

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
ESCOLA DE ENGENHARIA
COMISSÃO DE GRADUAÇÃO DO CURSO DE ENGENHARIA CIVIL

Rubens José Chagas Júnior

**ESTUDO DE CASO DE EXECUÇÃO DE EDIFICAÇÃO DE
SISTEMA MISTO DE ALVENARIA ESTRUTURAL E AÇO:
ANÁLISE DA TÉCNICA CONSTRUTIVA E SUAS
PARTICULARIDADES**

Porto Alegre

Maio, 2021

RUBENS JOSÉ CHAGAS JÚNIOR

**ESTUDO DE CASO DE EXECUÇÃO DE EDIFICAÇÃO DE
SISTEMA MISTO DE ALVENARIA ESTRUTURAL E AÇO:
ANÁLISE DA TÉCNICA CONSTRUTIVA E SUAS
PARTICULARIDADES**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à Comissão de
Graduação do Curso de Engenharia Civil da Escola de
Engenharia da Universidade Federal do Rio Grande do Sul,
como parte dos requisitos para obtenção do título de Engenheiro
Civil

Orientador: Prof. Ruy Alberto Cremonini

Porto Alegre
Maio, 2021

**RUBENS JOSÉ CHAGAS JÚNIOR. PORTO ALEGRE: CURSO DE ENGENHARIA
CIVIL/EE/UFRGS,2021**

**ESTUDO DE CASO DE EXECUÇÃO DE EDIFICAÇÃO DE
SISTEMA MISTO DE ALVENARIA ESTRUTURAL E AÇO:
ANÁLISE DA TÉCNICA CONSTRUTIVA E SUAS
PARTICULARIDADES**

Este Trabalho de Diplomação foi julgado adequado como pré-requisito para a obtenção do título de ENGENHEIRO CIVIL e aprovado em sua forma final pela Banca Examinadora, pelo Professor Orientador e pela Comissão de Graduação do Curso de Engenharia Civil da Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

Porto Alegre, maio de 2021.

BANCA EXAMINADORA

Prof. Ruy Alberto Cremonini
Dr. pela USP
Orientador

Eng. Nei Ricardo Vaske
Dr. pela UFRGS

Profa. Lais Zucchetti
Dra. pela UFRGS

Dedico a todos profissionais da construção civil.

AGRADECIMENTOS

Agradeço à minha família, que mesmo de muito longe, me incentivou desde o início desta jornada.

Agradeço aos meus amigos do 706 por toda parceria e companheirismo, uma amizade que vai durar para sempre.

Agradeço aos grupos Flores e Burned, por todos os bons e maus momentos divididos no estado do Rio Grande do Sul.

Agradeço ao Prof. Ruy Alberto Cremonini, meu professor orientador deste trabalho e dos meus estágios, pelos ensinamentos ao decorrer do curso.

RESUMO

A evolução da demanda da indústria da construção civil tem exigido técnicas de execução cada vez mais avançadas e inovadoras, a fim de suprir a necessidade de prazo, custo, qualidade e singularidade arquitetônica de cada projeto. O sistema misto de aço e alvenaria estrutural, onde perfis de aço trabalham em harmonia com a alvenaria estrutural, com a intenção de integrar elementos estruturais, é uma alternativa que ganhou espaço no cenário da construção civil nos últimos anos, que comumente é vista em galpões logísticos, hotéis, pavilhões, etc. Desta forma, buscar-se-á apresentar as técnicas de execução de uma edificação de estrutura mista composta de cobertura metálica apoiada em paredes de alvenaria estrutural e pilares metálicos, utilizando as normas técnicas vigentes, através de um estudo de caso de uma edificação localizada em Porto Alegre - RS. Por fim, serão levantadas as particularidades, em termos de controle de qualidade e de execução da alvenaria estrutural e da estrutura metálica. Por último, deseja-se que o trabalho oriente na execução de edificações com sistema estrutural semelhante, a fim de alcançar qualidade e economia na construção.

Palavras-chave: Construção Mista, Aço, Alvenaria Estrutural, Cobertura metálica, Edificação em Estrutura Mista, Bloco de Concreto Aparente

ABSTRACT

The evolution of the demand in the civil construction industry has required increasingly advanced and innovative execution techniques, in order to meet the need for time, cost, quality and architectural uniqueness of each project. The hybrid system of steel and structural masonry, a construction system where steel profiles and structural masonry work in harmony, aiming to integrate structural elements, is an alternative that has gained space in the civil construction scenario in recent years. It is most commonly seen in logistics warehouses, hotels, pavilions, etc. Therefore, the current document seeks to present the execution techniques of a mixed structure building composed of metallic cover supported on structural masonry walls and metallic pillars, using the current technical standards, throughout a case study located in Porto Alegre - RS. Finally, the particularities, in terms of quality control, of the execution of the structural masonry and of the metallic roofing will be raised. By the end of the study, there are improvements and optimizations gaps noticed that can be made in the execution of structures similar to the case studied. Last, this document is meant to guide and inform the execution of buildings with a similar structural system, in order to achieve quality and economy in construction.

Keywords: Mixed Construction, Steel, Structural Masonry, Metal Roofing, Mixed Structure Building; Exposed concrete block

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Edificação com sistema misto de aço e alvenaria estrutural.....	19
Figura 2 - Casa Maracanã, ganhadora do Prêmio AsBEA 2012.....	20
Figura 3 - Elementos que compõem alvenaria estrutural	21
Figura 4 – Tipos de blocos vazados de concreto simples	22
Figura 5 - Elementos grauteados da alvenaria estrutural.....	24
Figura 6 - Tipologias mais comuns para aplicação de alvenaria estrutural protendida.....	25
Figura 7 - Perfil dobrado a frio	26
Figura 8 - Perfil laminado.....	26
Figura 9 - Perfil soldado	27
Figura 10 - Projeto arquitetônico da edificação	28
Figura 11 - Ilustração dos ambientes da edificação.....	29
Figura 12 - Foto da fachada oeste da edificação	30
Figura 13 - Foto da construção da fachada oeste da edificação	31
Figura 14 - Blocos estruturais utilizados	32
Figura 15 - Elementos metálicos antes da pintura.....	34
Figura 16 - Localização dos pilares e das tesouras no projeto	35
Figura 17 - Relatório de sondagem da obra.....	37
Figura 18 - Laje sendo concretada com os arranques da alvenaria posicionados	38
Figura 19 - Detalhe do projeto estrutural dos arranques para alvenaria.....	38
Figura 20 - Locação dos pontos de arranque da alvenaria estrutural	39
Figura 21 - Detalhamento estrutural de uma parede.....	40
Figura 22 - Impermeabilização com emulsão asfáltica	41
Figura 23 - Impermeabilização com manta asfáltica.....	41
Figura 24 - Assentamento da primeira fiada da alvenaria	42
Figura 25 - Variações máximas da espessura das juntas de assentamento	43
Figura 26 - Alvenaria de bloco aparente com junta de assentamento rebaixada.....	43
Figura 27 - Janela de inspeção na alvenaria	44
Figura 28 - Valores máximos de desaprumo e desalinhamento.....	45
Figura 29 - Limpeza dos furos antes do grauteamento.....	46
Figura 30 - Lançamento de graute com balde	46

Figura 31 – Canaleta grauteada	47
Figura 32 – Perfuração da laje para chumbar pilares metálicos	48
Figura 33 - Chapa de apoio de tesouras treliçadas fixada na alvenaria	49
Figura 34 - Detalhe da chapa de apoio das tesouras treliçadas	49
Figura 35 - Detalhe da chapa de apoio dos pilares	50
Figura 36 - Pilares metálicos localizados na entrada do restaurante	50
Figura 37 - Módulo das tesouras treliçadas na obra	51
Figura 38 - Detalhe do módulo da tesoura treliçada.....	51
Figura 39 - Perfis que compõem o módulo da tesoura treliçada.....	51
Figura 40 - Elevação do módulo da tesoura treliçada e soldagem	52
Figura 41 - Detalhe estrutural das terças	53
Figura 42 - Terças e travamentos.....	53
Figura 43 - Detalhe dos contraventamentos	54
Figura 44 - contraventamentos das tesouras treliçadas	55
Figura 45 - Contraventamentos horizontais nos banzos inferiores das tesouras treliçadas.....	55
Figura 46 - Juntas de assentamento mal acabadas.....	58
Figura 47 - Telha amassada	58
Figura 48 - Processo de descarga de materiais na obra	61

