainda compor escadas, desde que na sua fase de projeto, sejam previstas armaduras adicionais, suprindo assim a resistência aos carregamentos impostos.

2.2 Materiais utilizados

2.2.1 Poliestireno Expandido

O EPS foi descoberto na Alemanha em 1949 pelos químicos Fritz Stasny e Karl Bochholz. No Brasil é popularmente conhecido como Isopor®, marca registrada da empresa Knauf Isopor Ltda. De acordo com a norma DIN ISSO 1043/78, esse material é um plástico celular rígido, resultado da polimerização do estireno (derivado do petróleo) em água. Esta transformação processa-se em três etapas: pré-expansão, armazenamento intermediário e moldagem.

A expansão do poliestireno expansível, com densidade aparente de 600 a 700 kg/m³, é efetuada numa primeira fase num pré-expansor através de aquecimento por contato com vapor de água (Figura 5). O agente expansor infla

o poliestireno para um volume cerca de 20 a 50 vezes maior do que o original, resultando em um granulado de partículas de EPS constituídas por pequenas células fechadas, que são armazenadas para estabilização.

Figura 5 - Pré-Expansor de EPS



Fonte: NKL-CHINA.

Durante a fase de estabilização, o granulado de EPS esfria, diminuindo a pressão no espaço interior das células à medida que é preenchido pelo ar circundante, penetrando nos vazios do material expandido. O granulado estabilizado é introduzido em moldes e novamente exposto a vapor de água, o que provoca a união entre eles, assim obtém-se um material expandido, que é rígido e contém uma grande quantidade de ar.

Na fabricação de peças utilizadas na Construção Civil, desde blocos de laje treliçada a placas para painéis sanduíche, são utilizados blocos de isopor em grandes moldes em formato de paralelepípedo, onde as peças são recortadas (Figura 6), ou em alguns casos as peças são moldadas na forma final de aplicação, processo chamado de moldagem direta. A escolha do tipo de matéria prima e a regulação do processo de fabricação, permitem a obtenção de uma ampla gama de tipos de isopor, com diversas densidades, cujas características se adaptam às aplicações previstas.

Figura 6 - Máquina de corte CNC para EPS



Fonte: NKL-CHINA.

O processo produtivo do EPS não utiliza o gás CFC (clorofluorcarbono) ou qualquer gás que seja capaz de agredir a camada de ozônio, resultando em produtos sustentáveis e inertes, uma vez que não contaminam o solo, água e ar. Os produtos finais de EPS são inodoros, não poluentes, fisicamente estáveis, são 100% reaproveitáveis e recicláveis, e podem ser reciclados infinitas vezes sem perder suas propriedades físicas e mecânicas (ABRAPEX, 2000).

2.2.2 Tela soldada

As telas soldadas surgiram no fim da primeira guerra mundial, quando a construção civil estabeleceu o foco no desenvolvimento de novos materiais. Apresentando novas características e opções, as telas eletrosoldadas atendem às necessidades de diversos tipos de projetos da construção civil, sendo um dos materiais mais utilizados. No Brasil as telas eletrosoldadas começaram a ser utilizadas no final da década de 50, onde sua introdução foi bastante difícil, devido à falta de informações sobre o material e a resistência dos construtores em promover mudanças nos seus processos construtivos (HANAI, 1992).

As telas soldadas provaram ao consumidor que não se tratava apenas de uma armadura para o concreto, mas que elas traziam consigo vantagens técnicas e econômicas, e assim, como na Europa e Estados Unidos as telas

passaram a fazer parte do dia a dia da construção civil brasileira (IBTS, 2017). Estas vantagens são resultado da redução de mão-de-obra e da facilidade de construção, proporcionando maior rapidez e agilidade na montagem de peças estruturais.

As malhas utilizadas no referido sistema construtivo são produzidas com aço de alta resistência, com tensão última superior a 600Mpa, com limite de escoamento, $f_{yk} > 600$ MPa e limite de ruptura, $f_{tk} > 680$ MPa. O aço utilizado pode ser do tipo comum, galvanizado a quente, zincado e inoxidável, variando conforme a necessidade de aplicação e resistindo as agressões ao longo do tempo, com malha variando de 50x50 a 150x150 mm e diâmetro dos fios variando de 3,4 a 10,0 mm.

2.2.3 Argamassa armada

A argamassa armada em conjunto com a armadura em tela soldada, são responsáveis por compor a estrutura resistiva da parede sanduíche, formando o painel sanduíche. Esta surgiu na década de 1850, sendo chamado de *fer-ciment* pelo seu idealizador, Joseph-Louis Lambot, e foi patenteada na França, sendo considerada como o precursor do atual concreto armado. Em 1922, a argamassa armada foi utilizada na construção da primeira cúpula geodésica do mundo, na fábrica de Carl Zeiss, na Alemanha. Esta estrutura foi a primeira estrutura em casca executada com concreto.

Campos (1994) define a argamassa armada como um microconcreto armado, resultante da associação de argamassa (cimento, areia, brita e água), com uma armadura de aço constituída por fios de pequeno diâmetro e pouco espaçados entre si (tela soldada).

A argamassa estrutural deve possuir resistência mecânica suficiente para suportar os esforços atuantes, rigidez satisfatória evitando deformações excessivas, estabilidade física, química e dimensional para se manter acima dos limites mínimos durante a vida útil de projeto, além de possuir elevada compacidade e baixa permeabilidade para funcionar com uma barreira eficiente à passagem de líquidos e gases no seu interior, que possam prejudicar a

proteção da armadura ou as próprias condições de utilização do componente ou estrutura.

Segundo Bertoldi (2007), para satisfazer as condições citadas no parágrafo anterior, a argamassa estrutural deve possuir relação cimento e areia entre 2,0 e 4,5, com a quantidade de cimento Portland variando em função da granulometria dos agregados constituintes. A relação água/cimento (A/C), pode variar de acordo com a resistência característica (f_{ck}) necessária. A NBR – 11.173 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1990), recomenda uma relação água/cimento máxima de 0,45. Entretanto, Libório (1989) sugere limitar a relação água/cimento em 0,40. O traço é composto por agregados com granulometria de até 6,4mm, com traço variando entre 1:3 e 1:4,5, em peso. Deve-se ter conhecimento da umidade presente na areia, pois, a umidade existente precisa ser descontada para que o traço tenha a relação água cimento correta. É utilizado na composição da argamassa, aditivo plastificante, com o objetivo de melhorar a trabalhabilidade e reduzir o consumo de água, o que conseqüentemente aumentará a resistência do microconcreto e podem ser adicionadas ainda fibras de polipropileno, que por sua vez tem a função de combater a retração e aumentar a tenacidade da argamassa.

A argamassa estrutural possui o consumo de cimento entre 500 a 700 kg/m^3 , para resistências a compressão variando entre 30 e 50 MPa e massa específica de 24 kN/m^3 . Seguindo as recomendações anteriores, a resistência à compressão obtida será da ordem de 35 Mpa. Entretanto, a resistência característica das faces do painel é determinada pelo projetista, ajustando o traço conforme a necessidade, desde que sejam seguidas as recomendações citadas acima.

2.3 Método construtivo

Os painéis podem ser construídos manualmente no local da obra, desde o corte do EPS, montagem da malha e aplicação do revestimento estrutural ou podem ser utilizados pré-painéis industrializados fornecidos com placas cortadas e com a malha montada, necessitando apenas o posicionamento e aplicação do revestimento estrutural, o que dinamiza o processo construtivo. Existe ainda a

possibilidade da produção de painéis totalmente prontos, sendo necessário apenas a montagem, com uso indicado para obras com projetos de construção em larga escala, como por exemplo conjunto habitacionais.

Os painéis possuem dimensões com cerca de 100x1000x2800mm, são relativamente leves, de fácil manuseio por parte dos montadores e ajudantes e não demanda a utilização de equipamentos de grande porte para o manuseio durante seu transporte. A montagem não requer uma mão-de-obra especializada, é feita de forma sequencial, onde após a chegada dos painéis é executado o travamento, com o auxílio de réguas metálicas ou madeiras. Posteriormente são instalados os condutos das instalações prediais e por último são executados os revestimos da edificação.

2.3.1 Fabricação dos painéis

A fabricação de painéis no local da obra é utilizada quando não existe indústria especializada na região ou quando o custo referente ao transporte das peças torna-se inviável, sendo um processo que demanda mais tempo, mas que não prejudica o desempenho dos painéis sanduíche.

Para fabricação dos painéis em obra, é realizada a fixação entre as telas, conectores, espaçadores e placas de EPS. Para proporcionar maior produtividade e padronização de execução recomenda-se o uso de grampeadores pneumáticos (Figura 7). Contudo estes podem ser substituídos por arame, alicate e torquês, caracterizando assim a execução de forma manual. Devem ser tomadas precauções quanto ao material utilizado na amarração, garantindo que os arames sejam compatíveis com o aço utilizado nas telas soldadas, evitando assim corrosões e rompimento, sendo indicado o arame recozido nº 18.

Figura 7 - Grampeador pneumático



Fonte: TecnoPanel.

Os painéis industrializados são fabricados em uma linha de produção que integra parte mecânica, elétrica, pneumática e petroquímica controlados por um computador central. A linha inicia pela produção dos blocos e placas de EPS, realizando a conformação das mesmas com seus respectivos cortes e moldagens obedecendo às especificações de projeto. Posteriormente, são aplicadas as telas eletrosoldadas e os conectores que proporcionaram rigidez, unindo as telas e o EPS. O processo segue com o desenrolamento das telas eletrosoldadas, moldagem sobre as placas, corte e fixação das duas camadas de armação através dos conectores, que transpassam o EPS, promovendo a união entre as telas através de solda (Figura 8).

Figura 8 - Processo de solda entre as telas



Fonte: M2 Emmedue, Advanced Building System.

Estes painéis possuem elevado grau de padronização, alto controle de produção e produtividade, conferindo ao sistema a designação “Hi-Tech”, entre outras palavras, um sistema com tecnologia avançada quando comparada ao método construtivo convencional. Os retalhos e resíduos de EPS provenientes de cortes e sobras ao longo da linha de produção são recolhidos, triturados e encaminhados para reciclagem, proporcionando desperdício praticamente nulo no processo de produção.

A metodologia de produção dos painéis permite ainda a utilização de plantas móveis para a linha de montagem, sendo uma alternativa interessante para dinamizar aplicação da metodologia construtiva em programas com características de habitação em larga escala, muito utilizados pelo governo brasileiro. Segundo NKL-China (2017), fabricante de máquinas do referido

processo, a velocidade de produção dos painéis gira em torno de 4 a 4,5 m/min, com painéis de espessura variando de 50 a 250 mm e largura de 1000 a 1250 mm.

2.3.2 Montagem dos painéis e detalhes construtivos

Para a realização da montagem dos painéis deve ser feita previamente a locação e fundação da edificação. A locação é feita previamente de acordo com os projetos com gabaritos posicionados 50 cm acima do nível do terreno e a uma distância de 100 cm das futuras paredes, nivelados e fixados para suportar a tensão dos fios de alinhamento.

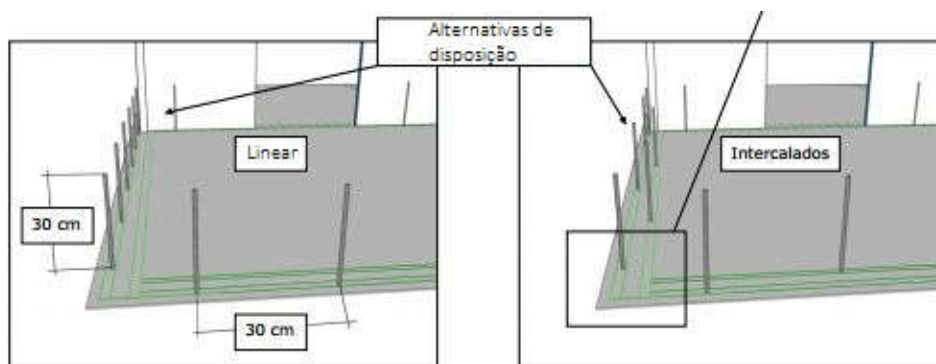
A fundação mais indicada para a metodologia construtiva é do tipo radier. O radier é um tipo de fundação superficial ou direta que distribui toda a carga da edificação de maneira uniforme no terreno, sendo basicamente uma laje contínua e maciça de concreto, com resistência característica do concreto definida em razão de aspectos de durabilidade e resistência estrutural, conforme a NBR – 6118 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2014). Dentre suas vantagens destacam-se a rapidez na execução, redução de mão-de-obra, redução na quantidade de fôrmas e redução ao máximo dos recalques diferenciais, este último sendo bastante prejudicial para a metodologia construtiva aqui citada, uma vez que a estrutura composta por paredes sanduíche é monolítica e muito suscetível a recalques diferenciais. Os sistemas hidrossanitários, elétricos, de comunicação, segurança e outros, que venham a interferir no radier, são posicionados antes de sua concretagem.

Entretanto, a depender do tipo de terreno, podem ser adotados outros tipos de fundação desde que o solo possua resistência suficiente para garantir a ausência de recalques diferenciais. Devido ao alívio de carga, promovido pela seção e materiais empregados nas paredes sanduíche, em muitos terrenos poderão ser adotadas soluções com custo menor que o radier, como a sapata corrida, sendo o projetista o responsável pela solução mais eficiente.

Após a conclusão da infraestrutura os painéis são fixados à fundação pela sua base linearmente ou intercaladas (Figura 9), com barras de aço CA-50 de

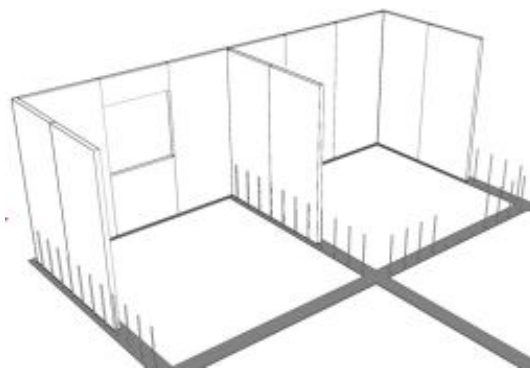
8mm de diâmetro, espaçadas a cada 30 cm e procurando sempre posicionar ao menos uma no centro de cada painel, com engasgamento na fundação de no mínimo 10 cm e ancoragem mínima de 30 cm nos painéis (PRETEC, 2017). Essas barras de aço podem ser posicionadas juntamente com a armadura de fundação ou colocadas posteriormente, realizando furos na fundação e fixando-as com adesivo epóxi para ancoragem estrutural, conforme a locação e as definições do projeto (Figura 10).

Figura 9 - Disposição das barras de ancoragem



Fonte: PRETEC, modificado.

Figura 10 - Ancoragem dos painéis

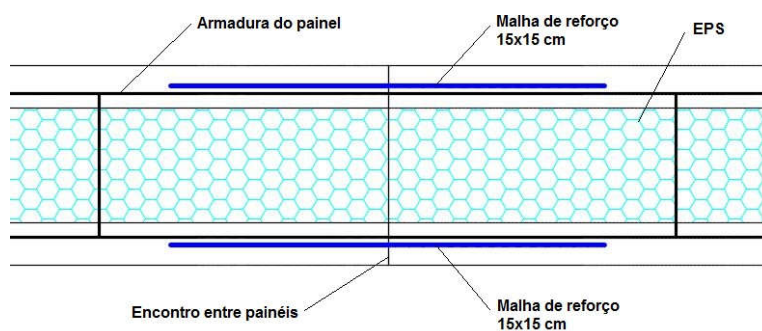


Fonte: PRETEC, modificado.

Os painéis são fixados às barras de ancoragem por meio de arame recozido nº 18, torcidos. Entre si, eles são ligados por meio de telas estruturais

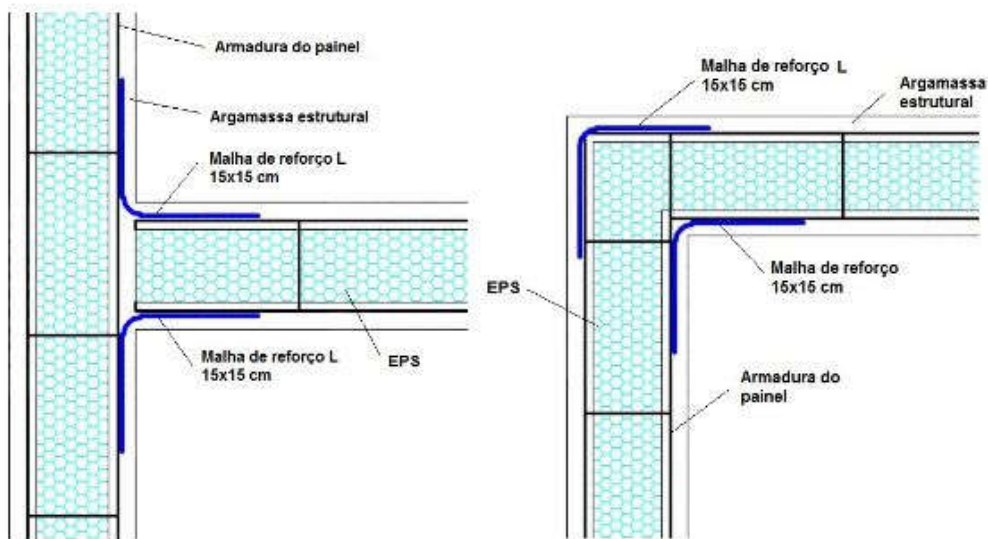
do tipo Lisa (Figura 11) aplicadas tanto do lado externo como do lado interno, fixadas com arame. No encontro entre paredes é colocada armadura de reforço do tipo L (Figura 12) nos cantos externos e internos, ou no encontro entre paredes e lajes nas faces inferiores e superiores. O comprimento do transpasse das malhas de reforço devem ser de no mínimo 15 cm para cada extremidade, com malhas de 150x150 mm. As figuras a seguir estão representadas em planta.

Figura 11 - Malha de reforço do tipo Lisa



Fonte: Acervo próprio.

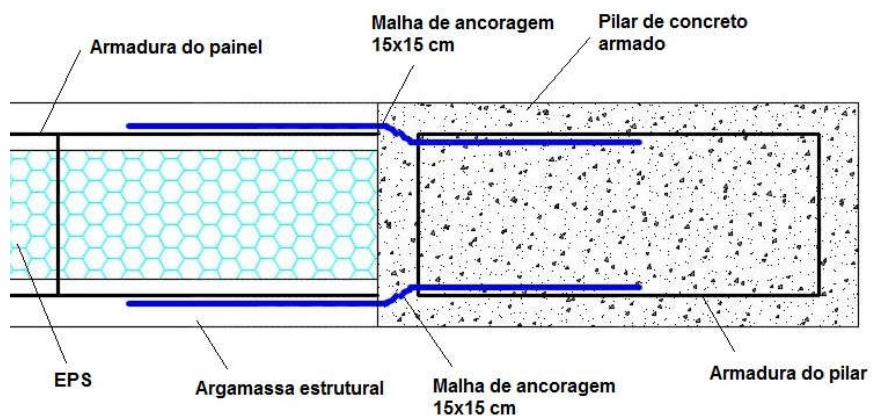
Figura 12 - Malha de reforço do tipo L



Fonte: Acervo próprio.

