

UNIVERSIDADE DE SANTA CRUZ DO SUL

CURSO DE ENGENHARIA CIVIL

Júlio César Kroth Alves

**ANÁLISE DE VIABILIDADE DE UM SISTEMA DE PAREDES PRÉ-FABRICADAS
EM ALVENARIA NA CONSTRUÇÃO DE HABITAÇÕES DE INTERESSE SOCIAL:
UM ESTUDO DE CASO**

Santa Cruz do Sul

2024

Júlio César Kroth Alves

**ANÁLISE DE VIABILIDADE DE UM SISTEMA DE PAREDES PRÉ-FABRICADAS
EM ALVENARIA NA CONSTRUÇÃO DE HABITAÇÕES DE INTERESSE SOCIAL:
UM ESTUDO DE CASO**

Trabalho de conclusão apresentado ao curso de Engenharia Civil da Universidade de Santa Cruz do Sul para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Civil.

Orientador: Prof. Ms. Marcus Daniel Friederich dos Santos

Santa Cruz do Sul

2024

A todos aqueles que contribuíram para a conclusão deste trabalho e em especial a meus pais pelo apoio e dedicação.

RESUMO

A indústria da construção civil enfrenta desafios históricos em termos de produtividade, desperdício de materiais e escassez de mão de obra. Em resposta a esses problemas, diversos sistemas construtivos e tecnologias foram desenvolvidas visando fortalecer o setor e mitigar o atraso tecnológico em relação às outras áreas da economia. Entretanto, ainda que pesquisas apontem para o desenvolvimento em termos de industrialização e pré-fabricação, o uso de painéis pré-fabricados em alvenaria estrutural com blocos cerâmicos ainda não foi amplamente testado em edificações. Essa, porém, pode ser uma alternativa viável para enfrentar as dificuldades da construção hodierna sem alterar as características de desempenho que fizeram da alvenaria um dos sistemas mais utilizados na construção civil ao longo dos anos. Nesse sentido, visando contribuir para a expansão do uso de tecnologias inovadoras e eficientes, capazes de tornar o setor mais sustentável e produtivo, ao mesmo tempo que atende às necessidades de mercado, o presente trabalho apresenta o estudo de caso de uma unidade habitacional executada no sistema de paredes pré-fabricadas em alvenaria estrutural, relatando as diversas etapas de sua incorporação. As análises do sistema foram organizadas dentro da metodologia de matriz SWOT, com o objetivo de avaliar a viabilidade do uso desse sistema em projetos de habitação de interesse social. Dessa forma, foram evidenciadas as principais forças e fraquezas do sistema, além das oportunidades e ameaças externas relacionadas ao mercado da construção. Por fim, constatou-se que o sistema possui características relevantes para mitigar os problemas atuais da construção e que se faz necessária a execução de novos protótipos a fim de levantar mais dados para análises mais concretas acerca de sua viabilidade econômica e planejamento estratégico.

Palavras-chave: Industrialização; Pré-fabricação; Alvenaria; Viabilidade.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Envelhecimento da mão de obra em idade (2016/2024).....	16
Figura 2 - Fabricação de blocos cerâmicos (componente pré-fabricado).....	18
Figura 3 - Execução de laje com tabelas e vigotas pré-fabricadas.....	18
Figura 4 - Obra realizada no sistema construtivo de pré-fabricados em concreto.....	19
Figura 5 - Esquema modular de elementos em vista superior.....	21
Figura 6 - Condomínio horizontal com habitações padronizadas.....	22
Figura 7 - Geometria de blocos cerâmicos.....	25
Figura 8 - Tipos de corpos de prova utilizados para determinação da resistência à compressão simples (fk), no caso de blocos de 190 mm de altura.....	30
Figura 9 - Demonstração de amarração direta (a) e indireta (b).....	32
Figura 10 - Paginação em projeto de alvenaria estrutural.....	33
Figura 11 - Seção do painel pré-moldado DATec N°023-C.....	36
Figura 12 - Esquemas de ligação entre painéis DATec N°023-C.....	37
Figura 13 - Corte típico dos painéis DATec N°021-C (mm).....	38
Figura 14 - Elevação típica com amarrações DATec N°021-C.....	39
Figura 15 - Detalhe da interface entre o painel e o piso DATec N°021-C (mm).....	40
Figura 16 - Razão Unitária de Produção (RUP).....	42
Figura 17 - Procedimento metodológico.....	43
Figura 18 - Composição da análise de viabilidade em matriz SWOT.....	45
Figura 19 - Modelo de habitação executado.....	46
Figura 20 - Coordenação modular do projeto (vista superior).....	47
Figura 21 - Diferenças de paginação de alvenaria.....	48
Figura 22 - Sistema de amarração utilizado.....	49
Figura 23 - Ambiente de trabalho na fábrica.....	50
Figura 24 - Parede finalizada na fábrica.....	51
Figura 25 - Carregamento do caminhão.....	52
Figura 26 - Percorso de transporte das paredes da fábrica ao canteiro de obras.....	53
Figura 27 - Preparação do canteiro de obra para início da montagem.....	54

Figura 28 - Montagem da habitação no canteiro de obras.....	54
Figura 29 - Processo de serragem e escoramento dos painéis.....	55
Figura 30 - Habitação montada.....	56
Figura 31 - Matriz SWOT sistema pré-fabricado.....	57
Figura 32 - Instalações dos diferentes ambientes de trabalho.....	58
Figura 33 - Manifestações patológicas no sistema pré-fabricado.....	64
Figura 34 - Instalação semi-automática HA III.....	75
Figura 35 - Processo de produção com máquina semi-automática.....	76
Figura 36 - Coleta dos blocos pela máquina automática.....	77
Figura 37 - Assentamento da fiada de blocos pela máquina automática.....	77

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Dimensões nominais de blocos cerâmicos estruturais e vedação para alvenaria racionalizada – EST. (Tabela 4 da NBR 15270-1:2023).....	25
Tabela 2- Especificação quanto à resistência mínima, absorção d'água e espessuras.....	26
Tabela 3 - Classes de uso e respectivos critérios de resistência à compressão da argamassa inorgânica AAE (Tabela 4 da NBR 13281-2:2023).....	27
Tabela 4 - Valores característicos da resistência à tração na flexão (f_{tk}) (Tabela 3 da NBR 16868-1:2020).....	31
Tabela 5 - Valores característicos da resistência ao cisalhamento em juntas horizontais de paredes – f_{vk} (Tabela 4 da NBR 16868-1:2020).....	31
Tabela 6 - Aspectos que contribuem para a produtividade do sistema pré-fabricado.....	60
Tabela 7 - Listas de materiais dos diferentes sistemas.....	62
Tabela 8 - Procedimentos realizados na etapa de montagem.....	65

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AAE	Argamassa para alvenaria estrutural
ABCP	Associação Brasileira de Cimento Portland
ABDI	Agência Brasileira de Desenvolvimento Industrial
ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
CBIC	Câmara Brasileira da Indústria da Construção
CEF	Caixa Econômica Federal
CONAMA	Conselho Nacional do Meio Ambiente
DATec	Documento de Avaliação Técnica
EST	Blocos estruturais e de vedação racionalizada
HIS	Habitação de Interesse Social
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
NBR	Normas Brasileiras Regulamentadoras
PAIC	Pesquisa Anual da Indústria da Construção
PBQP-H	Programa Brasileiro de Qualidade e Produtividade no Habitat
PIB	Produto Interno Bruto
PMCMV	Programa Minha Casa, Minha Vida
RUP	Razão Unitária de Produção
SINAT	Sistema Nacional de Avaliações Técnicas de Produtos Inovadores
SINDUSCON	Sindicato da Indústria da Construção Civil
SWOT	Strengths, Weaknesses, Opportunities and Threats
VED	Blocos de vedação

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	11
1.1 Área da pesquisa.....	13
1.2 Delimitação da pesquisa.....	13
1.3 Objetivo geral.....	13
1.4 Objetivos específicos.....	13
1.5 Justificativa.....	13
2 REFERENCIAL TEÓRICO.....	15
2.1 Industrialização da construção civil.....	15
2.1.1 <i>Conceituação.....</i>	15
2.1.2 <i>Pré-fabricação.....</i>	17
2.1.3 <i>Modulação.....</i>	20
2.1.4 <i>Padronização.....</i>	21
2.2 Alvenaria estrutural.....	22
2.2.1 <i>Componentes da alvenaria estrutural.....</i>	23
2.2.1.1 <i>Bloco estrutural.....</i>	23
2.2.1.2 <i>Argamassa de assentamento.....</i>	27
2.2.1.3 <i>Graute.....</i>	28
2.2.1.4 <i>Armadura.....</i>	28
2.2.2 <i>Projeto de alvenaria estrutural.....</i>	28
2.2.2.1 <i>Dimensionamento estrutural.....</i>	29
2.2.2.2 <i>Amarração.....</i>	32
2.2.2.3 <i>Paginação.....</i>	33
2.3 Habitação de interesse social (HIS).....	33
2.4 Modelos de parede pré-fabricada.....	35
2.4.1 <i>Histórico.....</i>	35
2.4.2 <i>Normativa.....</i>	35
2.4.2.1 <i>Painéis estruturais pré-moldados mistos (DATec N°023-C).....</i>	35
2.4.2.2 <i>Painéis pré-moldados em alvenaria cerâmica e concreto armado (DATec N°021-C).....</i>	37
2.5 Análise de viabilidade.....	40
2.5.1 <i>Aspecto econômico.....</i>	41
2.5.1.1 <i>Quantificação de produtividade.....</i>	41
2.5.2 <i>Análise SWOT.....</i>	42
3 METODOLOGIA.....	43
3.1 Caracterização da pesquisa.....	43
3.2 Delineamento da pesquisa.....	43
3.3 Estudo de caso: paredes pré-fabricadas em alvenaria estrutural.....	44
4 RESULTADOS OBTIDOS.....	46
4.1 Projeto.....	46
4.2 Produção.....	49

4.3 Logística.....	51
4.4 Montagem.....	53
5 DISCUSSÃO DOS RESULTADOS.....	57
5.1 Análise de viabilidade em matriz SWOT.....	58
5.1.1 Forças (<i>strengths</i>).....	58
5.1.1.1 Industrialização.....	58
5.1.1.2 Produtividade.....	59
5.1.1.3 Mão de obra.....	61
5.1.1.4 Consumo de materiais.....	62
5.1.2 Fraquezas (<i>weaknesses</i>).....	63
5.1.2.1 Investimento inicial.....	63
5.1.2.2 Dados.....	64
5.1.2.3 Patologias.....	64
5.1.2.4 Procedimento de montagem.....	65
5.1.3 Oportunidades (<i>opportunities</i>).....	65
5.1.3.1 Déficit habitacional.....	66
5.1.3.2 Escassez de mão de obra.....	66
5.1.3.3 Crescimento da industrialização.....	66
5.1.4 Ameaças (<i>threats</i>).....	67
5.1.4.1 Resistência à mudança no setor.....	67
5.1.4.2 Concorrência com sistemas já estabelecidos.....	67
6 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	68
SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS.....	69
REFERÊNCIAS.....	70
APÊNDICE A - TECNOLOGIAS A FAVOR DA PRODUTIVIDADE.....	75

1 INTRODUÇÃO

A indústria da construção civil exerce um papel vital no desenvolvimento de uma nação, sendo responsável tanto pela criação da infraestrutura que sustenta os diferentes setores econômicos quanto pela oferta de habitação à população. No Brasil, em 2022, o setor atingiu um valor expressivo: segundo a Pesquisa Anual da Indústria da Construção (PAIC) do IBGE, o mercado da construção civil movimentou R\$439 bilhões, correspondendo a cerca de 5% do Produto Interno Bruto (PIB) nacional. Contudo, apesar da relevância indiscutível, o país enfrenta desafios significativos para atender plenamente sua demanda habitacional, enfrentando obstáculos em termos de custo e produção.

De acordo com a Câmara Brasileira da Indústria da Construção (CBIC), será necessário investir cerca de dois trilhões de reais nos próximos dez anos para eliminar o déficit habitacional. Esse investimento deve contemplar a construção de 6,26 milhões de unidades habitacionais necessárias em 2023, além das 6,6 milhões de unidades adicionais previstas até 2033 (CBIC, 2024). Apesar disso, o setor é marcado pela presença de sistemas construtivos que não favorecem a economia e a produtividade. Segundo a Agência Brasileira de Desenvolvimento Industrial (ABDI, 2015), alguns dos maiores problemas dos sistemas construtivos convencionais do país estão relacionados a processos de alto custo, planejamento insuficiente, baixa qualificação da mão de obra, altos índices de desperdício, qualidade inferior, frequente ocorrência de problemas estruturais e desempenho ambiental deficiente.

Todos esses aspectos corroboram que mesmo com reconhecida importância no cenário econômico, o setor ainda incorpora poucas tecnologias voltadas para o aperfeiçoamento da produção, resultando na dificuldade de prover moradias para toda a demanda populacional e também elevando o preço final deste que é um direito humano básico. Para PICCHI (1991, citado por FRANCO, 1992), essa situação é um reflexo dos prejuízos causados pelo desperdício, que incluem gastos com remoção de entulho, correção de erros e baixo aproveitamento de mão de obra, representando aproximadamente 30% do custo total das edificações em gastos que não adicionam valor ao produto final.

Esses problemas geram um impacto econômico significativo na indústria da construção civil, onde a relação entre desperdício e prejuízo afeta tanto os custos totais quanto a qualidade do produto final. Isso, por sua vez, pode comprometer a relação com os clientes, reduzindo a satisfação e a confiança nas empresas (PEREZ, 2010). Além disso, em um

contexto em que os preços dos imóveis são cada vez mais influenciados pelas especulações do mercado imobiliário, o aumento dos custos de produção pode também reduzir os lucros das construtoras e incorporadoras (SOUZA, 1999).

Nesse cenário, a adoção de tecnologias que promovam a industrialização na construção civil surge como uma solução eficaz para acelerar o processo construtivo, reduzir os custos de produção de novas unidades habitacionais e minimizar o desperdício de materiais, ao mesmo tempo em que se otimiza a mão de obra e se aprimora o controle de qualidade. A esse respeito, SOUZA (1999) aponta que alguns subsetores da construção civil já demonstram avanços significativos em termos de produtividade e redução de desperdícios. Por exemplo, atividades como a instalação de elevadores e sistemas de climatização geralmente resultam em desperdício quase nulo, devido ao uso de elementos fabricados em indústrias especializadas, que proporcionam melhores condições de trabalho e permitem a incorporação do produto final à edificação sem necessidade de produção *in loco*.

Portanto, a indústria da construção civil desempenha um papel crucial na resolução desse problema, devendo desenvolver soluções que aumentem a eficiência na produção, na utilização de insumos e mão de obra. Para isso, é essencial realizar estudos que analisem diferentes sistemas construtivos que possam beneficiar o setor e identificar seus principais desafios para implementação. Entre as possíveis soluções, o uso de elementos pré-fabricados é frequentemente considerado uma alternativa promissora para mitigar os problemas existentes na construção de habitações de interesse social (HIS). No entanto, apesar de os processos de construção pré-fabricados já serem estudados e aplicados, o uso de paredes de alvenaria pré-fabricada ainda não foi amplamente explorado como sistema construtivo. Esse método, porém, pode representar uma alternativa viável para aprimorar o sistema de alvenaria estrutural tradicional, sem comprometer as características de desempenho que o tornaram amplamente utilizado ao longo dos anos (THAMBOO, 2021).

Diante disso, neste trabalho estuda-se como a adoção de um sistema de paredes pré-fabricadas em alvenaria pode beneficiar o processo de construção de habitações de interesse social. As conclusões serão feitas através de um estudo de caso, analisando resultados referentes às principais etapas de execução de uma unidade habitacional neste sistema, e após, organizando discussões sobre suas forças, fraquezas, oportunidades e ameaças.

1.1 Área da pesquisa

Este trabalho foi desenvolvido na área de industrialização da construção civil, mais especificamente no subsetor de edificações de caráter social, direcionado ao uso de paredes pré-fabricadas como sistema construtivo.

1.2 Delimitação da pesquisa

O trabalho se limita a apresentar os resultados da aplicação do modelo de paredes pré-fabricadas em alvenaria estrutural com blocos cerâmicos na execução da superestrutura de uma unidade habitacional de caráter social e analisar sua viabilidade sob perspectivas internas e externas ao empreendimento.

1.3 Objetivo geral

Como objetivo deste trabalho, busca-se analisar a viabilidade do sistema construtivo de paredes pré-fabricadas em alvenaria estrutural com blocos cerâmicos, através de resultados obtidos no acompanhamento de sua incorporação.

1.4 Objetivos específicos

Este trabalho tem como objetivos específicos:

- Acompanhar e relatar o processo de produção e montagem de uma unidade habitacional no sistema estudado;
- Analisar as forças e fraquezas intrínsecas ao sistema;
- Analisar as oportunidades e ameaças extrínsecas ao sistema;
- Obter um quadro geral de como a industrialização pode beneficiar a construção civil em termos de produtividade e aproveitamento de material e mão de obra.

1.5 Justificativa

A opção pelo tema de estudo se deu a partir da percepção dos desafios do setor produtivo da construção civil, onde conforme apresentado, muitos autores demonstram aspectos importantes a serem desenvolvidos no Brasil. Posto isso, a busca pelo aprimoramento das atividades deve estar sempre presente no desenvolvimento do trabalho (FRANCO, 1992), sendo a industrialização um fator importante na evolução dos diversos setores da economia e que também pode beneficiar a construção civil. Nesse sentido, a

utilização de elementos pré-fabricados serve ao setor de maneira a otimizar o tempo de construção, reduzir custos operacionais, aumentar a qualidade e a precisão na execução das obras. Além disso, promove maior sustentabilidade ao permitir o controle mais eficiente dos materiais utilizados e ao minimizar o desperdício durante o processo construtivo (ABDI, 2015).

Segundo TAMBARA (2006, citado por ALVES, 2014), a economia gerada pela substituição de estruturas de concreto armado convencional por estruturas de alvenaria estrutural pode variar entre 11% e 20%. Além disso, RAYDAN (citado por ALVES, 2014), gerente regional da ABCP em Minas Gerais, aponta que as estruturas pré-moldadas proporcionam uma redução de custos de 15% a 20% e representam uma solução eficiente para a escassez de mão de obra na construção, permitindo uma diminuição de até 50% no número de trabalhadores necessários no canteiro de obras.

O presente trabalho se justifica, portanto, por apresentar uma análise de viabilidade de um sistema pré-fabricado de paredes de alvenaria com blocos cerâmicos, visando demonstrar como sua inclusão na indústria da construção civil brasileira pode beneficiar o mercado de HIS do país. A transformação tecnológica da construção civil pode, assim, desempenhar um papel crucial na mitigação do déficit habitacional do Brasil, ao mesmo tempo em que supera obstáculos referentes à escassez de insumos e mão de obra.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

Este capítulo contempla o referencial bibliográfico necessário para o entendimento dos conceitos abordados, além de apresentar sua relevância no setor da construção civil e para a metodologia e conclusão deste trabalho.