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Tipos de ligação encontrados na obra	60
Quadro 2 - Tipos de ligação recomendados para cada ambiente.....	60
Quadro 3 - Tamanho da amostra para ensaio de bloco vazado de concreto simples.....	62
Quadro 4 – Dimensões nominais para bloco vazado de concreto simples da família 20 x 40cm	62
Quadro 5 - Requisitos para resistência característica à compressão, absorção e retração para bloco de concreto Classe B de agregado normal.....	63
Quadro 6 - Aceitação e rejeição de bloco vazado de concreto simples.....	63

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Custos para execução de alvenaria estrutural de bloco de concreto aparente	56
Tabela 2 - Custos para execução de 1085m ² de estrutura metálica	57
Tabela 3 - Custos para transporte e içamento de material da estrutura metálica.....	61

LISTA DE SIGLAS

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas

ASTM – American Society for Testing and Materials

CBCA – Centro Brasileiro da Construção em Aço

f_{ak} – Resistência característica da argamassa

f_{bk} – Resistência característica do bloco de concreto simples vazado

f_{gk} – Resistência característica do graute

PUR – Poliuretano

MPa – Megapascal

NBR – Norma Brasileira

SPT – *Standard penetration test*

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	16
2	DIRETRIZES DA PESQUISA.....	17
2.1	Objetivo da Pesquisa.....	17
2.1.1	Objetivo Principal.....	17
2.1.2	Objetivos Específicos	17
2.2	Limitações.....	17
2.3	Delineamento	17
3	SISTEMA ESTRUTURAL MISTO COMPOSTO DE AÇO E ALVENARIA ESTRUTURAL	18
3.1	Descrição	18
3.2	Alvenaria estrutural armada de bloco de concreto aparente	19
3.2.1	Blocos estruturais vazados de concreto simples.....	21
3.2.2	Argamassa de assentamento em alvenaria estrutural	22
3.2.3	Grautes estruturais	23
3.2.4	Aço	24
3.3	Estrutura metálica	25
4	ESTUDO DE CASO DESCRITIVO.....	27
4.1	Caracterização da obra.....	27
4.1.1	Alvenaria estrutural armada.....	31
4.1.2	Estrutura metálica.....	33
4.2	Técnicas de execução.....	36
4.2.1	Concretagem da laje	36
4.2.2	Alvenaria estrutural armada.....	39

4.2.3	Estrutura metálica	48
5	ANÁLISE	56
5.1.1	Custos e formas de contratação	56
5.1.2	Ligações da estrutura metálica	59
5.1.3	Logística da estrutura metálica	60
5.1.4	Controle tecnológico da alvenaria estrutural	61
6	CONSIDERAÇÕES FINAIS	64
	REFERÊNCIAS.....	65

1 INTRODUÇÃO

Segundo Monteiro Filha, Costa e Rocha (2010), o desenvolvimento do mercado de construção civil brasileiro é fundamental para o país vencer sua carência nos setores habitacional e de infraestrutura. Para que exista tal desenvolvimento, deve-se recorrer ao aprimoramento dos indicadores de prazo, custo e qualidade, que está intimamente relacionado com a inovação do setor da construção civil.

Dentre as novidades presentes nos últimos anos na indústria da construção civil, destaca-se a utilização de estruturas mistas de aço e alvenaria estrutural, que são definidas como a união de elementos estruturais de alvenaria e de aço, a fim de resistir a esforços aplicados na edificação em questão. O uso de estruturas mistas surgiu em meados das décadas de 50 e 60 no Brasil (CORDEIRO, 2014) e, estas têm sido amplamente utilizadas para estruturas que exigem vãos grandes e médios, uma vez que possibilitam maior velocidade de execução, redução de formas e cimbramento e grande redução no peso da edificação, o que provoca redução no custo das fundações (ALVA, 2000). No Brasil, uma estrutura mista de aço e alvenaria deve ser projetada e executada obedecendo várias normas técnicas, tais como: ABNT NBR 8800:2008 – Projeto de estruturas de aço e de estruturas mistas de aço e concreto de edifícios, ABNT NBR 14323:2013 – Projeto de estruturas de aço e de estruturas mistas de aço e concreto de edifícios em situação de incêndio, ABNT NBR 16775:2020 - Estruturas de aço, estruturas mistas de aço e concreto, coberturas e fechamentos de aço — Gestão dos processos de projeto, fabricação e montagem — Requisitos e ABNT NBR 16868:2020 - Alvenaria estrutural (todas as partes).

Por possuir um leque gigantesco de soluções construtivas, as estruturas mistas em geral estão sendo aplicadas em shopping centers, galpões logísticos, hotéis, hospitais e edificações de múltiplos andares em geral. Sendo assim, o presente trabalho apresentará um estudo de caso de uma estrutura mista composta de cobertura metálica apoiada em paredes em alvenaria estrutural e pilares metálicos.

2 DIRETRIZES DA PESQUISA

2.1 *Objetivo da Pesquisa*

2.1.1 *Objetivo Principal*

O principal objetivo do estudo é analisar uma estrutura mista composta de aço e alvenaria. O trabalho apresentará um estudo de caso de execução de uma edificação comercial de estrutura mista composta de cobertura metálica apoiada em paredes de alvenaria estrutural de bloco de concreto aparente e pilares metálicos.

2.1.2 *Objetivos Específicos*

Os objetivos específicos têm são:

- a) apresentar uma revisão bibliográfica do sistema estrutural misto composto de alvenaria estrutural de bloco aparente e estrutura metálica;
- b) apresentar um estudo de caso de execução de uma estrutura mista composto de alvenaria estrutural e estrutura metálica (cobertura metálica apoiada em paredes em alvenaria estrutural e pilares metálicos);
- c) dissertar sobre itens aptos a serem otimizados em obras com sistema estrutural misto composto de alvenaria estrutural e estrutura metálica.

2.2 *Limitações*

O trabalho limita-se a analisar os resultados obtidos na edificação de estudo e edificações com a mesma composição estrutural (alvenaria estrutural armada e aço).

2.3 *Delineamento*

O trabalho será realizado por meio de dados teóricos disponíveis na literatura e pela observação empírica do autor, que realizou estágio numa edificação de sistema estrutural misto composto de alvenaria estrutural e estrutura metálica.

3 SISTEMA ESTRUTURAL MISTO COMPOSTO DE AÇO E ALVENARIA ESTRUTURAL

3.1 Descrição

Segundo o CBCA - Centro Brasileiro da Construção em Aço (2012), uma estrutura mista é aquela onde um montante de sistemas mistos são adotados em sua composição. Considera-se uma estrutura mista, sempre que forem optados por diferentes materiais estruturais, como concreto armado, aço e concreto, madeira e alvenaria, aço e alvenaria, por exemplo.

O sistema estrutural misto de aço e alvenaria estrutural compõe um grande desafio de projeto e execução, uma vez que o projetista e o executor têm de conhecer e dominar muito bem como os dois elementos se comportam. O sistema em questão é formado pelo trabalho em conjunto da alvenaria estrutural, cujos elementos de alvenaria desempenham função estrutural, e do aço, presente em perfis metálicos, para compor uma estrutura. Na figura 1, por exemplo, ilustra-se um sistema misto de alvenaria estrutural com aço presente em pilares e estrutura da cobertura.

No Brasil, atualmente não existe uma norma específica para execução de estruturas mistas de alvenaria estrutural e aço. Entretanto, existe a NBR 16775: Estruturas de aço, estruturas mistas de aço e concreto, coberturas e fechamentos de aço — Gestão dos processos de projeto, fabricação e montagem — Requisito (2020), que traz diretrizes para normalizar a gestão de processos de estruturas mistas em geral. Ademais, a norma citada busca a melhoria contínua de processos e sistemas e tenta eliminar não conformidades nas três grandes etapas: projeto, fabricação e montagem, a fim de estimular economicamente o setor da construção civil.

A decisão de escolher um determinado sistema estrutural para o projeto de uma edificação não é uma simples tarefa, uma vez que existem várias variáveis importantíssimas a serem consideradas (CORRÊA, 1991). Como exemplo dessas variáveis, tem-se a arquitetura e a função da edificação, cujo sistema estrutural deve ser moldado e correlacionado a isso. Além disso, busca-se a melhor interação possível entre materiais com propriedades e particularidades diferentes. Conhecer e dominar os materiais que fazem parte de um sistema estrutural misto é primordial para alcançar todos os interesses dos envolvidos no projeto.