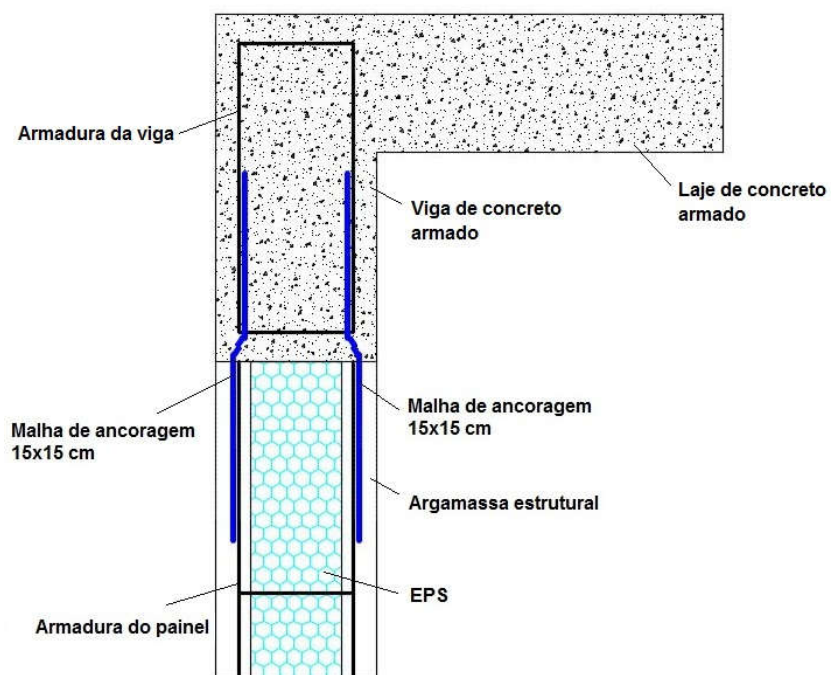
No caso de estruturas mistas entre painéis sanduiche e concreto armado, o encontro dos painéis com elementos estruturais, como pilares e vigas, deve ser realizado sua ancoragem, como mostram as Figuras 13 e 14, pois, elas dão continuidade estrutural às telas existentes nas faces dos painéis e os outros elementos.

Figura 13 - Ancoragem do painel em pilares



Fonte: Acervo próprio.

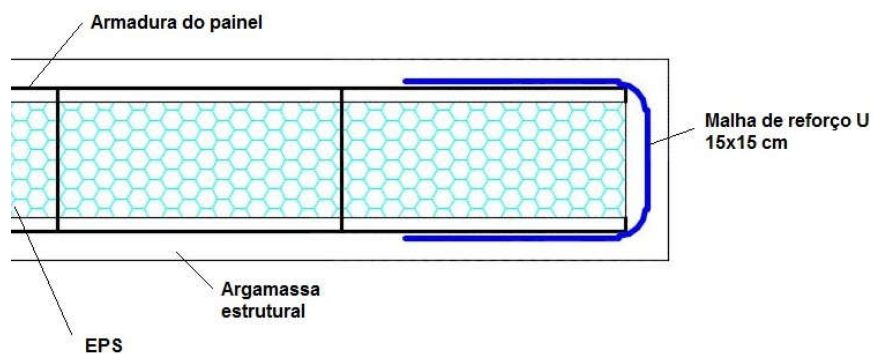
Figura 14 - Ancoragem do painel em vigas do pavimento superior



Fonte: Acervo próprio.

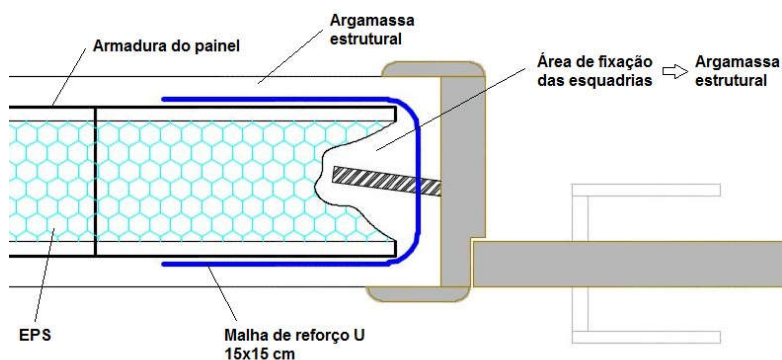
Nas aberturas de portais, portas e janelas ou extremidades livres, devem ser acrescentadas armaduras de reforço do tipo U (Figura 14) formando 180°, obedecendo o transpasse mínimo de 15 cm em cada extremidade. Na instalação das esquadrias, além da aplicação de armaduras de reforço, deve ser removida parte do EPS na região onde o fixador está localizado, reforçando o núcleo com argamassa estrutural (Figura 15). Nos cantos existentes nas aberturas dos painéis são adicionadas malhas de reforço para combater fissuras e deformações, aplicadas de forma oblíqua, buscando o ângulo de 45° com os lados (Figura 16).

Figura 14 - Malha de reforço do tipo U



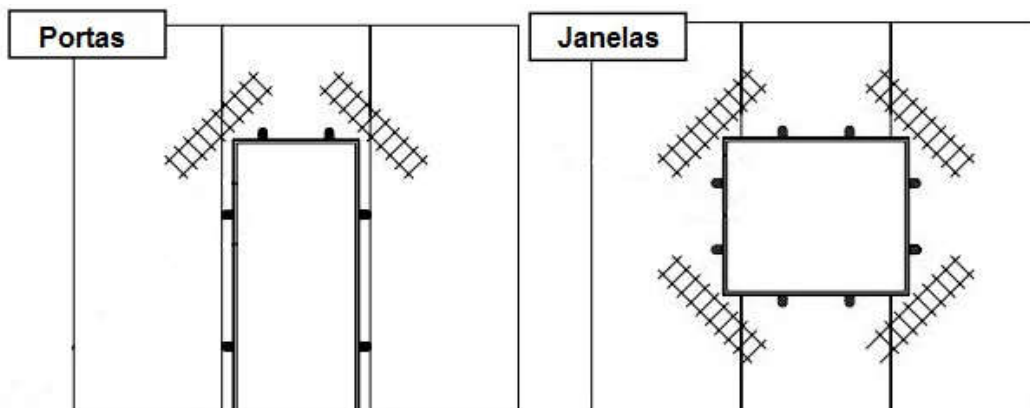
Fonte: Acervo próprio.

Figura 15 - Fixação das esquadrias



Fonte: Acervo próprio.

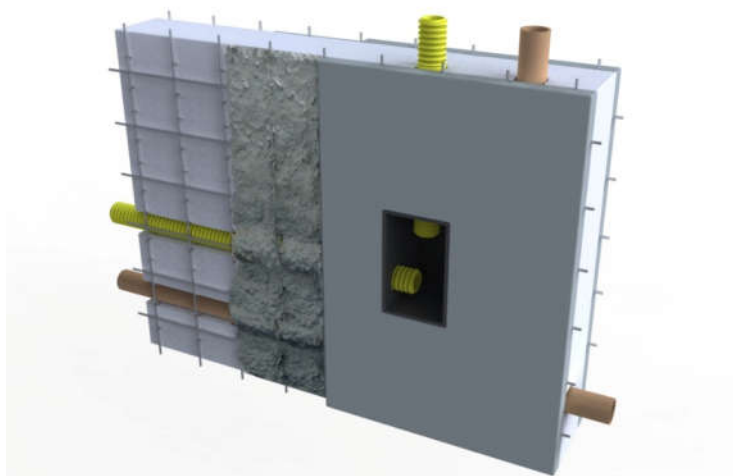
Figura 16 - Reforços em aberturas



Fonte: PRETEC, modificado.

Após a fixação de todos os painéis e aplicação dos reforços, inicia-se a execução das instalações elétricas, hidrossanitárias e cabeamento estruturado, com a colocação de eletrodutos, tubos e demais elementos (Figura 17). Esta etapa tem início pela execução de aberturas superficiais (sulcos) nos painéis, com a utilização de um soprador térmico com posterior aplicação das tubulações (Figura 18).

Figura 17 - Visão esquemática 3D do painel e instalações



Fonte: Sistema Monolite.

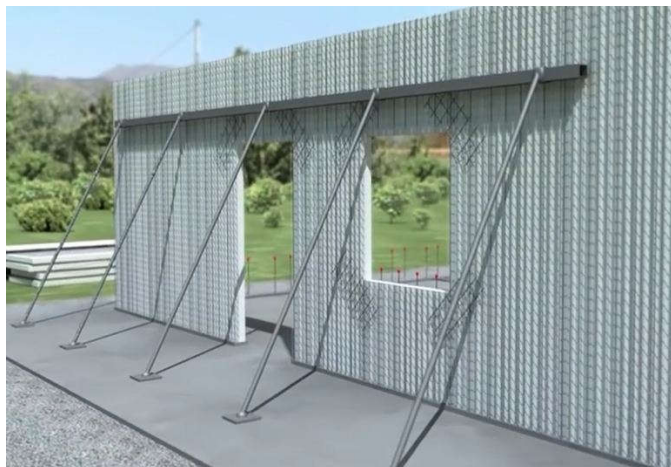
Figura 18 - Abertura de sulcos para instalações complementares



Fonte: Tecnoanel

Para finalizar a montagem são dispostos os elementos de travamento e fixação dos painéis montados. Recomenda-se o travamento dos painéis com escora muro e régua metálicas, garantindo assim melhor ajuste e maior produtividade (Figura 19), porém, podem ser utilizados sarrafos e escoras de madeira. As paredes montadas devem estar em perfeito alinhamento, com prumo correto e travadas de tal forma que a montagem da laje e o posterior impacto da argamassa projetada sobre o painel e a concretagem das lajes não provoquem desalinhamento.

Figura 19 - Travamentos metálicos das paredes



Fonte: Tecnoanel.

2.3.3 Montagem e execução da laje

O sistema de construção com paredes sanduíche possui também lajes com as mesmas características. As lajes são compostas de três camadas, sendo a face superior, camada de compressão, constituída de tela eletrosoldada e concreto, a face inferior, camada de tração, é constituída de tela eletrosoldada, barras de reforço em aço CA50 quando necessário e revestimento com projeção de argamassa estrutural, com resistência estabelecida em projeto. O núcleo continua sendo de EPS. A montagem das lajes é feita de maneira análoga a montagem das paredes.

Entretanto, pode ser utilizado o sistema de lajes treliçadas, com vigotas armadas e blocos de preenchimento em EPS. A utilização de blocos em EPS é de vital importância para promover alívio de esforços para a estrutura. Este sistema é indicado para lajes de piso por ser de execução conhecida e fácil, boa versatilidade, e apresentar bom desempenho estrutural. A montagem é feita a partir da confecção das vigotas armadas e disposição sobre a estrutura conforme estabelecido no projeto. Após esta disposição são colocados os blocos de EPS entre as vigotas, e possível aplicação de tela soldada e armaduras negativas adicionais conforme projeto. Para finalizar é feita a concretagem da laje.

2.3.4 Projeção de argamassa estrutural

O sistema construtivo possui grande praticidade de execução durante a etapa de aplicação da argamassa estrutural e revestimento. A aplicação pode ser manual ou por projeção mecânica. Para maior produtividade, utiliza-se o sistema de projeção pneumático da argamassa. Antes da projeção são executadas as mestras, que servem para demarcar as áreas de projeção, delimitando a espessura final da argamassa, e como apoio para régua utilizada no sarrafeamento. As mestras devem estar alinhadas e aprumadas para garantir o perfeito acabamento da camada.

O cobrimento da armadura deve ser feito de forma a garantir sua integridade de acordo com o cobrimento mínimo exigido. Segundo a NBR 11.173 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1990), o cobrimento

mínimo no caso de peças em ambientes protegidos é de 4 mm e em ambientes não protegidos é de 6 mm. A malha soldada deve ser posicionada no meio da face de concreto, obedecendo sempre os cobrimentos mínimos recomendados.

A projeção da argamassa estrutural é projetada no espaço definido pelas mestras ou pelo emestramento. A projeção começa de cima para baixo em quantidade suficiente para o preenchimento de camadas que não ultrapassem 10 mm de espessura, aguardando o período de pega inicial para que não ocorra deslizamento das camadas até atingir a espessura requerida, evitando assim o retrabalho. Após a projeção nas paredes é iniciada a projeção na face inferior das lajes, executando uma camada de revestimento com espessura variando entre 10 a 15 mm. As figuras 20 e 21 mostram a execução dos revestimentos nas paredes e lajes, respectivamente.

Figura 20 - Projeção de argamassa estrutural nas paredes



Figura 21 - Projeção de argamassa estrutural nas lajes



Fonte: Tecnopanel.

2.4 Análise de desempenho do sistema construtivo

Neste subcapítulo serão abordados aspectos referentes ao desempenho térmico, comportamento estrutural e comportamento frente ao fogo, com base em informações obtidas em estudos e experimentos realizados por bibliografias e instituições conceituadas.

A NBR 15.575 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2013) entrou em vigor a partir de 19 de julho de 2013. Seu principal objetivo foi

a reestruturação do setor da construção civil, através de requisitos mínimos de desempenho para edificações habitacionais. A Norma de Desempenho (ND) não estabelece materiais e procedimentos a serem utilizados na execução da edificação, mas sim resultados de desempenho a serem atingidos.

Os critérios de desempenho representam aspectos quantitativos dos requisitos, através de valores numéricos e métodos de aferição. Os requisitos de desempenho representam aspectos qualitativos, estabelecendo as características que os produtos devem apresentar em determinadas condições.

2.4.1 Desempenho térmico

O conforto térmico de uma edificação depende do desempenho térmico das suas partes constituintes, sendo as principais, vedações, cobertura e piso. O isolamento térmico das vedações é obtido pela média ponderada das transferências de calor dos seus componentes: paredes escuras ou claras, material constituinte, esquadrias translúcidas ou transparentes, e tipo de cobertura.

A transferência de calor entre os ambientes internos e externos determina o desempenho térmico da edificação. A determinação de requisitos e critérios de desempenho térmico proporciona conforto aos usuários e economia com a redução de gastos para resfriamento e aquecimento, tornando possível adequar moradias às condições climáticas locais.

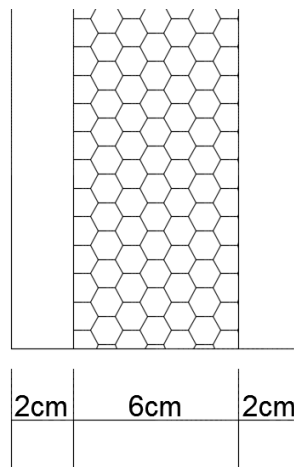
Segundo Frota e Schiffer (2009), quando as trocas de calor entre o corpo humano e o ambiente ocorrem sem maior esforço, a sensação do indivíduo é de conforto térmico e sua capacidade de trabalho, desse ponto de vista, é máxima.

O uso de equipamentos de aquecimento e resfriamento nas habitações é cada vez maior, acompanhado de maior gasto de energia. Os elementos de vedação podem contribuir no desempenho térmico da edificação, proporcionando aos ambientes internos temperaturas agradáveis, entretanto, dependendo de sua aplicação, seus efeitos poderão ser contrários, gerando desconfortos e até aumento no consumo de energia.

Para a análise do desempenho térmico, conhecendo a localização da edificação, neste caso em João Pessoa, são tomadas as fachadas para análise. Deve-se conhecer os materiais da fachada e a área de contribuição para as seções das vedações, para determinar a resistência térmica da parede. As formulações e cálculos utilizados foram retirados da NBR 15.220 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2005). A Figura 22 representa o perfil da parede que será utilizado para a análise.

- Paredes sanduíche:

Figura 22 - Esquema da parede sanduíche com núcleo de EPS



Fonte: Acervo próprio.

Resistência Térmica:

$$R_T = R_{si} + R_t + R_{se} \text{ (m}^2\text{K)/W}$$

R_{si} – Resistência superficial interna

R_{se} – Resistência superficial externa

R_t – Resistência superficial núcleo

Onde:

$$R_T = R_{argamassa} + R_{eps} + R_{argamassa} \text{ (m}^2\text{K)/W}$$

Sendo:

$$R = \frac{e}{\lambda} \text{ (m}^2\text{K)/W ;}$$

e – Espessura da camada (m)

λ – Condutividade térmica do material (W/mK)

$R_{si} = 0,13 \text{ (m}^2\text{K)/W}$ e $R_{se} = 0,04 \text{ (m}^2\text{K)/W}$, segundo a NBR 15.220;

$$R_t = \frac{e_{arg}}{\lambda_{arg}} + \frac{e_{eps}}{\lambda_{eps}} + \frac{e_{arg}}{\lambda_{arg}} \text{ (m}^2\text{K)/W}$$

$$R_t = \frac{0,02}{1,15} + \frac{0,06}{0,04} + \frac{0,02}{1,15} = 1,53 \text{ (m}^2\text{K)/W}$$

Então a Resistência Total:

$$R_T = 0,13 + 1,53 + 0,04 = 1,70 \text{ (m}^2\text{K)/W}$$

Transmitância Térmica:

$$U = \frac{1}{R_T} \text{ W/(m}^2\text{K)}$$

$$U = \frac{1}{1,70} = 0,59 \text{ W/(m}^2\text{K)}$$

Quanto menor a transmitância térmica, menor a quantidade de calor trocado entre os ambientes interno e externo, melhorando assim o conforto térmico da edificação. A NBR 15.220 estabelece que para vedações leves a transmitância deve ser inferior a 3,00 W/(m²K). Desse modo, satisfaz a norma.

Capacidade térmica da parede:

Verificação:

$$C_{Ta} = \sum_{i=1}^5 e_i c_i \rho_i \text{ kJ/(m}^2\text{K)}$$

$$C_{Tparede} = (e_i c_i \rho_i)_{arg} + (e_i c_i \rho_i)_{eps} + (e_i c_i \rho_i)_{arg} \text{ kJ/(m}^2\text{K)}$$

e_i – Espessura (m)

c_i – Calor específico (J/kgK)

ρ_i – Densidade de massa aparente (kg/m³)

$$C_{Tparede} = 2 * (0,02 * 1,0 * 2000)_{arg} + (0,06 * 1,42 * 15)_{eps}$$

$$C_{Tparede} = (80)_{arg} + (1,28)_{eps} = 81,28 \text{ kJ/(m}^2\text{K)}$$

A capacidade térmica determina a quantidade calor que um corpo precisa receber para alterar sua temperatura em uma unidade. Assim, quanto maior a capacidade térmica da vedação, menor será a variação de temperatura interior proveniente das mudanças no ambiente externo.

Segundo a NBR 15.575, para edifícios habitacionais de até 5 pavimentos – parte 4, para zona bioclimática 8, onde está localizada a cidade de João Pessoa, as fachadas devem apresentar nível de desempenho, quanto a capacidade térmica, igual ou superior a 45 kJ/(m²K). Desse modo, satisfaz a norma.

Atraso Térmico:

Para vedações compostas:

$$\varphi = 1,382 * R_t \sqrt{B_1 + B_2} \text{ (Horas)}$$

Onde:

$$R_t = 1,98 \text{ (m}^2\text{K)/W}$$

$$B_1 = 0,226 * \frac{B_0}{R_t}$$

$$B_2 = 0,205 * \left(\frac{(\lambda\rho c)_{ext}}{R_t} \right) * \left(R_{ext} - \frac{R_t - R_{ext}}{10} \right)$$

$$B_0 = C_{Tparede} - (e\rho c)_{arg ext}$$

Então:

$$B_0 = 81,28 - (0,02 * 1,0 * 2000) = 41,28$$

$$B_1 = 0,226 * \frac{41,28}{1,70} = 5,49$$

$$B_2 = 0,205 * \left(\frac{(1,15 * 1,0 * 2000)_{ext}}{1,70} \right) * \left(0,02 - \frac{1,70 - \frac{0,02}{1,15}}{10} \right)$$

$$B_2 = -41,12$$

Segundo a norma, quando " B_2 " assume valores negativos, deve-se desprezar o valor.

Assim,

$$\varphi = 1,382 * 1,70 \sqrt{5,49} = 5,50 \text{ Horas}$$

O atraso térmico é o período correspondente, entre a defasagem das amplitudes de temperatura interna e externa de uma edificação, em horas. Em outras palavras, quanto maior o atraso térmico maior o isolamento da vedação. A NBR 15.220 estabelece que para vedações leves o atraso térmico de ser maior ou igual a 4,3 horas. Desse modo, o valor encontrado satisfaz a norma.

Fator Solar – FS:

$$FS = 4 * U * \alpha$$

Para paredes brancas, $\alpha = 0,2$

$$FS = 4 * 0,59 * 0,2 = 0,47\%$$

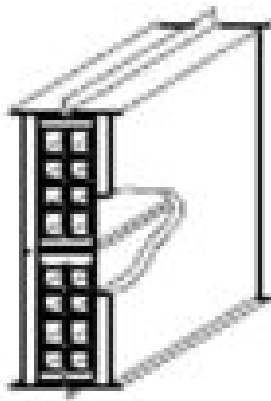
De acordo com a NBR 15.220, os tipos de vedações externas – paredes, para a zona bioclimática 8, recomenda o uso de parede leve refletora. O Fator Solar deve ser inferior a 4%, satisfazendo a norma.