2.1 Industrialização da construção civil

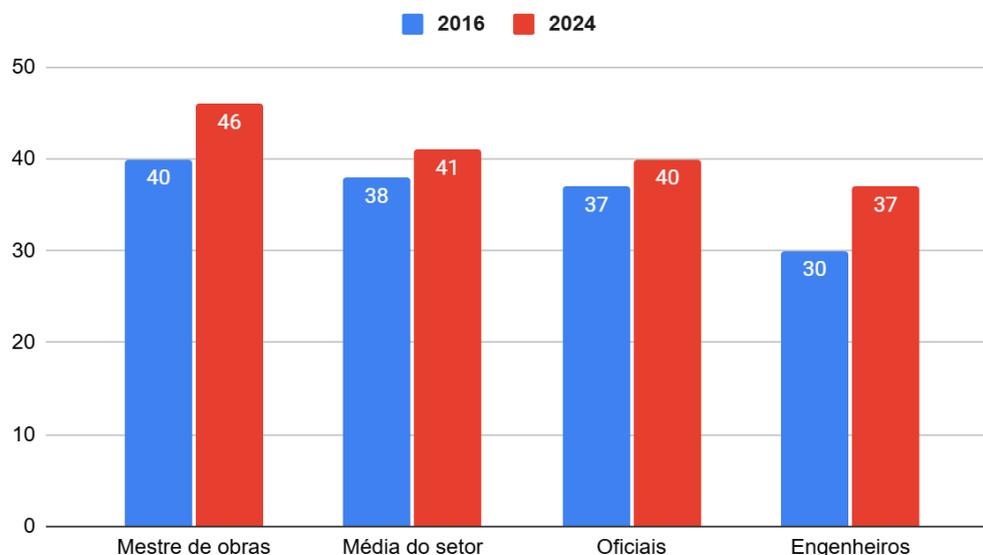
Com a crescente discussão sobre a industrialização da construção civil, é essencial compreender alguns conceitos relacionados ao tema e a posição dos elementos pré-fabricados nesse contexto. Baseando-se, em especial, no Manual da Construção Industrializada (ABDI, 2015), que oferece um conteúdo detalhado e atual, especialmente sobre os elementos pré-fabricados, é possível compreender os principais aspectos do cenário atual da construção civil em termos de industrialização e como diferentes técnicas podem transformar o setor.

2.1.1 Conceituação

Primeiramente, apesar de atrasada em relação a países desenvolvidos, sabe-se que hoje a industrialização na construção civil no Brasil tem avançado pontualmente. Essa realidade passou a ser mais observada em 2009, quando o aumento dos esforços no combate ao déficit habitacional foi intensificado pelo Governo Federal através do Programa Minha Casa, Minha Vida (PMCMV). Para a CBIC (2016), esse movimento foi um reflexo do aumento do volume de produção do setor em contraste ao momento deficitário de insumos e mão de obra. Nesse contexto, a industrialização se inseriu no mercado através de tecnologias que possibilitaram avanços, seja pela simples adoção de novas ferramentas, seja pela adoção de sistemas construtivos pré-moldados e pré-fabricados.

No entanto, mesmo com a introdução de algumas tecnologias no mercado, fatores como a alta demanda por mão de obra seguem crescendo, enquanto dados apontam para o envelhecimento e escassez de trabalhadores no setor. Quanto a isso, segundo a CBIC (2022), a contratação de mão de obra é um problema que afeta 90% das empresas de pequeno porte da indústria da construção civil brasileira. Ainda, segundo dados divulgados pela SINDUSCON (2024), o envelhecimento da força de trabalho no setor é evidenciado por uma pesquisa que analisou 1,12 milhão de trabalhadores brasileiros entre janeiro de 2016 e abril de 2024, revelando que a idade média dos colaboradores aumentou de 38 para 41 anos no período, conforme apresentado na Figura 1.

Figura 1 - Envelhecimento da mão de obra em idade (2016/2024)



Fonte: adaptado de SINDUSCON, 2024

Em segundo lugar, as características distintas da indústria da construção civil em comparação aos setores mais industrializados da economia acabam sendo fatores que limitam a introdução mais agressiva de processos e tecnologias industrializadas na rotina de trabalho (COLOMBO, 2000). Entre essas características, pode-se destacar as seguintes:

- **Manufatura:** envolve procedimentos manuais, o que dificulta a padronização do produto final e requer uma grande quantidade de mão de obra, aumentando a suscetibilidade a erros;
- **Produção *in loco*:** a produção ocorre diretamente no local onde o produto será utilizado, o que, por exemplo, causa uma dependência de fatores externos ao processo construtivo, como as condições climáticas;
- **Singularidade dos produtos:** a produção é não homogênea, sendo altamente segmentada em diferentes etapas ou fases. Isso cria um dinamismo que depende da sequência das fases, ao invés de ocorrer de forma simultânea como em uma linha de montagem;
- **Instalações provisórias:** diferente da produção em fábricas na indústria, a construção é organizada de forma provisória e pode se estender por um período relativamente longo.

Nesse sentido, para alcançar um nível crescente de industrialização, é fundamental implementar princípios básicos do processo industrial que combatam pontualmente essas limitações nas rotinas construtivas. A pré-fabricação aliada à modulação e padronização do produto final, por exemplo, entram como princípios importantes para a substituição das técnicas convencionais e, para a ABDI (2015), são de crucial aplicação.

Em suma, a industrialização da construção, seja por meio de estruturas pré-fabricadas ou outros componentes, já é uma realidade em diversos países e se apresenta como uma solução eficaz para superar as limitações do mercado nacional. No entanto, transformar o setor exige mais do que investimentos financeiros; é necessário um novo paradigma entre todos os envolvidos. A evolução do cenário atual depende do desenvolvimento e da adoção de conceitos como pré-fabricação, modulação e padronização, que são fundamentais para promover melhorias significativas na construção civil.

2.1.2 Pré-fabricação

Segundo a NBR 9062:2017 (p. 04), elemento pré-moldado é aquele definido como “elemento moldado previamente e fora do local de utilização definitiva na estrutura, conforme especificações estabelecidas”, enquanto o elemento pré-fabricado é definido como “elemento pré-moldado executado industrialmente, em instalações permanentes de empresa destinada para este fim”. Dessa forma, para fins de industrialização dos processos construtivos, a utilização de elementos pré-fabricados é a que mais se aproxima do conceito de indústria, sendo conseqüentemente aquele que tem maior potencial de ganho em produtividade e racionalização.

Posto isso, existem diferentes tipos de pré-fabricados que podem ser incorporados na construção civil para a melhoria da produtividade, entre eles, a NBR 15575-1:2021 descreve os seguintes:

- **Componente:** peça que faz parte de um sistema na construção, com uma forma específica e destinada a realizar funções determinadas (por exemplo: bloco de cerâmica ou concreto, telha, folha de porta, etc.). Na Figura 2 pode ser observada uma etapa da fabricação de blocos cerâmicos (componentes) em uma fábrica no Rio Grande do Sul.

Figura 2 - Fabricação de blocos cerâmicos (componente pré-fabricado)



Fonte: autor, 2024

- Elemento: parte de um sistema com funções específicas. Normalmente é constituído por vários componentes. Exemplos incluem: vedação com blocos, painel pré-fabricado para vedação, estrutura de cobertura. Na Figura 3 pode ser observada a execução de uma laje com tabelas e vigotas protendidas pré-fabricadas.

Figura 3 - Execução de laje com tabelas e vigotas pré-fabricadas



Fonte: CERÂMICA KASPARY, 2024

- Sistema construtivo: o principal conjunto funcional do edifício. É formado por um grupo de elementos e componentes que trabalham juntos para realizar uma função geral que define o sistema. Exemplos incluem: fundação, estrutura, vedações verticais, instalações hidrossanitárias, e cobertura. Na Figura 4 pode ser observada uma obra executada no sistema construtivo de pré-fabricados em concreto.

Figura 4 - Obra realizada no sistema construtivo de pré-fabricados em concreto



Fonte: autor, 2024

Levando em consideração diferentes estágios de industrialização, pode-se considerar que aqueles que utilizam apenas de componentes pré-fabricados são os que apresentam menor índice de industrialização e maior aplicação de processos manufaturados *in loco*, enquanto a utilização de elementos e sistemas construtivos pré-fabricados representam maior aspecto industrial e redução das características artesanais.

Ainda, segundo a ABDI (2015), a pré-fabricação, em suas diferentes formas, pode ser introduzida na economia de duas maneiras, através de ciclos abertos e fechados. O primeiro, trata de componentes e elementos que podem ser comercializados para o mercado como um todo, não tendo dificuldades de compatibilização com diferentes produtos e podendo ser combinados na constituição do produto final. O segundo, refere-se a maior implementação de processos que utilizam estruturas celulares de grandes painéis ou elementos que não podem ser intercambiados com outros produtos, geralmente voltados para a necessidade de uma única empresa.

Dessa forma, observa-se que a maior adesão à pré-fabricação está ligada à modulação e padronização de produtos, onde uma maior modulação favorece o desenvolvimento de indústrias de ciclos abertos e a padronização favorece a criação de indústrias de ciclos fechados.

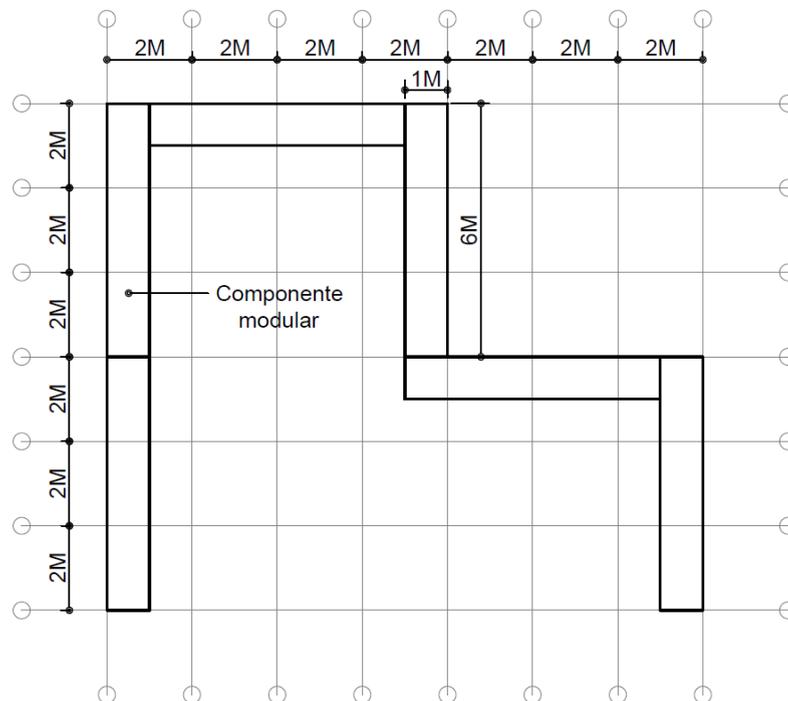
2.1.3 Modulação

A NBR 15873:2010 (p. 03), define a modulação como uma prática que busca “promover a compatibilidade dimensional entre elementos construtivos (definidos nos projetos das edificações) e componentes construtivos (definidos pelos respectivos fabricantes)”. Dessa forma, através da padronização de módulos básicos definidos pela norma em 100 mm (cem milímetros), é possível:

- Ampliar a cooperação entre os agentes produtivos da indústria da construção;
- Racionalizar as variações de medidas da construção, seja na fabricação de componentes, seja na execução *in loco*;
- Simplificar o processo de marcação da obra no canteiro, facilitando a instalação de elementos pré-fabricados;
- Aumentar a intercambialidade de componentes, seja na etapa de construção, seja em eventuais reformas e manutenções.

Logo, sem modulação, os elementos pré-fabricados se tornam heterogêneos, dificultando sua produção em série, dessa forma, gerando maior dificuldade para a adaptação da indústria e fortalecendo a cultura do trabalho artesanal. Por outro lado, a realização de projetos modulados com homogeneidade de elementos favorece e aumenta o aproveitamento da produção industrial como ocorre, por exemplo, no sistema construtivo de alvenaria estrutural. Assim, levando em consideração que diferentes projetos estejam sendo desenvolvidos e executados com o princípio de coordenação modular, é imperativo que a indústria possa comercializar componentes e elementos pré-fabricados em ciclos abertos, uma vez que, existirá demanda para produtos dimensionalmente homogêneos. Na Figura 5 é apresentado um esquema modular de elementos em vista superior com suas cotas dadas pelo número de uma unidade modular (M).

Figura 5 - Esquema modular de elementos em vista superior



Fonte: adaptado de NBR 15873:2010

2.1.4 Padronização

Em último estágio, a padronização dos projetos somada à modulação, garante que diversas unidades habitacionais possam ser produzidas a partir dos mesmos modelos de elementos pré-fabricados (uma vez que diversas edificações podem ser executadas partindo de um único projeto), oportunizando a criação de sistemas construtivos pré-fabricados em série. Neste cenário, é viabilizado o investimento em indústrias capazes de fabricar sistemas construtivos completos para a construção de unidades habitacionais idênticas, como ocorre frequentemente em HIS.

A padronização do trabalho contribui para a redução de desperdícios, diminui a carga de trabalho e os riscos de acidentes, além de elevar a produtividade e a satisfação dos trabalhadores. Ao aplicar conceitos de melhoria contínua e ergonomia, é possível otimizar processos, promover um ambiente de trabalho mais seguro e eficiente, e, conseqüentemente, aumentar o engajamento e o bem-estar da equipe (KISHIDA; SILVA; GUERRA, 2006).

Nessa abordagem, padronizar implica combater a singularidade dos produtos finais na construção civil em casos específicos como na construção de loteamentos e condomínios de

habitações populares, sendo uma oportunidade para produção de sistemas construtivos pré-fabricados como o estudo de caso verificado neste trabalho. Na Figura 6 é apresentado um condomínio de habitações populares onde as unidades habitacionais foram padronizadas a partir de um único modelo.

Figura 6 - Condomínio horizontal com habitações padronizadas



Fonte: autor, 2024

2.2 Alvenaria estrutural

Ao longo dos anos, diversos sistemas construtivos foram desenvolvidos e aprimorados pelo homem, destacando-se a alvenaria estrutural como um dos mais significativos. Embora tenha sido contestado no passado, esse sistema conquistou destaque no cenário nacional devido aos esforços para resolver dúvidas sobre sua segurança e desempenho, especialmente através do Programa Brasileiro de Qualidade e Produtividade no Habitat (PBQP-H) e da Associação Brasileira de Cimento Portland (ABCP).

De acordo com BASTOS (2021), a alvenaria estrutural foi introduzida no Brasil na década de 1960 e, a partir da década de 1980, ganhou ampla aplicação com o desenvolvimento das técnicas de alvenaria estrutural armada e não armada. Esse avanço foi possibilitado pela introdução de blocos com furos verticais e dimensões modulares, que permitiram ganhos significativos em racionalização e integração das instalações prediais. Segundo TAUIL e NESE (2010), a utilização da alvenaria estrutural pode ser classificada em três tipos principais, conforme as necessidades do projeto:

- Alvenaria estrutural não armada: neste método, não se utiliza graute, mas barras, fios e telas de aço são aplicados para reforçar a estrutura e prevenir problemas futuros;
- Alvenaria estrutural armada: caracteriza-se pela inclusão de reforços passivos em pontos específicos, conforme exigências estruturais. Utilizam-se barras, fios ou telas de aço inseridos nos furos verticais dos blocos e preenchidos com graute;
- Alvenaria estrutural protendida: neste processo, a alvenaria é reforçada com uma armadura ativa, ou seja, pré-tensionada, gerando um esforço de compressão na estrutura.

O sistema de construção com alvenaria estrutural elimina a necessidade de pilares e vigas, uma vez que os blocos estruturais utilizados não apenas funcionam como elementos de vedação, mas também são projetados para suportar cargas. Assim, esse método construtivo é caracterizado pela combinação simultânea da estrutura e da vedação do edifício (BAUER, 2019). Além disso, a alvenaria estrutural possibilita uma significativa racionalização do processo construtivo, especialmente quando comparada aos métodos tradicionais de construção (TAUIL e NESE, 2010). Essa abordagem não só melhora a eficiência e reduz os custos, mas também promove uma maior sustentabilidade e introduz fundamentos da industrialização na construção civil. Por fim, FRANCO (1992, p. 305) conclui que o emprego do sistema construtivo de alvenaria estrutural de forma racionalizada:

[...] aumenta a construtibilidade e o nível organizacional dos empreendimentos, aumentando o seu grau de industrialização. Permite ainda, a incorporação e atualização tecnológica dos processos construtivos, aumentando o desempenho tanto do processo como dos produtos.

2.2.1 Componentes da alvenaria estrutural

A NBR 15270-1:2023 define o componente na alvenaria estrutural como menor parte constituinte dos elementos da estrutura. Dessa forma, neste trabalho, os principais componentes da alvenaria estrutural serão especificados como bloco, argamassa, graute e armadura.

2.2.1.1 Bloco estrutural

No Brasil, a alvenaria estrutural emprega três tipos principais de blocos: blocos de concreto, blocos cerâmicos e blocos de sílico-calcário. Dentre eles, os blocos de concreto e cerâmicos são os mais amplamente utilizados. Para fins deste referencial teórico e limitações

de pesquisa deste trabalho, serão apresentados apenas os conceitos referentes aos blocos estruturais cerâmicos.

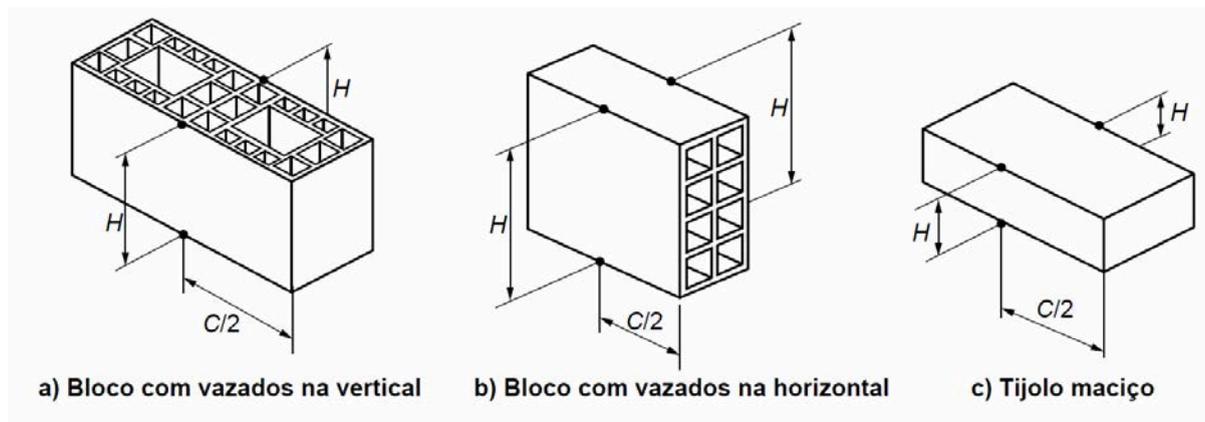
Primeiramente, a produção dos blocos cerâmicos começa com a mistura de material argiloso e 12 a 15% de água em relação ao peso seco, para conferir plasticidade à mistura. Esta mistura é então processada em uma extrusora, que molda a seção transversal dos blocos. Após a extrusão, os blocos são cortados em sua altura final com o auxílio de fios. Antes de serem queimados, os blocos precisam ser secos para remover o excesso de água. Esse processo de secagem pode ser realizado em um secador ou em um forno contínuo, com duração que varia de 20 a 80 horas. Durante a secagem, os blocos são expostos a temperaturas de até 1.000 °C, atingindo o ponto de fusão da cerâmica, conhecido como vitrificação (PARSEKIAN, HAMID e DRYSDALE, 2012).