Em virtude da progressão tecnológica da industrialização de materiais destinados à

construção civil, houve a possibilidade de alcançar materiais com melhores propriedades, como concretos e aços de alta resistência. Com isso, a utilização de estruturas mistas apresenta constante crescimento (DE NARDIN *et al.*, 2005).

Figura 1 - Edificação com sistema misto de aço e alvenaria estrutural



Fonte: Arquivo pessoal do autor (2020).

O sistema misto de aço e alvenaria estrutural, onde a alvenaria estrutural trabalha em conjunto com lajes, vigas ou pilares metálicos, é empregado para alcançar efeitos estéticos desejados por arquitetos, principalmente com alvenaria de bloco de concreto aparente e vigas e pilares metálicos, e engenheiros, que buscam executar obras de forma rápida e economicamente vantajosa.

3.2 Alvenaria estrutural armada de bloco de concreto aparente

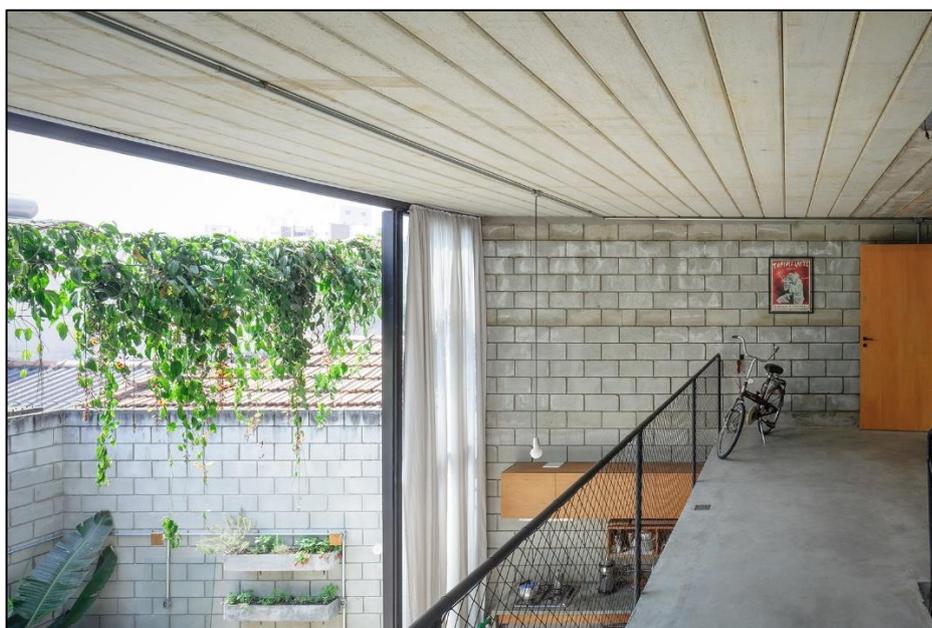
A utilização de alvenaria com blocos vazados de concreto simples aparente é amplamente presente nos Estados Unidos e Europa (TRAJANO, 2016), uma vez que não necessitam de revestimento de argamassa e pintura, o que gera, consequentemente, economia no empreendimento.

O sistema é muito interessante quanto ao ponto de vista econômico quando bem

projetado e executado. Para isso, deve-se dispor de um bom gerenciamento do canteiro de obras a fim de conseguir bons resultados. Materiais, equipamentos e aplicativos devem ser usados para uma boa prática de execução do sistema construtivo em decorrência de todas suas particularidades e técnicas exigidas. Muitos empreendedores adotam o sistema, visando uma obra prática, rápida e principalmente econômica, com bom resultado, custo baixo e boa qualidade do produto.

Uma edificação com bloco aparente reduz etapas, tempo e custo da obra e demonstra que um empreendimento não precisa ter componentes complexos para alcançar seu propósito, como a Figura 2, que ilustra a Casa Maracanã, com blocos e laje de concreto sem acabamento, localizada no Bairro da Lapa em São Paulo – SP, uma obra que ganhou o prêmio AsBEA 2012 na categoria residências.

Figura 2 - Casa Maracanã, ganhadora do Prêmio AsBEA 2012



Fonte: Terra e Tuma (2011).

A alvenaria com função estrutural, é normalizada pelas três partes da NBR 16868: Alvenaria estrutural: projeto, execução e controle de obras e métodos de ensaio (2020). O sistema de alvenaria estrutural é composto de quatro elementos básicos: blocos, argamassa de assentamento, graute e aço (figura 3).

Figura 3 - Elementos que compõem alvenaria estrutural



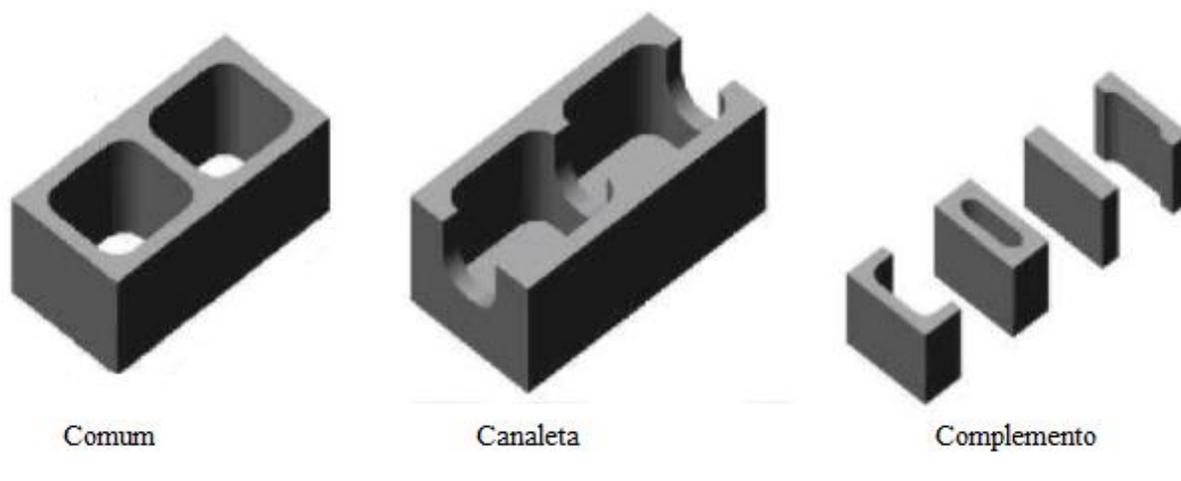
Fonte: Arquivo pessoal do autor (2020)

3.2.1 Blocos estruturais vazados de concreto simples

Para execução de uma parede estrutural de bloco de concreto com boa estética, as principais características a serem observadas são a aparência, o acabamento, a geometria e a dimensão do bloco. O bloco de concreto também deve ter as propriedades de resistência estrutural, análise dimensional, absorção de água, retração linear por secagem e permeabilidade conforme a ABNT NBR 6136:2016 - Blocos vazados de concreto simples para alvenaria — Requisitos, que estabelece as condições para fabricação e aprovação de blocos vazados de concreto simples para utilização na execução de paredes de alvenaria com função estrutural ou não.

No mercado consumidor são encontrados três tipos básicos de blocos vazados de concreto simples: bloco comum, bloco canaleta e bloco compensador, apresentados na figura 4. O bloco de tipo comum é o mais utilizado na execução de uma parede, já o canaleta serve para facilitar a execução de pilaretes, cintas, contravergas e vergas, que são elementos muito presentes na alvenaria estrutural. Por último, existe o bloco compensador, que tem a finalidade de compensar e ajustar a modulação da alvenaria, atingindo, desse modo, a racionalização do sistema.

Figura 4 – Tipos de blocos vazados de concreto simples



Fonte: ABNT NBR 6136:2016

Para blocos vazados de concreto simples para execução de alvenaria aparente, a NBR 6136 (ABNT, 2016) não faz grandes distinções de requisitos, apenas permite que para a finalidade de alvenaria aparente, os blocos podem apresentar furos, que é a parte vazada, com maiores dimensões, mas não impõe nenhum limite.

3.2.2 Argamassa de assentamento em alvenaria estrutural

A argamassa de assentamento é o que une os blocos ou tijolos a fim de formar a parede de alvenaria. Essa mistura pode ser formada por cimento, cal hidratada, agregados miúdos, água e aditivos. As principais funções da utilização de argamassa de assentamento em alvenarias com função estrutural ou não são a transferência de tensões de forma constante entre os blocos, a absorção de deformações, o impedimento da entrada de água e vento para o lado interno da alvenaria, a união das unidades e a compensação por possíveis variações dimensionais dos blocos. Os parâmetros que regem a argamassa de assentamento utilizada em alvenaria estrutural constam na ABNT NBR 13281: Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos – Requisitos (2005).