- Paredes em alvenaria de blocos cerâmicos:

A NBR 15.220 apresenta no Anexo D, na Tabela D.3 as características de diversas paredes comumente utilizadas no Brasil. Dentre elas, está a parede

composta por tijolos de 8 furos quadrados (9,0x19,0x19,0 cm), assentados na menor dimensão, com espessura da argamassa de assentamento de 1,0 cm e espessura de revestimento de 2,5 cm, totalizando assim a espessura total de 14 cm (Figura 23). As características da parede de alvenaria em blocos cerâmicos são mostradas abaixo:

Figura 23 - Esquema da parede alvenaria de blocos cerâmicos



Fonte: NBR 15.220 - Desempenho térmico das edificações (Anexo D).

Transmitância Térmica:

$$U = 2,49 \text{ W/(m}^2\text{K)}$$

Capacidade térmica da parede:

$$C_{Tparede} = 158 \text{ kJ/(m}^2\text{K)}$$

Atraso Térmico:

$$\varphi = 3,3 \text{ Horas}$$

Quadro 1 - Comparativo entre as paredes

Descrição	U [W/(m ² K)]	C _{Tp} [kJ/(m ² K)]	φ [h]
Parede sanduíche com painel armado e núcleo de EPS, revestido com 2 camadas de argamassa armada. Espessura do EPS: 6 cm Espessura da argamassa (camada): 2 cm Espessura total da parede: 10 cm	0,59	81,28	5,50
Parede de tijolos 8 furos quadrados, assentados na menor dimensão. Dimensões do tijolo: 9,0 x 19,0 x 19,0 cm Espessura da argamassa de assentamento: 1 cm Espessura da argamassa de emboço (camada): 2,5 cm Espessura total da parede: 14 cm	2,49	158,00	3,30
NBR – 15220 (Zona 8)	≤ 3,00	≥ 45,00	≥ 4,30

Fonte: Acervo próprio.

O Quadro 1 apresenta o resumo das principais características das paredes analisadas e os limites de norma. A parede sanduíche atende todos os parâmetros referentes ao desempenho térmico para zona bioclimática 8, ao contrário da parede em alvenaria de blocos cerâmicos, que não atende ao atraso térmico e dessa forma não satisfaz o mínimo exigido pela Norma de Desempenho.

2.4.2 Comportamento estrutural

A seguinte análise do comportamento estrutural dos painéis sanduíche está baseada na Norma de Desempenho para edifícios de até 5 pavimentos - Parte 2: estrutura e Parte 4: fachadas e paredes internas. A análise consiste na verificação, através de ensaios, a satisfação das exigências estabelecidas pela referida norma para sistemas de vedações verticais externas e internas.

Devido à necessidade de ensaios para a verificação de resistência do referido sistema construtivo, serão mostrados e discutidos resultados obtidos em ensaios realizados na Universidade Federal de Santa Maria e no Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo (IPT), a pedido da empresa Hi-

Tech Materiais de Construção Ltda. O painel sanduíche utilizado pela empresa é do tipo simples, ou seja, possui duas faces de argamassa estrutural com 3 cm de espessura e núcleo em EPS com 8 cm de espessura, variando a malha de aço utilizada e o fck da argamassa estrutural, que são determinados no dimensionamento da parede.

A resistência à compressão da argamassa estrutural utilizada na construção dos painéis é fornecida pelo projetista estrutural da edificação, variando de acordo com a necessidade de cada projeto. A dosagem e o tipo de componentes utilizados definem a resistência da argamassa utilizada em campo, sendo de vital importância à realização de ensaios para comprovar sua resistência à compressão e tração.

Portanto, determinar a resistência da argamassa estrutural utilizada na execução dos painéis é de vital importância para assegurar as exigências de projeto e confirmar as hipóteses de cálculo. Para as paredes utilizadas pela empresa Hi-Tech, foi estabelecido uma resistência característica de 15 MPa. Desse modo, foi realizado o Ensaio – 33.112 de resistência mecânica da argamassa na Universidade Federal de Santa Maria, que resultou em uma resistência média a compressão de 15 MPa (Tabela 1).

Tabela 1 - Resistência à tração na flexão e resistência à compressão da argamassa

Exemplar	Resistência à tração em flexão (MPa)	Exemplar	Resistência à compressão (MPa)	Resistências médias calculadas (MPa)	
				Tração na flexão	Compressão
1	3,40	1	16,5	3,1	15,8
		2	16,1		
2	2,60	3	13,6		
		4	15,3		
3	3,20	5	16,8		
		6	16,2		

Fonte: Ensaio – 33.112, Universidade Federal de Santa Maria.

A Norma de Desempenho estabelece ensaios para o cumprimento do nível de desempenho mínimo (M) para o sistema constituintes da estrutura, são eles: impactos de corpo mole e impactos de corpo duro. Os elementos estruturais devem ser ensaiados nas condições de solicitação a que se pretende submeter à edificação, garantindo assim seu desempenho.

2.4.2.1 Ensaios de impacto de corpo mole e corpo duro

As paredes externas e internas, que podem possuir função estrutural ou de vedação, devem resistir aos impactos de corpo mole e corpo duro que sofrem durante a vida útil do edifício. A resistência aos impactos traduz-se na energia de impacto a ser aplicada em paredes externas, com e sem função estrutural. Os impactos correspondem a choques acidentais gerados pela própria utilização do edifício, ou a choques provocados por tentativas intencionais, ou não. Dessa forma, são considerados os esforços gerados, tanto no exterior como no interior do edifício, diferenciando-se as paredes com e sem função estrutural, bem como as paredes de fachada e as paredes internas.

2.4.2.2 Critérios de impacto de corpo mole

Segundo a Norma de Desempenho, as paredes não devem sofrer ruptura ou instabilidade quando submetidas às energias de impacto estabelecidas nas Tabelas 3 a 5 da referida norma, sendo tolerada a ocorrência de fissuras, escamações, delaminações e outros danos em impactos de segurança, desde que sejam respeitados os limites para deformações instantâneas e residuais, apresentadas nas tabelas mencionadas neste parágrafo. A ação dos impactos não pode causar danos a outros componentes acoplados, como instalações e acabamentos acoplados a parede.

2.4.2.3 Método de avaliação do ensaio de corpo mole

Para cada situação ou localização dos elementos deve-se considerar, quando ensaiados, as especificidades adicionais referentes à localização do

elemento estrutural no edifício, sendo eles: fachada e exteriores, interiores, piso, guarda-corpos ou sistemas estruturais leves. O Quadro 2 mostra os critérios e níveis de desempenho para elementos estruturais localizados na fachada do edifício.

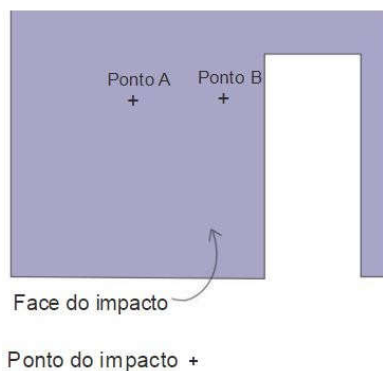
Quadro 2 - Critérios e níveis de desempenho para elementos estruturais localizados na fachada do edifício

Energia de impacto de corpo mole (J)	Critério de desempenho
720	Não ocorrência de ruína; são admitidas falhas localizadas (fissuras, destacamentos e outras)
480	Não ocorrência de ruína; são admitidas falhas localizadas (fissuras, destacamentos e outras)
360	Não ocorrência de ruína; são admitidas falhas localizadas (fissuras, destacamentos e outras)
240	Não ocorrência de falhas; Limitação do deslocamento horizontal: $dh < h/250$ e $dhr < h/1250$ para pilares, sendo h a altura do pilar $dh < L/200$ e $dhr < L/1000$ para vigas, sendo L o vão teórico da viga
180	Não ocorrência de falhas
120	Não ocorrência de falhas

Fonte: NBR 15575 - Norma de Desempenho para edifícios de até 5 pavimentos – Parte 4, 2013.

A Figura 24 mostra o esquema dos pontos de impacto referentes aos ensaios de corpo mole e corpo duro realizados pelo IPT.

Figura 24 - Esquema dos pontos de impacto do ensaio de corpo mole



Fonte: Hi-Tech Materiais de Construção Ltda.

A Quadro 3 apresenta os resultados do ensaio de corpo mole. A parede atende aos requisitos mínimos da Norma de Desempenho, garantindo sua integridade quando sujeita a impactos de corpo mole.

Quadro 3 - Resultados do ensaio de corpo mole

Impactos no Ponto A			
Energia (J)	Deslocamentos (mm)		Ocorrências
	Instantâneo	Residual	
120	3,0	0,0	Nada a relatar
240	4,0	0,0	Nada a acrescentar
240	5,0	0,0	Aparecimento de fissuras localizadas na face oposta à de impacto
240	6,0	1,5	Nada a acrescentar
360	7,0	1,5	Nada a acrescentar
480	8,0	2,5	Aparecimento de fissuras na face de impacto Aparecimento de fissuras generalizadas na face oposta à de impacto
720	10,0	3,0	Aparecimento de fissuras na face de impacto Aparecimento de fissuras generalizadas na face oposta à de impacto
Impactos no Ponto B			
Energia (J)	Deslocamentos (mm)		Ocorrências
	Instantâneo	Residual	
120	3,0	1,0	Nada a relatar
240	5,0	1,0	Nada a acrescentar
240	6,5	2,0	Aparecimento de fissuras localizadas em ambas as faces
240	7,0	2,0	Aparecimento de fissuras localizadas na face oposta à de impacto
360	9,0	2,0	Aparecimento de fissuras localizadas na face oposta à de impacto
480	12,0	2,5	Aparecimento de fissuras generalizadas em ambas as faces
720	13,5	3,0	Aumento das fissuras existentes Aparecimento de fissuras generalizadas em ambas as faces

Fonte: Ensaio 835.642 de corpo mole realizado pelo Instituto de Pesquisas Tecnológicas de São Paulo, 1996.

2.4.2.4 Critérios de impacto de corpo duro

Segundo a Norma de Desempenho, as paredes não devem sofrer ruptura ou traspassamento sob qualquer energia de impacto, sendo tolerada a ocorrência de fissuras, lascamentos e outros danos em impactos de segurança. As tabelas 6 a 8 da referida norma apresentam os critérios para o nível de desempenho mínimo (M).

2.4.2.5 Método de avaliação do ensaio de corpo duro

Para a avaliação da resistência e depressão provocada pelo impacto do corpo duro, é necessária a realização de ensaios em laboratório executados com protótipos ou obra, devendo, o corpo-de-prova, representar fielmente as condições executivas da obra, inclusive tipos de apoios e vinculações. O Quadro 4 apresenta os critérios e níveis de desempenho para elementos estruturais localizados na fachada do edifício.

Quadro 4 - Critérios e níveis de desempenho para impacto de corpo duro na face externa de elementos estruturais localizados na fachada do edifício e nas faces externas

Energia de impacto ¹ de corpo duro (J)	Critério de desempenho
3,75	Não ocorrência de falhas Mossas com qualquer profundidade
20	Não ocorrência de ruína Admitidas falhas superficiais como mossas, fissuras e desagregações
1 - Sentido do impacto de fora para dentro	

Fonte: NBR 15.575 - Norma de Desempenho para edifícios de até 5 pavimentos – Parte 4, 2013.

A Tabela 2 apresenta os resultados do ensaio de corpo duro. A parede atende aos requisitos mínimos da Norma de Desempenho, garantindo sua integridade quando sujeita a impactos de corpo duro.

Tabela 2 - Resultados do ensaio de corpo duro

Energia de impacto		Observações após dez impactos
Altura (cm)	Joules	
75	3,75	Sem alterações. Não ocorreram fissuras, escamações ou afundamentos
400	20	Sem alterações. Afundamentos praticamente imperceptíveis

Fonte: Ensaio 33110 de corpo duro realizado pela Universidade Federal de Santa Maria, 2006.

2.4.2.6 Avaliação dos resultados obtidos

O ensaio de corpo mole tem por finalidade avaliar o comportamento da estrutura frente a possíveis choques provocados por corpos com esta característica. A avaliação do conjunto de ensaios de corpo mole mostrou que a peça ensaiada tem capacidade de suportar impactos externos, em situação de localização de vedação térrea e para impactos internos, situação de localização das vedações, nos demais pavimentos, mostrando desempenho satisfatório, apresentando comportamento estável da vedação, sem apresentar alterações, como fissuras, falhas e rupturas de qualquer espécie. Também, na avaliação dos deslocamentos horizontais instantâneos provocados na vedação frente ao corpo impactante, para vedações verticais, sem fins estruturais, os valores de deslocamentos “*dh*” apresentados, foram bem inferiores ao limite mínimo estabelecido pela norma, como foi visto anteriormente, confirmando assim, sua viabilidade aos usos analisados.

Nos ensaios de corpo duro, o painel ensaiado também atingiu níveis satisfatórios de desempenho, como descrito anteriormente, demonstrando ser estáveis, sem apresentar danos perceptíveis e mantendo a integridade do revestimento. Como elemento de vedação, os painéis demonstraram ser estáveis, quanto aos esforços submetidos nos ensaios.

2.4.3 Comportamento do poliestireno expandido ao fogo

O comportamento dos materiais ao fogo é de extrema importância para garantir a segurança frente a acidentes e o risco de incêndio. Este

comportamento não depende somente da natureza química, mas também, do estado físico e localização do material. São destacados abaixo alguns fatores importantes para determinar o risco potencial de incêndio do EPS:

- A densidade do material expandido e forma do produto;
- Proximidade a possíveis fontes de ignição;
- A localização do produto (que influirá na transferência de calor);
- Presença de oxigênio (ventilação).

O poliestireno expandido não pode ser inflamado por faíscas ou resíduos de brasa, provenientes, por exemplo, de soldas elétricas ou por pontas acesas de cigarros. A energia fornecida por estes materiais em brasa é transformada em calor latente, necessário à fusão do EPS quando este passa à fase líquida, onde geralmente é esperada a possibilidade de inflamação, que não ocorre neste caso. Somente chamas acesas e aplicadas sobre o poliestireno podem inflamá-lo.

A NBR 11.948 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2007) descreve os mecanismos de inflamação e combustão, classificando o EPS como: Classe P – não retardante a chama e Classe F – retardante. A NBR 11.752 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2007) classifica o EPS quanto as suas propriedades, conforme a Quadro 5. O EPS do tipo F, quando aquecido, contrai progressivamente a partir dos 100 a 120°C e finalmente se funde. A temperaturas mais altas, entre 230 e 260°C, inicia-se o desprendimento de gases (ISOFERES, 2017).

Quadro 5 - Propriedades do EPS

Propriedades	Norma	Unid.	Tipos de EPS						
	Método Ensaio		Tipo 1	Tipo 2	Tipo 3	Tipo 4	Tipo 5	Tipo 6	Tipo 7
Densidade Aparente Nominal	NBR 11949	Kg/m ³	10,0	12,0	14,0	18,0	22,5	27,5	32,5

(continua)

Densidade Aparente Mínima	NBR 11949	Kg/m ³	9,0	11,0	13,0	16,0	20,0	25,0	30,0
Condutividade Térmica Máxima (23°C)	NBR 12094	W/m.K	-	-	0,042	0,039	0,037	0,035	0,035
Tensão por Compressão com deformação de 10%	NBR 8082	KPa	≥33	≥42	≥65	≥80	≥110	≥145	≥165
Resistência mínima à flexão	ASTM C-203	KPa	≥50	≥60	≥120	≥160	≥220	≥275	≥340
Resistência mínima ao cisalhamento	EN-12090	KPa	≥25	≥30	≥60	≥80	≥110	≥135	≥170
Flamabilidade (Classe F)	NBR 11948	-	Material Retardante à Chama						

Fonte: NBR 11752, 2007.

Esses gases não entram em combustão, sem a ajuda do calor externo, antes de alcançar temperaturas entre 450 a 500°C. A partir destas temperaturas o poliestireno pode se auto inflamar, sempre que a quantidade de oxigênio disponível seja suficiente. Uma vez inflamado, o material pode seguir sua combustão, até extinguir-se completamente.

O ar que está contido na estrutura celular do poliestireno expandido não possui oxigênio suficiente para a combustão. No caso das paredes sanduíche, o EPS está envolto de uma capa de argamassa ou outro elemento construtivo (eletrodutos corrugados), que impedem a chegada do oxigênio e de chamas externas como um curto-circuito. Em casos onde ocorra a combustão do poliestireno deve-se procurar apagar a chama externa, implicando na pausa imediata da combustão. Este fato demonstra a estabilidade e segurança do sistema construtivo em análise, quanto à questão de situações de incêndio.

A análise do comportamento ao fogo do poliestireno expandido não se limita nas condições de combustão ou não, sendo também, importante avaliar quais são os efeitos desta combustão. Segundo Bertoldi (2007), o EPS apresenta apenas 1,5 a 2,5% de seu volume constituído de material combustível e seu poder calorífico em caso de incêndio é de 145 a 240 kcal/dm³, frente a 2400 kcal/dm³ referente a madeira, por exemplo. Assim, para fins de

comparação, chega-se à conclusão que o aporte energético do EPS é bem inferior ao mobiliário presente nas edificações.

A toxicidade de fumaça liberada pelo EPS durante a combustão também é de vital importância para garantir a segurança em sua utilização. A liberação de gases tóxicos, como o gás carbônico (CO₂), pode afetar de forma direta a evacuação de uma edificação em chamas. O Quadro 6 compara os gases de combustão gerados pelo EPS e outros materiais comumente utilizados, resultantes do ensaio de toxicidade realizado pelo Centro de Segurança em Incêndios do TNO, localizado na Universidade de Delf, na Holanda.

Quadro 6 - Toxicidade de fumaça do EPS e materiais "naturais"

Tipo de amostra	Gases desprendidos	Composição do gás de combustão em ppm a diferentes temperaturas de ensaio			
		300°C	400°C	500°C	600°C
EPS tipo F	Monóxido de carbono	10*	50*	500*	1000*
	Componentes aromáticos	Traços	20	20	10
Madeira de pinho	Monóxido de carbono	400*	6000**	12000**	15000**
	Componentes aromáticos	Não detectado	Não detectado	Não detectado	300
Madeira aglomerada	Monóxido de carbono	14000**	24000**	59000**	69000**
	Componentes aromáticos	Traços	300	300	1000
Placas de cortiça expandida	Monóxido de carbono	1000*	3000**	15000**	29000**
	Componentes aromáticos	Traços	200	1000	1000
* queimado sem chama		** queimado com chama			

Fonte: TNO, Universidade de Delf, 1980.

A partir do quadro acima, é possível notar que mesmo a combustão do EPS produzindo fumaça preta, a toxicidade desta é consideravelmente menor do que aquela liberada por outros materiais comumente utilizados, o que torna totalmente viável a sua utilização na construção civil.

2.5 Critérios de dimensionamento

O procedimento inicial, assim como em todo dimensionamento estrutural, consiste em avaliar a magnitude dos esforços em cada um dos painéis participantes da estrutura portante. O estudo da distribuição de cargas laterais em painéis de contraventamento é feito com base no critério elástico. Esta distribuição não será estudada neste trabalho, será tratado apenas o dimensionamento do painel em si.

No dimensionamento dos painéis sanduíche será utilizada a teoria usual do concreto armado, dimensionados no Estado Limite Último (ELU), seguindo as orientações da NBR 6.118 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2014). O dimensionamento é realizado considerando que o painel possui composição total entre as placas, ou seja, que as duas placas trabalhem juntas para combater os esforços solicitantes. Segundo Fonsêca (1994), a seção transversal, considerando a composição total entre as placas, pode ser tratada como outra qualquer, embora não tenham sido tratados especificamente, coeficientes de segurança permitem que painéis parcialmente compostos possam ser dimensionados com a mesma teoria.

Os painéis sanduíche devem ser dimensionados para as ações decorrentes da situação do painel em sua posição final na estrutura, caracterizando as condições de serviço. Diversos fatores influem no comportamento do painel durante sua vida útil, como a amplitude térmica, retração das placas e, sendo os principais, os esforços solicitantes oriundos das cargas permanentes, peso próprio e sobrecargas.