Posto isso, segundo a norma brasileira que fixa os requisitos dos blocos cerâmicos (NBR 15270-1:2023), os componentes são classificados em duas categorias principais relacionadas ao seu uso (vedação e estrutura), sendo os de uso estrutural também divididos em outras três categorias de acordo com a relação de vazios verticais:

- Blocos de vedação (VED): com VED 15 e VED 30, utilizados exclusivamente para vedação. Os números 15 e 30 indicam a resistência característica à compressão dos blocos, medida em quilograma-força por centímetro quadrado (kgf/cm²);
- Blocos estruturais e de vedação racionalizada (EST): com EST 40, EST 60 e EST 80, que podem ser usados tanto para estrutura quanto para vedação. Os números 40, 60 e 80 também indicam a resistência característica à compressão dos blocos, medida em quilograma-força por centímetro quadrado (kgf/cm²). Usualmente, blocos de vedação possuem furos horizontais, enquanto os blocos estruturais apresentam furos verticais (BAUER, 2019);
 - Blocos estruturais de paredes vazadas: têm vazios verticais nas paredes internas e externas.
 - Blocos estruturais de paredes maciças: apresentam paredes externas maciças, e as internas podem ser vazadas ou não, desde que a relação entre a área líquida e a área bruta não exceda 65%.
 - Blocos estruturais perfurados: possuem vazios verticais em toda a face de assentamento, respeitando a relação de área líquida para área bruta de até 75%

Finalmente, a norma estabelece geometrias e dimensões nominais para os blocos cerâmicos, tais informações são especificadas na Figura 7 e Tabela 1.

Figura 7 - Geometria de blocos cerâmicos



Fonte: NBR 15270-2:2023

Tabela 1 - Dimensões nominais de blocos cerâmicos estruturais e vedação para alvenaria racionalizada – EST. (Tabela 4 da NBR 15270-1:2023)

Dimensões modulares $L \times H \times C$ Módulo dimensional $M = 100 \text{ mm}$	Dimensões nominais mm					
	Largura L	Altura H	Comprimento C			
			Bloco principal	1/2 Bloco	Bloco L amarração	Bloco T amarração
$(5/4) M \times (5/4) M \times (5/2) M$	115	115	240	115	-	365
$(5/4) M \times (2) M \times (5/2) M$		190	240	115	-	365
$(5/4) M \times (2) M \times (3) M$			290	140	265	415
$(5/4) M \times (2) M \times (4) M$			390	190	315	515
			590	290	-	-
$(3/2) M \times (2) M \times (3) M$	140	190	290	140	-	440
$(3/2) M \times (2) M \times (4) M$			390	190	340	540
			590	290	-	-
$(2) M \times (2) M \times (3) M$	190	190	290	140	340	490
$(2) M \times (2) M \times (4) M$			390	190	-	590
			590	290	-	-

Fonte: adaptado de NBR 15270-1:2023

Ainda, informações sobre resistências mínimas e referências quanto à absorção d'água em blocos cerâmicos podem ser verificadas na Tabela 2.

Tabela 2- Especificação quanto à resistência mínima, absorção d'água e espessuras

Especificação	Classe	fbk mín. (Mpa)	Absorção d'água (%)	Espessura mín. das paredes do bloco	
				Externa (mm)	Interna (mm)
Bloco para alvenaria racionalizada em parede vazada com vazados verticais	EST 40	4	8 a 21	7	6
	EST 60	6		8	7
	EST 80	8			
	EST 100	10			
	EST 120	12			
	EST 140	14			
Bloco ou tijolo para alvenaria racionalizada em parede maciça com vazados verticais	EST 40	4	8 a 21	15	15
	EST 60	6		18	18
	EST 80	8		20	20
Bloco para alvenaria racionalizada em parede maciça com vazados verticais com parede interna dupla	EST 40	4	8 a 21	15	8
	EST 60	6		18	
	EST 80	8		20	
	EST 120	12			
	EST 140	14			
	EST 160	16			
	EST 180	18			
	EST 200	20			
Bloco perfurado ou alveolar para alvenaria	EST 40	4	8 a 21	8	Índice de vazios (%) ≤25
	EST 60	6			
	EST 80	8			
	EST 120	12			
	EST 140	14			
	EST 160	16			
	EST 180	18			
	EST 200	20			

Fonte: adaptado de NBR 15270-1:2023

2.2.1.2 Argamassa de assentamento

As argamassas de assentamento são compostas por cimento, cal, areia e água, podendo incluir aditivos e adições. Quando contém tanto cimento quanto cal, são chamadas de argamassas mistas; também podem ser elaboradas apenas com cal ou cimento como aglomerante. Para desempenhar suas funções de maneira eficaz, a argamassa deve apresentar boas características de trabalhabilidade, resistência, plasticidade e durabilidade, sendo essencial a capacidade de retenção de água (RAMALHO e CORRÊA, 2007).

As principais funções da argamassa de assentamento são transferir e uniformizar as tensões entre as unidades, além de uni-las. Ela deve ser capaz de absorver pequenas deformações, como aquelas provocadas por variações de temperatura, recalques mínimos e retração por secagem. A argamassa também deve evitar a entrada de água, vento e agentes agressivos, compensar pequenas variações dimensionais das unidades e possibilitar efeitos arquitetônicos (RAMALHO e CORRÊA, 2007). A Tabela 3 extraída da NBR 13281-2:2023 contém a relação de resistência de argamassa inorgânica destinada ao assentamento de blocos de alvenaria estrutural (AAE) em função da resistência dos blocos cerâmicos.

Tabela 3 - Classes de uso e respectivos critérios de resistência à compressão da argamassa inorgânica AAE (Tabela 4 da NBR 13281-2:2023)

Classes de uso "A"	Classe de resistência à compressão da argamassa (fa) ^b MPa	Sugestões para uso em relação à resistência do bloco (fbk) MPa
AAE 5	$5,0 \leq fa < 8,0$	$3 \leq fbk \leq 6$
AAE 8	$8,0 \leq fa < 12,0$	$8 \leq fbk \leq 10$
AAE 12	$12,0 \leq fa < 16,0$	$12 \leq fbk \leq 16$
AAE 16	$16,0 \leq fa < 20,0$	$18 \leq fbk \leq 20$
AAE 20	$20,0 \leq fa < 24,0$	$22 \leq fbk \leq 24$
AAEE (Especial)	$fa \geq 24,0$	c

a) Valores de resistência estabelecidos considerando situações de uso em alvenaria estrutural de edifícios com paredes revestidas. Para outras situações de uso não consideradas nessas classes, por exemplo, alvenarias não revestidas, arrimos e reservatórios, recomenda-se utilizar argamassas inorgânicas com resistência à compressão superior ao considerado.

b) Resistência à compressão (fa) especificada pelo valor médio e coeficiente de variação inferior a 20 %.

c) Argamassas acima de 24 MPa são consideradas especiais, ficando sujeitas à especificação para cada obra por especialistas.

A espessura da junta horizontal de argamassa é um fator crucial. Ela não deve ser muito fina para evitar que as partes dos blocos não se toquem, o que poderia causar concentração de tensões. A resistência da parede à compressão diminui com o aumento da espessura da junta horizontal, pois a espessura maior reduz o confinamento da argamassa proporcionado pelas superfícies dos blocos. A NBR 16868-1:2020 estabelece que, a menos que especificado de outra forma no projeto, a espessura das juntas de assentamento deve ser de 10 mm.

2.2.1.3 Graute

O graute é empregado na alvenaria estrutural para aumentar a capacidade resistente da estrutura e garantir a aderência às armaduras instaladas. O incremento na resistência proporcionado pelo graute está diretamente relacionado ao aumento da área líquida, resultante do preenchimento dos furos dos blocos. A eficiência do graute pode variar entre 60% e 100% (BAUER, 2019). Ainda, a NBR 16868-1:2020 (p. 10) especifica que:

A avaliação da influência do graute na compressão deve ser feita mediante o ensaio de compressão de prismas, pequenas paredes ou paredes. Para consideração das sugestões da Tabela F.1, a resistência à compressão característica deve ser especificada com valor mínimo de 15 MPa. A resistência característica do graute deve ser determinada de acordo com as ABNT NBR 5738 e ABNT NBR 5739.

2.2.1.4 Armadura

As armaduras devem ser posicionadas de maneira a permanecer na localização especificada durante o processo de grauteamento. Para assegurar essa posição, podem ser utilizados arames, espaçadores, estribos, tarugos de aço e tarugos de massa. É essencial garantir que o cobrimento das armaduras, especialmente aquelas sujeitas à corrosão, não seja inferior ao especificado no projeto. As armaduras, sejam passivas ou ativas, são similares às usadas em estruturas de concreto armado ou concreto protendido. Quando em forma de vergalhões, elas correspondem aos aços CA-25, 50 e 60, conforme estabelecido pela NBR 7480:2024.

2.2.2 Projeto de alvenaria estrutural

Definidos os principais componentes do sistema construtivo, se torna critério do projetista dimensionar a estrutura através do projeto de alvenaria estrutural. A norma brasileira que fixa os procedimentos de projeto é a NBR 16868-1:2020, destacando os requisitos básicos para o correto uso do sistema. De acordo com a norma, as estruturas de

alvenaria devem atender aos requisitos mínimos de qualidade da estrutura, capacidade resistente, desempenho e durabilidade. Assim, o mesmo documento lista como itens necessários para a qualidade do projeto os seguintes:

- Sistema estrutural adequado à função desejada para a edificação;
- Ações compatíveis e representativas;
- Dimensionamento e verificação de todos os elementos estruturais presentes;
- Especificação de materiais e componentes apropriados e de acordo com os dimensionamentos efetuados;
- Procedimento de controle de para projeto.

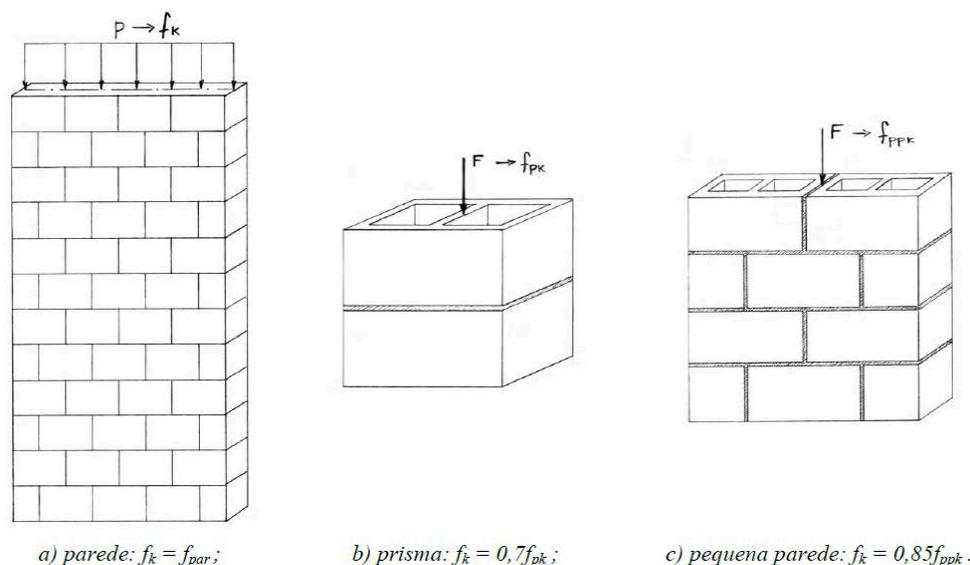
Colocando, ainda, como fundamental o processo de compatibilização com os demais projetos de especialidades técnicas, visando solucionar interferências desses outros projetos com os elementos de alvenaria antes de sua aprovação final. Para fins deste trabalho, serão aprofundados os conceitos de dimensionamento da estrutural, detalhamento da paginação e amarração.

2.2.2.1 Dimensionamento estrutural

Na alvenaria estrutural os componentes assumem função de estrutura e devem ser corretamente dimensionados para solicitações adequadas à função desejada para a edificação. Nesse sentido, a NBR 16868-1:2020 expõe os seguintes esforços que devem ser resistidos pela estrutura:

- **Compressão simples:** levando em consideração as resistências mínimas estabelecidas para os componentes pré-fabricados (blocos para alvenaria), as paredes do sistema devem ser capazes de resistir, para alvenaria feita com blocos de 190 mm de altura e junta de argamassa de 10 mm, 70% da resistência característica de compressão simples do prisma (f_{pk}) ou 85% da resistência da pequena parede (f_{ppk}). Para determinação da resistência devem ser utilizados os procedimentos descritos na NBR 18868-3:2020, conforme apresentado na Figura 8 extraída de BASTOS (2021).

Figura 8 - Tipos de corpos de prova utilizados para determinação da resistência à compressão simples (f_k), no caso de blocos de 190 mm de altura



Fonte: BASTOS (2021)

- **Compressão na flexão:** na verificação das tensões localizadas, na direção perpendicular às juntas de assentamento, e considerando uma distribuição linear de tensões sem plastificação, a resistência à compressão na flexão pode ser assumida como (NBR 16868-1:2020):
 - para flexão fora do plano da parede: 1,5 vezes a resistência característica (f_k) em trechos de alvenaria não grauteados e 2,0 vezes f_k em trechos totalmente grauteados;
 - para flexão no plano da parede: 1,5 vezes tanto para trechos não grauteados quanto para trechos grauteados de alvenaria.

Ainda, quando a compressão ocorrer paralelamente às juntas de assentamento, a resistência característica na flexão pode ser considerada da seguinte maneira (NBR 16868-1:2020):

- igual à resistência à compressão na direção perpendicular às juntas de assentamento, se a região comprimida da alvenaria estiver completamente grauteada;
- igual a 50% da resistência à compressão na direção perpendicular às juntas de assentamento, caso a região não esteja totalmente grauteada.

- **Tração na flexão:** é permitida a consideração da resistência à tração da alvenaria sob flexão, conforme os valores característicos indicados na Tabela 4, aplicáveis para assentamento com juntas verticais preenchidas (NBR 16868-1:2020).

Tabela 4 - Valores característicos da resistência à tração na flexão (f_{tk}) (Tabela 3 da NBR 16868-1:2020)

Resistência média à compressão da argamassa	f_{tk} MPa	
	Direção da tração perpendicular à fiada	Direção da tração paralela à fiada
Entre 1,5 e 3,4 MPa	0,10	0,20
Entre 3,5 e 7,0 MPa	0,20	0,40
Acima de 7,0 MPa	0,25	0,50

Fonte: NBR 16868-1:2020

- **Cisalhamento na alvenaria:** as resistências características ao cisalhamento nas juntas horizontais das paredes são apresentadas na Tabela 5, dependendo da faixa de resistência da argamassa. Esses valores são aplicáveis para assentamento com juntas verticais preenchidas (NBR 16868-1:2020).

Tabela 5 - Valores característicos da resistência ao cisalhamento em juntas horizontais de paredes – f_{vk} (Tabela 4 da NBR 16868-1:2020)

Resistência média à compressão da argamassa (MPa)	f_{vk} (MPa)
Entre 1,5 e 3,4 MPa	$0,10 + 0,5\sigma \leq 1,0$
Entre 3,5 e 7,0 MPa	$0,15 + 0,5\sigma \leq 1,4$
Acima de 7,0 MPa	$0,35 + 0,5\sigma \leq 1,7$
σ é a tensão normal de pré-compressão na junta, considerando-se apenas as ações permanentes ponderadas por coeficiente igual a 0,9 (ação favorável).	

Fonte: NBR 16868-1:2020

A resistência característica ao cisalhamento na interface vertical de paredes com juntas amarradas pode ser considerada como 0,60 MPa. Para peças de alvenaria estrutural submetidas à flexão, quando houver armaduras perpendiculares ao plano de cisalhamento envoltas por graute, a resistência característica ao cisalhamento pode ser determinada pela equação 1 (NBR 16868-1:2020):

$$f_{vk} = 0,35 + 17,5\rho \leq 0,7 \text{ MPa}; \quad (1)$$

$$\rho = A_s \div bd = \text{taxa geométrica de armadura} \leq 2 \%;$$

onde:

A_s = área de armadura principal de flexão;

b = largura da seção transversal;

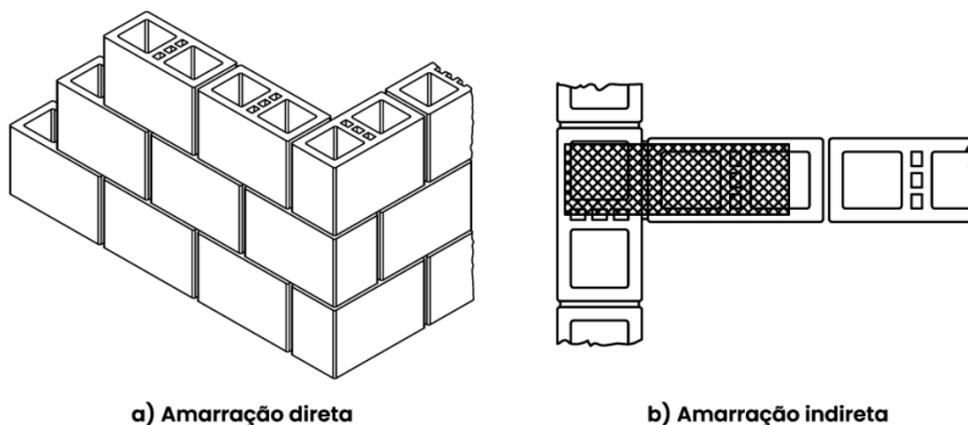
d = altura útil da seção transversal.

2.2.2.2 Amarração

Na modulação de planta, sempre que viável, deve-se priorizar a conexão entre duas ou mais paredes que se encontram, adotando a amarração direta, que consiste no intercalamento alternado das fiadas (Figura 8). Esse procedimento possibilita a interação entre as paredes, permitindo que a carga de uma seja redistribuída para as paredes adjacentes a ela conectadas. Essa interação favorece a uniformização das tensões ao longo da altura do edifício, trazendo benefícios significativos tanto em termos estruturais quanto econômicos (BASTOS, 2021).

A alternativa à amarração direta é a amarração indireta, na qual não ocorre o intercalamento dos blocos das fiadas ímpares com os das fiadas pares. A amarração indireta resulta em uma junta vertical, como demonstrado nas conexões entre paredes na Figura 9. Como essa técnica não promove uma interação ideal entre as paredes, a tendência de uniformização das tensões é menor. Consequentemente, a amarração indireta oferece menor contribuição para a resistência da estrutura e deve ser evitada, sobretudo em edifícios de vários pavimentos (BASTOS, 2021).