Dentre os tipos de argamassa, a mais comum para alvenaria estrutural é a industrializada. As argamassas industrializadas são altamente recomendadas para esse fim, uma vez que têm sua produção controlada em indústrias com alta tecnologia. Esse tipo de argamassa é

classificada em dois tipos: argamassa estabilizada pronta e argamassa ensacada. O primeiro tipo é entregue na obra por caminhões betoneira e armazenado em contêineres plásticos e está pronto para utilização da equipe de pedreiros. A argamassa industrializada ensacada, também chamada de mistura semipronta para argamassa, já está “pronta” apenas necessitando acrescentar água conforme instruções do fabricante.

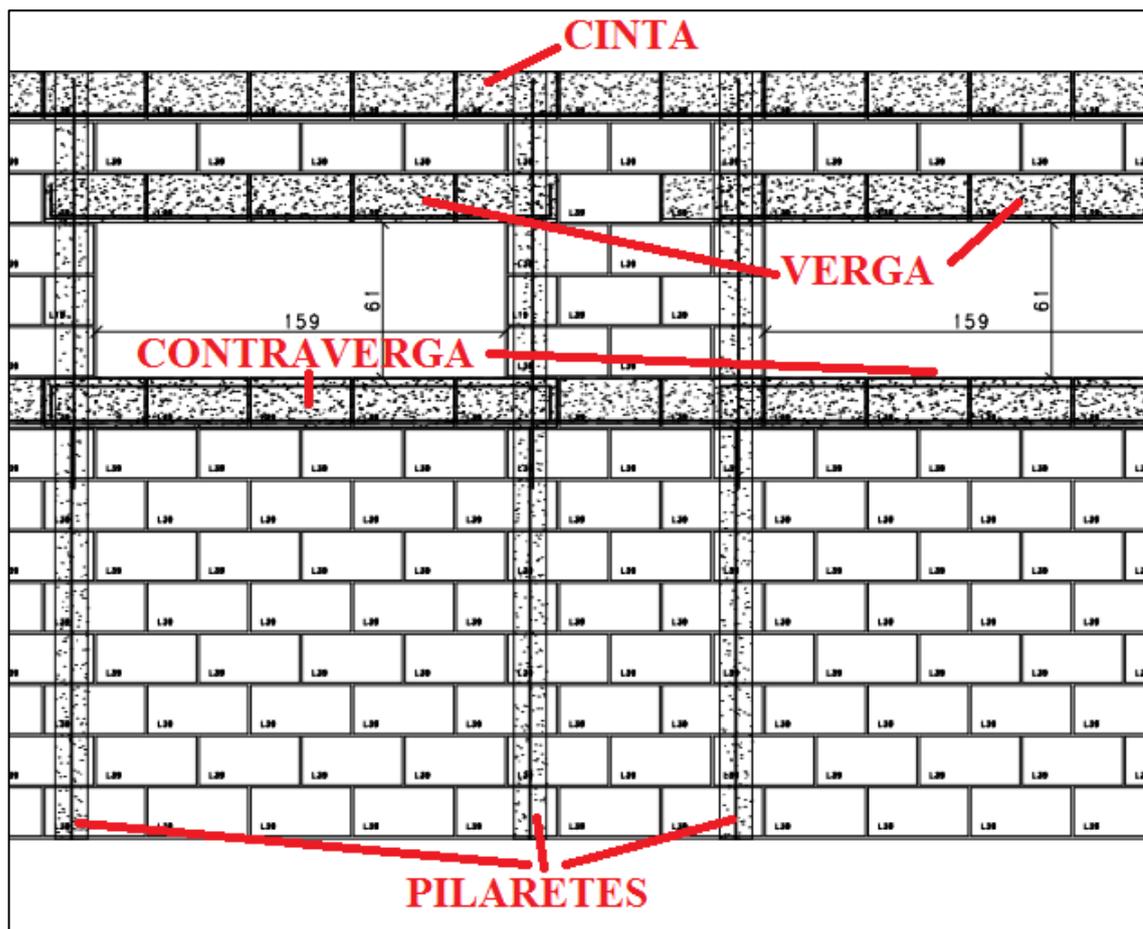
As vantagens da utilização de argamassa de assentamento industrializada não aparecem apenas na qualidade do produto, mas também na logística e execução dentro do canteiro de obras, uma vez que a utilização desse tipo de argamassa demanda menos mão de obra, menores perdas de material e conseqüentemente maior economia, além de ter garantia e orientação do fabricante (COUTINHO; PRETTI; TRISTÃO, 2013).

3.2.3 Grautes estruturais

O graute é uma mistura similar ao concreto convencional, composto de cimento Portland, agregado miúdo, agregado graúdo (pedrisco), água e aditivos. O que difere o concreto convencional do graute é a utilização de agregados com granulometria muito menor, onde a dimensão máxima de todos agregados é de 12,5mm.

Essa mistura tem a finalidade de aumentar a resistência de elementos presentes na alvenaria estrutural, além de propor a coesão entre os blocos e a armadura, no caso de alvenaria armada. A principal característica no estado fresco que o graute deve ter é alta fluidez em termos de consistência, para preencher os vazios do elemento grauteado. A presença do graute na alvenaria estrutural acontece através de pilaretes, cintas, contravergas e vergas, ilustradas na figura 5:

Figura 5 - Elementos grauteados da alvenaria estrutural



Fonte: Acervo de projetos da construtora (2019) – modificado pelo autor (2021)

Segundo a NBR 16868-2: Alvenaria estrutural - Parte 2: Execução e controle de obras (2020), somente grautes estruturais são aplicáveis para execução de alvenaria estrutural e são aqueles cuja resistência a compressão é igual ou maior que 15 MPa.

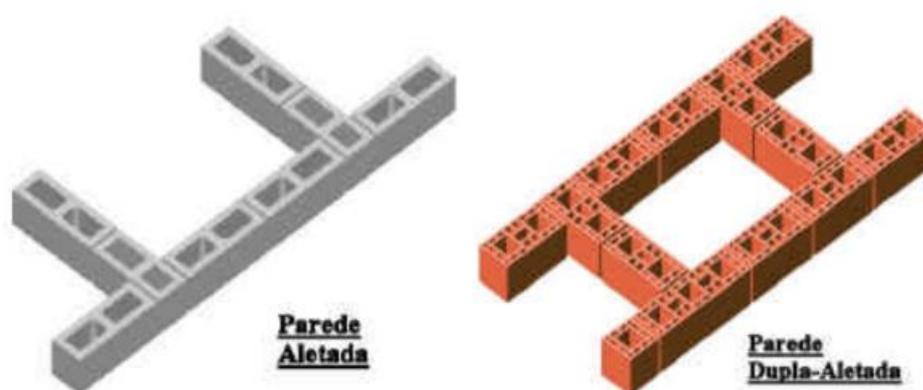
3.2.4 Aço

No sistema de alvenaria estrutural, a armadura de aço pode estar presente em pilaretes, cintas, contravergas e vergas, e tem a função de otimizar amarração de paredes e aumentar a resistência à tração. Uma alvenaria é considerada não-armada quando não há armadura dimensionada para resistir aos esforços solicitantes de tração. Já uma alvenaria classificada como

armada é uma alvenaria onde são utilizadas armaduras passivas, que são consideradas para resistência dos esforços solicitantes.

A armadura de alvenaria estrutural armada pode ser passiva ou ativa. O primeiro tipo é o mais comum e consagrado na indústria brasileira, e necessita de menos tecnologia. Já na alvenaria armada protendida (armadura ativa), geralmente, os elementos são submetidos à esforços laterais e devem ter grande resistência à flexão. Comumente, as tipologias mais apropriadas a essa técnica são paredes aletadas ou dupla-aletadas (PARSEKIAN; FRANCO, 2000).

Figura 6 - Tipologias mais comuns para aplicação de alvenaria estrutural protendida



Fonte: PARSEKIAN; FRANCO (2000)

3.3 Estrutura metálica

As estruturas metálicas de aço, com suas singularidades, possibilitam enorme desenvolvimento no ramo da arquitetura e construção civil. A execução de uma edificação composta por estrutura metálica acontece através de dois grandes processos: fabricação e montagem. Essas atividades devem ser realizadas por profissionais altamente treinados. A fabricação da estrutura metálica deve ser feita em indústrias especializadas, onde o controle de qualidade é maior, e chegar ao canteiro de obras para ser montada, sempre com auxílio de *munchs* e guindastes, em virtude do peso e da dimensão das estruturas.