2.5.1 Estado limite último

A NBR 6.118 (2014) define Estado Limite Último como o estado relacionado ao colapso, ou qualquer outra forma de ruína estrutural, que determine a paralisação do uso da estrutura. As hipóteses de cálculo a serem consideradas são:

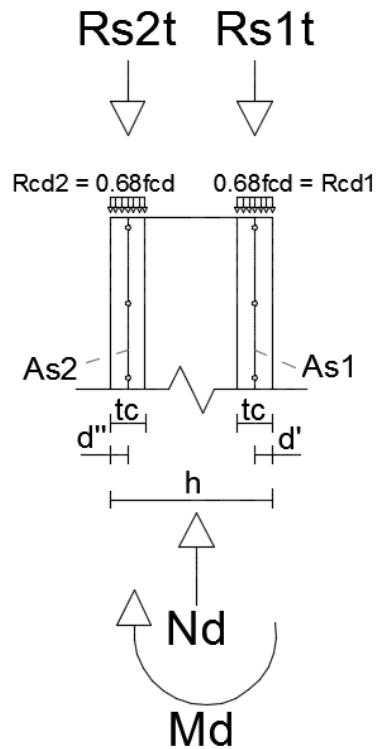
- a. As seções transversais permanecem planas;
- b. Para o encurtamento de ruptura do concreto, considera-se os seguintes valores:
 - para concretos de classes até C50:
 $\varepsilon_{cz} = 2,0 \text{ ‰}$;
 $\varepsilon_{cu} = 3,5 \text{ ‰}$;
- c. Alongamento máximo permitido ao longo da armadura de tração vale 10 ‰;
- d. A distribuição das tensões do concreto na seção se faz de acordo com o diagrama retangular simplificado permitido pela norma;
- e. A tensão na armadura é a correspondente à deformação determinada de acordo com as alíneas anteriores e obtida no diagrama tensão-deformação do aço.

Segundo Fonsêca (1994), a principal consideração a ser feita sobre o uso da teoria do concreto armado no cálculo de painéis sanduíche diz respeito à indeterminação do grau de composição entre as duas placas de concreto. Neste trabalho, optou-se por considerar um grau de composição total entre as placas, tornando assim, o estudo da seção sanduíche idêntico ao de uma seção usual de concreto armado, uma vez que o núcleo de EPS não tem contribuição estrutural.

O painel sanduíche possui seção composta por duas placas de mesma espessura e armaduras idênticas centradas em cada placa. Assim, considera-se que a seção possui comportamento composto e está submetida à flexão composta. Os conectores que ligam as duas placas não são considerados como parcela resistente aos esforços gerados no painel, possuindo a função de facilitar a montagem e armação dos painéis.

A Figura 25 representa os esforços no painel, considerando um modelo resistente na flexão composta normal, com pequena excentricidade e trabalhando a flexo-compressão.

Figura 25 - Esquema dos esforços no painel



Fonte: Acervo Próprio.

A partir do esquema mostrado, é possível obter as seguintes equações de equilíbrio:

- Equilíbrio das forças normais:

$$N_d = R_{cd1} + R_{cd2} + R_{s1t} + R_{s2t}; R_{cd1} = R_{cd2}$$

$$N_d = 2 * (0,68 * t_c * f_{cd}) + A_{s1} * f_{yd} + A_{s2} * f_{yd}$$

- Equilíbrio do momento:

$$M_d = \left(R_{s1t} * \left(\frac{h}{2} - d' \right) \right) - \left(R_{s2t} * \left(\frac{h}{2} - d'' \right) \right); d' = d''$$

$$M_d = f_{yd} * \left(\frac{h}{2} - d' \right) * (A_{s1} - A_{s2})$$

Com as equações de equilíbrio estabelecidas, é possível realizar o dimensionamento a flexo-compressão:

- dados: b , h , d' , f_{ck} , M_d , N_d , aço;
- incógnitas: A_{s1} e A_{s2} .

Cálculo:

Verificação -> $f_{yd} = 52,17 \text{ Kn/cm}^2$ (CA60) -> A_{s1} , A_{s2}

$$N_d - 0,68 * b * 2 * t_c - \frac{M_d}{\left(\frac{h}{2} - d'\right)} > 0$$

$$A_{s1} = \frac{1}{2 * f_{yd}} * \left[N_d - R_{cd} + \frac{M_d}{\left(\frac{h}{2} - d'\right)} \right]$$

$$A_{s2} = \frac{1}{2 * f_{yd}} * \left[N_d - R_{cd} - \frac{M_d}{\left(\frac{h}{2} - d'\right)} \right]$$

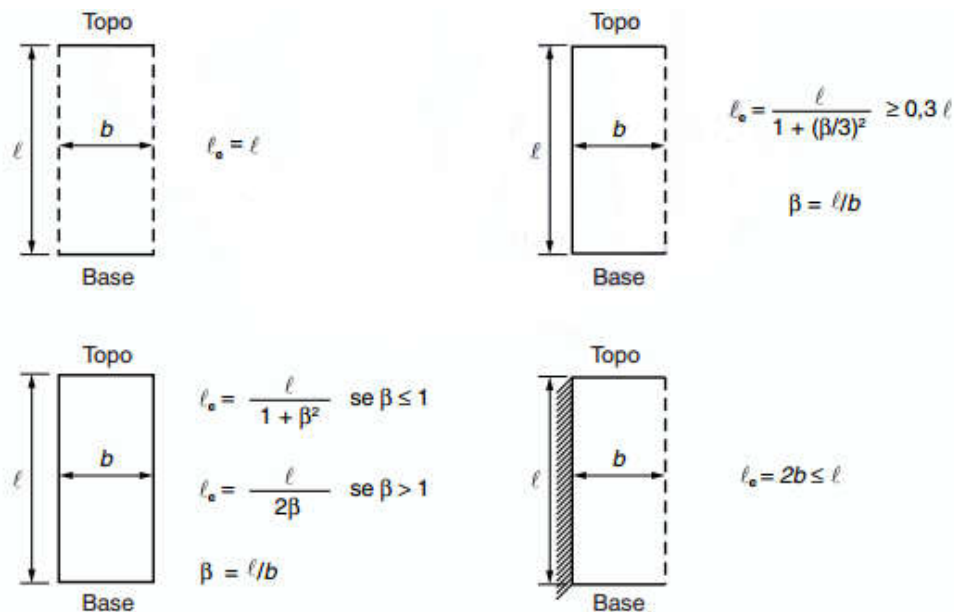
O momento “ M_d ” será ocasionado possivelmente por um carregamento lateral na parede, e por sua vez, pode ser aplicado na face interna ou na face externa. Assim, a maior área de aço calculada deve ser aplicada em ambas as faces resistentes.

2.5.2 Avaliação do índice de esbeltez das paredes sanduíche

O índice de esbeltez de um pilar é a razão entre o comprimento de flambagem l_e e o raio de giração mínimo r_{min} : $\lambda = \frac{l_e}{r_{min}}$. Para as paredes sanduíche, esta análise é feita de forma similar. O comprimento de flambagem varia de acordo com as condições de contorno. Segundo a NBR 6.118 (2014), o

comprimento de flambagem para paredes fixadas no topo e na base está representado na Figura 26.

Figura 26 – Representação da vinculação dos painéis e comprimento equivalente l_e



Fonte: NBR 6.118, 2014.

Segundo a NBR 6.118 (2014), os pilares devem ter índice de esbeltez menor ou igual a 200 ($\lambda \leq 200$). Para pilares com índice de esbeltez superior a 140, na análise de 2ª ordem, devem-se multiplicar os esforços solicitantes finais de cálculo por um coeficiente adicional:

$$\gamma_{n1} = 1 + \left[0,01 * \frac{(\lambda - 140)}{1,4} \right]$$

γ_{n1} = coeficiente de segurança para o esforço normal de compressão.

Ainda segundo a norma, os efeitos de 2ª ordem podem ser desprezados quando a base e o topo de cada parede estiverem convenientemente fixados às lajes do edifício e o índice de esbeltez λ_i for menor que 35, que pode ser calculado pela expressão a seguir:

$$\lambda_i = 3,46 * \frac{l_{ei}}{h_i}, \text{ onde } \lambda_i \leq 35$$

l_{ei} = comprimento equivalente;

h_i = é a espessura do painel.

2.5.3 Momento de segunda ordem (processo simplificado)

A determinação dos efeitos locais de 2ª ordem pode ser feita pelo processo simplificado. Este processo pode ser empregado no cálculo de pilares com $\lambda \leq 90$, com seção constante e armadura simétrica e constante ao longo de seu eixo. O efeito localizado de 2ª ordem, dado pela NBR 6.118 (2014), deve ser calculado pela expressão:

$$M_{d,tot} = \alpha_b * M_{1d,A} + N_d * \frac{l_e^2}{10} * \frac{1}{r} \geq M_{1d,A}$$

$\alpha_b = 1,0$, para pilares biapoiados com cargas transversais significativas ao longo da altura;

$M_{1d,A}$ = valor de cálculo de 1ª ordem do momento Ma;

$M_{1d,A} \geq M_{1d,mín}$.

$$M_{1d,mín} = N_d * (0,015 + 0,03h)$$

h = é a altura total da seção transversal na direção considerada, em metros (m).

A curvatura $\frac{1}{r}$ do eixo da peça é determinada por:

$$\frac{1}{r} = \frac{0,005}{(v+0,5)*h} \leq \frac{0,005}{h}$$

Onde:

$$v = \frac{N_d}{A_c * f_{cd}}$$

h = altura da seção considerada;

v = força normal adimensional.

2.5.4 Verificação do efeito de segunda ordem

O processo de verificação mostrado a seguir foi obtido da tese de Fonsêca (1994), onde o autor se baseou na literatura da PCI Design Handbook, empresa especializada no dimensionamento de painéis sanduíche.

O referido processo permite a verificação da estabilidade de um painel sujeito a carga axial considerada fora do seu plano médio. Trata-se da verificação de painéis como elementos isolados.

a. Sem contribuição da carga lateral:

$$P_u = 1,4 * g + 1,7 * q \quad \beta_d = \frac{1,4 * g}{1,4 * g + 1,7 * q}$$

$$P_0 = 0,1 * f'c * A_c \quad EI = \frac{\emptyset * E_c * I_g}{1 + \beta_d}$$

$$\emptyset = 0,9 - 0,2 * \left(\frac{P_u}{P_0} \right)$$

Processo de verificação:

1. Considera-se a excentricidade inicial mais a acidental para a carga axial P_u ;
2. Calcula-se a flecha no meio do vão devido ao momento da carga P_u pela excentricidade (inicial + acidental): $\delta_M = \frac{P_u * e * l^2}{16 * EI}$;
3. Calcula-se a deflexão térmica no meio do painel, δ_T ;
4. A flecha de primeira ordem é: $\Delta_1 = \delta_T + \delta_M$;
5. Calcula-se a flecha de segunda ordem no meio do vão devido a excentricidade Δ_1 . Este valor está em função da excentricidade (e):

$$\Delta_2(e) = \frac{P_u * e * l^2}{16 * EI};$$

6. Processo iterativo:

$$\delta_1 = \Delta_2(e) \text{ para } e = \Delta_1$$

$$\delta_2 = \Delta_2(e) \text{ para } e = \Delta_1 + \delta_1$$

$$\delta_3 = \Delta_2(e) \text{ para } e = \Delta_1 + \delta_2$$

A convergência do resultado assegura a estabilidade do painel para a carga em questão.

- b. Com contribuição da carga lateral:

O processo que inclui o efeito do vento apresenta apenas algumas modificações em relação ao anterior:

$$\text{Reduzir a carga axial: } P_u = 0,75 * (1,4 * g + 1,7 * q)$$

$$\text{Admitir: } \beta_d = 0 \text{ e } \phi = 0,9;$$

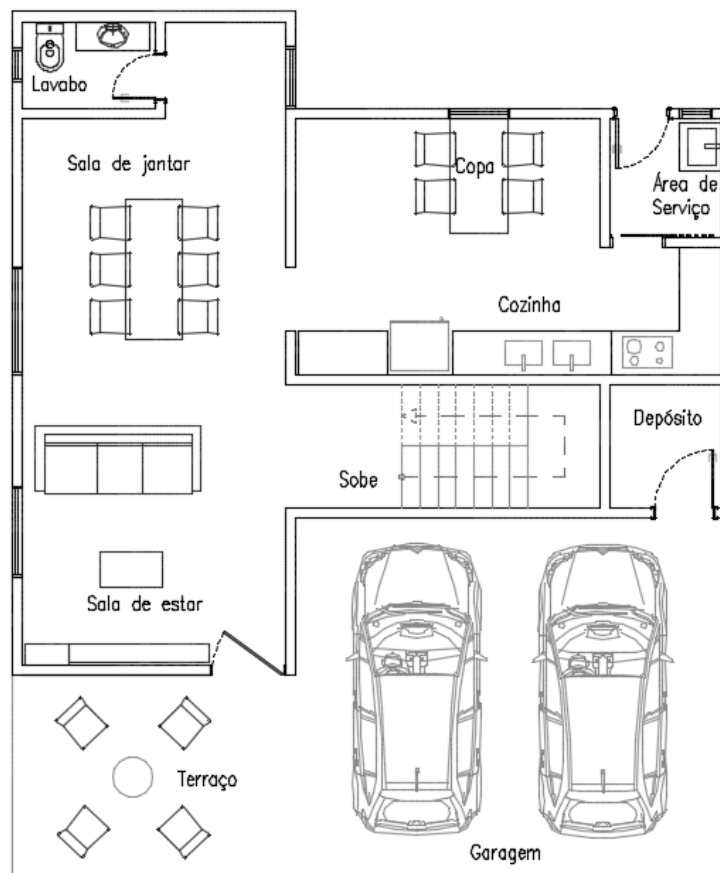
A flecha Δ_1 deve incluir a flecha devido à carga de vento: $\Delta_1 = \delta_T +$

$$\delta_M + \delta_v, \text{ sendo } \delta_v = \frac{5 * q * l^4}{3 * 8 * EI} \text{ com } q = 0,75 * 1,7 * \text{ carga de vento.}$$

3. ELABORAÇÃO DE PROJETOS ESTRUTURAIS EM CONCRETO ARMADO E PAREDES SANDUÍCHE AUTOPORTANTES COM NÚCLEO DE EPS

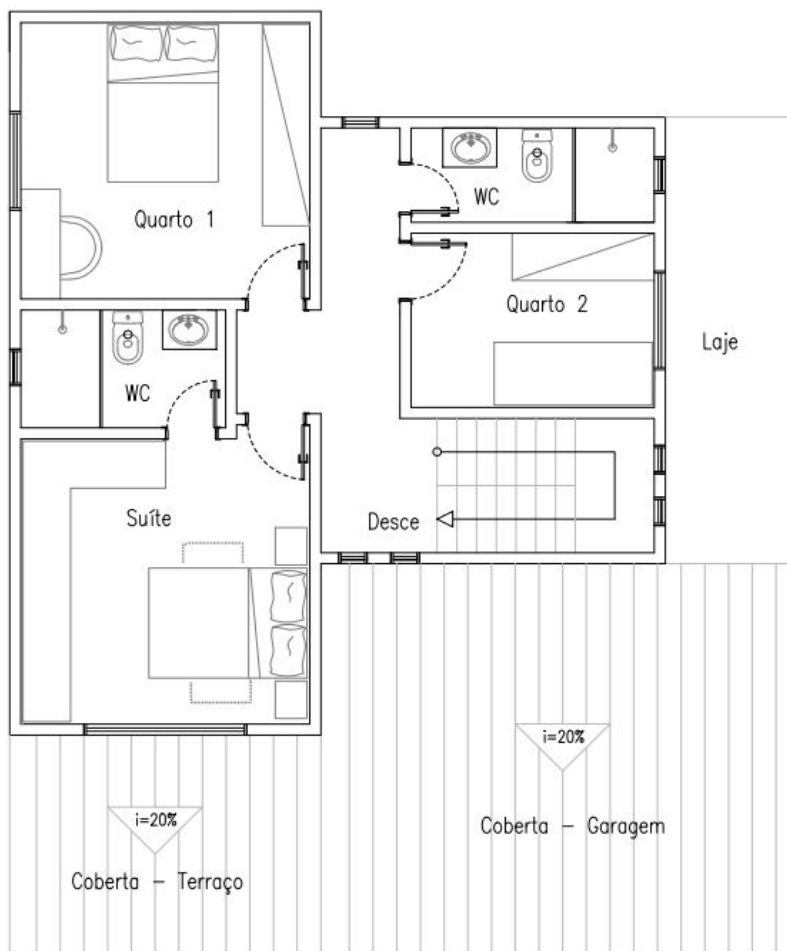
Neste capítulo serão apresentados dois modelos estruturais, com sistemas construtivos diferentes, para um mesmo projeto arquitetônico. A edificação consiste em uma residência unifamiliar de dois pavimentos, com pé direito de 2,80 m. A cobertura da edificação será em telhas de fibrocimento com platibanda de 1,00 m, e a cobertura da garagem (e terraço) em estrutura de madeira independente. No térreo encontram-se os seguintes ambientes: salas de estar e jantar, lavabo, copa e cozinha, área de serviço, depósito e garagem, tendo uma área de 112,17 m². O segundo pavimento é composto por suíte, dois quartos e banheiro social, tendo uma área de 61,11 m². Assim, a área construída totaliza 173,28 m², conforme os projetos mostrados a seguir (Figuras 27 e 28).

Figura 27 -Pavimento térreo



Fonte: Acervo Próprio.

Figura 28 - Primeiro pavimento



Fonte: Acervo Próprio.

A primeira etapa consistirá no dimensionamento da edificação composta de vigas e pilares concreto armado, laje pré-moldada treliçada com lajotas de EPS e fundação em sapatas. A vedação será constituída de alvenaria em blocos cerâmicos de 8 furos, com dimensões 9,0 x 19,0 x 19,0 cm, assentados e revestidos com argamassa. Este modelo construtivo caracteriza grande parte das edificações construídas na região Nordeste.

A segunda etapa consistirá no dimensionamento da edificação em paredes sanduiche autoportantes, com o uso de pilares e vigas para distribuição de esforços, laje pré-moldada treliçada com lajotas de EPS, escada em concreto armado e fundação em sapata corrida. A estrutura, portanto, será caracterizada

como uma estrutura mista de concreto armado e paredes sanduiche, sendo um modelo construtivo que ainda não é muito utilizado no Brasil.

3.1 Dimensionamento da estrutura em concreto armado

Inicialmente, foi realizado o estudo do projeto arquitetônico para a definição da disposição inicial dos pilares e vigas, que serviu de base para o pré-dimensionamento estrutural.

Os elementos estruturais foram dimensionados no Estado Limite Último (ELU) e verificados no Estado Limite de Serviço (ELS), seguindo as orientações da NBR 6.118 (2014). A análise e o dimensionamento estrutural foram realizados através do programa comercial CYPECAD 2016® em sua versão estudante. Paralelamente, foram desenvolvidos a análise e dimensionamento manual de alguns elementos estruturais.

No desenvolvimento do trabalho, além do programa anteriormente mencionado, foi utilizado um programa com plataforma CAD® para a confecção das plantas.

São apresentados nos itens subsequentes as plantas de formas e modelos de detalhamento da estrutura, bem como configurações utilizadas no programa, características referentes aos materiais utilizados, e os esforços considerados no cálculo da estrutura.

3.1.1 Considerações Iniciais de Projeto

A edificação foi dimensionada em concreto armado com paredes de alvenaria e pé direito de 2,80 m para ambos os pavimentos. As características dos materiais utilizados no dimensionamento estrutural do edifício são:

- Aço CA-50, com resistência característica de 500 MPa ($f_{yk} = 500$ MPa);
- Aço CA-60, com resistência característica de 600 MPa ($f_{yk} = 600$ MPa);
- Classe de Agressividade Ambiental II – Moderada, de acordo com o Figura 29.