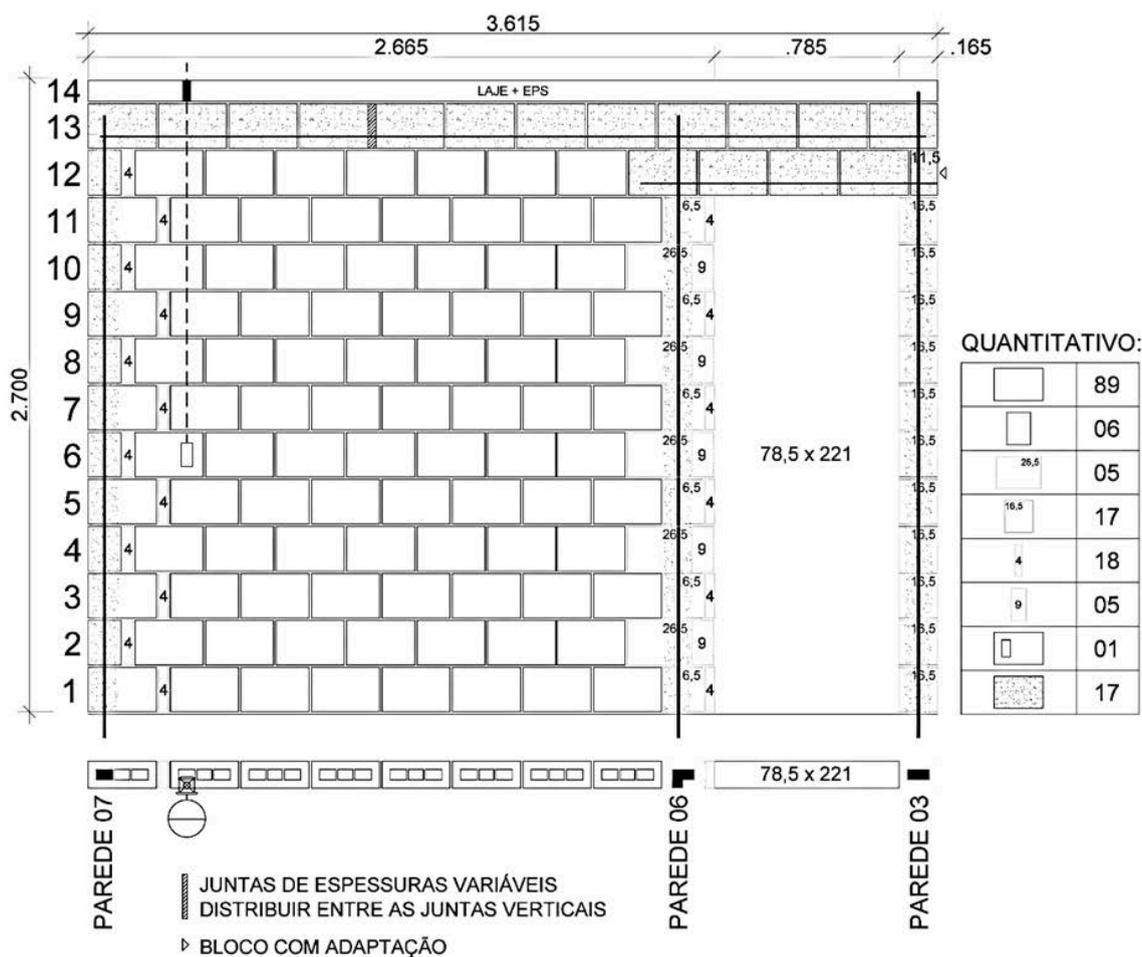
Figura 9 - Demonstração de amarração direta (a) e indireta (b)



2.2.2.3 Paginação

De acordo com a NBR 16868-1:2020, o projeto deve apresentar desenhos técnicos que detalham as fiadas e as elevações de todas as paredes. Essa técnica é adotada a fim de representar a disposição dos blocos na parede de alvenaria, bem como seus detalhes de amarração, localização de pontos de graute e juntas de controle e dilatação. Na Figura 10 é apresentado um exemplo de paginação em projeto de alvenaria estrutural.

Figura 10 - Paginação em projeto de alvenaria estrutural



Fonte: adaptado de MMC PROJETOS E CONSULTORIA, 2024

2.3 Habitação de interesse social (HIS)

Segundo o Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA), através da resolução nº 412, de 13 de maio de 2009, Art. 4º, o conceito de Habitação de Interesse Social (HIS) pode ser descrito como “conjuntos habitacionais destinados à moradia de população de baixa

renda, assim considerada pela legislação em vigor”. Porém, mesmo com repertório de pesquisa vasto, o termo pode ter diferentes definições de acordo com autores ou âmbitos estaduais/municipais distintos. Nesse sentido, para fins deste estudo, define-se Habitação de Interesse Social (HIS) como: habitações construídas com incentivos públicos, destinadas para a população de baixa renda em loteamentos ou condomínios multifamiliares.

Posto isso, a construção das HIS se faz a partir da concepção de loteamentos ou condomínio com unidades padronizadas financiadas através de entidades governamentais, não sendo necessariamente construídas pelos governos. O papel das entidades governamentais é de suma importância, a Caixa Econômica Federal (CEF), por exemplo, participa de programas de Habitação Popular em colaboração com o governo federal, oferecendo suporte financeiro para Habitações de Interesse Social. O objetivo é garantir que as pessoas de baixa renda tenham acesso a moradias adequadas e legalizadas, além de serviços públicos, contribuindo para a redução das desigualdades sociais e promovendo um planejamento urbano mais organizado (CEF, 2023).

De acordo com a CEF (2023), os participantes da execução do Programa Minha Casa, Minha Vida (PMCMV), responsável pelo maior número de incorporações de HIS no país, são principalmente:

- O Ministério da Fazenda e do Planejamento, Orçamento e Gestão, responsáveis por revisar anualmente, em parceria com o Ministério das Cidades, as diretrizes para o acesso às Habitações de Interesse Social (HIS). Além disso, define a remuneração da Caixa Econômica Federal (CEF) pelos serviços prestados ao governo federal como instituição financeira;
- Os Estados, Municípios e o Distrito Federal, ou seus órgãos administrativos diretos ou indiretos que participam do programa, devem formalizar sua adesão por meio da assinatura de um Termo de Adesão com a CEF;
- As empresas do setor da Construção Civil, que devem apresentar propostas e, uma vez aprovadas, executar a elaboração e a construção dos projetos, seguindo os critérios estabelecidos pela CEF.

Por fim, os parâmetros que consideram aptos os beneficiários do PMCMV são julgados pela entidade concedente do financiamento e, além de especificar as condições para o recebimento do benefício, também impõe definições de tipologia, sendo tipologias I (casas

térreas) e II (apartamentos). Também vale ressaltar especificações que restringem o número de cômodos, a área útil interna, os materiais de acabamento e as dimensões dos ambientes, entre outros aspectos (CEF, 2023).

2.4 Modelos de parede pré-fabricada

A fim de compreender as características dos sistemas de parede pré-fabricada em alvenaria, alguns dos modelos disponíveis em literaturas nacionais foram destacados neste capítulo.

2.4.1 Histórico

Os métodos de construção com painéis pré-fabricados de cerâmica estão se tornando cada vez mais comuns em países como Inglaterra, Estados Unidos e Alemanha. Essa técnica visa manter os benefícios funcionais e estéticos das construções em alvenaria, ao mesmo tempo que resolve problemas significativos associados a esse tipo de construção, como atrasos causados por condições climáticas, desafios na gestão de materiais e controle de qualidade, e a falta de profissionais qualificados para o assentamento (THAMBOO, 2021).

2.4.2 Normativa

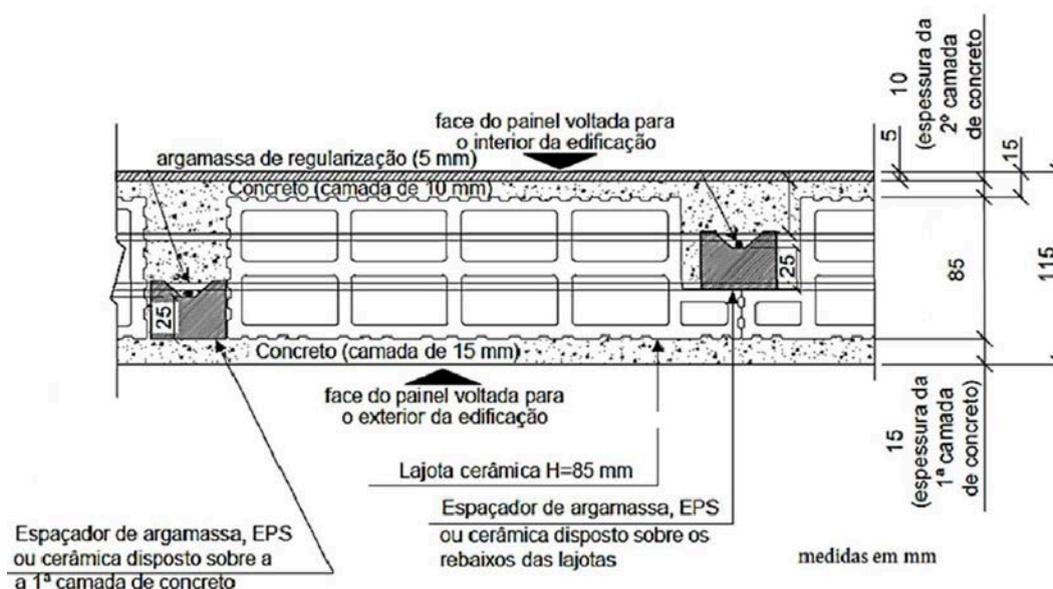
No Brasil, grande parte dos sistemas inovadores de construção não possuem um respaldo normativo específico redigido pela Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), sendo utilizado em alguns casos o Documento de Avaliação Técnica (DATec) redigido pelo Sistema Nacional de Avaliações Técnicas de Produtos Inovadores (SINAT). Nesse sentido, alguns dos documentos que se assemelham ao sistema construtivo estudado e que forneceram informações relevantes para concepção do mesmo estão descritos abaixo.

2.4.2.1 Painéis estruturais pré-moldados mistos (DATec N°023-C)

A DATec N°023-C (SINAT, 2022), proposta pela ITC (Industrialização Comércio e Tecnologia em Construções LTDA.), oferece a avaliação técnica referente a um sistema de painéis estruturais pré-moldados mistos de concreto armado e lajotas cerâmicas. O produto tem espessuras de 115mm para paredes internas e externas e 165mm para paredes de geminação e áreas comuns. Cada painel tem comprimento máximo de 7,0m e altura conforme o pé direito do projeto (DATec N°023-C).

Os painéis são adequados para unidades habitacionais unifamiliares térreas, sobrados, casas geminadas e edifícios multifamiliares de até dois andares. A produção ocorre em uma unidade fabril, onde os painéis são moldados sobre uma pista de concreto e delimitados por perfis metálicos fixados com parafusos e ganchos. A face de moldagem é voltada para o exterior durante a montagem final. Para movimentação e transporte, são usados caminhões com guindaste, ponte rolante ou guincho motorizado, e caminhões *munck* para a montagem no local. Na Figura 11 é apresentada uma seção transversal do painel, demonstrando a lajota cerâmica e o concreto que a envolve (DATEc N°023-C).

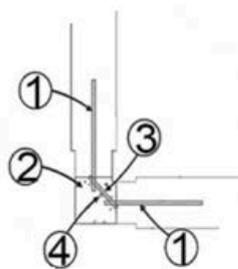
Figura 11 - Seção do painel pré-moldado DATEc N°023-C



Fonte: figura 15 da DATEc N°023-C (SINAT, 2022)

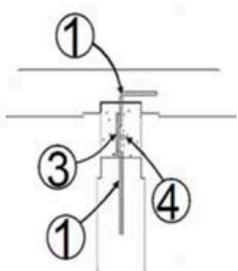
Para o posicionamento dos painéis de parede, a fundação é previamente marcada e, em seguida, os painéis são descarregados em seus locais definitivos. Eles são apoiados sobre calços de argamassa com resistência de 10 MPa e posicionados com o auxílio de escoras metálicas fixadas à fundação. Os painéis são então travados entre si por dispositivos metálicos instalados na parte superior dos encontros. Após estarem alinhados verticalmente e nivelados, realiza-se a soldagem das barras de soldagem. Na Figura 12 são demonstrados os esquemas de ligação entre painéis para garantir sua amarração (DATEc N°023-C).

Figura 12 - Esquemas de ligação entre painéis DATec N°023-C



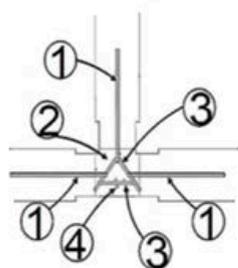
Ligação entre dois painéis em L:

1. Barra de aço CA-25, Ø10mm (barra de soldagem);
2. Concreto fck 25MPa ou 30MPa;
3. Barras de soldagem CA-25, Ø10mm, C=10cm;
4. Barra de aço CA-50, Ø8mm, C=113cm transpassada 48cm acima da base do painel do pavimento superior e 48cm abaixo do topo do painel térreo (barra fundida na barra 3)



Ligação entre dois painéis em T:

1. Barra de aço CA-25, Ø10mm (barra de soldagem);
2. Concreto fck 25MPa ou 30MPa;
3. Barras de soldagem CA-25, Ø10mm, C=10cm;
4. Barra de aço CA-50, Ø8mm, C=113cm transpassada 48cm acima da base do painel do pavimento superior e 48cm abaixo do topo do painel térreo (barra amarrada ou soldada na barra 3)



Ligação entre três painéis:

1. Barra de aço CA-25, Ø10mm (barra de soldagem);
2. Concreto fck 25MPa ou 30MPa;
3. Barras de soldagem reta e em "V" CA-25, Ø10mm, C=10cm e C=18cm, respectivamente;
4. Barra de aço CA-50, Ø8mm, C=113cm transpassada 48cm acima da base do painel do pavimento superior e 48cm abaixo do topo do painel térreo (barra amarrada ou soldada na barra 3)

Fonte: adaptado de DATec N°023-C (SINAT, 2022)

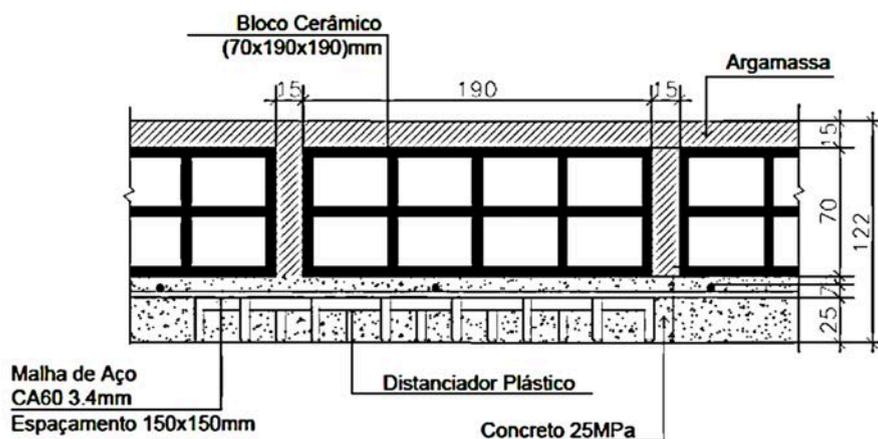
Por fim, o sistema construtivo foi submetido a testes para ter seu procedimento validado através da DATec. Esses testes foram feitos para garantir seu desempenho em termos de segurança estrutural, estanqueidade, isolamento térmico, isolamento acústico e durabilidade. Finalmente, o sistema foi liberado para execução dentro dos limites e condições estipuladas pelo Documento de Avaliação Técnica.

2.4.2.2 Painéis pré-moldados em alvenaria cerâmica e concreto armado (DATec N°021-C)

A DATec N°021-C (SINAT, 2020), proposta pela Morefácil Construtora e Incorporadora LTDA., oferece a avaliação técnica referente a um sistema de painéis pré-moldados em alvenaria com blocos cerâmicos e concreto armado. Os painéis são projetados de acordo com especificações detalhadas, compostos por uma camada de concreto armado, blocos cerâmicos e argamassa, e são fabricados sobre uma pista de moldagem em concreto no canteiro de obras. Tanto as paredes internas quanto as externas têm uma

espessura de 122 mm e são estruturais. As instalações hidráulicas e sanitárias são externas e protegidas por *shafts*. Os sistemas dentro dos *shafts* devem ter seu desempenho avaliado conforme as normas vigentes. Na Figura 13 é apresentado um corte típico do produto em questão (DATEc N°021-C).

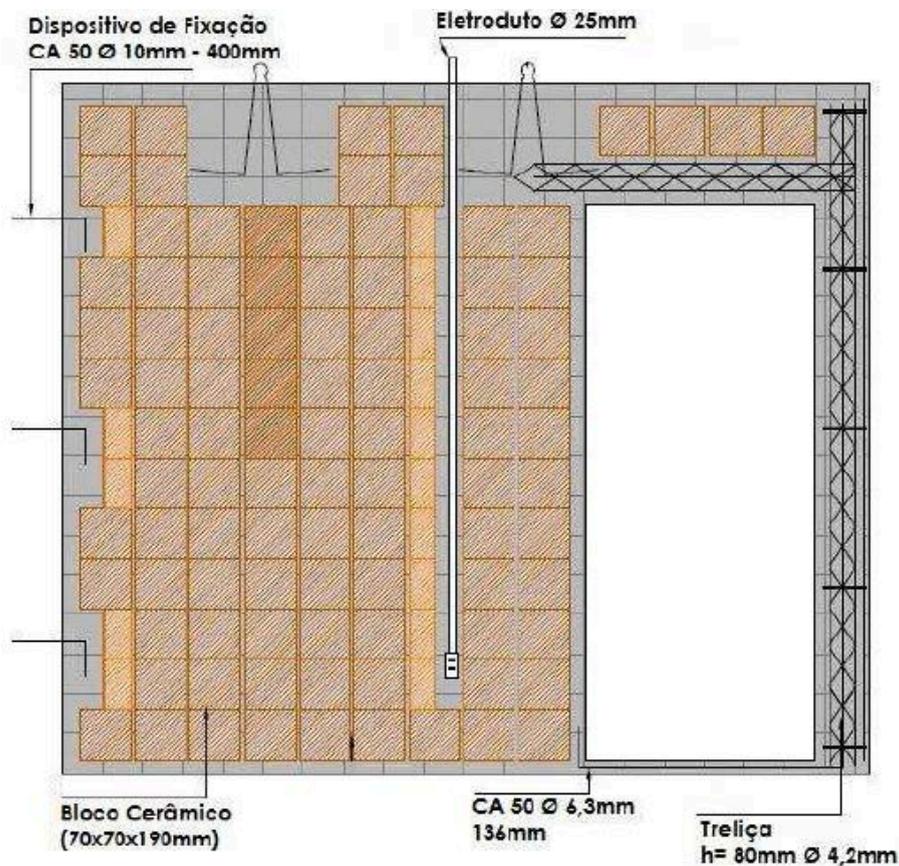
Figura 13 - Corte típico dos painéis DATEc N°021-C (mm)



Fonte: figura 1 da DATEc N°021-C (SINAT, 2020)

Os pilares pré-moldados da parede de geminação são construídos com formas metálicas preenchidas com concreto classe C25, armados com barras longitudinais de Ø8,0 mm de aço CA50 e estribos de aço CA60, com um cobrimento mínimo de concreto de 30mm. O revestimento do sistema de vedação vertical inclui pintura com textura acrílica na face voltada para o interior dos ambientes dos dormitórios, corredor e sala, bem como na face externa das paredes de fachada. As paredes do box do banheiro, a região da pia da cozinha e a área do tanque da área de serviço são revestidas com placas cerâmicas aplicadas com argamassa colante, até a altura de 1500 mm. O sistema construtivo prevê três tipos de ligações entre painéis, utilizando dispositivos metálicos aplicados nas laterais dos painéis em três pontos distintos. Após a montagem dos painéis, os dispositivos metálicos são soldados e protegidos com primer epóxi rico em zinco. Os vãos entre os painéis são preenchidos com graute e as juntas são tratadas com a aplicação de tela de poliéster e argamassa. Na Figura 14 verifica-se uma elevação de painel com detalhes de sua amarração (DATEc N°021-C).