Os perfis estruturais metálicos são classificados em três grandes grupos, conforme sua fabricação: dobrado a frio, laminado ou soldado. Os perfis dobrados a frio (figura 7) são industrializados através da dobra a frio de chapas dúcteis. Os perfis laminados (figura 8) são produzidos com o aço preaquecido e ganham sua forma após passar pelo processo de laminação, que é a redução da área de seção transversal dos elementos de aço, através de rolos tracionados. Já os classificados como soldados (figura 9), são fabricados pela junção de chapas com a utilização de solda (PFEIL; PFEIL, 2009).

Figura 7 - Perfil dobrado a frio



Fonte: Beka Metais (2021)

Figura 8 - Perfil laminado



Fonte: Emofer (2019)

Figura 9 - Perfil soldado



Fonte: Roma Metais (2018)

O uso de perfis de aço como pilares e vigas está muito presente em obras de grande porte, como viadutos, portos e aeroportos. Isso acontece, pois, esse nicho necessita de rapidez no processo construtivo, uma vez que os elementos apresentam boa resistência de tração, compressão e flexão, menor peso quando comparadas com vigas de concreto armado, facilidade na montagem e desmontagem e reaproveitamento do material.

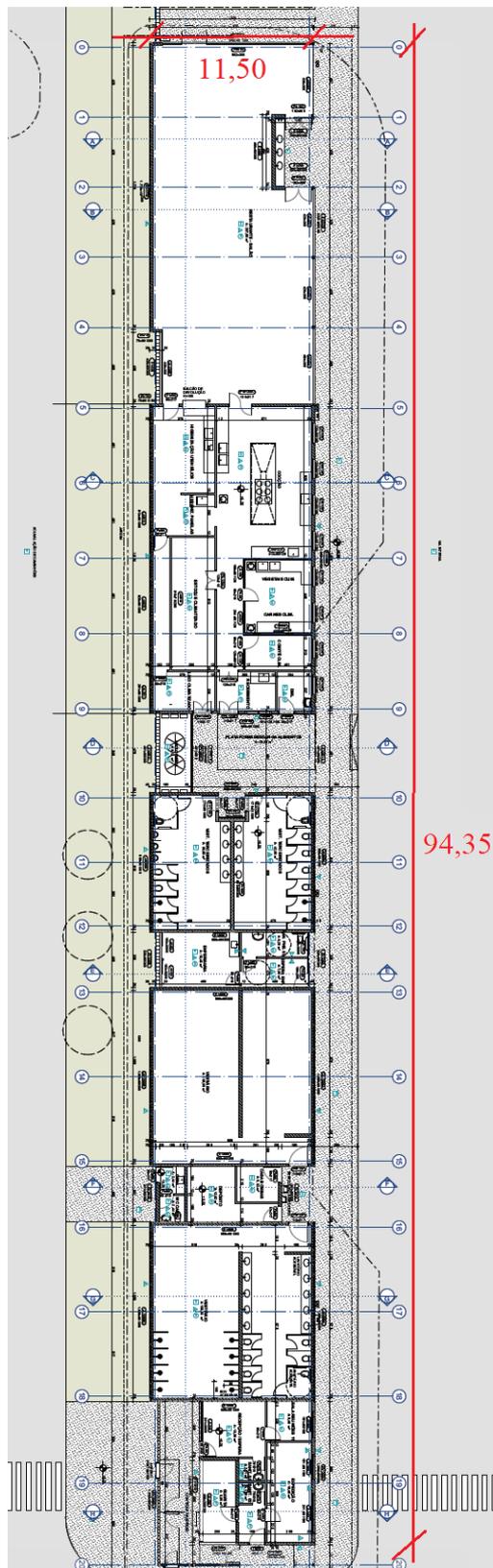
4 ESTUDO DE CASO DESCRITIVO

Neste capítulo será apresentado um estudo de caso descritivo de uma edificação comercial de 1085m² com sistema construtivo misto de alvenaria estrutural e aço, localizada na zona norte de Porto Alegre – RS, Brasil, próxima ao Aeroporto Salgado Filho. Neste item será apresentada a caracterização da obra, solução arquitetônica e estrutural empregada e a técnica de execução das estruturas. A execução da obra durou cerca de 11 meses e foi executada no prazo.

4.1 Caracterização da obra

A edificação tem apenas um pavimento, com as dimensões de 94,35 x 11,50m e altura total de 4,20m, sendo 3,00m de alvenaria e 1,20m de cobertura metálica. O propósito da edificação é dispor de infraestrutura, com restaurante, cozinha, vestiários, sanitários e portaria, para uma indústria automotiva, conforme ilustrado nas figuras 10 e 11.

Figura 10 - Projeto arquitetônico da edificação



Fonte: Acervo de projetos da construtora (2019)

Figura 11 - Ilustração dos ambientes da edificação



Fonte: Acervo de projetos da construtora (2019) – modificado pelo autor (2021)

A edificação foi construída com alvenaria estrutural armada de blocos vazados de concreto simples da família 20 x 40cm, pilares de aço e cobertura metálica, com tesouras, terças e contraventamentos em aço e telha sanduíche termoacústica de poliuretano (PUR) (figura 12 e 13).

Figura 12 - Foto da fachada oeste da edificação



Fonte: Arquivo pessoal do autor (2021)

Figura 13 - Foto da construção da fachada oeste da edificação



Fonte: Arquivo pessoal do autor (2020)

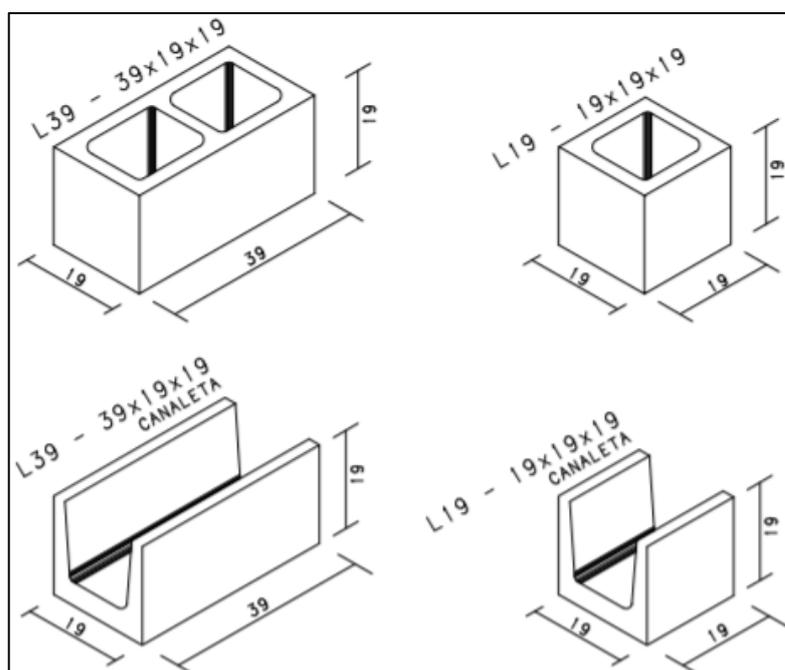
4.1.1 Alvenaria estrutural armada

O grande desafio da execução do empreendimento foi executar a alvenaria estrutural armada de blocos de concreto com a acabamento aparente. Para isso, várias empresas foram consultadas, dentre fornecedores de blocos e até outras construtoras atuantes no mercado na área. Também ocorreram visitas em duas obras da região metropolitana de Porto Alegre, a fim de prospectar orientações antes de iniciar a obra.

O setor de suprimentos da obra teve de procurar fornecedores de bloco de concreto vazado que oferecessem um produto com qualidade e ótima aparência, além de possuir laudo seguindo as orientações da ABNT NBR 6136:2016 - Blocos vazados de concreto simples para alvenaria — Requisitos e a NBR 12118:2014 - Blocos vazados de concreto simples para alvenaria — Métodos de ensaio. O fornecimento dos blocos de concreto ocorreu através de caminhão *munck*. Antes da descarga, o encarregado pela obra verificou, de forma estritamente visual

as formas geométricas, o acabamento e qualquer outro defeito que pudesse prejudicar a execução de alvenaria de blocos de concreto com acabamento aparente. A norma recomenda que sejam recolhidas amostras para ensaios, entretanto esse passo não foi seguido pela obra. A obra adquiriu quatro tipos de blocos classe B da família 20 x 40: bloco inteiro, meio bloco, bloco canaleta e meio bloco canaleta, conforme detalhe do projeto estrutural fornecido pelo projetista na figura 14.