Figura 29 - Classes de Agressividade Ambiental

Classe de agressividade ambiental	Agressividade	Classificação geral do tipo de ambiente para efeito de projeto	Risco de deterioração da estrutura
I	Fraca	Rural	Insignificante
		Submersa	
II	Moderada	Urbana ^{a, b}	Pequeno
III	Forte	Marinha ^a	Grande
		Industrial ^{a, b}	
IV	Muito forte	Industrial ^{a, c}	Elevado
		Respingos de maré	

^a Pode-se admitir um microclima com uma classe de agressividade mais branda (uma classe acima) para ambientes internos secos (salas, dormitórios, banheiros, cozinhas e áreas de serviço de apartamentos residenciais e conjuntos comerciais ou ambientes com concreto revestido com argamassa e pintura).

^b Pode-se admitir uma classe de agressividade mais branda (uma classe acima) em obras em regiões de clima seco, com umidade média relativa do ar menor ou igual a 65 %, partes da estrutura protegidas de chuva em ambientes predominantemente secos ou regiões onde raramente chove.

^c Ambientes quimicamente agressivos, tanques industriais, galvanoplastia, branqueamento em indústrias de celulose e papel, armazéns de fertilizantes, indústrias químicas.

Fonte: NBR 6.118 (ABNT, 2014).

- Resistência característica do concreto (f_{ck}) de 25 MPa e relação água/cimento em massa menor ou igual a 0,60, de acordo com a classe de agressividade ambiental, adotada como parâmetro de entrada no Figura 30.

Figura 30 - Correspondência entre Classe de Agressividade e Qualidade do Concreto

Concreto ^a	Tipo ^{b, c}	Classe de agressividade (Tabela 6.1)			
		I	II	III	IV
Relação água/cimento em massa	CA	≤ 0,65	≤ 0,60	≤ 0,55	≤ 0,45
	CP	≤ 0,60	≤ 0,55	≤ 0,50	≤ 0,45
Classe de concreto (ABNT NBR 8953)	CA	≥ C20	≥ C25	≥ C30	≥ C40
	CP	≥ C25	≥ C30	≥ C35	≥ C40

^a O concreto empregado na execução das estruturas deve cumprir com os requisitos estabelecidos na ABNT NBR 12655.

^b CA corresponde a componentes e elementos estruturais de concreto armado.

^c CP corresponde a componentes e elementos estruturais de concreto protendido.

Fonte: NBR 6.118 (ABNT, 2014)

- O cobrimento das armaduras foi de 25 mm para lajes e 30 mm para vigas e pilares, de acordo com a classe de agressividade ambiental, adotada com parâmetro de entrada no Figura 31.

Figura 31 - Correspondência entre Classe de Agressividade e Cobrimento Nominal

Tipo de estrutura	Componente ou elemento	Classe de agressividade ambiental (Tabela 6.1)			
		I	II	III	IV ^c
		Cobrimento nominal mm			
Concreto armado	Laje ^b	20	25	35	45
	Viga/pilar	25	30	40	50
	Elementos estruturais em contato com o solo ^d	30		40	50
Concreto protendido ^a	Laje	25	30	40	50
	Viga/pilar	30	35	45	55

^a Cobrimento nominal da bainha ou dos fios, cabos e cordoalhas. O cobrimento da armadura passiva deve respeitar os cobrimentos para concreto armado.

^b Para a face superior de lajes e vigas que serão revestidas com argamassa de contrapiso, com revestimentos finais secos tipo carpete e madeira, com argamassa de revestimento e acabamento, como pisos de elevado desempenho, pisos cerâmicos, pisos asfálticos e outros, as exigências desta Tabela podem ser substituídas pelas de 7.4.7.5, respeitado um cobrimento nominal ≥ 15 mm.

^c Nas superfícies expostas a ambientes agressivos, como reservatórios, estações de tratamento de água e esgoto, condutos de esgoto, canaletas de efluentes e outras obras em ambientes química e intensamente agressivos, devem ser atendidos os cobrimentos da classe de agressividade IV.

^d No trecho dos pilares em contato com o solo junto aos elementos de fundação, a armadura deve ter cobrimento nominal ≥ 45 mm.

Fonte: NBR 6.118 (ABNT, 2014)

3.1.2 Lançamento da Estrutura no Programa

Com posse do projeto arquitetônico, foi realizado o lançamento estrutural da edificação, constituindo a primeira fase do projeto estrutural. É importante destacar sempre a inter-relação entre os projetos arquitetônicos e estruturais, definindo o posicionamento e as dimensões preliminares dos diversos elementos estruturais, sendo esta uma etapa preliminar no dimensionamento da estrutura. Através do programa, é possível importar arquivos provenientes da plataforma CAD e sobrepor os pavimentos, facilitando assim o lançamento da estrutura.

Segundo o manual do CypeCad (2016), a análise das solicitações realiza-se através de um cálculo espacial em 3D, por métodos matriciais de rigidez, considerando todos os elementos que definem a estrutura: pilares, paredes, muros, vigas e lajes. O programa estabelece a compatibilidade de deformações em todos os nós, considerando 6 graus de liberdade.

Os pilares são considerados como barras verticais entre cada piso, com um nó de arranque de fundação ou em outro elemento, como viga ou laje, e na intersecção de cada piso, sendo o seu eixo o da seção transversal. Os pilares são lançados através da captura de pontos provenientes da plataforma CAD, com a possibilidade de alteração na forma da seção, nos coeficientes de flambagem, de engastamento e de rigidez axial. Foram utilizados pilares retangulares com dimensões, 14 x 30 cm, que suportaram todos os esforços solicitantes.

As vigas são definidas em planta fixando nós na intersecção com as faces de elementos de suporte, como pilares ou outras vigas. Assim criam-se os nós no eixo e nos bordos laterais, ou seja, nas extremidades da viga. As vigas são lançadas de forma semelhante aos pilares, ou seja, através da captura de pontos no plano XY. O programa disponibiliza diversos tipos de vigas, seções e configurações, bem como a possibilidade de inserção de rótulas onde o projetista julgar adequado e alteração coeficiente de engastamento, uma vez que ao lançar as vigas o programa considera os nós como ligações rígidas. Foram utilizadas vigas retangulares com duas seções: 12x30 cm e 12x40 cm.

As lajes são lançadas após as vigas, definindo suas características e selecionando a área de contorno. Após o lançamento, o programa considera as lajes engastadas nas vigas, cabendo ao projetista configurar as condições de contorno. As lajes utilizadas foram do tipo treliçadas e foram dimensionadas a mão, com posterior aplicação de cargas no programa.

A escada é dimensionada através de um módulo adicional do programa, onde o usuário pode montar diversas formas estruturais de escadas, com diferentes dimensões e materiais, e em seguida efetuar o cálculo da escada e posiciona-la na estrutura principal. A escada possui dois lances apoiados em

vigas e um patamar intermediário apoiado em alvenaria lateral. A fundação adotada foi em sapatas armadas.

3.1.3 Ações consideradas

As ações nas estruturas podem ser divididas em verticais e horizontais.

As ações verticais são subdivididas em ações permanentes e variáveis. Nas ações permanentes são considerados o peso próprio das peças estruturais, paredes, revestimentos, dentre outros. Nas ações variáveis estão as sobrecargas de utilização, definidas pela NBR 6.120 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1980), assim como o peso específico dos materiais utilizados nas edificações. Existem ainda as cargas especiais que podem ser adicionadas pelo usuário como cargas pontuais, lineares e de superfície. As ações verticais consideradas no dimensionamento estrutural foram as seguintes:

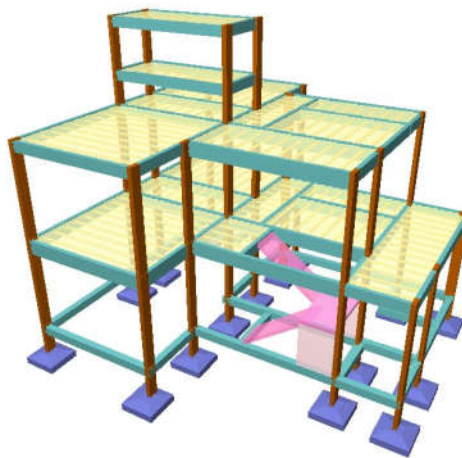
- Peso próprio das peças estruturais: o programa determina de forma automática;
- Carga permanente sobre as lajes do 1º pavimento = 1,50 kN/m²;
- Carga permanente sobre as lajes da cobertura = 0,50 kN/m²;
- Carga permanente referentes as paredes = $13 \times 0,15 \times 2,50 = 4,55$ kN/m;
- Carga permanente referente ao reservatório = 4,50 kN/m²;
- Sobrecarga de utilização (quartos e banheiros) = 1,5 kN/m²;
- Sobrecarga de utilização (escada) = 3,0 kN/m².

As ações horizontais são compostas em geral pelas cargas geradas por ventos e sismos. Devido a pequena altura da edificação não foram introduzidos esforços provenientes ao vento. Com relação aos sismos, no Brasil não existem regiões sujeitas a abalos sísmicos que possam prejudicar ou provocar danos as estruturas, e assim como as ações do vento não foram computadas.

3.1.4 Visualização do Pórtico 3D e Plantas de Formas

Concluída a etapa de lançamento da estrutura, é possível visualizar o Pórtico 3D (Figura 32), onde cada elemento do pórtico possui cores diferentes.

Figura 32 - Pórtico 3D gerado no CypeCAD



Fonte: Acervo próprio

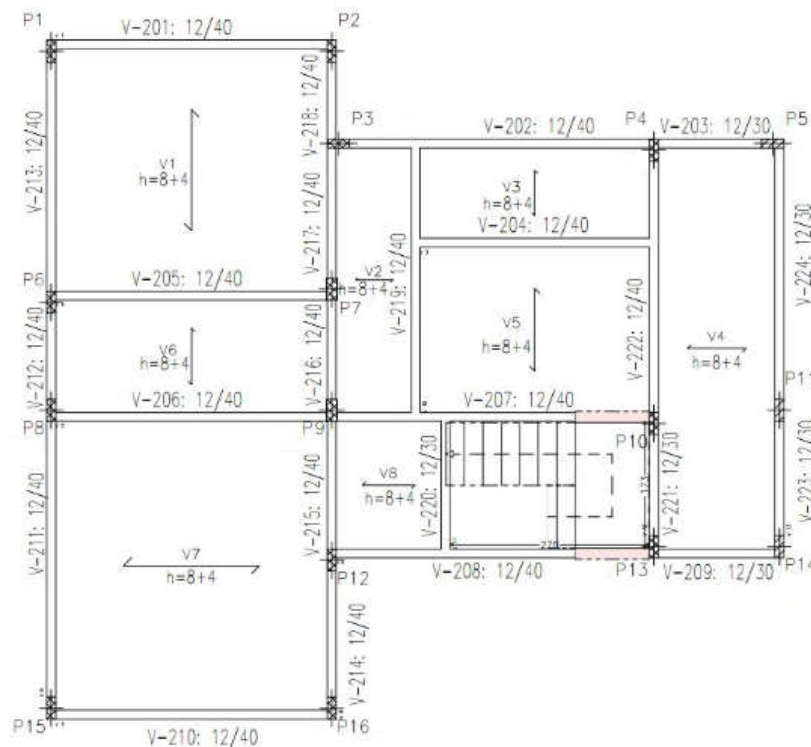
Após ter efetuado o primeiro dimensionamento para as vigas, pilares e lajes, deve-se analisar os resultados obtidos e prosseguir com o aprimoramento do modelo estrutural. A verificação da estrutura deve ser processada sempre que houver alguma alteração nos elementos estruturais, e deve incluir a análise dos parâmetros de estabilidade global, a inspeção visual da estrutura e a verificação dos deslocamentos nos pontos críticos.

A utilização do programa permite efetuar uma análise mais consistente e dinâmica do comportamento estrutural. Esta análise é muito importante para a avaliação da evolução do desempenho da estrutura na medida em que ela vai sendo dimensionada. Pode ser um parâmetro de referência no momento em que seja necessário tomar uma decisão sobre a modificação de uma parte do modelo estrutural para atender aos requisitos de estabilidade.

Durante o dimensionamento é importante repetir o cálculo das vigas, incluindo a verificação de flechas e deslocamentos, diagramas de esforços solicitantes e dimensionamento das seções resistentes e armaduras para todos os pavimentos. Assim muitos problemas referentes aos estados limites de serviço, como deformações excessivas e fissuração, podem ser evitados. A seguir, são mostradas as plantas de formas para o 1º Pavimento, Figura 33 e para a Coberta, Figura 34.

A estrutura do 1º Pavimento possui laje treliçada com 12 cm de espessura total, sendo 4 cm a espessura da capa de concreto, como blocos de EPS com 8 cm de altura e treliças com 10 cm de base, espaçadas em 40 cm. As vigas do referido pavimento possuem seção retangular, sendo a maioria com dimensões 12 x 40 cm. A escada por sua vez será concretada com a laje, com 12 cm de espessura, e patamar apoiado sobre alvenaria de uma vez nas laterais. Os pilares possuem seção retangular de 14 x 30 cm, seguindo a recomendação de área mínima estabelecida por norma de 360 cm² e menor dimensão igual a 14 cm.

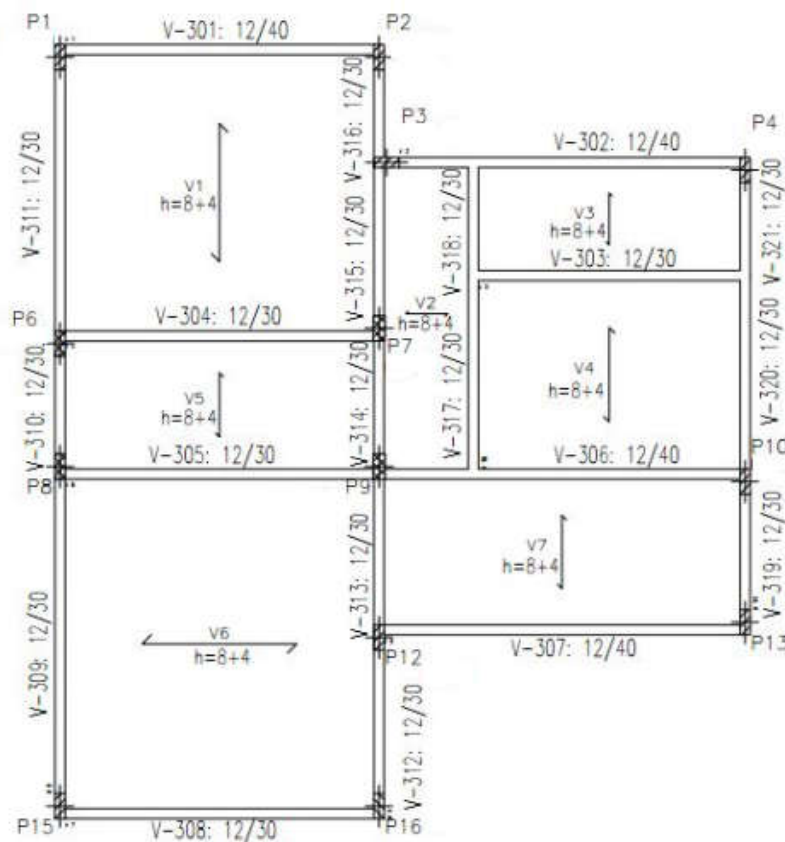
Figura 33 - Planta de formas do 1º Pavimento



Fonte: Acervo próprio

A estrutura da Coberta também possui laje treliçada com 12 cm de espessura total, sendo 4 cm a espessura da capa de concreto, como blocos de EPS com 8 cm de altura e treliças com 10 cm de base, espaçadas em 40 cm. As vigas do referido pavimento possuem seção retangular, sendo a maioria com dimensões 12 x 30 cm. Os pilares possuem seção retangular de 12 x 40 cm, mantendo as dimensões do pavimento inferior.

Figura 34 - Planta de formas da Coberta



Fonte: Acervo próprio

3.2 Dimensionamento da estrutura em paredes sanduiche autoportantes com núcleo de EPS

Assim como ocorre no dimensionamento de outros sistemas estruturais e construtivos, foi realizado o estudo do projeto arquitetônico para a definição da disposição inicial das paredes armadas, vigas e pilares de concreto armado,

utilizados em pontos que necessitam de reforço, originando a planta de formas que serviu de base para o pré-dimensionamento estrutural.

São apresentados nos itens subsequentes as plantas de formas e modelos de detalhamento da estrutura, bem como a metodologia de dimensionamento, características referentes aos materiais utilizados, e os esforços considerados no cálculo da estrutura.

3.2.1 Considerações Iniciais de Projeto

A edificação foi dimensionada com estrutura e vedações em paredes sanduíche com núcleo de EPS e placas de argamassa estrutural, com pé direito de 2,80 m para ambos os pavimentos. As características dos materiais utilizados no dimensionamento estrutural do edifício são:

- Aço CA-50, com resistência característica de 500 MPa ($f_{yk} = 500$ MPa), para armaduras de concreto armado;
- Aço CA-60, com resistência característica de 600 MPa ($f_{yk} = 600$ MPa), para as armaduras das paredes armadas e estribos;
- Classe de Agressividade Ambiental II – Moderada (Figura 29).
- Resistência característica do concreto (f_{ck}) de 15 MPa e relação água/cimento em massa menor ou igual a 0,60, de acordo com a classe de agressividade ambiental (Figura 30).
- O cobrimento das armaduras foi de 25 mm para lajes e 30 mm para vigas e pilares, de acordo com a classe de agressividade ambiental (Figura 31).
- O cobrimento das telas eletrosoldadas foi de 8 mm para as paredes armadas, atendendo o limite mínimo de 6 mm estabelecido na NBR 11.173 (1990) – Projeto e execução de argamassa armada.

3.2.2 Lançamento da Estrutura

Com posse do projeto arquitetônico, foi realizado o lançamento estrutural da edificação, constituindo a primeira fase do projeto estrutural. Como o sistema

construtivo possui paredes estruturais, o lançamento da estrutura torna-se mais simples que o sistema em concreto armado.

Deve-se evitar dispor as nervuras de lajes unidirecionais em paredes com grandes aberturas, tais como portas, portais e janelas. Em locais onde há carregamentos e ausência de paredes, como grandes aberturas ou grandes panos de parede sobre laje no pavimento superior, devem ser posicionados pórticos de concreto armado. A laje será em vigotas treliçadas com blocos em EPS.

A escada será em concreto armado, sendo dimensionada da mesma forma do sistema estrutural anterior, possuindo dois lances apoiados em vigas e um patamar intermediário apoiado nas paredes sanduíche. A fundação adotada para as paredes sanduíche foi sapata corrida e para as estruturas em concreto armado, sapatas isoladas.

3.2.3 Ações consideradas

As ações consideradas no dimensionamento estrutural foram:

- Peso próprio das paredes sanduíche = $25 \times 0,04 \times 2,80 = 2,80 \text{ kN/m}$;
- Peso próprio das lajes = $1,63 \text{ kN/m}^2$
- Carga permanente sobre as lajes do 1º pavimento = $1,50 \text{ kN/m}^2$;
- Carga permanente sobre as lajes da cobertura = $0,50 \text{ kN/m}^2$;
- Carga permanente referente ao reservatório = $4,50 \text{ kN/m}^2$;
- Sobrecarga de utilização (quartos e banheiros) = $1,5 \text{ kN/m}^2$;
- Sobrecarga de utilização (escada) = $3,0 \text{ kN/m}^2$.

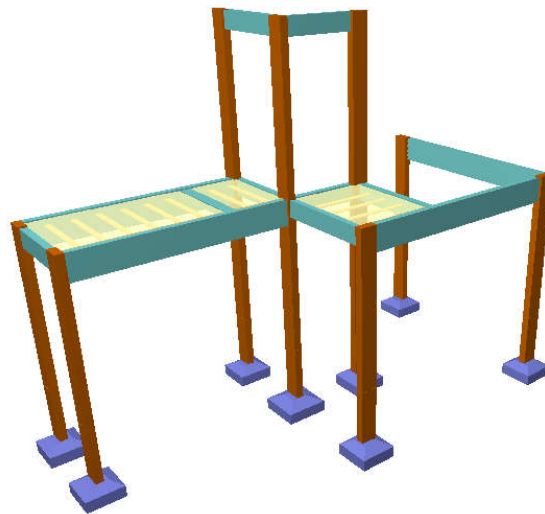
Assim como no sistema estrutural em concreto armado, as ações horizontais geradas por ventos e sismos não foram consideradas. Entretanto foi considerada uma possível sobrecarga acidental no sentido transversal da parede:

- Carga acidental na face das paredes = $1,5 \text{ kN/m}^2$.