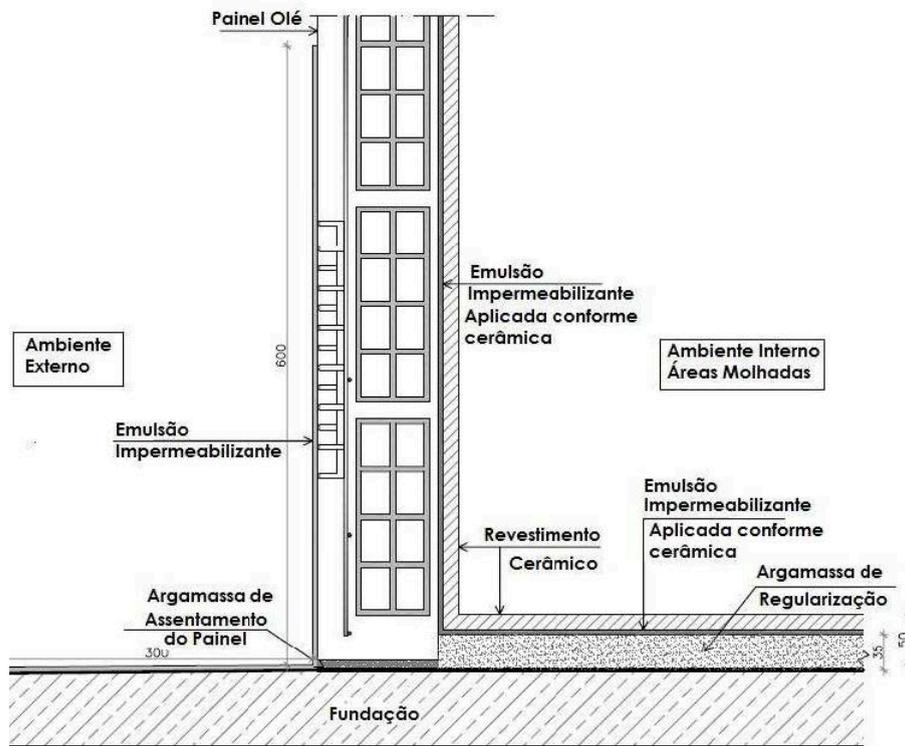
Figura 14 - Elevação típica com amarrações DATec N°021-C



Fonte: figura 2 da DATec N°021-C (SINAT, 2020)

O processo de montagem se dá de forma semelhante ao modelo apresentado no item 2.4.2.1, sendo o painel içado através de um caminhão *munck* e então colocado sobre uma camada de argamassa para assentamento dentro do esquadro delimitado pelo projeto arquitetônico. Na Figura 15 é detalhada a interface entre o painel e o piso nos banheiros, cozinhas e áreas de serviço da residência. Enfim, após realizadas as análises técnicas o produto foi liberado para execução dentro dos limites e condições estipuladas pelo Documento de Avaliação Técnica (DATec N°021-C).

Figura 15 - Detalhe da interface entre o painel e o piso DATEc N°021-C (mm)



Fonte: figura 17 da DATEc N°021-C (SINAT, 2020)

2.5 Análise de viabilidade

A ABDI (2015) enfatiza a importância da análise de viabilidade na construção civil, descrevendo-a como um estudo das variáveis para a execução com otimização de recursos e aumento da produtividade. Assim, a análise de viabilidade é crucial para identificar as diversas variáveis envolvidas na implementação de um projeto, sendo aplicável em várias áreas do conhecimento. Além disso, segundo GEHBAUER (2002), a viabilidade de um empreendimento envolve comparar os custos estimados com os lucros esperados pela sua comercialização. Contudo, a viabilidade também deve ser avaliada sob outras perspectivas, como as sociais e ambientais. Isso inclui a análise da sustentabilidade do projeto e seu impacto na geração de empregos, avanço técnico e desenvolvimento tecnológico, proporcionando benefícios à sociedade. Além disso, não basta apenas considerar a rentabilidade do projeto, pois há questões técnicas e legais que podem impedir sua realização.

2.5.1 Aspecto econômico

Segundo FERREIRA (2009), a análise financeira e a econômica diferem na avaliação de viabilidade. A financeira é quantitativa, focando na rentabilidade do projeto com base no fluxo de caixa, considerando entradas e saídas de capital para gerar projeções de retorno. Já a análise econômica é qualitativa, justificando o investimento no contexto de mercado, destacando as razões que tornam o projeto adequado para investidores e financiadores. Dessa forma, a análise econômica fornece uma visão ampla das motivações por trás das decisões organizacionais. Conseqüentemente, fornece uma análise ampla dos motivos que levam organizações a adotarem determinadas medidas.

A análise, nessa perspectiva, deve seguir uma metodologia própria tendo suas informações organizadas em uma ordem pré-determinada que facilite a interpretação dos dados a fim de julgar uma solução viável ou não para realização do projeto (SILVA FILHO, 2011). Dessa forma, ao final do estudo deve-se determinar a viabilidade ou inviabilidade do projeto. Caso fique comprovado que o empreendimento é economicamente vantajoso, ele deve ser recomendado para implementação. Caso contrário, se não atender aos critérios estabelecidos, o projeto não deverá ser indicado como viável (SILVA FILHO, 2011).

2.5.1.1 Quantificação de produtividade

O Manual Básico de Indicadores de Produtividade na Construção Civil (2017) da Câmara Brasileira da Indústria da Construção (CBIC) oferece conceitos relevantes sobre a quantificação de produtividade no canteiro de obras e em como esses aspectos se traduzem em valores financeiros. Quanto a isso, o conceito de Razão Unitária de Produção (RUP), um indicador de produtividade de mão de obra, representa os esforços realizados em relação ao serviço executado. A razão pode ser obtida pela equação 2 (CBIC, 2017):

$$RUP = Hh \div QS; \quad (2)$$

onde:

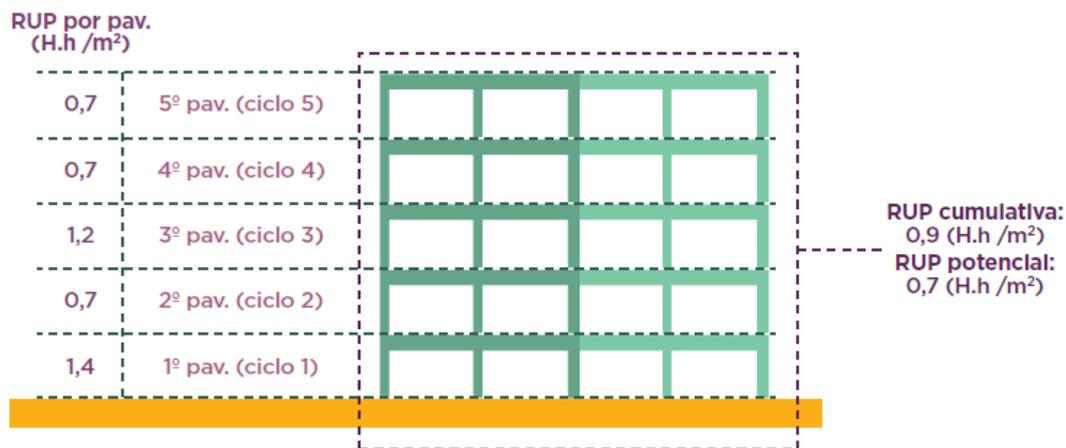
Hh = homem-hora;

QS = quantidade de serviço realizado.

Esse viés possibilita que orçamentos sejam realizados e que o serviço executado seja comparado com as previsões feitas previamente à obra. Na Figura 16 é demonstrado o levantamento de RUP em um edifício do primeiro ao quinto pavimento, A RUP cumulativa

apresentada denota o esforço agregado completo (considerando momentos favoráveis e desfavoráveis durante a obra) em comparação com o serviço total realizado; é uma métrica útil para avaliar orçamentos, pois reflete o desempenho global do serviço. Por outro lado, a RUP potencial está ligada aos períodos de ciclo de serviço nos quais não houve interrupções na execução. Nesse contexto, quanto menor o RUP, maior a produtividade (CBIC, 2017).

Figura 16 - Razão Unitária de Produção (RUP)



Fonte: CBIC, 2017

2.5.2 Análise SWOT

O conceito de análise SWOT foi desenvolvido entre as décadas de 1950 e 1960, exercendo um papel significativo na popularização do planejamento estratégico. Ela baseia-se na análise das características internas da organização, suas forças (*strengths*) e fraquezas (*weaknesses*), além das condições externas, que incluem oportunidades (*opportunities*) e ameaças (*threats*) presentes no ambiente em que o empreendimento atua. Essa matriz fornece uma estrutura para sintetizar percepções sobre o contexto interno e externo a um projeto ou instituição. Dessa forma, para FERNANDES (2012), a matriz contribui para a análise do potencial das forças e da vulnerabilidade das fraquezas, além de auxiliar na identificação de oportunidades e na mitigação de ameaças. Logo, permite que a organização maximize suas vantagens competitivas e reduza riscos, orientando o planejamento estratégico de maneira mais eficaz e alinhada ao ambiente de mercado.

3 METODOLOGIA

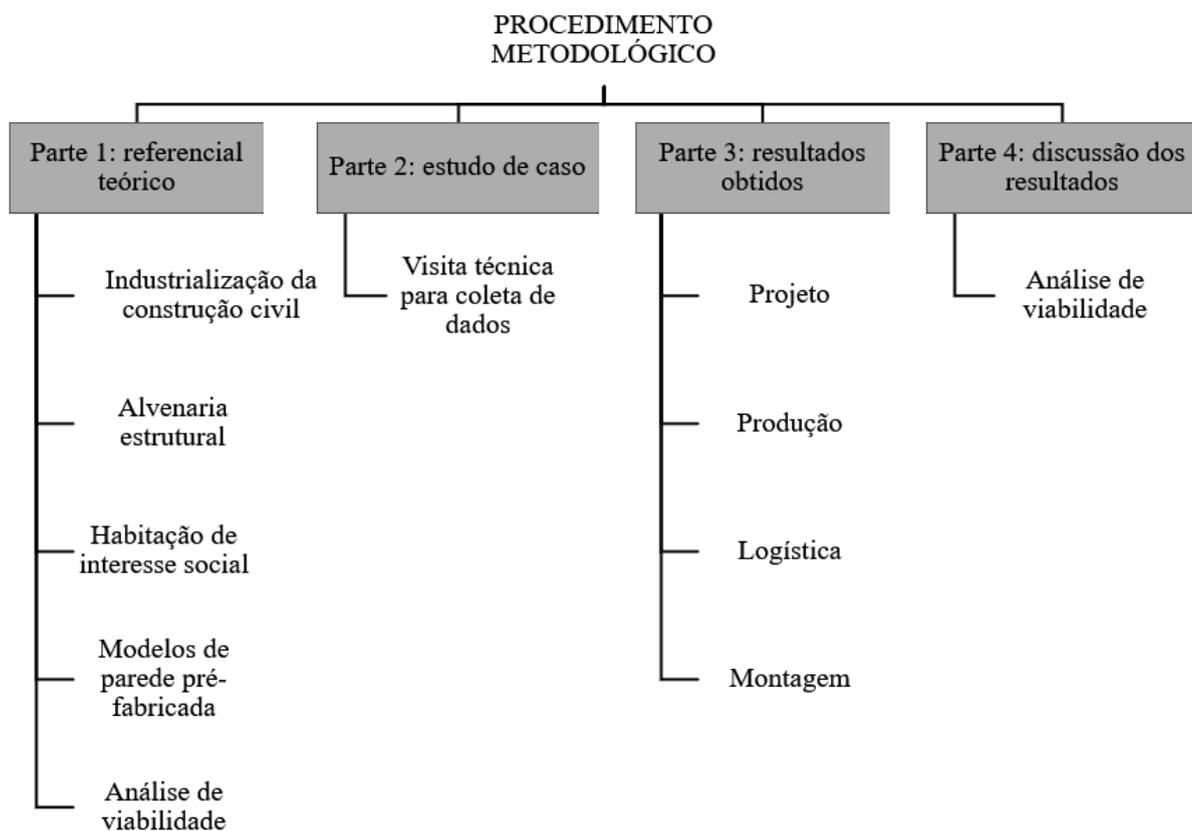
3.1 Caracterização da pesquisa

A pesquisa em questão tem caráter analítico e se trata de um estudo de caso. Nesse tipo de pesquisa, é necessário investigar as principais características do sistema estudado a fim de levantar a maior quantidade de dados possíveis para corroborar uma análise próxima da realidade.

3.2 Delineamento da pesquisa

A fim de levantar dados que corroboram os conceitos introduzidos e atingir os objetivos traçados na introdução deste trabalho, o procedimento metodológico da pesquisa foi dividido em quatro etapas. Na Figura 17 está descrito um mapa mental onde pode-se identificar os itens e subitens que compõem o método de estudo.

Figura 17 - Procedimento metodológico



Dessa forma, com as informações teóricas pertinentes ao tema explanadas no referencial bibliográfico deste trabalho, pôde-se dar início às etapas de coleta e análise de dados que caracterizam o estudo de caso.

3.3 Estudo de caso: paredes pré-fabricadas em alvenaria estrutural

Para a análise de viabilidade do sistema construtivo de paredes pré-fabricadas em alvenaria estrutural, inicialmente, foram identificadas as principais etapas do processo construtivo: projeto, produção, logística e montagem. Desse modo, os resultados foram obtidos por meio do acompanhamento do projeto durante sua concepção, de visitas técnicas às instalações da fábrica onde foram produzidos os painéis, além do acompanhamento da montagem do primeiro protótipo no canteiro de obras. Assim, foram realizadas três visitas aos locais mencionados, onde foram observadas as principais atividades realizadas, com registros descritivos e fotográficos que possibilitaram as análises e conclusões deste trabalho.

Os resultados foram organizados e analisados seguindo os parâmetros de matriz SWOT, dessa forma, os principais pontos fortes e fraquezas, assim como oportunidades e ameaças do sistema foram observados e discutidos seguindo uma organização pré-determinada. Embora tenha como objetivo fornecer análises estratégicas e de plano de ação para negócios, neste trabalho a matriz SWOT foi elaborada como roteiro a fim de levantar os principais conceitos intrínsecos e extrínsecos ao estudo de caso, deixando a análise de estratégias, bem como questões econômico-financeiras da aplicação do sistema em empresas como sugestões para trabalhos futuros (por estar no primeiro protótipo, a amostragem de dados sobre o sistema não foi suficiente para proporcionar boas análises dessa característica).

Inicialmente, o projeto de paginação dos painéis foi estudado durante sua concepção, sendo descrito e apresentado nos resultados deste trabalho. Nesse contexto, foram analisadas as características de um projeto do sistema convencional de alvenaria estrutural que precisariam ser adaptadas para garantir um melhor funcionamento do sistema industrializado, sem que as alterações impactassem nas dimensões propostas pelo projeto arquitetônico. Informações sobre a escolha dos componentes estruturais, como blocos, argamassa, fitas de sustentação e graute, foram observadas e detalhadas nos resultados obtidos.

Em segundo lugar, um dos principais aspectos do estudo foi o processo de produção industrial das paredes, que também foi descrito e analisado para compor a análise de

viabilidade. A metodologia incluiu visitas técnicas às instalações da fábrica, onde os processos de produção foram observados e relatados. Os principais dados foram coletados por meio do registro de tempo e recursos utilizados na produção dos elementos, que foram posteriormente reunidos para análise, permitindo a comparação com as rotinas construtivas do sistema convencional.

A logística de transporte e montagem das paredes foi analisada e descrita de forma semelhante a etapa de produção. O acompanhamento incluiu o percurso do transporte da fábrica ao loteamento e o processo de montagem das habitações. Foram considerados aspectos como métodos e tempos de carregamento, veículos necessários, preparação do canteiro de obras, número de funcionários envolvidos e procedimentos de montagem. Os dados foram coletados principalmente através do tempo de execução e dos recursos utilizados, sendo também analisados e comparados com os do sistema convencional.

Por fim, com todos os dados de produção, logística e montagem reunidos, foi possível organizar as conclusões de forma a expor as forças, fraquezas, oportunidades e ameaças do sistema construtivo industrializado. A Figura 18 demonstra a matriz utilizada para organizar as discussões e a análise de viabilidade do sistema.

Figura 18 - Composição da análise de viabilidade em matriz SWOT

	Efeito positivo	Efeito negativo
Fator interno	<p>S</p> <p>Forças (<i>Strengths</i>)</p>	<p>W</p> <p>Fraquezas (<i>Weaknesses</i>)</p>
Fator externo	<p>O</p> <p>Oportunidades (<i>Opportunities</i>)</p>	<p>T</p> <p>Ameaças (<i>Threats</i>)</p>

4 RESULTADOS OBTIDOS

4.1 Projeto

Para aplicar os conceitos de modulação e padronização discutidos anteriormente, o projeto arquitetônico escolhido para a execução do sistema localizava-se em um conjunto habitacional de interesse social no estado do Rio Grande do Sul. O empreendimento, que já estava em andamento, havia sido inicialmente projetado para o sistema de alvenaria estrutural convencional, exigindo adaptações para adequar-se ao sistema pré-fabricado. A Figura 19 ilustra o modelo habitacional construído no loteamento com ambos os sistemas construtivos.

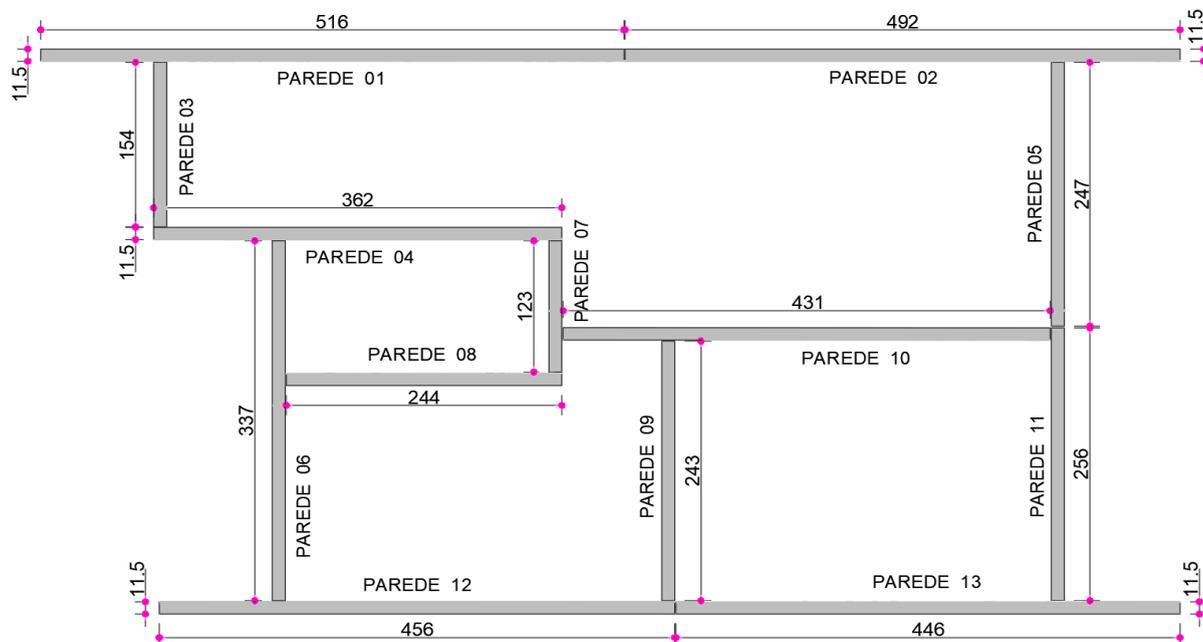
Figura 19 - Modelo de habitação executado



Fonte: VASCO CONSTRUTORA, 2024

No projeto original, a amarração direta das paredes inviabiliza a criação de módulos independentes. Para contornar essa limitação, foi necessário ajustar a paginação da alvenaria, permitindo a divisão da edificação em 13 painéis de paredes modulares, unidos por um sistema de amarração indireta. Durante o desenvolvimento da coordenação modular, foram utilizados painéis de parede com tamanhos variados, cuja modulação foi definida pelas características de fabricação dos painéis e pelos requisitos do projeto arquitetônico, que permaneceu inalterado. Apesar de satisfatórios, os resultados de modulação não possibilitaram a divisão dos painéis em unidades com um único módulo básico. A Figura 20 apresenta uma vista superior da modulação final do projeto, com o tamanho de cada painel correspondendo à soma das dimensões dos blocos e das juntas de argamassa.