Figura 14 - Blocos estruturais utilizados



Fonte: Acervo de projetos da construtora (2019) – modificado pelo autor (2021)

Também foi necessário contratar equipe terceirizada de execução de alvenaria competente e especializada, uma vez que a maioria dos pedreiros da região metropolitana de Porto Alegre não estão habituados a executar paredes de alvenaria aparente e com junta de assentamento com acabamento rebaixado. A contratação foi feita após a visita em uma obra com o mesmo sistema, que foi executada pela empreiteira. Em virtude disso, os valores dos insumos contratados foram superiores – cerca de 25% a 30% - ao valor médio encontrado cotidianamente no mercado.

Para conseguir cumprir prazos e a fim de aumentar a produtividade e evitar perdas, a obra decidiu comprar a argamassa industrializada ensacada, o aço dobrado e cortado e graute industrializado pronto. O aço cortado e dobrado foi solicitado de posse de um projeto de

armação detalhado, fornecido pelo projetista estrutural da edificação. Já o graute industrializado pronto, era fornecido por caminhão betoneira, que descarregava seu conteúdo em caixas plásticas com capacidade de 1000L. Por último, a argamassa industrializada era fornecida de forma ensacada, a fim de conter desperdícios e ser prática de ser utilizada, já que só necessita de água para utilização. A resistência característica do bloco de classe B, graute e da argamassa foram estipuladas através do projeto estrutural, sendo $f_{bk} = 4\text{MPa}$, $f_{gk} = 15\text{MPa}$ e $f_{ak} = 4\text{MPa}$, respectivamente.

A alvenaria estrutural da edificação é considerada armada pois existe a presença de armadura vertical para combater os esforços horizontais, onde ocorrem tensões de tração superiores aos valores resistidos pela argamassa. Os pontos de grauteamento eram previstos a cada 80cm em média, totalizando 322 pontos.

4.1.2 Estrutura metálica

Para execução da estrutura metálica, contratou-se uma empresa terceirizada com especialidade neste tipo de projeto e execução, que fornecia tanto material quanto a mão de obra. A grande dificuldade da contratação dessa atividade foi encontrar fornecimento de materiais certificados e de mão de obra qualificada, uma vez que certa parte do setor não apresenta certificações e qualificações para garantir a qualidade do produto. Essa empresa comprava os materiais em grandes indústrias e realizava pré-montagem e pintura em sua sede (figura 15).

Figura 15 - Elementos metálicos antes da pintura

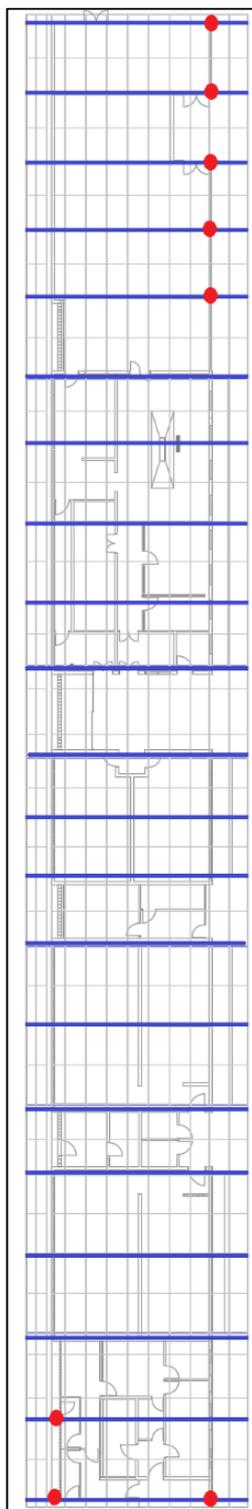


Fonte: Arquivo pessoal do autor (2020)

Os pilares metálicos da edificação têm a seção circular, com 15cm de diâmetro, e totalizando apenas 8 ao longo da edificação, espaçados entre 5,00m e 4,30m, e apoiados em chapas quadradas de seção 30x30cm. Por escolha arquitetônica, esses pilares estão localizados na entrada do restaurante e na portaria da edificação.

As tesouras metálicas que compõem a cobertura metálica têm pouco mais de 10m de comprimento e são 21 unidades no total, distanciadas entre 4,00m e 5,00m. Na figura 16, as tesouras metálicas estão destacadas em azul, já os pilares metálicos estão marcados em vermelho.

Figura 16 - Localização dos pilares e das tesouras no projeto



Fonte: Acervo de projetos da construtora (2019) – modificado pelo autor (2021)

Os elementos metálicos, como pilares, terças, travamentos e contraventamentos chegavam à obra pintados e eram montados com o uso de guindastes *e munccks*. A alternativa por estrutura metálica foi escolhida por dois fatores: rapidez de execução do sistema, uma exigência do cliente, e a possibilidade de executar vãos maiores, por anseio do escritório de arquitetura. Além disso, a arquitetura projetou dois beirais, um de cada lado da edificação, bem largos, a fim de diminuir a incidência de chuvas na alvenaria de blocos aparentes.

4.2 Técnicas de execução

Este capítulo apresentará as técnicas de execução e controle do sistema misto de alvenaria estrutural e aço, a partir da concretagem da laje, proposto pela edificação anteriormente mencionada:

- 1) Concretagem da laje;
- 2) Execução da alvenaria estrutural;
- 3) Instalação de pilares metálicos;
- 4) Instalação da cobertura metálica e telhamento.

4.2.1 Concretagem da laje

Anteriormente, o terreno não apresentava nenhuma edificação e era utilizado como estacionamento para a indústria automotiva. Após limpeza do terreno e locação dos eixos, foram executadas 130 estacas do tipo hélice contínua monitorada, com comprimento variando entre 12m e 18m, sendo 127 com diâmetro de 40cm e 3 com diâmetro de 50cm. Na figura 17, tem-se o relatório de sondagem do solo encontrado na obra, gerado através de um ensaio SPT, que demonstra um solo com baixa capacidade de suporte e alta deformabilidade nos primeiros metros de profundidade.

Figura 17 - Relatório de sondagem da obra

COTA E NELEGAÇÃO EM	NÍVEL D'ÁGUA	NÚMERO DE GOLPES PARA PENETRAÇÃO DE 30 cm DO AMOSTRADOR					PROFUNDIDADE (m)	AMOSTRAS	PROFUND. DA CAMADA	CLASSIFICAÇÃO DOS MATERIAIS	MÉTODO DE PERFURAÇÃO	
		Nº DE GOLPES		GRÁFICO								
		*	**	5	15	25						35
NÍVEL D'ÁGUA INICIAL: 0,48 m (07/07/11). NÍVEL D'ÁGUA APÓS 24 HORAS: LEITURA PREJUDICADA (muita chuva).	4	4					1- ≠ 1 ≠	2,56	Argila siltosa, cor cinza variada, de consistência muito mole a mole.	Percussão		
	3	2					2- ≠ 2 ≠					
	4	5					3- ≠ 3 ≠					
	2	2					4- ≠ 4 ≠					
	2	2					5- ≠ 5 ≠		Argila siltosa, com presença de matéria orgânica, cor cinza escuro, de consistência mole a muito mole.			
	2	2					6- ≠ 6 ≠					
	2	2					7- ≠ 7 ≠					
	3	4					8- ≠ 8 ≠					
	6	6					9- ≠ 9 ≠	8,65				
	16	16					10- ≠ 10 ≠		Areia de granulação variada, argilosa, pouco siltosa, cor cinza, de pouco compacta a compacta.			
	20	23					11- ≠ 11 ≠					
	21	26					12- ≠ 12 ≠					
	24	29					13- ≠ 13 ≠	12,80				
	7	8					14- ≠ 14 ≠		Argila siltosa, pouco arenosa, cor cinza, de consistência média.			
	6	6					15- ≠ 15 ≠	14,50				
	38	40					16- ≠ 16 ≠		Areia de granulação fina e média, argilosa, pouco siltosa, cor cinza, de pouco compacta a muito compacta.			
	37	42					17- ≠ 17 ≠	16,80				
	16	19					18- ≠ 18 ≠	17,55	Argila arenosa, pouco siltosa, cor cinza escura, de consistência rija			
	18	25					19- ≠ 19 ≠		Areia de granulação variada, argilosa, pouco siltosa, cor cinza, compacta.			
	22	29					20- ≠ 20 ≠	19,90	Areia de granulação fina e média, argilosa, pouco siltosa, cor cinza, compacta.			