3.2.4 Visualização do Pórtico 3D e disposição das paredes sanduíche

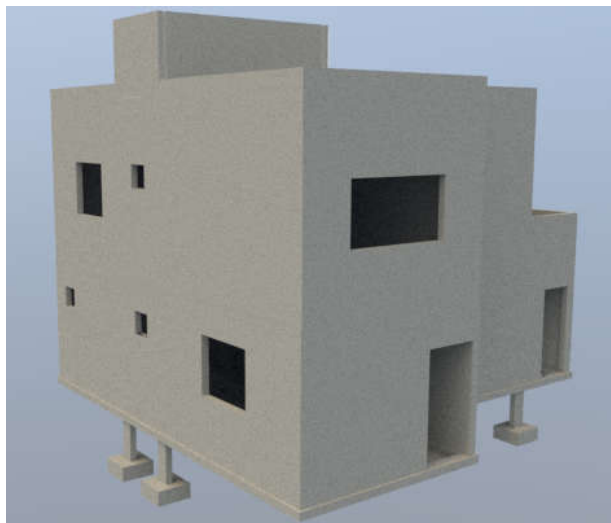
Concluída a etapa de lançamento da estrutura, é possível visualizar o pórtico 3D em concreto armado (Figura 35) e a estrutura completa em sua disposição final (Figura 36), compondo um modelo de estrutura mista entre concreto armado e paredes armadas.

Figura 35 - Pórtico 3D em concreto armado



Fonte: Acervo próprio

Figura 36 - Estrutura 3D



Fonte: Acervo próprio

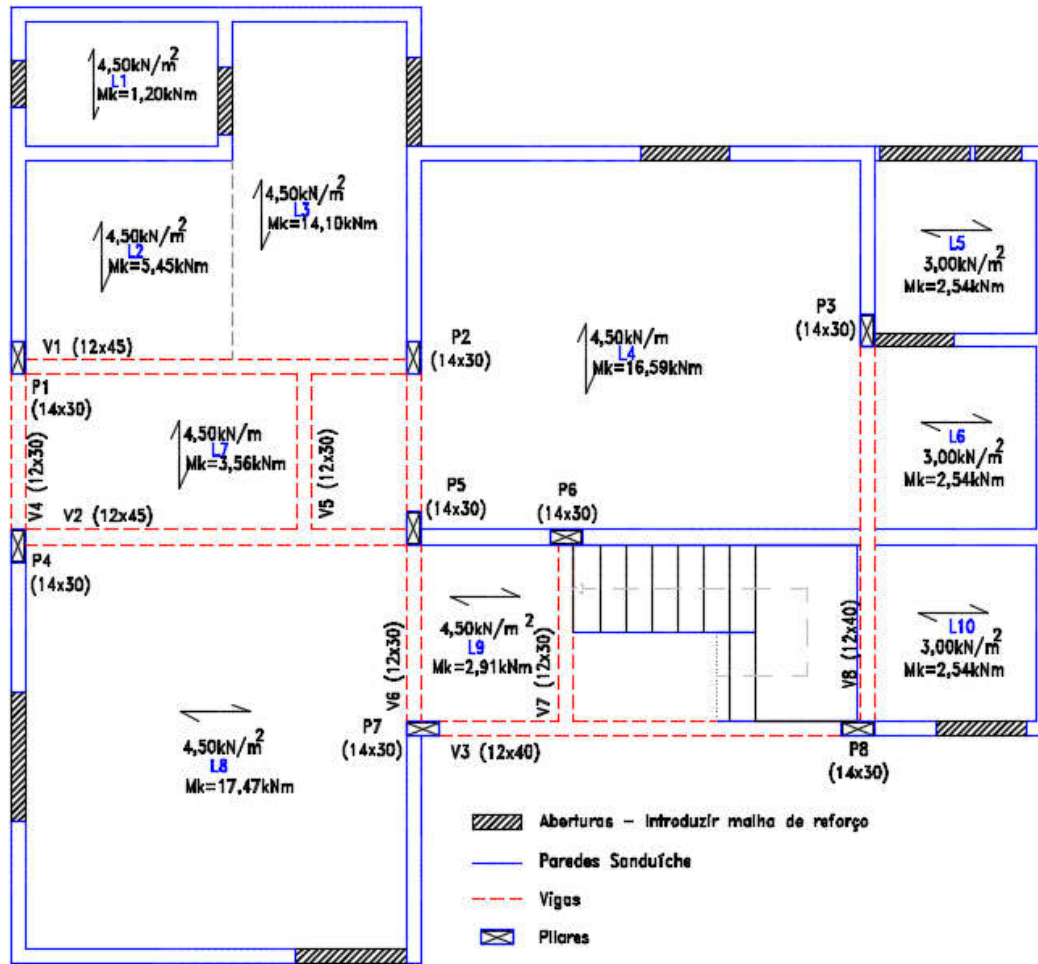
A estrutura do 1º Pavimento possui laje treliçada com 12 cm de espessura total, sendo 4 cm a espessura da capa de concreto, com blocos de EPS com 8 cm de altura e treliças com 10 cm de base, espaçadas em 40 cm. As vigas do referido pavimento possuem seção retangular. A escada por sua vez será concretada com a laje, com 12 cm de espessura, e patamar apoiado sobre as paredes estruturais nas laterais e fundo. Os pilares possuem seção retangular de 14 x 30 cm, seguindo a recomendação de área mínima estabelecida por norma de 360 cm² e menor dimensão igual a 14 cm. As paredes sanduíche são compostas com um núcleo de EPS de 6 cm e duas faces resistentes em argamassa estrutural com 2 cm de espessura cada, totalizando 10 cm de espessura total.

A disposição das vigas de concreto armado foi estabelecida de modo a suportar as cargas de paredes provenientes do 1º pavimento, uma vez que nos locais onde as vigas estão dispostas não há a possibilidade, devido a arquitetura, de posicionar paredes sanduíche. Vale ressaltar que o projetista deve estar atento a situações perigosas, como a localização da viga V3, posicionada na frente da garagem, local que está sujeito a acidentes e que não seria aconselhável a utilização de paredes autoportantes, visto que em caso de acidentes poderia levar a sua ruína.

A estrutura da Coberta também possui laje treliçada com 12 cm de espessura total, sendo 4 cm a espessura da capa de concreto, com blocos de EPS com 8 cm de altura e treliças com 10 cm de base, espaçadas em 40 cm. As vigas do referido pavimento possuem seção retangular, com dimensões 12 x 30 cm. Os pilares possuem seção retangular de 14 x 30 cm, mantendo as dimensões do pavimento inferior. Foram dispostas duas vigas com a função de receber cargas de lajes e descarrega-las nos pilares.

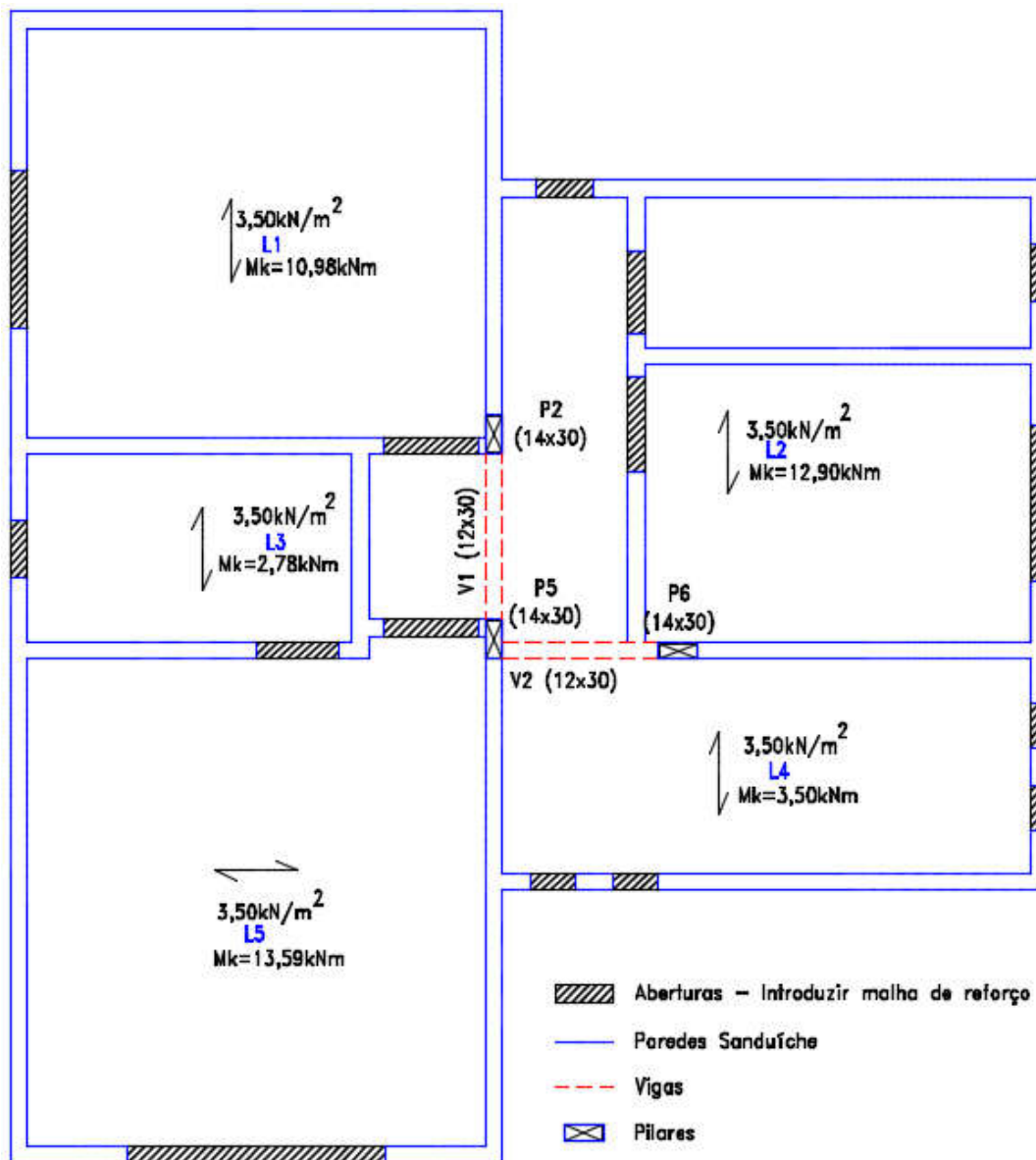
A seguir, são mostradas as plantas de formas para o 1º Pavimento, Figura 37 e para a Coberta, Figura 38.

Figura 37 - Planta de formas 1º Pavimento



Fonte: Acervo próprio.

Figura 38 - Planta de formas da Coberta



Fonte: Acervo próprio

3.2.5 Dimensionamento

As paredes sanduíche foram dimensionadas pelo modelo de flexão composta demonstrado no capítulo 2. A seção resistente de concreto utilizada é capaz de suportar todos os esforços solicitantes existentes na edificação. Os conectores entre as placas não apresentam função estrutural, possuindo apenas função construtiva.

Inicialmente foi calculado o esforço normal suportado para três tipos de telas soldadas mais usuais no mercado brasileiro, mantendo-se o momento de cálculo fixo, uma vez que está sendo considerada a mesma carga para todos os painéis. Os Quadros 10 a 12, mostram o esforço normal máximo suportado pelo painel para diferentes tipos de telas eletrosoldadas.

Quadro 7 - Verificação da armadura Q61

Cargas limite: faces de 2cm, fck 15 MPa e Armadura Q61			
N =	17,28	kN/m	Verificação de armadura
Nd =	24,19	kN/m	
Md =	205,8	kNcm	
fck =	15	MPa	
tc =	2	cm	
As1 =	0,61	cm ² /m	Armadura calculada
As2 =	0,40	cm ² /m	Armadura mínima

Fonte: Acervo Próprio

Quadro 8 - Verificação da armadura Q75

Cargas limite: faces de 2cm, fck 15 MPa e Armadura Q75			
N =	27,71	kN/m	Verificação de armadura
Nd =	38,80	kN/m	
Md =	205,8	kNcm	
fck =	15	MPa	
tc =	2	cm	
As1 =	0,75	cm ² /m	Armadura calculada
As2 =	0,40	cm ² /m	Armadura mínima

Fonte: Acervo Próprio

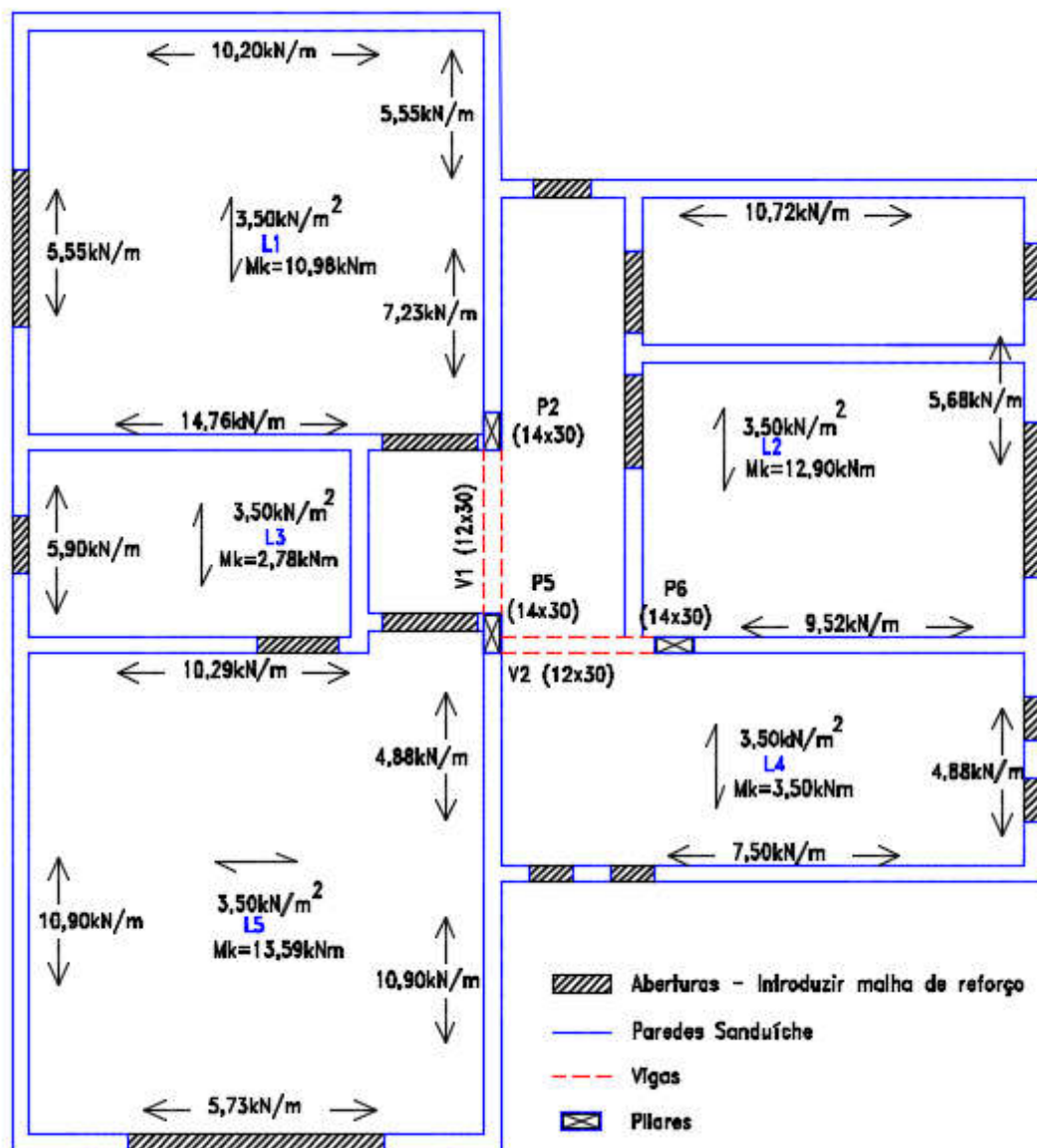
Quadro 9 - Verificação da armadura Q92

Cargas limite: faces de 2cm, fck 15 MPa e Armadura Q92			
N =	40,38	kN/m	Verificação de armadura
Nd =	56,54	kN/m	
Md =	205,8	kNcm	
fck =	15	MPa	
tc =	2	cm	
As1 =	0,92	cm ² /m	Armadura calculada
As2 =	0,40	cm ² /m	Armadura mínima

Fonte: Acervo Próprio

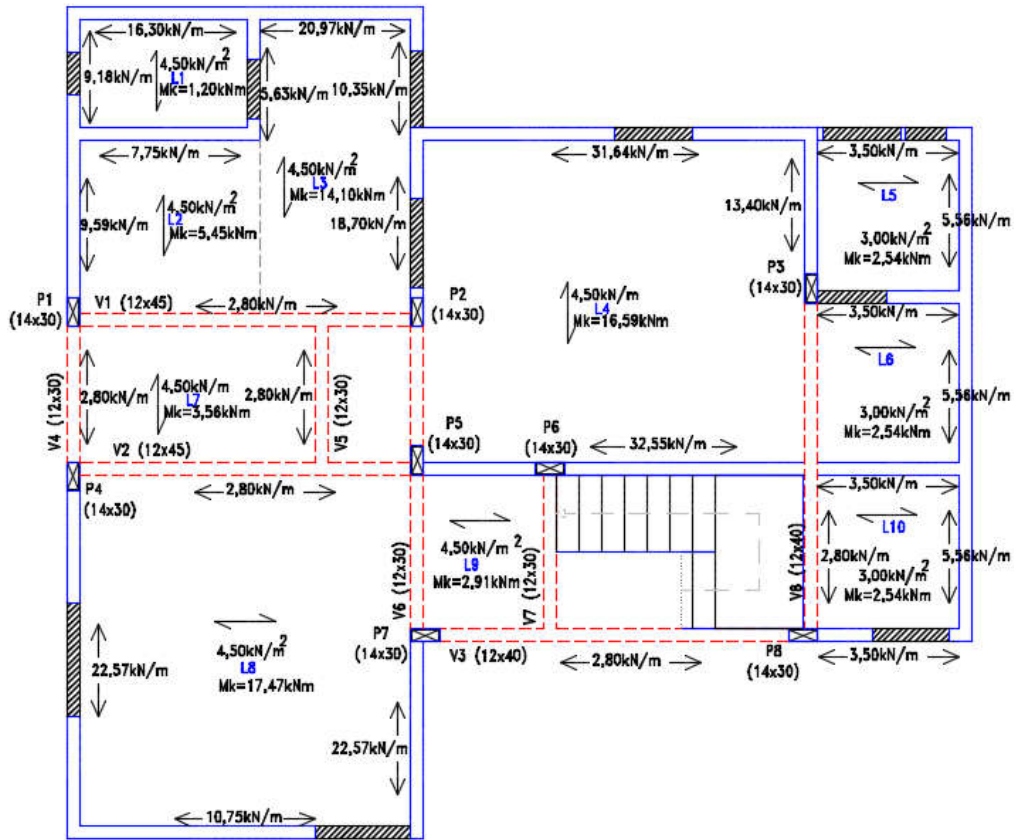
O próximo passo foi o cálculo do esforço normal em cada painel utilizando as cargas mostradas no item 3.2.3. Com o esforço determinado para cada painel é possível determinar a armadura que será empregada no mesmo. As Figuras 39 e 40 mostram o esforço normal em cada painel sanduíche.

Figura 39 - Esforço Normal no Primeiro Pavimento



Fonte: Acervo Próprio

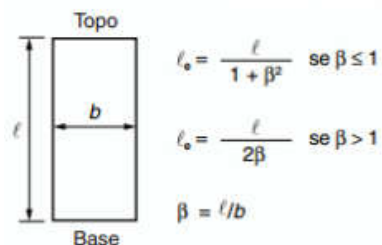
Figura 40 - Esforço Normal no Pavimento Térreo



Fonte: Acervo Próprio

O próximo passo é a verificação de flambagem para o painel sanduíche. A partir da formulação apresentada no capítulo 2, temos que o painel está fixo na base, no topo e nas laterais, conforme a Figura 41.