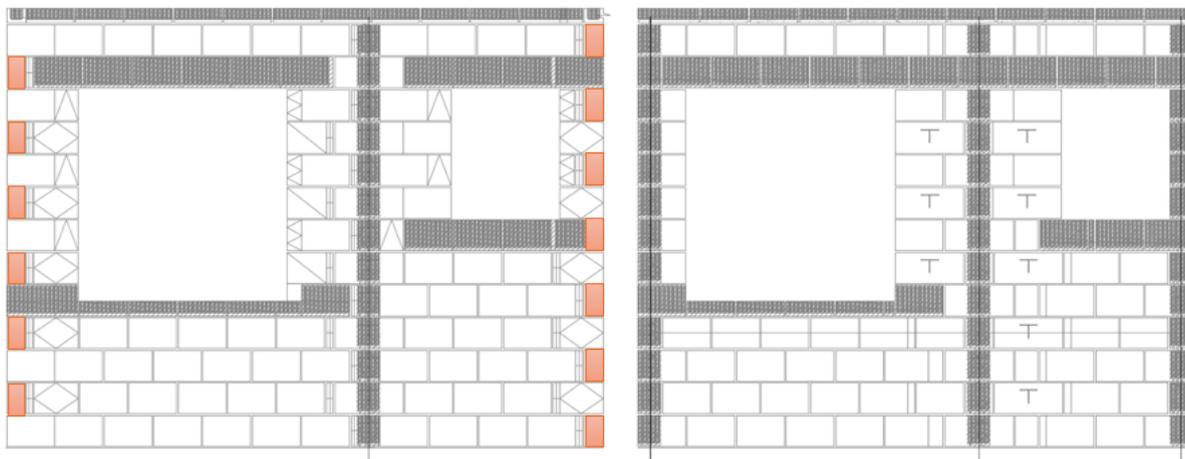
Figura 20 - Coordenação modular do projeto (vista superior)



Fonte: adaptado de MMC PROJETOS E CONSULTORIA, 2024

A adaptação na paginação da alvenaria, necessária para compatibilizar o projeto original ao sistema modular adotado, é mostrada na Figura 21. Essas modificações ajustaram a disposição dos blocos e a distribuição das juntas de argamassa, garantindo o cumprimento das novas exigências construtivas sem comprometer a integridade estrutural e funcional do edifício. A comparação com o modelo original evidencia as mudanças implementadas para viabilizar a modulação, mantendo a coerência estética e técnica do projeto arquitetônico. Na Figura 21, destacam-se o uso de blocos cerâmicos com dimensões diferentes e a presença de pontos de graute nas laterais das paredes (em cinza), decorrentes da diferença na amarração entre os sistemas. Os blocos em vermelho indicam o entrelaçamento da amarração direta no sistema convencional.

Figura 21 - Diferenças de paginação de alvenaria



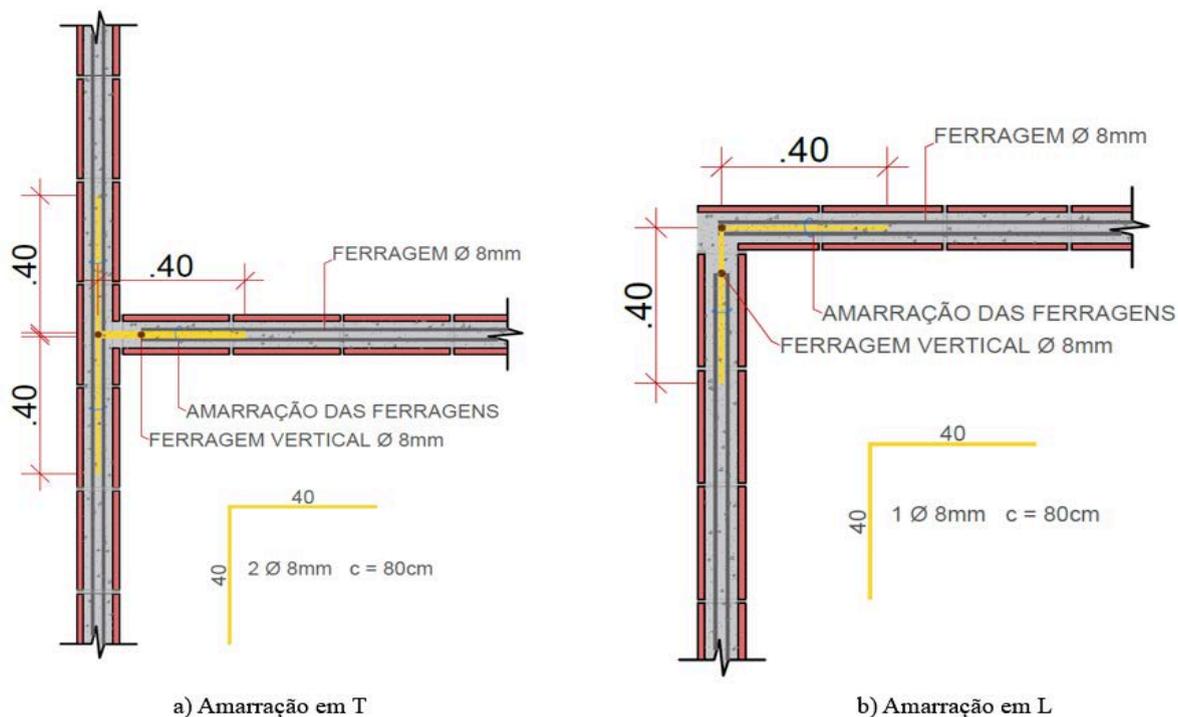
a) Paginação original do projeto no sistema tradicional

b) Paginação modificada para o sistema pré-fabricado

Fonte: adaptado de MMC PROJETOS E CONSULTORIA, 2024

Quanto ao desempenho estrutural, foram utilizados blocos da classe EST 40 (estruturais e de vedação racionalizada) da família de 11,5 cm em ambos os sistemas. O dimensionamento, feito para o projeto de alvenaria estrutural convencional, não sofreu alterações quanto à resistência dos blocos para o sistema pré-fabricado. Por se tratar do mesmo projeto arquitetônico, as diferenças de material foram mínimas, com exceção do maior uso de graute e aço no sistema pré-fabricado, em razão da amarração indireta das paredes. Para amarração e estruturação, foram utilizados vergalhões de aço do diâmetro comercial de $\varnothing 8$ mm enquanto argamassa e graute apresentaram resistências à compressão características de 4 MPa e 15 MPa, respectivamente. O sistema de amarração indireta, com junções em “T” e “L” é ilustrado na Figura 22, que mostra a vista superior da união dos painéis, com as armaduras e pontos de graute necessários para assegurar a rigidez e estabilidade da estrutura pré-fabricada.

Figura 22 - Sistema de amarração utilizado



Fonte: MMC PROJETOS E CONSULTORIA, 2024

4.2 Produção

Com o projeto finalizado e as paginações de alvenaria detalhadas, pôde-se dar início ao processo de fabricação das paredes. O processo ocorreu junto à fábrica de blocos cerâmicos próxima ao local onde seria montada a habitação. Nesse sentido, todo o processo de fabricação foi otimizado através da disposição de materiais da fábrica e do ambiente preparado para dar aos funcionários envolvidos as melhores condições ergonômicas e de produtividade. As condições de trabalho podem ser verificadas na Figura 23, onde é retratado o processo de construção da parede 1.

Figura 23 - Ambiente de trabalho na fábrica

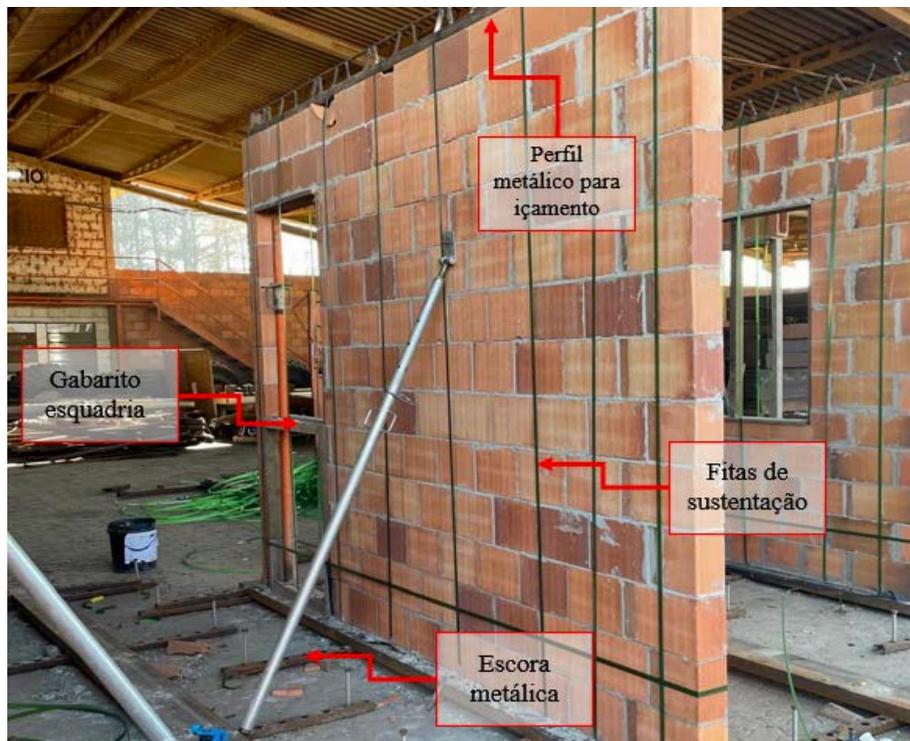


Fonte: autor, 2024

Inicialmente, após separados os materiais necessários para a construção das paredes, os funcionários responsáveis pelo serviço começaram o assentamento de acordo com as fiadas projetadas. O serviço, nessa etapa, ocorreu de forma semelhante ao método utilizado no sistema convencional, porém com os benefícios de se estar em um ambiente controlado e protegido. Posto isso, a produção das paredes inclui, além do assentamento dos blocos, a instalação dos pontos elétricos previstos no projeto, possibilitando que mais uma etapa fosse realizada no ambiente industrial e não no canteiro de obras. Além disso, todas as esquadrias das edificações foram previstas com o auxílio de gabaritos, que posteriormente serviram para a correta instalação do elemento *in loco*.

Para que pudessem ser içadas para transporte e posteriormente montagem, as paredes foram envolvidas com fitas de sustentação que as prendiam a perfis metálicos. Esses perfis podiam ser erguidos pelo guindaste do caminhão tipo *munck* responsável pelo transporte e montagem. A resistência média à tração da fita de sustentação foi testada em laboratório e atingiu o resultado de aproximadamente 434 kgf, tendo deformação média de 12,15% (3,65 cm para fitas ensaiadas de 30 cm). Outrossim, após finalizados, os painéis eram escorados para garantir segurança e estabilidade durante o período de cura (aproximadamente 15 dias), as escoras eram metálicas e foram fixadas na parede e no piso. Na Figura 24, pode-se verificar uma parede finalizada na fábrica com os componentes apresentados.

Figura 24 - Parede finalizada na fábrica

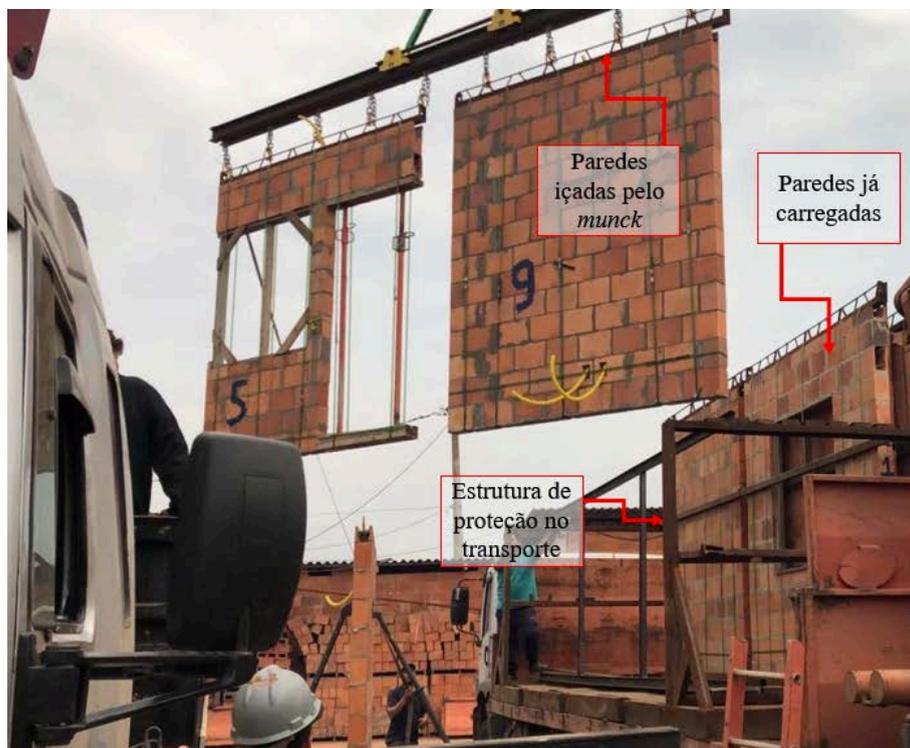


Fonte: autor, 2024

4.3 Logística

Após a fabricação e o tempo de cura, as paredes puderam ser preparadas para o processo de montagem da habitação. Nessa etapa, a utilização de um caminhão tipo *munck* foi essencial para atender aos requisitos de logística e alocação dos componentes no canteiro de obras. Primeiramente, a logística ocorreu com a chegada do caminhão à fábrica e o carregamento das paredes para transporte. Dessa forma, o tempo decorrido para carregamento se torna um fator importante para produtividade do processo, sendo realizado em três horas em testes iniciais. Sobre o caminhão, as paredes foram posicionadas verticalmente com a proteção de uma estrutura metálica, garantindo a redução de danos durante o transporte. O carregamento do caminhão, bem como a estrutura metálica de proteção podem ser observados na Figura 25.

Figura 25 - Carregamento do caminhão



Fonte: autor, 2024

Com o caminhão devidamente carregado, o transporte das paredes até o canteiro de obras foi realizado por uma rota de 5,6 km, utilizando uma rodovia local. O trajeto foi planejado para garantir a segurança e minimizar o tempo de deslocamento, assegurando que as paredes chegassem ao destino sem avarias. A proximidade entre a fábrica e o canteiro de obras facilitou a logística, contribuindo para a eficiência do processo e reduzindo os custos e o tempo envolvidos no transporte dos componentes. O trajeto de transporte pode ser verificado na Figura 26. Por fim, ao chegar ao canteiro de obras, o caminhão foi posicionado próximo ao lote onde seria montada a habitação, observando que os acessos até o lote já contavam com condições mínimas para passagem e calço do veículo.

Figura 26 - Percurso de transporte das paredes da fábrica ao canteiro de obras

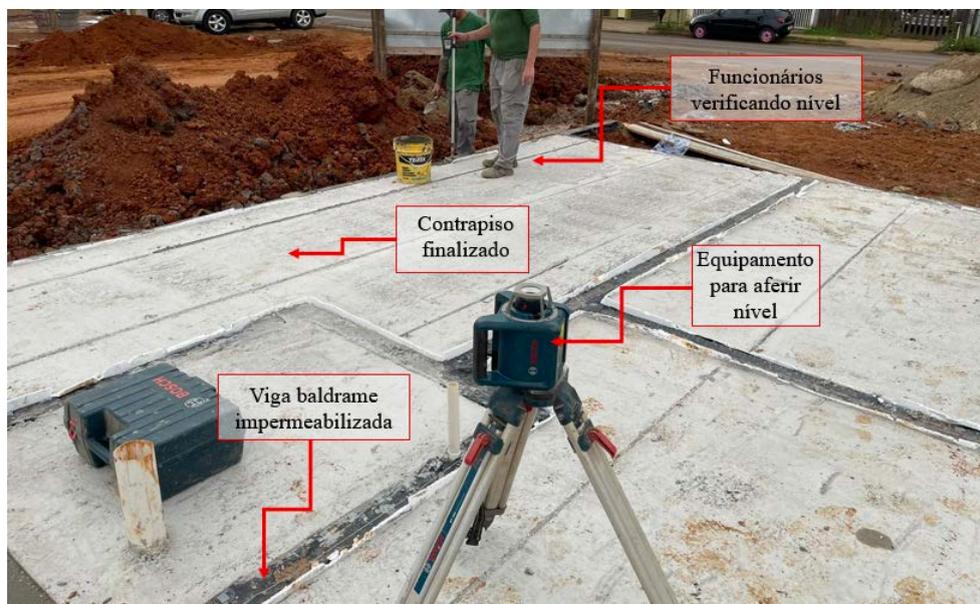


Fonte: autor, 2024

4.4 Montagem

Decorridas as etapas de projeto, produção e logística, a montagem da habitação pôde ter início. As condições necessárias no canteiro de obras para a realização do serviço incluíram a conclusão das fundações, contrapiso e impermeabilização, além da verificação do nível local. Nesse sentido, por serem comuns aos dois sistemas construtivos, essas etapas não fazem parte da análise e comparação dos métodos. Todos os procedimentos prévios foram finalizados dias antes da montagem, sendo necessários para que o restante do processo tivesse seguimento. Com todas as preparações prévias concluídas, o canteiro estava pronto para o início da montagem dos elementos estruturais da habitação. A organização antecipada dos painéis e a preparação do local permitiram um fluxo contínuo e seguro durante o processo e, além disso, a numeração dos painéis, associada a um planejamento detalhado, facilitou o entendimento e o seguimento lógico na montagem, diminuindo o tempo e evitando possíveis erros. Esse trabalho de organização e preparação foi essencial para que a instalação ocorresse de forma eficiente. Na Figura 27 é possível verificar o local previamente às alocações das paredes.

Figura 27 - Preparação do canteiro de obra para início da montagem



Fonte: autor, 2024

Dando seguimento, a primeira parede foi fixada ao guindaste do caminhão *munck* e içada até a posição onde seria alocada. Nesse momento, cada um dos três funcionários trabalhando no canteiro executava uma tarefa, incluindo, operação do guindaste, colocação de argamassa para assentamento e alocação da parede. Após alocar, um funcionário verifica as condições de esquadro e prumo. As atividades estão apresentadas na Figura 28.