Fonte: Acervo de projetos da construtora (2019) – modificado pelo autor (2021)

Posteriormente, a área onde seria executada a laje foi nivelada e compactada. Com a área nivelada e compactada, conseguiu-se executar a escavação, forma e travamento e armadura das vigas baldrame. Em seguida, executou-se a laje da edificação, armada com aço CA-50 8mm e 10mm, com 14cm de espessura.

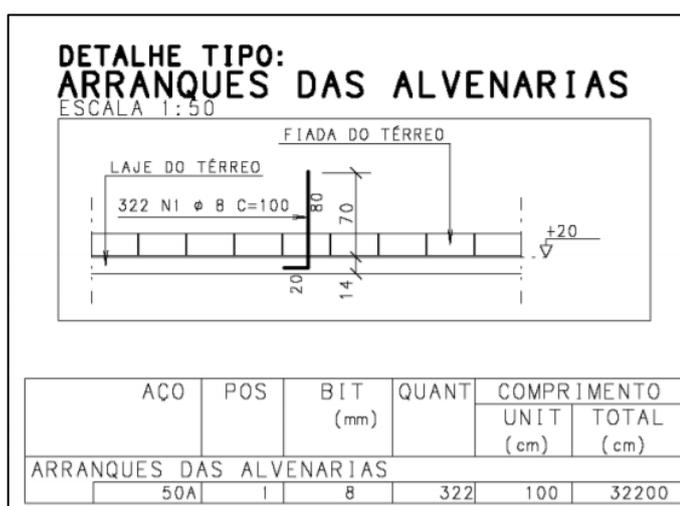
A laje da edificação do estudo de caso foi concretada com os arranques da armadura para a alvenaria estrutural (figura 18) de 100cm de comprimento total, que foram posicionados conforme projeto estrutural (figura 19 e 20), para realizar a transmissão de esforços entre a laje e a alvenaria estrutural. Esses arranques foram chumbados 9cm abaixo do concreto da laje.

Figura 18 - Laje sendo concretada com os arranques da alvenaria posicionados



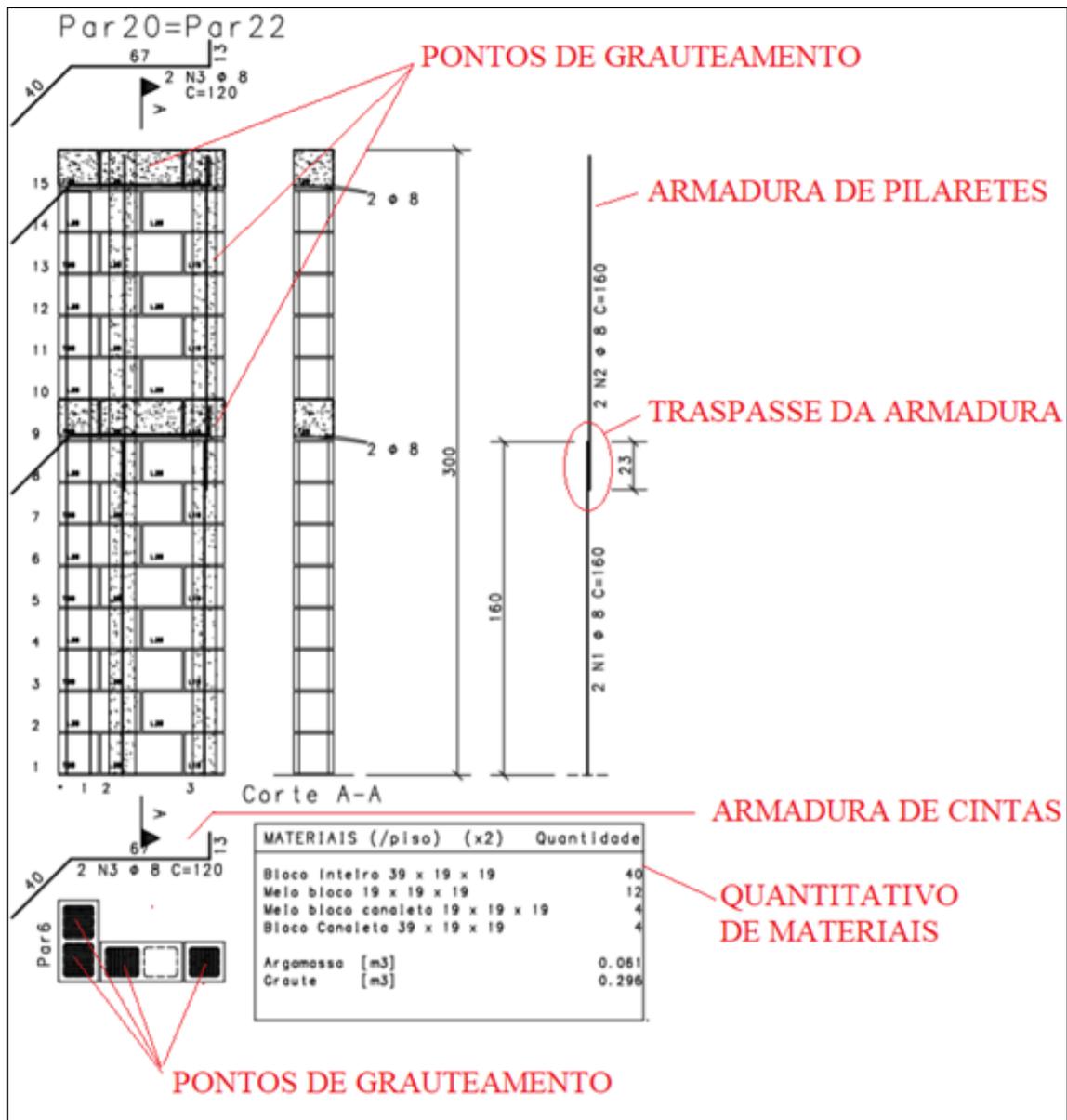
Fonte: Arquivo pessoal do autor (2020)

Figura 19 - Detalhe do projeto estrutural dos arranques para alvenaria



Fonte: Acervo de projetos da construtora (2019) – modificado pelo autor (2021)

Figura 21 - Detalhamento estrutural de uma parede



Fonte: Acervo de projetos da construtora (2019) – modificado pelo autor (2021)

Após a laje de concreto ter atingido a resistência de projeto, comprovada com o rompimento de corpos de prova moldados no dia da concretagem, iniciou-se a marcação da primeira fiada, que foi realizada de posse de laser rotativo e marcador industrial, a fim de garantir exatidão. Após a marcação, a superfície foi limpa e aplicou-se emulsão asfáltica, conforme figura 22, a fim de impermeabilizar onde a alvenaria seria apoiada, exceto onde existiam pontos de

grauteamento, para garantir a aderência do graute com a laje construída. Além da emulsão asfáltica, os trechos também foram impermeabilizados com manta asfáltica (figura 23) por decisão do responsável técnico da obra, a fim de reduzir a possibilidade de problemas devido à umidade ascensional.