Figura 41 - Vinculação dos painéis analisados



Fonte: NBR 6.118, 2014.

Onde:

$$\beta = \frac{2,80}{1,00} = 2,80$$

$$le = \frac{2,80}{2 * 2,80} = 0,50 \text{ m}$$

$$\lambda_i = 3,46 * \frac{0,50}{0,10} = 17,30$$

Desse modo, obtém-se que o índice de flambagem é igual a 17,3 ($\lambda_i = 17,30$), possuindo $\lambda_i < 35$, sendo o painel dispensado da análise de 2ª ordem.

4 LEVANTAMENTO DOS QUANTITATIVOS E ORÇAMENTOS DOS MATERIAIS EMPREGADOS NOS SISTEMAS CONTRUTIVOS APRESENTADOS

Neste capítulo estão descritos os dados quantitativos obtidos para a execução da estrutura e fechamento da edificação em estudo, modelada em concreto armado e paredes sanduíche. Associado com os quantitativos estão especificados os valores dos materiais disponíveis no banco de dados do Sistema Nacional de Pesquisa de Custos e Índices da Construção Civil (SINAPI), para o estado da Paraíba.

Os quantitativos de volume de concreto, peso do aço, área de forma, vigotas treliçadas e blocos EPS (fechamento da laje), utilizados no sistema de concreto armado, foram obtidos através do software de dimensionamento estrutural. As quantidades de tijolos cerâmicos, argamassa de assentamento e revestimento, referentes ao sistema de vedação, e peças para o escoramento da estrutura durante a execução foram obtidas com cálculo manual. Os quantitativos de volume de argamassa estrutural, placas de EPS (núcleo das paredes), blocos de EPS (fechamento das lajes), telas eletrosoldadas e peças para o escoramento durante a execução das paredes sanduíche foram obtidos por cálculos manuais. A memória de cálculo dos quantitativos encontra-se nos Apêndices A e B.

Foi considerado que o concreto e argamassas serão fabricados no local da obra. O aço será adquirido em barras de 12 metros, sendo estas cortadas e dobradas em obra, as lajes pré-fabricadas são fornecidas por empresas da região, sendo necessário somente à montagem e concretagem das mesmas.

Nos subcapítulos a seguir serão apresentados os quantitativos referentes aos materiais utilizados na estrutura e vedação da edificação, bem como o orçamento com base no SINAPI para o mês de agosto de 2017 no estado da Paraíba, para cada sistema construtivo.

4.1 Quantitativos do sistema construtivo em concreto armado e vedação em alvenaria de blocos cerâmicos

Com base na quantidade de concreto, aço e formas, obtidos a partir do programa de dimensionamento estrutural, foi elaborada o Tabela 3.

Tabela 3 - Total de materiais utilizados na estrutura da edificação

Concreto (m ³)	Aço (kg)	Formas (m ²)	Blocos Cerâmicos - Laje (peça)	Vigotas pré- moldadas (m)
26,52	1548,88	254,23	1609	314,90

Fonte: Dados obtidos com auxílio do CypeCad 2016.

A resistência característica do concreto utilizado para o cálculo do modelo estrutural foi 25 MPa. Para determinar o traço utilizado, com fins didáticos, foi adotada a tabela prática de traços de concreto para uso em obras desenvolvida pelo Engenheiro Abílio de Azevedo Caldas Branco (Anexo 1).

O traço recomendado para atingir a resistência requerida seria 1:2:3, onde o consumo para cada metro cúbico de concreto está detalhado na Tabela 4.

Tabela 4 - Traço utilizado

Fck provável (MPa)	Traço em volume	Cimento (kg)	Areia seca (l)	Areia úmida (l)	Brita 1 (l)	Brita 2 (l)	Água (l)
25,4	1:2:3	344	486	622	364	364	210

Fonte: Tabela prática de traços de concreto para uso em obras, Engenheiro Abílio de Azevedo Caldas Branco.

Com base nas informações do consumo de materiais utilizados na obra e no traço escolhido, obtém-se a quantidade de componentes do concreto conforme a Tabela 5.

Tabela 5 - Total de constituintes do concreto

Concreto – 25 MPa		
Traço:	1 : 2 : 3 (Cimento : Areia úmida : Brita)	
Descrição	Quantidade	Unidade
Cimento	201,3	Sacos (50 kg)
Areia úmida (10%)	18,15	m ³
Brita	10,62	m ³
Água	6126,12	litros
Aditivo	50,32	litros

Fonte: Acervo próprio.

A partir do levantamento da quantidade de aço em massa, obtém-se a Tabela 6.

Tabela 6 - Quantidade de aço

Bitola (mm)	Ø5	Ø6.3	Ø8.0	Ø10	Ø12.5	Ø16	Ø20
Massa (kg)	325,97	130,98	101,3	577,46	184,92	151,36	76,89

Fonte: Acervo próprio.

Com o quantitativo de todos os materiais utilizados na estrutura, é realizado o levantamento dos materiais que compõe a vedação. A partir das dimensões obtidas no programa CAD, obtém-se as quantidades de tijolos cerâmicos e argamassa. Os tijolos utilizados possuem medidas 9 x 19 x 19 cm, com 8 furos, e espessura da junta de assentamento de 10 mm. O traço utilizado para a argamassa de assentamento foi 1:2:8, sendo cimento : cal : areia grossa. O traço utilizado para a argamassa de revestimento no chapisco, com 5 mm de espessura, foi 1:0,25:3. Já para o emboço, com espessura de 15 mm, e

acabamento, com espessura de 5 mm, o traço foi 1 : 2 : 9, sendo cimento : cal : areia média. O quantitativo dos materiais utilizados é mostrado na tabela 8.

Tabela 7 - Total de constituintes da vedação

Vedação		
Descrição	Quantidade	Unidade
Tijolos	9019	Peça
Cimento	49	Saco (50 kg)
Cal	65	Saco (20 kg)
Areia média	8,12	m ³
Areia grossa	4,85	m ³
Água	6333,24	litros

Fonte: Acervo próprio.

4.2 Quantitativos do sistema construtivo em paredes sanduíche

A partir do projeto estrutural do referido sistema construtivo, calculam-se as quantidades de materiais empregados na construção da edificação, onde foi elaborada a Tabela 8.

Tabela 8 - Total de materiais utilizados na estrutura da edificação

Argamassa estrutural (m ³)	Concreto (m ³)	Tela eletrosoldada (m ²)	Aço (kg)	Blocos EPS - Laje (peça)	Vigotas pré-moldadas (m)	Formas (m ²)
14,43	8,67	721,53	474,34	1609	314,90	48,40

Fonte: Acervo próprio.

A resistência característica da argamassa estrutural utilizada para o cálculo do modelo estrutural foi 15 MPa. O traço recomendado para atingir a

resistência requerida seria 1:2:3,60, onde o consumo para cada metro cúbico de argamassa estrutural está detalhado na Tabela 9.

Tabela 9 - Traço utilizado para argamassa estrutural

Fck provável (MPa)	Traço em volume	Cimento (kg)	Areia úmida (l)	Brita 0 (l)	Água (l)	Aditivo plastificante (l)
15	1:2:3,60	339	642	1275	160	1,41

Fonte: Acervo próprio

Com base nas informações do consumo de materiais utilizados na obra e no traço escolhido, obtém-se a quantidade de componentes da argamassa estrutural e do concreto armado conforme as Tabelas 10 e 11.

Tabela 10 - Total de constituintes da argamassa estrutural

Concreto – 15 MPa		
Traço:	1 : 2 : 3,60 (Cimento : Areia úmida : Brita 0)	
Descrição	Quantidade	Unidade
Cimento	98	Sacos (50 kg)
Areia úmida (10%)	6,34	m ³
Brita	12,70	m ³
Água	2308,80	litros
Aditivo	20,38	litros

Fonte: Acervo próprio.

Tabela 11 - Total de constituintes do concreto armado

Concreto – 25 MPa		
Traço:	1 : 2 : 3 (Cimento : Areia úmida : Brita)	
Descrição	Quantidade	Unidade
Cimento	58	Sacos (50 kg)
Areia úmida (10%)	5,93	m ³
Brita	3,52	m ³
Água	1820,70	litros
Aditivo	16,45	litros

Fonte: Acervo próprio.

A partir do levantamento da quantidade de aço em massa, obtém-se a Tabela 12. O aço em barra será utilizado na fixação dos painéis a fundação e a laje, na montagem dos painéis e armadura das fundações, lajes e escada.

Tabela 12 – Quantidade de aço em barras

Bitola (mm)	Ø5	Ø6.3	Ø8.0	Ø10	Ø12.5	Ø16
Massa (kg)	67,74	268,37	111,46	152,32	42,24	11,20

Fonte: Acervo próprio.

A partir do levantamento da quantidade de telas soldadas, obtém-se a Tabela 13.

Tabela 13 – Quantidade de tela eletrosoldada

Tela	EQ 61	EQ 75	EQ 92
Área (m ²)	669,57	25,10	26,85

Fonte: Acervo próprio.

4.3 Comparação do custo total entre o sistema construtivo em concreto armado e o sistema em argamassa armada

A partir dos quantitativos levantados, foram elaboradas as planilhas orçamentárias para os materiais utilizados nos sistemas construtivos. A planilha orçamentária para os modelos construtivos em concreto armado e argamassa armada estão nos Apêndices C e D, respectivamente. Foi utilizada a base de dados do SINAPI de agosto de 2017 para a maioria dos insumos, com exceção da tela de aço soldada Q75 e as placas de EPS resistente a fogo, com espessura de 60 mm, que a base SINAPI não dispunha de dados. Nestes casos, foram realizadas cotações locais para determinar o preço unitário dos referidos itens.

Assim foi realizado o orçamento para os modelos construtivos. A Tabela 14 mostra a diferença de custos com relação aos materiais utilizados nos modelos construtivos propostos para a edificação.

Tabela 14 – Custo total dos materiais

Modelo Construtivo	Concreto Armado	Argamassa Armada
Custo Total	R\$ 24.895,88	R\$ 22.818,34
Diferença		9,17 %

Fonte: Acervo próprio.

A partir da Tabela 14, é possível observar que o modelo construtivo em paredes sanduíche é viável, com relação ao custo dos insumos, sendo uma modalidade pouco conhecida, mas que pode ser bastante competitiva, visto que, para a residência analisada, apresentou uma redução de custo em torno de 9% quando comparado ao modelo convencional.

A residência em análise teve o custo total aumentado em virtude da necessidade de estruturas auxiliares em concreto armado, como pilares e vigas. As peças estruturais em concreto armado correspondem a 17,49% do custo total, como mostra a Tabela 15, que detalha o custo da residência para o modelo construtivo em paredes sanduíche.

Tabela 15 – Detalhamento do custo do modelo em Paredes Sanduíche

Componentes	Custo (R\$)	Parcela (%)
Paredes Sanduíche	R\$ 12.949,95	56,75
Pilares, vigas e fundações	R\$ 3.992,95	17,49
Laje treliçada	R\$ 5.875,44	25,76

Fonte: Acervo Próprio.

Assim, para edificações simples com paredes sobre paredes, ausência de grandes aberturas e pequenas edificações térreas, onde as estruturas auxiliares em concreto armado possam ser dispensadas, o modelo construtivo mostra-se bastante eficiente.

5. CONCLUSÃO

Ao final do desenvolvimento deste trabalho, espera-se que os objetivos inicialmente propostos tenham sido atingidos, que propõem o estudo sobre suas características físicas, sequência e detalhes construtivos, análise de exigências da Norma de Desempenho, elaboração de um modelo para o dimensionamento dos painéis sanduíche, modelagem dos sistemas estruturais, e análise de viabilidade econômica.

O estudo das características dos painéis sanduíche possibilitaram uma visão ampla sobre o potencial do modelo construtivo, que possui execução relativamente simples, rápida e limpa, e serviu de complemento para o aprendizado, uma vez que essa metodologia construtiva é pouco conhecida.

A análise de exigências da Norma de Desempenho possibilitou um melhor entendimento acerca da referida norma e a comprovação da eficiência no desempenho das paredes sanduíche.

Através de pesquisas e análise de normas, foi elaborado o modelo de dimensionamento para os painéis sanduíche, utilizando a teoria de dimensionamento do concreto armado, tornando a metodologia de cálculo para o referido sistema mais simples, contribuindo assim para o meio acadêmico e técnico.

Através da modelagem das duas estruturas, foi possível aperfeiçoar o uso do software de dimensionamento Cypecad e testar várias combinações de modelos estruturais, comparando a metodologia de desenvolvimento dos projetos em concreto armado com a metodologia das paredes sanduíche, evidenciando as diferenças e detalhes existentes nos dimensionamentos, e a maior simplicidade no cálculo da estrutura em paredes sanduíche.

A comparação de custos referente aos materiais empregados nos modelos construtivos mostrou que as paredes sanduíche são economicamente viáveis, apresentando redução de custos em cerca de 10% para a edificação estudada. Com isso, é possível concluir que o referido modelo construtivo seria muito eficaz em obras como conjuntos habitacionais de interesse social, em edificações com estruturas simples e com uso exclusivo de paredes sanduíche como peças estruturais, diminuindo assim o custo da edificação.

5.1 Sugestões para trabalhos futuros

- Analisar o desempenho acústico;
- Analisar o efeito higroscópico;
- Analisar a resistência à compressão de painéis sanduíche, através de ensaios;
- Aprimorar o modelo de dimensionamento, incluindo análise de contraventamento;
- Verificar o comportamento das tensões internas na peça estrutural;
- Analisar a viabilidade econômica com relação ao custo de mão-de-obra empregado na execução do referido modelo;
- Avaliar a durabilidade do modelo construtivo.

BIBLIOGRAFIA

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 6.118: Projeto de estruturas de concreto – Procedimento. Rio de Janeiro, 2014.

_____. NBR 11.173: Projeto e execução de argamassa armada. Rio de Janeiro, 1990.

_____. NBR 11.752: Materiais celulares de poliestireno para isolamento térmico na construção civil e câmaras frigoríficas. Rio de Janeiro, 2007.

_____. NBR 11.948: Poliestireno expandido para isolação térmica – Determinação da flamabilidade. Rio de Janeiro, 2007.

_____. NBR 15.220: Desempenho térmico de edificações. Rio de Janeiro, 2003.

_____. NBR 15.575: Norma de Desempenho. Rio de Janeiro, 2013.

BERTINI, A. A. Estruturas tipo sanduíche com placas de argamassa projetada. Tese (doutorado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2002.

BERTOLDI, R. B. 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. Dissertação (mestrado) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2007.

CAMPOS, P. E. F. Argamassa Armada produção industrializada: aplicações e processo de fabricação com telas soldadas. São Paulo, 1994. Volume 1. 31 p.

COLLINS, F. T. Precast concrete sandwich panels for tilt-up constructions. Journal of the ACI, v.26, n.2, p.149-64, 1954.

COSTA, W. J. V.; GONÇALVES, R. J.; SILVA, K. P. G.; TEIXEIRA, D. G. Processos produtivos na construção civil: otimização do processo de reboco de fachada em edificação. In: XXXIV ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, 2014, Curitiba. Disponível em: <
http://www.abepro.org.br/biblioteca/enegep2014_TN_STO_195_101_25756.pdf
>. Acesso em agosto/2017.

CYPE INGENIEROS, S. A. Manual do usuário. Tradutor: Top-Informática L.T.D.A. Alicante, Espanha, 2016.

INTERNATIONAL STANDARD ORGANIZATION. DIN ISO 1043: Plastics - Symbols and abbreviated terms. Alemanha, 1978.

FONSÊCA, F. J. C. Projeto de painéis sanduíche de concreto pré-moldado. Dissertação (mestrado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 1994.

FROTA, A. B.; SHIFFER, S. R. Manual do conforto térmico. 5ª Edição. São Paulo, 2001. 243 p.

GEHBAUER, F.; EGGENSPERGER, M.; ALBERTI, M. E.; NEWTON, A. S. Planejamento e gestão de obras: um resultado prático da cooperação técnica Brasil – Alemanha. 2ª Edição. Curitiba, 2002. 520 p.

HANAI, J.B. Argamassa Armada: projeto estrutural e dimensionamento com telas soldadas. São Paulo, 1994. Volume 2. 51 p.

HANAI, J.B.; TAKEYA, T. Estudo do comportamento estrutural de painéis MONOLITE CABRINI na flexão simples. Relatório final, Laboratório de estruturas. São Paulo, 1994.

INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS DE SÃO PAULO. Ensaio 835.642. Relatório de ensaio, Laboratório de estruturas. São Paulo, 1996.

ISOFÉRES. Comportamento do poliestireno expandido EPS ao fogo. Disponível em:

<<http://www.isoferes.com.br/imagens/ARQUIVOS%20PDF%20SITE/Comportamento%20do%20EPS%20ao%20fogo.pdf> >. Acesso em agosto/2017.

LIBÓRIO, J.B.L. Estudo patológico de construções de argamassa armada existentes no Brasil. Tese (doutorado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 1989.

M2 EMMEDUE. Building Method. Disponível em:

<<http://en.mdue.it/construction-system/building-method/> >. Acesso em setembro/2017.

MONOLITE. Manual técnico Monoplac. Disponível em:
<<http://www.monolite.cl/index.php/es/manuales> >. Acesso em setembro/2017.

PCI COMMITTEE REPORT. State-of-the-art of precast/prestressed sandwich wall panels. PCI JOURNAL, p.32-49, May-June, 1997.

PICKARD, S.S. Welded wire sandwich panels: na alternative to wood-frame construction. Concrete Construction, v.35, n.4, p.363-6. 1990.

SERVIÇO BRASILEIRO DE APOIO À MICRO E PEQUENA EMPRESA - MINAS GERAIS - SEBRAE-MG. Minas Gerais. Perfil Setorial da Construção Civil. Disponível em < <http://www.sebrae-mg.com.br> >. Acesso em agosto/2017.

SINAPI – Índices da Construção Civil. Disponível em:
<<http://www.caixa.gov.br/poder-publico/apoio-poder-publico/sinapi/Paginas/default.aspx> >. Acesso em setembro/2017.

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA. Ensaio 33.110. Relatório de ensaio, Laboratório de estruturas. Santa Maria, 2006.

ANEXO A – Tabela prática de traços de concreto para uso em obras: Engenheiro Abílio de Azevedo Caldas Branco.

TABELA PRÁTICA DE TRAÇOS DE CONCRETO PARA USO EM OBRAS																		
CONSUMO DE ... (material)... POR M3 DE CONCRETO									FUNDO 35 X 45		NUMERO DE			FATORES			RENDIMENTO	
									ALTURA DA PADIOLA		PADIOLAS POR SACO DE CIMENTO							
EMPREGO OU UTILIZAÇÃO	RESISTÊNCIA PROVÁVEL NA COMPRESSÃO (Kg/cm ²)	TRAÇO EM VOLUME	CIMENTO (Kg)	AREIA SECA (l)	AREIA UMIDA (l)	BRITA 1 (l)	BRITA 2 (l)	ÁGUA (l)	AREIA (cm)	BRITA (1 E 2) (cm)	AREIA	BRITA 1	BRITA 2	água/cim l/Kg	cim/água Kg/l	água/cim l/sc	POR SACO CIMENTO litros/sc	TRAÇOS EM MASSA CORRESPONDENTES
	400	1 : 1 : 2	514	363	465	363	363	226	28,7	22,4	1	1	1	0,44	2,27	22,0	97,2	1 : 1,08 : 1,56
	350	1 : 1 1/2 : 3	387	409	524	405	405	189	21,5	33,6	2	1	1	0,49	2,04	24,5	129,2	1 : 1,63 : 2,94
	298	1 : 2 : 2 1/2	374	528	676	330	330	206	28,7	28,1	2	1	1	0,55	1,82	27,5	133,2	1 : 2,17 : 2,44
Obras de responsabilidade	254	1 : 2 : 3	344	486	622	364	364	210	28,7	33,6	2	1	1	0,61	1,84	50,5	145,5	1 : 2,17 : 2,94
	228	1 : 2 1/2 : 3	319	562	719	337	337	207	25,9	33,6	3	1	1	0,65	1,54	32,5	157,9	1 : 2,71 : 2,74
Colunas, Baldrames e Vigas médias	210	1 : 2 : 4	297	420	538	420	420	202	28,7	22,4	2	2	2	0,68	1,47	34,0	168,3	1 : 2,17 : 3,52
	195	1 : 2 1/2 : 3 1/2	293	517	662	362	362	208	23,9	19,6	3	2	2	0,71	1,41	35,5	170,6	1 : 2,71 : 3,42
Estrut. De concr. Armado	185	1 : 2 1/2 : 4	276	487	625	350	350	204	23,9	22,4	3	2	2	0,73	1,37	35,5	181,2	1 : 2,71 : 3,52
Cintas de amarração, pequenas lajes	157	1 : 2 1/2 : 5	246	435	557	435	435	195	23,9	28,0	3	2	2	0,79	1,27	33,5	203,3	1 : 2,71 : 4,59
	124	1 : 3 : 5	229	486	622	405	405	202	28,7	28,0	3	2	2	0,88	1,14	44,0	218,1	1 : 3,25 : 4,88
	100	1 : 3 : 6	208	441	564	441	441	198	28,7	33,6	3	2	2	0,95	1,05	47,5	240,8	1 : 3,25 : 5,87
Leitos e Camadas Preparatórias	50	1 : 4 : 8	161	456	584	456	456	194	28,7	29,9	4	3	3	1,20	0,83	50,0	312,5	1 : 4,34 : 7,83

APÊNDICE A – Memória de cálculo dos quantitativos – Sistema em Concreto Armado e Alvenaria de blocos cerâmicos.