Figura 28 - Montagem da habitação no canteiro de obras



Fonte: autor, 2024

Com o posicionamento da primeira parede e seu prumo e esquadro devidamente verificados, pôde ser feito o escoramento do painel visando dar resistência a eventuais esforços que pudessem derrubar ou mover o elemento. O escoramento, apesar de diminuir a produtividade do sistema, é necessário para o tempo de cura da argamassa que prende a parede à viga baldrame, e foi realizado com a perfuração do contrapiso e fixação de uma escora metálica angulada em aproximadamente 45° na parede e no chão. Com o objetivo de cumprir com a amarração indireta das paredes, necessária e dimensionada em projeto, as laterais dos painéis foram serradas *in loco* e, após terem suas faces unidas, preenchidas com graute e armadura. A otimização e treinamento da mão de obra na etapa de montagem se mostrou fundamental para a produtividade do sistema, dessa forma, foram identificadas dificuldades iniciais na execução que serão aperfeiçoadas na realização dos próximos protótipos. Por fim, na Figura 29 o processo de serragem e escoramento podem ser verificados.

Figura 29 - Processo de serragem e escoramento dos painéis



Fonte: autor, 2024

Finalmente, com todas as paredes alocadas e com os processos de escoramento e amarração concluídos, a habitação, em sua superestrutura, foi finalizada. O tempo de espera para a remoção das escoras e continuidade das demais etapas de acabamento é de 15 dias. A montagem finalizada pode ser observada na Figura 30.

Figura 30 - Habitação montada



Fonte: autor, 2024

5 DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Por se tratar de um modelo em prototipação, os dados de produtividade e composição de custo que frequentemente são utilizados e proporcionam análises eficientes acerca da viabilidade econômica de empreendimentos não foram possíveis, uma vez que forneceriam resultados referentes a uma etapa prévia e não do pleno funcionamento do sistema. Sob outra perspectiva, visando o desenvolvimento da análise de viabilidade do sistema, os resultados do estudo de caso foram discutidos sob vieses que demonstram seu potencial para mitigar problemas na construção civil hodierna, industrializar processos e atender às demandas de mercado, a organização das discussões foi feita no modelo de matriz SWOT apresentada na metodologia deste trabalho. Além dos postos positivos, foram analisadas as fraquezas e ameaças ao sistema. O resultado final da matriz SWOT pode ser visualizado no Figura 31.

Figura 31 - Matriz SWOT sistema pré-fabricado

	Efeito positivo	Efeito negativo
Fator interno	<p>S</p> <ul style="list-style-type: none"> • <i>Industrialização</i> • <i>Produtividade</i> • <i>Mão de obra</i> • <i>Consumo de materiais</i> 	<p>W</p> <ul style="list-style-type: none"> • <i>Investimento inicial</i> • <i>Dados</i> • <i>Patologias</i> • <i>Procedimento de montagem</i>
Fator externo	<p>O</p> <ul style="list-style-type: none"> • <i>Déficit habitacional</i> • <i>Escassez de mão de obra</i> • <i>Crescimento da industrialização</i> 	<p>T</p> <ul style="list-style-type: none"> • <i>Resistência à mudança no setor</i> • <i>Concorrência com sistemas já estabelecidos</i>

Fonte: autor, 2024

5.1 Análise de viabilidade em matriz SWOT

5.1.1 Forças (strengths)

A análise de forças do sistema construtivo de paredes pré-fabricadas em alvenaria é centrada nos pontos positivos internos do sistema que o colocam como uma alternativa promissora, com potencial para responder aos desafios atuais e promover melhorias na construção civil. Nesse sentido, as forças observadas foram divididas em quatro aspectos principais: industrialização, produtividade, mão de obra e consumo de materiais.

5.1.1.1 Industrialização

Para a ABDI (2015, p. 33), a industrialização na construção civil é definida da seguinte maneira:

A industrialização representa o mais elevado estágio de racionalização dos processos construtivos e, independente da origem de seu material, está associada à produção dos componentes em ambiente industrial e, posteriormente, montados nos canteiros de obras, assemelhando-se às montadoras de veículos, possibilitando melhores condições de controle e adoção de novas tecnologias.

Dessa forma, diferente das instalações provisórias do canteiro de obras observado para o sistema convencional, o ambiente fabril proporciona a possibilidade de implementação de mais tecnologias a favor da produção, como máquinas e sistemas automatizados para garantir maior precisão e eficiência, resultando em menor desperdício de materiais, tempo e recursos. As instalações nos dois ambientes de trabalho são expostas na Figura 32.

Figura 32 - Instalações dos diferentes ambientes de trabalho



a) Ambiente de trabalho sistema convencional



b) Ambiente de trabalho sistema pré-fabricado

Quanto ao fator tecnológico, mesmo durante os estudos iniciais do projeto e sem a disposição dessas tecnologias no momento da realização deste trabalho, foi possível identificar o planejamento e viabilidade da instalação desse tipo de maquinário no sistema estudado, sendo esse o principal aspecto capaz de gerar vantagens, em um cenário futuro, no sistema pré-fabricado em relação ao sistema convencional. A fim de dispor das vantagens apresentadas, a fábrica teria de ser ampliada e preparada para os requisitos dos diferentes tipos de tecnologias possíveis, aumentando o investimento inicial para viabilidade do empreendimento, mas gerando um retorno significativo em termos de industrialização e produtividade (exemplos de tecnologias podem ser verificados no Apêndice A).

Ainda, o uso de sistemas de gestão e linha de produção contribuiu para uma maior previsibilidade dos prazos e custos, o que é difícil de alcançar no sistema convencional, onde as condições do canteiro de obras variam constantemente. Essa abordagem ofereceu vantagens significativas em termos de logística, e foi um fator importante observado no estudo de caso, onde os componentes necessários para construção dos painéis estavam sempre à disposição dos funcionários, sem oscilações na produção por conta da falta de material. Em termos de linha de produção, observou-se que cada funcionário assumia uma função específica e a realizava continuamente, sem a necessidade de aguardar a realização de outro serviço prévio que impedisse a continuidade de seu trabalho, ao contrário da realidade observada frequentemente no sistema convencional.

5.1.1.2 Produtividade

Embora o foco do primeiro protótipo não tenha sido produtividade, e sim o teste e validação das etapas necessárias para a construção no sistema pré-fabricado, foram observados fatores que colaboraram para o aumento na produção do sistema em relação aos métodos convencionais. Quanto a isso, embora não tenham sido explorados em seu potencial máximo, os aspectos demonstram capacidade para evoluir e entregar melhores resultados ao sistema, de forma a diminuir o tempo necessário para construção e impactar positivamente o custo relacionado à incorporação das habitações. Os fatores observados, bem como as comparações entre ambos sistemas estão apresentados na Tabela 6.

Tabela 6 - Aspectos que contribuem para a produtividade do sistema pré-fabricado

Fator	Descrição	
	Sistema tradicional	Sistema pré-fabricado
Ambiente protegido de condições climáticas	Por estar em um ambiente exposto, as condições climáticas adversas como chuva e temperaturas desconfortáveis afetam e até impedem a produção.	Por estar em um ambiente fechado e controlado, condições climáticas adversas como chuva e temperaturas desconfortáveis não afetam a produção.
Melhor disposição dos materiais	Devido ao tamanho do canteiro de obras, muitas vezes os materiais não se concentram próximos ao local de produção, diminuindo a produção em termos de logística.	Por estar concentrada em um local fixo, a produção pré-fabricada permite que os materiais estejam sempre próximos do local de execução do serviço.
Ambiente organizado	Mesmo em boas condições, o canteiro de obras é um ambiente desconfortável em termos de ergonomia e organização, reduzindo a produtividade dos funcionários.	Por estar em um ambiente controlado e organizado, a produção em fábrica é potencializada e gera menos riscos à saúde do funcionário.
Racionalização	Mesmo com planejamento prévio, o canteiro de obras está mais sujeito a problemas de compatibilização e imprevistos durante a construção.	Por ter todos os procedimentos detalhados e pensados dentro de uma linha de produção, a racionalização do sistema pré-fabricado é potencializada.
Rotatividade	Observa-se grande rotatividade de funcionário no canteiro de obras, dificultando o treinamento e evolução dos funcionários que produzem neste ambiente.	Por ser uma instalação fixa, a indústria melhora as condições de trabalho e consequentemente diminui a rotatividade de trabalhadores, possibilitando mais treinamento e evolução no processo produtivo.

Fonte: autor, 2024

Em termos de quantificação de produtividade, o indicador de razão unitária de produção (RUP), não pôde ser devidamente utilizado para o sistema pré-fabricado devido à etapa de prototipação do sistema, fornecendo resultados incoerentes com seu potencial produtivo, uma vez que o foco momentâneo não estava na velocidade de produção e sim no entendimento das etapas construtivas do sistema. Embora não disponha de indicadores técnicos, a partir da análise e estudo de caso, foi possível constatar que, para sua viabilidade, o sistema deveria superar a produtividade de construção de uma habitação por dia obtida no modelo de alvenaria estrutural convencional executado no mesmo loteamento onde o modelo pré-fabricado foi incorporado. A mão de obra necessária para a conclusão de uma habitação por dia (apenas superestrutura) no sistema convencional foi de dois profissionais e um auxiliar, sendo esse o mesmo número de trabalhadores utilizado na indústria.

Por fim, a etapa de montagem da habitação foi considerada de grande potencial produtivo, obtendo já no protótipo inicial, o resultado de montagem de uma unidade por dia. Assim, considera-se que com o alinhamento da produção na fábrica com a montagem no canteiro de obras, pode-se obter resultados promissores em termos de produtividade. Ressaltando que para o pleno funcionamento do sistema e a maximização dos ganhos em termos de custo e produção, é necessário que toda a cadeia produtiva esteja alinhada em termos de logística, tanto para fabricação das paredes na indústria, quanto para a montagem da habitação no canteiro de obras. Quanto a isso, CESAR (2006, p. 121) coloca que:

Os procedimentos de industrialização da alvenaria exigem que os produtos (unidades) sejam adequados aos processos e projetos e que o controle de qualidade seja relacionado ao tempo e custo. Além disso, a pré-fabricação pode também absorver os aspectos positivos da teoria de construção enxuta (lean construction) e a dinâmica moderna de padronização, diminuindo os custos do processo e melhorando a certeza de qualidade do produto.

5.1.1.3 Mão de obra

Novamente, os benefícios relativos à mão de obra no sistema estudado são projetados sobre as observações feitas no estudo de caso em comparação ao sistema de alvenaria estrutural convencional, embora não tenha-se observado redução no contingente necessário para construção no método pré-fabricado, entende-se que alguns fatores podem corroborar melhorias relacionadas ao problema da mão de obra na construção civil.

Nesse sentido, o sistema pré-fabricado pode gerar benefícios e colaborar para a redução de danos por facilitar a introdução de novas tecnologias que tornam o trabalho na indústria mais confortável e simples quando comparado às rotinas no canteiro de obras. Consequentemente, por proporcionar condições mais favoráveis e ergonômicas, o número de candidatos às vagas disponíveis no mercado pode aumentar. Além disso, a partir da contratação, a indústria faria com que os funcionários permanecessem mais tempo na mesma organização, visto que a fábrica possui instalações definitivas, diferente do canteiro de obra que é provisório e encerra suas atividades após a conclusão do serviço, gerando maior rotatividade de trabalhadores.

Em última análise, levando em consideração uma fábrica de elementos pré-fabricados plenamente instalada, é possível considerar que o número de funcionários necessários para a realização do serviço diminua em virtude da automação dos processos gerada pela introdução de máquinas na linha de produção. Nesse cenário, a indústria poderia diminuir o contingente

e reduzir a dependência de mão de obra especializada, uma vez que o processo de construção estaria padronizado e simplificado.

5.1.1.4 Consumo de materiais

Quando estudados os diversos sistemas de pré-fabricados disponíveis no mercado da construção civil brasileira, evidencia-se que, em sua maioria, os sistemas utilizam mais materiais para a incorporação do mesmo produto construído nos sistemas convencionais. O sistema de paredes pré-fabricadas de alvenaria, entretanto, destacou-se por utilizar a mesma quantidade de blocos que o sistema convencional, com um pequeno acréscimo de graute e aço para a composição de seu sistema de amarração. Nesse sentido, para a viabilidade do sistema frente a outros sistemas pré-fabricados, existe uma diferença de custo menor para ser compensada em produtividade.

Sobre esse viés, MARQUES e SCHMITZ (2022) demonstram que um sistema construtivo em painéis pré-fabricados em concreto armado pode consumir cerca de 30% a mais em insumos, sendo necessário que a produtividade na construção deste seja tão eficiente a ponto de superar o aumento em gastos com material. Dessa forma, partindo do pressuposto de igualdade no consumo de insumos, o sistema pré-fabricado em alvenaria se torna mais econômico e pode garantir maior ganho financeiro para o mesmo nível de produção obtido em outros sistemas pré-fabricados utilizados no país. O resultado das listas de materiais para incorporação da mesma habitação nos dois sistemas é apresentado na Tabela 7.

Tabela 7 - Listas de materiais dos diferentes sistemas

Sistema tradicional				Sistema pré-fabricado			
Bloco	11,5x19x29	1188	Un.	Bloco	11,5x19x29	1395	Un.
Bloco e meio	11,5x19x41,5	98	Un.	Bloco e meio	11,5x19x41,5	82	Un.
Meio bloco	11,5x19x14	20	Un.	Meio bloco	11,5x19x14	137	Un.
Compensador 4	11,5x19x4	94	Un.	Compensador 4	11,5x19x4	107	Un.
Compensador 9	11,5x19x9	19	Un.	Compensador 9	11,5x19x9	25	Un.
Bloco especial 26,5	11,5x19x26,5	482	Un.	Bloco especial 26,5	11,5x19x26,5	63	Un.
Bloco especial 24	11,5x19x24	3	Un.	Bloco especial 24,0	11,5x19x24	39	Un.
Bloco especial 21	11,5x19x21	6	Un.	Bloco especial 21,0	11,5x19x21	5	Un.
Bloco especial 16,5	11,5x19x16,5	25	Un.	Bloco especial 16,5	11,5x19x16,5	64	Un.
Meia canaleta alta	11,5x19x14	8	Un.	Bloco de inst. elétrica	11,5x19x29	26	Un.
Canaleta alta	11,5x19x29	100	Un.	Bloco e meio inst. elétrica	11,5x19x41,5	1	Un.

Tabela 7 - **Continuação** - Listas de materiais dos diferentes sistemas

Canaleta baixa	11,5x9x29	128	Un.	Canaleta	14x19x29	104	Un.
Meia canaleta baixa	11,5x9x14	9	Un.	Meia canaleta	14x19x14	132	Un.
Total blocos (classe 40 EST)		2180	Un.	Total blocos (classe 40 EST)		2180	Un.
Argamassa	4 MPa	1,2	m ³	Argamassa	4 MPa	1,2	m ³
Graute	15 MPa	1,4	m ³	Graute	15 MPa	1,6	m ³
Aço CA50	Ø8mm	80	kg	Aço CA50	Ø8mm	94	kg

Fonte: autor, 2024

5.1.2 Fraquezas (*weaknesses*)

Assim como a análise de forças, as fraquezas também focam nos aspectos internos do sistema que podem ser melhorados e que no momento dificultam sua aplicação de forma plena. Posto isso, questões como investimento inicial elevado, dados insuficientes e manifestações patológicas podem ser observados a seguir. Assim como destacado nas análises de forças, entende-se que grande parte dos resultados negativos se devem à etapa de prototipação de sistema e serão aprimoradas para a viabilidade do sistema pré-fabricado no futuro.

5.1.2.1 Investimento inicial

O acompanhamento do protótipo inicial demonstrou que as instalações atuais do ambiente industrial não proporcionam tamanho ganho em produtividade a ponto de justificarem a utilização do sistema frente ao método convencional. Dessa forma, para viabilidade do sistema é necessário que a fábrica tenha à sua disposição estruturas que possibilitem a produção em larga escala, bem como espaços para armazenamento de materiais e paredes aguardando o tempo de cura. Outro fator relevante para o investimento inicial são as tecnologias que auxiliam na produtividade. Quanto a isso, por melhores que sejam as condições de trabalho no ambiente industrial, elas sozinhas não garantem a viabilidade de produção do sistema pré-fabricado quando comparado ao sistema convencional. Isso se deve ao fator de logística, já que produzindo habitações na fábrica se torna necessário que estas ainda sejam transportadas e montadas no canteiro de obras após a finalização na indústria, ao contrário da produção convencional que já incorpora a habitação em seu local definitivo. Dessa forma, o investimento inicial se torna necessário para viabilidade do sistema e é proporcional ao grau de industrialização e produtividade desejado.

5.1.2.2 Dados

Devido à etapa inicial de testes do sistema, os dados ainda são insuficientes para conclusões profundas acerca de tempo de produção e composição de custos. Assim, se torna necessário que novos protótipos sejam construídos visando identificar novos potenciais de melhoria para o sistema, além da incorporação de máquinas e tecnologias que auxiliem na produção.

5.1.2.3 Patologias

Um dos principais fatores observados na execução da primeira habitação foram as manifestações patológicas. Nesse sentido, pôde-se evidenciar a ocorrência de avarias no transporte das paredes, fissuras após a alocação dos painéis no canteiro e danos nas canaletas responsáveis pela cinta de amarração. Em sua maioria, as patologias foram geradas pela baixa resistência dos componentes, seja pelo esforço de tração sobre a argamassa, seja pela fragilidade da cerâmica. As patologias podem ser verificadas na Figura 33.

Figura 33 - Manifestações patológicas no sistema pré-fabricado



Fonte: autor, 2024

Na execução dos próximos protótipos, visando combater as patologias apresentadas, será aumentada a resistência da argamassa e adotado o grauteamento da canaleta responsável pela cinta de amarração, garantindo mais resistência aos elementos durante transporte, içamento e alocação. De forma geral, entende-se que os problemas apresentados estão dentro dos resultados esperados para a primeira execução no sistema e não devem apresentar dificuldades para solução.

5.1.2.4 Procedimento de montagem

Durante a montagem da habitação foram identificados diversos fatores que retardaram o processo e que podem ser aprimorados para as próximas habitações a serem executadas. Nesse sentido, a montagem da habitação possui potencial para ser considerada como uma força do sistema construtivo embora no teste inicial tenha apresentado dificuldades naturais para uma etapa de prototipação. Na Tabela 8 estão descritos os principais desafios referentes ao procedimento de montagem da habitação no canteiro de obras, bem como o seu grau de dificuldade.

Tabela 8 - Procedimentos realizados na etapa de montagem

Procedimento	Execução	Dificuldade	Solução
Argamassa de assentamento	<i>In loco</i> : necessita de um funcionário para colocação da argamassa de assentamento da parede.	Dificuldade baixa com pouco impacto na produtividade.	A argamassa será mais resistente para evitar manifestações patológicas.
Alocação das paredes	<i>In loco</i> : necessita de um funcionário para constantemente aferir prumo e esquadro e verificar compatibilidade com o projeto arquitetônico.	Dificuldade média com impacto negativo na produtividade do sistema.	Serão posicionados gabaritos metálicos nas posições de alocação da parede, garantindo mais agilidade para bater prumo e esquadro.
Cortes laterais para amarração	<i>In loco</i> : necessita de um funcionário para serrar a lateral das paredes, demandando energia elétrica no canteiro de obras e retardando o processo de montagem.	Dificuldade média com impacto negativo na produtividade do sistema.	As paredes serão cortadas na fábrica para evitar a execução <i>in loco</i> .
Escoramento	<i>In loco</i> : necessita de um funcionário para furar as paredes e o piso, além da colocação das escoras metálicas.	Dificuldade baixa com pouco impacto na produtividade.	A espessura do contrapiso será maior garantindo mais resistência no escoramento.