Memória de cálculo dos quantitativos - Concreto Armado					
Estrutura					
Concreto (+10%) =		26,52	26,52	m ³	
Aço (Ø 5,0mm) (+10%) =		325,97	325,97	kg	
Aço (Ø 6,3mm) (+10%) =		130,98	130,98	kg	
Aço (Ø 8,0mm) (+10%) =		101,3	101,3	kg	
Aço (Ø 10,0mm) (+10%) =		577,46	577,46	kg	
Aço (Ø 12,5mm) (+10%) =		184,92	184,92	kg	
Aço (Ø 16,0mm) (+10%) =		151,36	151,36	kg	
Aço (Ø 20,0mm) (+10%) =		76,89	76,89	kg	
Formas (+10%) =		254,1	254,1	m ²	
Área de laje - vão até 4,50m - SC: 350 kg/m ² (+10%) =		15,84	15,84	m ²	
Área de laje - vão até 3,50m - SC: 350 kg/m ² (+10%) =		46,25	46,25	m ²	
Área de laje - vão até 4,00m - SC: 100 kg/m ² (+10%) =		77,97	77,97	m ²	
Cimento (+10%) =		26,52 (m ³) x 344 (kg / m ³) x 1,1 / 50 kg =		202,00	sacos
Brita 1 (+10%) =		26,52 (m ³) x 364 (l / m ³) x 1,1 / 1000 =		10,62	m ³
Areia (+10%) =		26,52 (m ³) x 622 (l / m ³) x 1,1 / 1000 =		18,15	m ³
Alvenaria					
Blocos cerâmicos 9 x 19 x 19cm (+10%) =		327,97 m ² x 25 x 1,1		9019	blocos
Térreo					
Revestimento interno e externo			Assentamento		
Chapisco (5 mm)			Espessura da junta (10 mm)		
Traço	1 Cimento : 0,25 Cal : 3 Areia grossa		Traço	1 Cimento : 2 Cal : 8 Areia grossa	
Descrição	Quantidade	Unidade	Descrição	Quantidade	Unidade
Chapisco	0,797	m ³	Argamassa	1,397	m ³
Cimento	4,5	Sacos (50kg)	Cimento	3	Sacos (50kg)
Cal	1,2	Sacos (20kg)	Cal	6,3	Sacos (20kg)
Areia Grossa	0,562	m ³	Areia Grossa	1,016	m ³
Água	286,86	litros	Água	502,8	litros
Emboço (20 mm)			TOTAL		
Traço	1 Cimento : 2 Cal : 9 Areia média		Tijolos	3984,145	pç
Descrição	Quantidade	Unidade	Cimento	21,6	Sacos (50kg)
Emboço	2,391	m ³	Cal	28,7	Sacos (20kg)
Cimento	4,8	Sacos (50kg)	Areia média	3,586	m ³
Cal	10	Sacos (20kg)	Areia Grossa	2,14	m ³
Areia média	1,793	m ³	Água	2797,7	litros
Água	860,59	litros			

(continua)

Alvenaria					
1º Pavimento					
Revestimento interno e externo			Assentamento		
Chapisco (5 mm)			Espessura da junta (10 mm)		
Traço	1 Cimento : 0,25 Cal : 3 Areia grossa		Traço	1 Cimento : 2 Cal : 8 Areia grossa	
Descrição	Quantidade	Unidade	Descrição	Quantidade	Unidade
Chapisco	1,007	m ³	Argamassa	1,765	m ³
Cimento	5,7	Sacos (50kg)	Cimento	3,9	Sacos (50kg)
Cal	1,5	Sacos (20kg)	Cal	8	Sacos (20kg)
Areia Grossa	0,711	m ³	Areia Grossa	1,284	m ³
Água	362,52	litros	Água	635,4	litros
Emboço (20 mm)			TOTAL		
Traço	1 Cimento : 2 Cal : 9 Areia média		Tijolos	5034,865	peça
Descrição	Quantidade	Unidade	Cimento	27,3	Sacos (50kg)
Emboço	3,021	m ³	Cal	36,2	Sacos (20kg)
Cimento	6	Sacos (50kg)	Areia média	4,532	m ³
Cal	12,6	Sacos (20kg)	Areia Grossa	2,706	m ³
Areia média	2,266	m ³	Água	3535,54	litros
Água	1087,55	litros			
Total Geral					
Tijolos			9019,01	peça	
Cimento			48,9	Sacos (50kg)	
Cal			64,9	Sacos (20kg)	
Areia média			8,118	m ³	
Areia Grossa			4,846	m ³	
Água			6333,24	litros	

APÊNDICE B – Memória de cálculo dos quantitativos – Sistema em Paredes Sanduíche.

Memória de cálculo dos quantitativos - Paredes Sanduíche			
Paredes Sanduíche			
Área total das paredes da edificação =	$65,39\text{m} \times 2,80\text{m} + 41,82\text{m} \times 2,80\text{m} + 34,74\text{m} \times 0,80\text{m} =$	327,97	m ²
Argamassa estrutural (+10%) =	$327,97\text{m}^2 \times 0,04\text{m} \times 1,1 =$	14,43	m ³
Tela eletrosoldada (+10%) =	$2 \times 327,97\text{m}^2 \times 1,1 =$	721,53	m ²
Conectores (Ø 6,3mm) =	$2,4\text{m}/\text{m}^2 \times 327,97\text{m}^2 \times 0,245\text{kg}/\text{m} \times 1,1 =$	212,13	kg
Fixadores (Ø 8,0mm) =	$(327,97\text{m}^2 / 2,8\text{m}) \times 0,40\text{m} \times 1,1 =$	20,36	kg
Cimento =	$14,43\text{ (m}^3) \times 339\text{ (kg / m}^3) / 50\text{ kg} =$	98	sacos
Areia =	$14,43\text{ (m}^3) \times 0,659\text{ (m}^3 / \text{m}^3) =$	9,51	m ³
Brita 0 =	$14,43\text{ (m}^3) \times 1,219\text{ (m}^3 / \text{m}^3) =$	17,59	m ³
Lajes			
Área de laje - vão até 4,50m - SC: 350 kg/m ² (+10%) =	15,84	15,84	m ²
Área de laje - vão até 3,50m - SC: 350 kg/m ² (+10%) =	46,25	46,25	m ²
Área de laje - vão até 4,00m - SC: 100 kg/m ² (+10%) =	77,97	77,97	m ²
Concreto (+10%) =	$(15,84 + 46,25 + 77,97)\text{m}^2 \times 0,04\text{m} =$	5,55	m ³
Tela eletrosoldada (+10%) =	$15,84\text{m}^2 + 46,25\text{m}^2 + 77,97\text{m}^2 =$	140,06	m ²
Cimento =	$5,55\text{ (m}^3) \times 344\text{ (kg / m}^3) / 50\text{ kg} =$	38	sacos
Brita 1 =	$5,55\text{ (m}^3) \times 0,364 \times 1,1 =$	2,22	m ³
Areia =	$5,55\text{ (m}^3) \times 0,622 \times 1,1 =$	3,80	m ³
Escada			
Concreto (+10%) =	0,95	0,95	m ³
Aço (Ø 8,0mm) (+10%) =	71,6	71,6	kg
Formas (+10%) =	5,2	5,2	m ²
Sapata corrida			
Concreto (+10%) =	3,99	3,99	m ³
Aço (Ø 6,3mm) (+10%) =	44,94	44,94	kg
Sapata isolada			
Concreto (+10%) =	0,9	0,9	m ³
Aço (Ø 5,0mm) =	3,14	3,14	kg
Aço (Ø 10,0mm) =	43,02	43,02	kg
Aço (Ø 12,5mm) =	4,24	4,24	kg
Pilares e Vigas			
Concreto (+10%) =	2,83	2,83	m ³
Aço (Ø 5,0mm) =	64,6	64,6	kg
Aço (Ø 6,3mm) =	11,3	11,3	kg
Aço (Ø 8,0mm) =	19,5	19,5	kg
Aço (Ø 10,0mm) =	109,3	109,3	kg
Aço (Ø 12,5mm) =	38	38	kg
Aço (Ø 16,0mm) =	11,2	11,2	kg
Formas (+10%) =	48,4	48,4	m ²
Estruturas de concreto armado			
Cimento =	$8,67\text{ (m}^3) \times 344\text{ (kg / m}^3) / 50\text{ kg} =$	58,00	sacos
Brita 2 =	$8,67\text{ (m}^3) \times 0,369\text{ (m}^3 / \text{m}^3) =$	3,52	m ³
Areia =	$8,67\text{ (m}^3) \times 0,622\text{ (m}^3 / \text{m}^3) =$	5,93	m ³

APÊNDICE C – Planilha orçamentária sintética – Sistema em Concreto Armado e Alvenaria de blocos cerâmicos.

Planilha Orçamentária Sintética						
Item	Banco	Descrição	Und	Quant.	Valor Unit	Total
1		Estrutura - Concreto Armado				18.983,98
1.1	SINAPI	CHAPA DE MADEIRA COMPENSADA RESINADA PARA FORMA DE CONCRETO, DE *2,2 X 1,1* M, E = 6 MM	UN	105,00	24,10	2.530,50
1.2	SINAPI	ACO CA-60, 5,0 MM, VERGALHAO	KG	325,97	3,98	1.297,36
1.3	SINAPI	ACO CA-50, 6,3 MM, VERGALHAO	KG	130,98	4,20	550,11
1.4	SINAPI	ACO CA-50, 8,0 MM, VERGALHAO	KG	101,30	4,72	478,13
1.5	SINAPI	ACO CA-50, 10,0 MM, VERGALHAO	KG	577,46	4,01	2.315,61
1.6	SINAPI	ACO CA-50, 12,5 MM, VERGALHAO	KG	184,92	3,82	706,39
1.7	SINAPI	ACO CA-50, 16,0 MM, VERGALHAO	KG	151,36	3,82	578,19
1.8	SINAPI	ACO CA-50, 20,0 MM, VERGALHAO	KG	76,89	3,57	274,49
1.9	SINAPI	CIMENTO PORTLAND POZOLANICO CP IV- 32	50KG	202,00	18,30	3.696,60
1.10	SINAPI	AREIA MEDIA - POSTO JAZIDA/FORNECEDOR (RETIRADO NA JAZIDA, SEM TRANSPORTE)	m³	18,15	60,00	1.089,00
1.11	SINAPI	PEDRA BRITADA N. 2 (19 A 38 MM) POSTO PEDREIRA/FORNECEDOR, SEM FRETE	m³	10,62	50,00	531,00
1.12	SINAPI	ADITIVO PLASTIFICANTE RETARDADOR DE PEGA E REDUTOR DE AGUA PARA CONCRETO	L	50,32	6,20	311,98
1.13	SINAPI	LAJE PRE-MOLDADA CONVENCIONAL (LAJOTAS + VIGOTAS) PARA PISO, UNIDIRECIONAL, SOBRECARGA DE 350 KG/M2, VAO ATE 4,50 M (SEM COLOCACAO)	m²	15,84	33,88	536,65
1.14	SINAPI	LAJE PRE-MOLDADA CONVENCIONAL (LAJOTAS + VIGOTAS) PARA PISO, UNIDIRECIONAL, SOBRECARGA 350 KG/M2 VAO ATE 3,50 M (SEM COLOCACAO)	m²	46,25	30,75	1.422,18
1.15	SINAPI	LAJE PRE-MOLDADA CONVENCIONAL (LAJOTAS + VIGOTAS) PARA FORRO, UNIDIRECIONAL, SOBRECARGA DE 100 KG/M2, VAO ATE 4,00 M (SEM COLOCACAO)	m²	77,97	26,90	2.097,39
1.16	SINAPI	TELA DE ACO SOLDADA NERVURADA CA-60, Q-61, (0,97 KG/M2), DIAMETRO DO FIO = 3,4 MM, LARGURA = 2,45 X 120 M DE COMPRIMENTO, ESPACAMENTO DA MALHA = 15 X 15 CM	m²	140,00	4,06	568,40
2		Vedação - Alvenaria de blocos cerâmicos				5.911,90
2.1	SINAPI	BLOCO CERAMICO (ALVENARIA DE VEDACAO), DE 9 X 19 X 19 CM	MIL	9,00	400,00	3.600,00
2.2	SINAPI	CIMENTO PORTLAND POZOLANICO CP IV- 32	50KG	49,00	18,30	896,70
2.3	SINAPI	CAL VIRGEM COMUM PARA ARGAMASSAS (NBR 6453)	KG	1.300,00	0,49	637,00
2.4	SINAPI	AREIA MEDIA - POSTO JAZIDA/FORNECEDOR (RETIRADO NA JAZIDA, SEM TRANSPORTE)	m³	8,12	60,00	487,20
2.5	SINAPI	AREIA GROSSA - POSTO JAZIDA/FORNECEDOR (RETIRADO NA JAZIDA, SEM TRANSPORTE)	m³	4,85	60,00	291,00
Total Geral					R\$ 24.895,88	

APÊNDICE D – Planilha orçamentária sintética – Sistema em Paredes Sanduíche.

Planilha Orçamentária Sintética						
Item	Banco	Descrição	Und	Quant.	Valor Unit	Total
1		Paredes em Argamassa Armada				12.949,95
1.1	SINAPI	CIMENTO PORTLAND COMPOSTO CP II-32 (SACO DE 50 KG)	50KG	98,00	19,00	1.862,00
1.2	SINAPI	PEDRA BRITADA N. 0, OU PEDRISCO (4,8 A 9,5 MM) POSTO PEDREIRA/FORNECEDOR, SEM FRETE	m³	17,59	63,84	1.122,95
1.3	SINAPI	AREIA MEDIA - POSTO JAZIDA/FORNECEDOR (RETIRADO NA JAZIDA, SEM TRANSPORTE)	m³	9,51	60,00	570,60
1.4	SINAPI	TELA DE ACO SOLDADA NERVURADA CA-60, Q-61, (0,97 KG/M2), DIAMETRO DO FIO = 3,4 MM, LARGURA = 2,45 X 120 M DE COMPRIMENTO, ESPACAMENTO DA MALHA = 15 X 15 CM	m²	669,57	4,06	2.718,45
1.5	PRÓPRIA	TELA DE ACO SOLDADA NERVURADA CA-60, Q-75, (0,97 KG/M2), DIAMETRO DO FIO = 3,8 MM, LARGURA = 2,45 X 120 M DE COMPRIMENTO, ESPACAMENTO DA MALHA = 15 X 15 CM	m²	25,10	5,04	126,38
1.6	SINAPI	TELA DE ACO SOLDADA NERVURADA CA-60, Q-92, (1,48 KG/M2), DIAMETRO DO FIO = 4,2 MM, LARGURA = 2,45 X 60 M DE COMPRIMENTO, ESPACAMENTO DA MALHA = 15 X 15 CM	m²	26,85	6,01	161,37
1.7	SINAPI	ADITIVO PLASTIFICANTE RETARDADOR DE PEGA E REDUTOR DE AGUA PARA CONCRETO	L	21,00	6,20	130,20
1.8	PRÓPRIA	POLIESTIRENO EXPANDIDO/EPS (ISOPOR), TIPO 2F, PLACA, E = 60 MM, 1000 X 500 MM	m²	328,00	14,05	5.270,96
1.9	SINAPI	ACO CA-50, 6,3 MM, VERGALHAO	KG	212,13	4,20	890,45
1.10	SINAPI	ACO CA-50, 8,0 MM, VERGALHAO	KG	20,36	4,72	96,10
2		Laje				5.875,44
2.1	SINAPI	LAJE PRE-MOLDADA CONVENCIONAL (LAJOTAS + VIGOTAS) PARA PISO, UNIDIRECIONAL, SOBRECARGA DE 350 KG/M2, VAO ATE 4,50 M (SEM COLOCACAO)	m²	15,84	33,88	536,66
2.2	SINAPI	LAJE PRE-MOLDADA CONVENCIONAL (LAJOTAS + VIGOTAS) PARA PISO, UNIDIRECIONAL, SOBRECARGA 350 KG/M2 VAO ATE 3,50 M (SEM COLOCACAO)	m²	46,25	30,75	1.422,19
2.3	SINAPI	LAJE PRE-MOLDADA CONVENCIONAL (LAJOTAS + VIGOTAS) PARA FORRO, UNIDIRECIONAL, SOBRECARGA DE 100 KG/M2, VAO ATE 4,00 M (SEM COLOCACAO)	m²	77,97	26,90	2.097,39
2.4	SINAPI	CIMENTO PORTLAND COMPOSTO CP II-32 (SACO DE 50 KG)	50KG	38,00	19,00	722,00
2.5	SINAPI	AREIA MEDIA - POSTO JAZIDA/FORNECEDOR (RETIRADO NA JAZIDA, SEM TRANSPORTE)	m³	3,80	60,00	228,00
2.6	SINAPI	PEDRA BRITADA N. 1 (9,5 a 19 MM) POSTO PEDREIRA/FORNECEDOR, SEM FRETE	m³	2,22	50,00	111,00
2.7	SINAPI	TELA DE ACO SOLDADA NERVURADA CA-60, Q-61, (0,97 KG/M2), DIAMETRO DO FIO = 3,4 MM, LARGURA = 2,45 X 120 M DE COMPRIMENTO, ESPACAMENTO DA MALHA = 15 X 15 CM	m²	140,00	4,06	568,40
3		Estrutura em Concreto Armado				3.992,95
3.1	SINAPI	CIMENTO PORTLAND COMPOSTO CP II-32 (SACO DE 50 KG)	50KG	58,00	19,00	1.102,00
3.2	SINAPI	PEDRA BRITADA N. 1 (9,5 a 19 MM) POSTO PEDREIRA/FORNECEDOR, SEM FRETE	m³	3,52	50,00	176,00
3.3	SINAPI	AREIA MEDIA - POSTO JAZIDA/FORNECEDOR (RETIRADO NA JAZIDA, SEM TRANSPORTE)	m³	5,93	60,00	355,80
3.4	SINAPI	ACO CA-60, 5,0 MM, VERGALHAO	KG	67,74	3,98	269,61
3.5	SINAPI	ACO CA-50, 6,3 MM, VERGALHAO	KG	56,24	4,20	236,21
3.6	SINAPI	ACO CA-50, 8,0 MM, VERGALHAO	KG	91,10	4,72	429,99
3.7	SINAPI	ACO CA-50, 10,0 MM, VERGALHAO	KG	152,32	4,01	610,80
3.8	SINAPI	ACO CA-50, 12,5 MM, VERGALHAO	KG	42,24	3,82	161,36
3.9	SINAPI	ACO CA-50, 16,0 MM, VERGALHAO	KG	11,20	3,82	42,78
3.10	SINAPI	CHAPA DE MADEIRA COMPENSADA RESINADA PARA FORMA DE CONCRETO, DE *2,2 X 1,1* M, E = 6 MM	UN	20,00	24,10	482,00
				Total Geral	R\$ 22.818,34	