Fonte: autor, 2024

5.1.3 Oportunidades (*opportunities*)

Diferente das análises de forças e fraquezas, as oportunidades são aspectos positivos externos ao projeto, características do mercado que podem colaborar para o sucesso do empreendimento, mesmo que ele não esteja operando em seu potencial máximo inicialmente.

Consequentemente, grande parte dos problemas da indústria da construção apresentados anteriormente podem corroborar oportunidades para a viabilidade do sistema, entre eles destacam-se o déficit habitacional, a escassez de mão de obra e o crescimento dos sistemas pré-fabricados na construção civil nacional.

5.1.3.1 Déficit habitacional

Em um cenário onde a demanda por habitações é maior do que a capacidade de oferta de habitações que o setor pode proporcionar, sistemas pré-fabricados com ganho em produção e custo naturalmente ganham espaço e podem se desenvolver, especialmente quando aplicados em habitações de interesse social, assim como apresentado neste estudo de caso. Assim, através da construção de loteamentos com múltiplas unidades habitacionais padronizadas e o desenvolvimento da fábrica responsável pela produção das paredes pré-fabricadas, o sistema construtivo estudado tem potenciais clientes, seja na região do estado do Rio Grande do Sul, seja em outros estados do Brasil.

5.1.3.2 Escassez de mão de obra

Devido ao momento deficitário de trabalhadores do setor da construção e da necessidade de mão de obra qualificada para alta performance e produção no canteiro de obras, o sistema pré-fabricado, por oferecer melhores condições de trabalho em instalações mais organizadas e rotinas mais simples e padronizadas, permite que os trabalhadores ingressem no setor com menos conhecimento prévio e ainda assim, entreguem produtividade ao sistema com menos rotatividade de equipes e mais tecnologias a favor da produção. Em último estágio, a industrialização da construção permite, inclusive, a redução no número de funcionários necessários para a incorporação de unidades habitacionais, melhorando indicadores como RUP potencial.

5.1.3.3 Crescimento da industrialização

O crescimento da industrialização da construção, principalmente através da inclusão de pré-fabricados no setor, favorece a aceitação do sistema e o torna mais atrativo aos olhos de investidores. Embora essa seja uma tendência em crescimento, existem também perspectivas negativas sobre o momento atual da industrialização no setor, sendo plausível análises negativas sobre a aceitação do mercado para sistemas pré-fabricados, como discutido

no item ameaças. Por fim, de acordo com o 2º Caderno de Casos de Inovação na Construção Civil, do Programa de Inovação Tecnológica da CBIC (2014, p. 23):

[...] existe o receio em substituir um produto tradicional e com aceitação garantida no mercado como a alvenaria, por outro, mesmo com ganhos consideráveis em produtividade. Se existisse, no entanto, uma maneira de se produzir uma autêntica alvenaria em tijolos, com velocidade industrial, provavelmente o potencial de sucesso deste novo sistema poderia ser grande.

Consequentemente, infere-se que o sistema estudado tem probabilidade de sucesso dentro do mercado de pré-fabricados por apresentar um produto estética e tecnicamente semelhante ao obtido através do sistema de alvenaria estrutural convencional que já é amplamente utilizado e aceito no mercado.

5.1.4 Ameaças (threats)

A análise das ameaças representa o oposto das oportunidades, focando nos aspectos externos ao sistema que podem dificultar sua implementação no mercado. Logo, foram identificados fatores como a resistência histórica do setor da construção civil às novas tecnologias e também a concorrência com modelos pré-fabricados já estabelecidos no mercado, como sistemas pré-fabricados em concreto.

5.1.4.1 Resistência à mudança no setor

Embora o cenário da industrialização esteja mudando no país, ainda existem resistências quanto aos sistemas pré-fabricados. Como fator positivo do sistema estudado, destaca-se sua semelhança estética ao sistema convencional, dificultando a evidência de um sistema pré-fabricado e possivelmente mitigando os efeitos negativos de aceitação do mercado a novas tecnologias. Entretanto, a aceitação do mercado só poderá ser verificada após a divulgação do sistema e maiores feedbacks sobre sua utilização.

5.1.4.2 Concorrência com sistemas já estabelecidos

Por último, existem diversos sistemas pré-fabricados e pré-moldados disponíveis no mercado e a concorrência para execução de grandes empreendimentos, como no caso de loteamentos e condomínios horizontais pode ser um fator que gera dificuldades na aplicação inicial do sistema.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O sistema construtivo de paredes pré-fabricadas em alvenaria estrutural com blocos cerâmicos, objeto deste estudo, mostrou-se uma alternativa promissora para o setor da construção civil, destacando-se pela possibilidade de solucionar desafios como aumento de produtividade, redução de desperdícios e maior eficiência nos processos construtivos. A análise realizada evidenciou que, embora o protótipo possua atributos técnicos relevantes, como a simplificação da execução e potencial redução de custos, sua plena consolidação no mercado exige esforços adicionais no âmbito de pesquisa e desenvolvimento.

Um dos pontos mais relevantes é a necessidade de expandir a amostragem de dados obtidos em testes e ensaios, o que possibilitaria uma avaliação mais robusta e confiável quanto à viabilidade técnica, econômica e ambiental do sistema. Além disso, a incorporação de novas tecnologias pode ser um fator determinante para aperfeiçoar o desempenho das paredes pré-fabricadas, tanto na execução quanto na sua durabilidade e adaptabilidade às diferentes condições de uso e normativas.

No que se refere ao mercado da construção civil, o sistema apresenta oportunidades significativas, sobretudo pela crescente busca por métodos construtivos mais sustentáveis e pela demanda por soluções rápidas e economicamente viáveis. Contudo, existem também desafios a serem superados, como a resistência inicial do setor a mudanças e a necessidade de capacitação de mão de obra especializada para operar e implementar a nova tecnologia.

Portanto, conclui-se que, apesar das forças do sistema em termos de potencial técnico e oportunidades de mercado, é imprescindível um planejamento estratégico que contemple a superação de suas fraquezas e ameaças. Somente com investimentos contínuos em pesquisa, tecnologia e treinamento será possível transformar o sistema em uma solução amplamente viável e competitiva para o setor da construção civil.

SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

- Elaborar estratégias para implementação do sistemas em empresas do Rio Grande do Sul baseadas na composição da matriz SWOT;
- Estudar o aspecto econômico-financeiro da aplicação do modelo em empresas existentes;
- Estudar diferentes maquinários e tecnologias aplicadas à produtividade na indústria da construção civil;
- Estudar os aspectos técnicos do sistema de paredes pré-fabricadas em alvenaria frente à norma de desempenho (NBR 15575);
- Estudar as manifestações patológicas do sistema de paredes pré-fabricadas em alvenaria.

REFERÊNCIAS

ABDI – AGÊNCIA BRASILEIRA DE DESENVOLVIMENTO INDUSTRIAL. **Manual da construção industrializada: conceitos e etapas**. v.1: Estrutura e Vedação. ABDI. 1 ed. Brasília, 2015.

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15873**: Coordenação modular para edificações. Rio de Janeiro, 2010.

_____. **NBR 9062**: Projeto e Execução de Estruturas de Concreto Pré-Moldadas. Rio de Janeiro, 2017.

_____. **NBR 16868-1**: Alvenaria estrutural – Parte 1: Projeto. Rio de Janeiro, 2020.

_____. **NBR 15575**: Edificações habitacionais - Desempenho. Rio de Janeiro, 2021.

_____. **NBR 15270-1**: Componentes cerâmicos – Blocos e tijolos para alvenaria – Parte 1: Requisitos. Rio de Janeiro, 2023.

_____. **NBR 13281-2**: Argamassas inorgânicas — Requisitos e métodos de ensaios Parte 2: Argamassas para assentamento e argamassas para fixação de alvenaria. Rio de Janeiro, 2023.

_____. **NBR 7480**: Aço destinado a armaduras para estruturas de concreto armado - Especificação. Rio de Janeiro, 2024.

ALVES, N. S. D. **Análise de custos: alvenaria estrutural x estrutura pré-moldada**. Monografia (especialização em construção civil) - Escola de Engenharia da Universidade Federal de Minas Gerais, 2014.

BASTOS, P. S. **Alvenaria estrutural**. Apostila - Universidade Estadual Paulista - Campus de Bauru/SP, 2021.

BAUER, L. A. F. **Materiais de construção**. 6. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2019.

CBIC - CÂMARA BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DA CONSTRUÇÃO. **2º Caderno de casos de inovação na construção civil**. Salvador, 2014. Disponível em:<https://www.sinduscontap.com.br/arquivos/Cartilhas/caderno%20inovacoes%20_abril_2014%20web.pdf>. Acesso em: 13 ago. 2024.

_____. **Catálogo de inovação na construção civil.** Brasília, 2016. Disponível em: <https://cbic.org.br/wp-content/uploads/2017/11/Catalogo_de_Inovacao_na_Construcao_Civil_2016.pdf>. Acesso em: 18 ago. 2024.

_____. **Manual básico de indicadores de produtividade na construção civil.** Brasília, 2017. Disponível em: <https://cbic.org.br/wp-content/uploads/2017/11/Manual_Basico_de_Indicadores_de_Produtividade_na_Construcao_Civil_2017.pdf>. Acesso em: 12 ago. 2024.

_____. **Cresce dificuldade para contratar mão de obra qualificada na construção civil.** Agência CBIC. Brasília, 2022. Disponível em: <<https://cbic.org.br/cresce-dificuldade-para-contratar-mao-de-obra-qualificada-da-construcao/>>. Acesso em: 17 set. 2024.

_____. **Estudo sobre investimentos necessários para o equacionamento dos déficits habitacionais e de infraestrutura no Brasil.** Apresentação em coletiva de imprensa, Consolação, São Paulo. 3 abr. 2024.

CEF - CAIXA ECONÔMICA FEDERAL. **Programa Minha Casa, Minha Vida.** Cartilha. Disponível em: <<https://www.caixa.gov.br/Downloads/habitacao-minha-casa-minha-vida/Cartilha-PMCMV-FAR.pdf>>. Acesso em: 29 ago. 2024.

CERÂMICA KASPARY. **Fotos de obras: Obras com lajes protendidas.** Disponível em: <<https://www.ceramicakaspary.com.br/site/fotos-de-obras>>. Acesso em: 26 out. 2024.

CESAR, C. G.; ROMAN, H. R. **Desenvolvimento de um processo construtivo racionalizado: painéis pré-fabricados com blocos cerâmicos.** Coletânea Habitare - vol. 6 - Inovação Tecnológica na Construção Habitacional. Porto Alegre, 2006.

COLOMBO, C. R.; BAZZO, W. A. **Desperdício na construção civil e habitacional: um enfoque CTS.** IV Jornada Latino-Americana de Estudos Sociais da Ciência e da Tecnologia (IV ESOCITE), Campinas - SP, 2000.

CONAMA - CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE. **Resolução nº 412:** Art. 4º. Brasília, 13 mai. 2009.

FERNANDES, Djair Roberto. **Uma visão sobre a análise da Matriz SWOT como ferramenta para elaboração da estratégia.** Revista de Ciências Jurídicas e Empresariais, v. 13, n. 2, 2012. Disponível em: <<https://revistajuridicas.pgsscogna.com.br/juridicas/article/view/720>>. Acesso em: 11 nov. 2024.

FERREIRA, R. G. **Engenharia econômica e avaliação de projetos de investimento: critérios de avaliação, financiamentos e benefícios fiscais, análise de sensibilidade e risco.** 1ª ed. São Paulo: Atlas, 2009.

FRANCO, L. S. **Aplicação de diretrizes de racionalização construtiva para a evolução tecnológica dos processos construtivos em alvenaria estrutural não armada.** Tese (doutorado em engenharia civil) - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 1992.

GEHBAUER, F.; EGGENSPERGER, M.; ALBERTI, M. E.; NEWTON, S. A. **Planejamento e Gestão de Obras: Um resultado prático da cooperação técnica Brasil-Alemanha.** 2 ed. 520 p. Editora CEFET-PR. Curitiba, 2002.

IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Pesquisa anual da indústria da construção.** Rio de Janeiro: IBGE, 2022. Disponível em: <<https://www.ibge.gov.br/estatisticas/economicas/industria/9018-pesquisa-anual-da-industria-da-construcao.html?=&t=publicacoes>>. Acesso em: 13 ago. 2024.

KISHIDA, M.; SILVA, A.; GUERRA, E. **Benefícios da implementação do trabalho padronizado na Thyssenkrupp.** Lean Institute Brasil, 2006. Disponível em: <<http://www.lean.org.br/artigos/95/beneficios-da-implementacao-do-trabalho-padronizado-na-thyssenkrupp.aspx>>. Acesso em: 24 ago. 2024.

MARQUES, R.; SCHMITZ, R. J. **Comparativo de custos de construção de uma unidade de conjunto habitacional com uso de alvenaria estrutural e painéis pré-fabricados.** Revista Destaques Acadêmicos, Lajeado, v. 14, n. 4, 2022.

MMC PROJETOS E CONSULTORIA. **Projeto de paginação de alvenaria.** Canoas - RS, 2024.

PARSEKIAN, G. A. HAMID, A. A.; DRYSDALE, R. G. **Comportamento e dimensionamento de alvenaria estrutural.** São Carlos: EdUFSCar, 2012.

PEREZ, Jr., J. H.; OLIVEIRA, L. M. COSTA, R. G. **Gestão estratégica de custos**, 6ª ed. Atlas, São Paulo, 2010.

PICCHI, F. A. **Sistema da qualidade em uma empresa de construção de edifícios**. Palestra em seminário, Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da Universidade de São Paulo. 27 de setembro de 1991.

RAMALHO, M.A.; CORRÊA, M.R.S. **Projetos de edifícios de alvenaria estrutural**. São Paulo, Ed. Pini, 2007, 174p.

RIMATEM. **Wall Panel Machines**. Disponível em: <<https://www.rimatem.com/en/>>. Acesso em: 15 nov. 2024.

SANCHEZ, Emil. **Recomposições das conexões das paredes de alvenaria estrutural**. Revista da Anicer, 4 ago. 2023. Disponível em: <<https://revista.anicer.com.br/recomposicoes-das-conexoes-das-paredes-de-alvenaria-estrutural/>>. Acesso em: 22 set. 2024.

SILVA FILHO, M. C. da; PIZZOLATO, N. D. **A viabilidade econômica de empreendimentos no setor da construção civil: estudo de caso dos revestimentos cerâmicos**. SISTEMAS & GESTÃO, v. 6, n. 1, p. 20-41, janeiro-abril, 2011.

SINAT - SISTEMA NACIONAL DE AVALIAÇÕES TÉCNICAS DE PRODUTOS INOVADORES. **DATEc N°021-C - Casas Olé - Painéis pré-moldados em alvenaria com blocos cerâmicos e concreto armado**. Brasília, mar. 2020.

_____. **DATEc N°023-C - Painéis estruturais pré-moldados ITC - Casa Express, mistos de concreto armado e lajotas cerâmicas - Tipo A**. Brasília. Jul. 2022.

SINDUSCON - SINDICATO DA INDÚSTRIA DA CONSTRUÇÃO CIVIL. **Apagão da mão de obra e futuro da construção**. Painel na Convenção Secovi, São Paulo 2024. Disponível em: <<https://sindusconsp.com.br/sinduscon-sp-debateu-apagao-da-mao-de-obra-e-futuro-da-construcao-em-26-de-agosto/>>. Acesso em: 17 set. 2024.

SOUZA, U. E. L. de; PALIARI, J. C. AGOPYAN, V. **O custo do desperdício de materiais nos canteiros de obras**. Qualidade na Construção, n. 21, p. 64-66, 1999. Disponível em:

<https://repositorio.usp.br/directbitstream/5ab7f567-68a4-421c-91f6-bf1c103909d2/Agopyan_1999_o%20custo%20do%20desperdicio.pdf>. Acesso em: 14 ago. 2024.

TAMBARA, F. S. **Levantamento e listagem de procedimentos e influências da alvenaria estrutural**. Dissertação (mestrado em engenharia civil) - Universidade Federal de Santa Maria, 2006.

TAUIL, C. A.; NESE, F. J. M. **Alvenaria Estrutural**. São Paulo: Pini, 2010.

THAMBOO, J.; ZAHRA, T.; NAVARATNAM, S.; ASAD, M.; POOLOGANATHAN, K. **Prospects of developing prefabricated masonry walling systems in Australia**. *Buildings* 2021, 11, 294. Disponível em: <<https://doi.org/10.3390/buildings11070294>>. Acesso em: 26 jun. 2024.

VASCO CONSTRUTORA. **Casas à venda em Cachoeirinha/RS: Recanto das Flores**. Disponível em: <<https://construtoravasco.com.br/imovel/casas-a-venda-cachoeirinha-rs-recanto-das-flores/>>. Acesso em: 22 set. 2024.

APÊNDICE A - TECNOLOGIAS A FAVOR DA PRODUTIVIDADE

A fim de fornecer demonstrações de tecnologias para potencializar a produtividade na indústria, como indicado nas discussões deste trabalho, estão descritos neste apêndice dois modelos de maquinário capazes de, não somente facilitar, como eliminar majoritariamente o contingente necessário para produção de paredes pré-fabricadas em alvenaria. Os modelos são produzidos por um fabricante europeu e já são aplicados no exterior, podendo proporcionar um salto relevante no cenário de pré-fabricados do Brasil.

1 *SEMI-AUTOMÁTICA HA III - RIMATEM*

Dentro das possibilidades oferecidas pelo fabricante europeu, o modelo de entrada é apresentado como maior custo benefício, podendo produzir até 150 m² de alvenaria de alta qualidade em oito horas, incluindo diferentes tipos de blocos de diferentes matérias-primas. O sistema apresentado aplica a argamassa de assentamento automaticamente e auxilia o funcionário responsável pelo assentamento dos blocos a realizar o serviço com mais agilidade e ergonomia, sendo então classificada como semi-automática, uma vez que ainda exige a presença de mão de obra, embora de forma facilitada. A máquina pode ser visualizada na Figura 34, bem como sua execução e auxílio produtivo na Figura 35.

Figura 34 - Instalação semi-automática HA III



Fonte: RIMATEM, 2024

Figura 35 - Processo de produção com máquina semi-automática



Fonte: adaptado de RIMATEM, 2024

2 AUTOMÁTICA VA II - RIMATEM

A opção mais completa disponível para comercialização conta com o processo automático de produção das paredes e é comandada remotamente por um computador principal, reduzindo consideravelmente a demanda por mão de obra para realização do serviço. Em pleno funcionamento, a máquina pode produzir até 1500 m² de alvenaria por dia, incluindo diferentes tipos de blocos de diferentes matérias-primas, podendo ser utilizada tanto para habitações quanto para obras comerciais e industriais. O processo construtivo conta com uma linha produtiva que, automaticamente, coleta os blocos, aplica a argamassa, assenta a fiada completa sobre a argamassa e, por fim, move a parede para o local de armazenamento e cura. A visualização do maquinário pode ser feita nas Figuras 36 e 37.

Figura 36 - Coleta dos blocos pela máquina automática



Fonte: RIMATEM, 2024

Figura 37 - Assentamento da fiada de blocos pela máquina automática



Fonte: RIMATEM, 2024