Figura 22 - Impermeabilização com emulsão asfáltica



Fonte: Arquivo pessoal do autor (2020)

Figura 23 - Impermeabilização com manta asfáltica



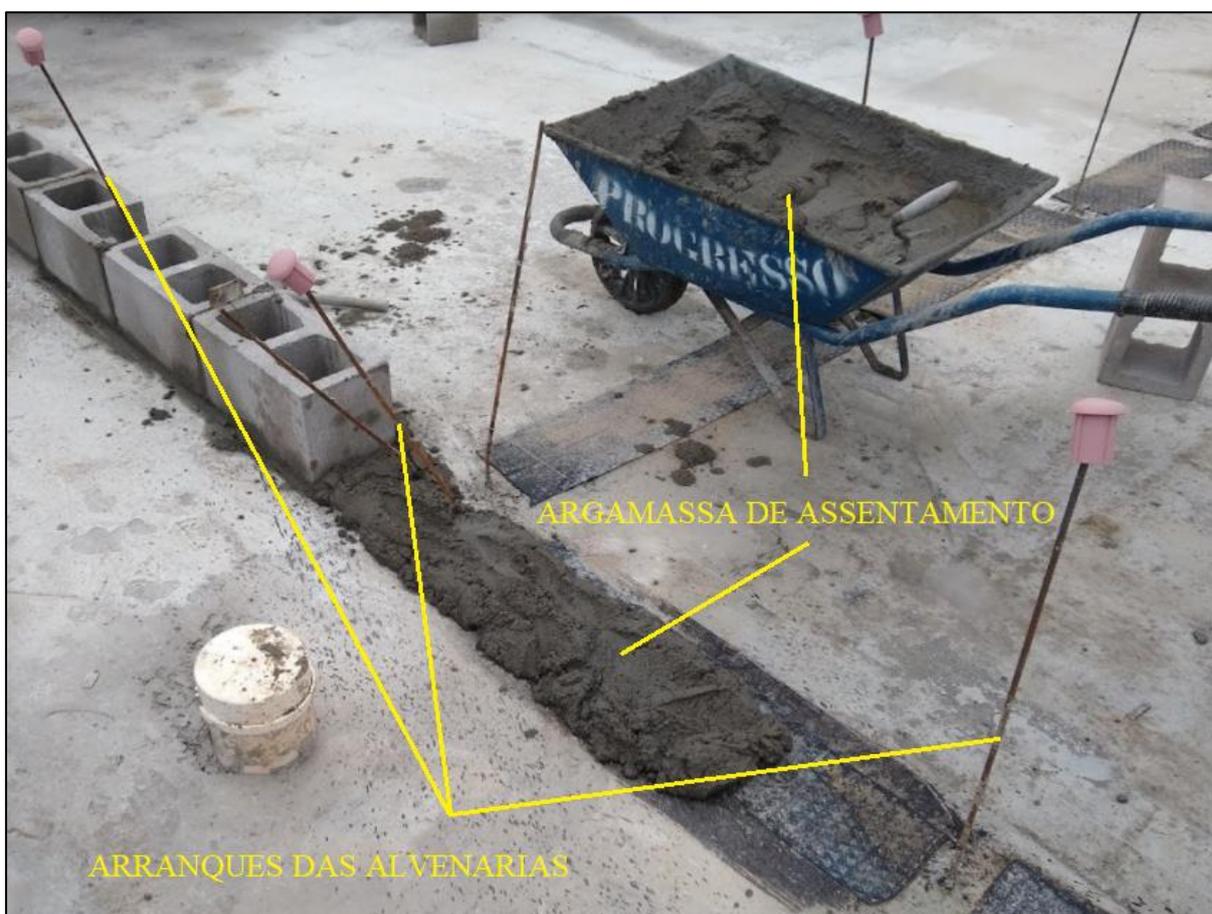
Fonte: Arquivo pessoal do autor (2020)

Para a marcação da primeira fiada dos trechos, foi necessário eliminar todo e qualquer desnível da superfície na qual a alvenaria será apoiada. A NBR 16868-2 (ABNT, 2020) cita que a variação de nível da face superior da laje construída, que receberá a alvenaria, não pode ser

acima de 10mm em relação ao plano especificado em projeto. Na obra, o nível da laje foi verificado utilizando um nível à laser rotativo e nenhum desnível maior que 10mm foi encontrado.

Para assentamento da primeira fiada, utilizou-se linha-guia, para garantir o nível da face superior do bloco e argamassa de assentamento produzida *in loco* com traço 1:3 (cimento : areia média) em volume, indicado pelo projetista estrutural, para corrigir desnível, menores que 10mm, causado pelo plano da superfície da laje construída (figura 24).

Figura 24 - Assentamento da primeira fiada da alvenaria

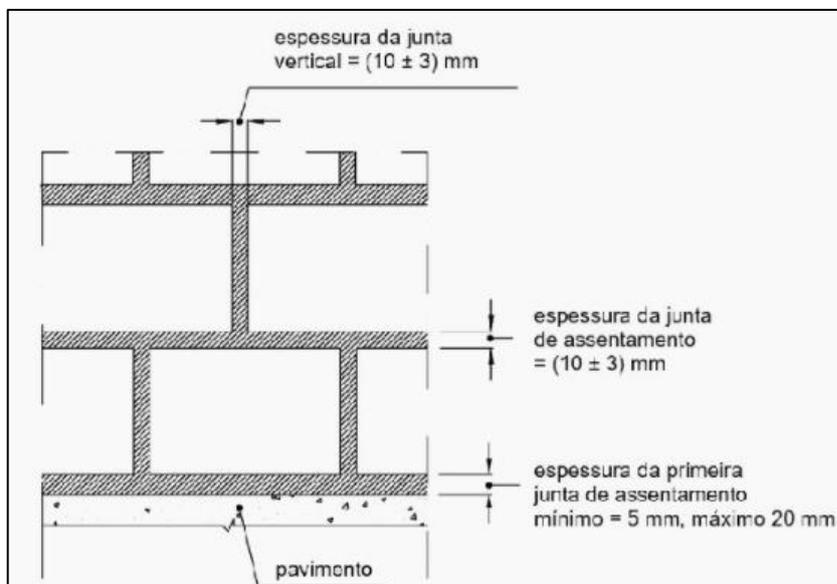


Fonte: Arquivo pessoal do autor (2020)

A espessura da primeira junta horizontal de argamassa de assentamento deve ficar entre 5mm e 20mm, conforme NBR 16868-2 (ABNT, 2020) (figura 25). A partir da primeira junta, as demais, horizontais ou verticais, devem ter 10mm de espessura, com variação permitida de 3mm. Essas medidas eram verificadas com uma régua métrica. Outro fator importante para a

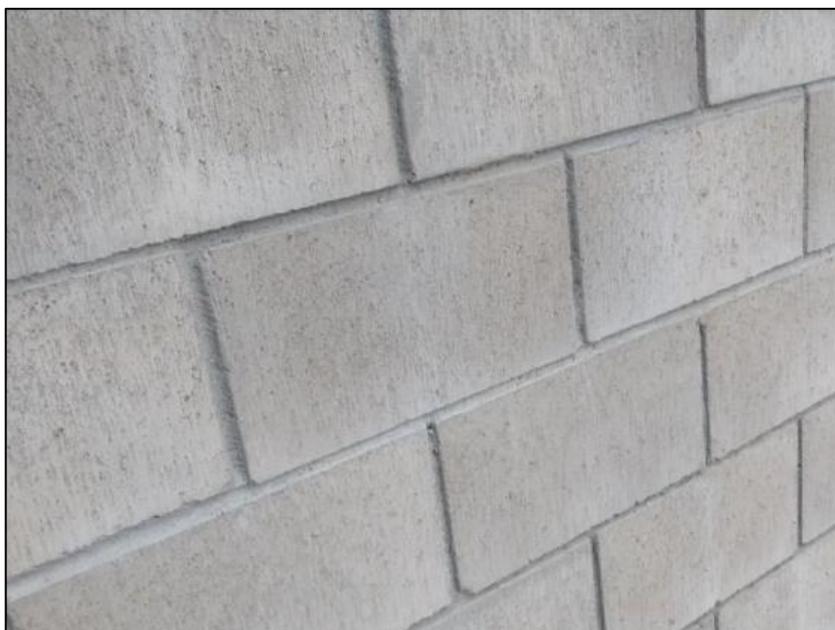
arquitetura foi a junta de assentamento, que foi executada com acabamento rebaixado, utilizando uma ferramenta confeccionada na obra, por opção dos arquitetos (figura 26).

Figura 25 - Variações máximas da espessura das juntas de assentamento



Fonte: ABNT NBR 16868-2:2020 - Alvenaria estrutural - Parte 2: Execução e controle de obras (2020)

Figura 26 - Alvenaria de bloco aparente com junta de assentamento rebaixada



Fonte: Arquivo pessoal do autor (2020)

Onde existiam pontos a serem grauteados na alvenaria estrutural, fez-se um corte no bloco (voltado para o lado onde o acabamento não é em bloco aparente) com uma serra circular. Esse corte é chamado de janela de inspeção (figura 27) ou de visita e serve para limpeza antes do grauteamento, para remover poeira e corpos estranhos, e inspeção depois do grauteamento, para garantir que o vão foi ocupado por graute. Alguns fornecedores têm um bloco especial para janelas de inspeção, que dispensam cortes.

Figura 27 - Janela de inspeção na alvenaria



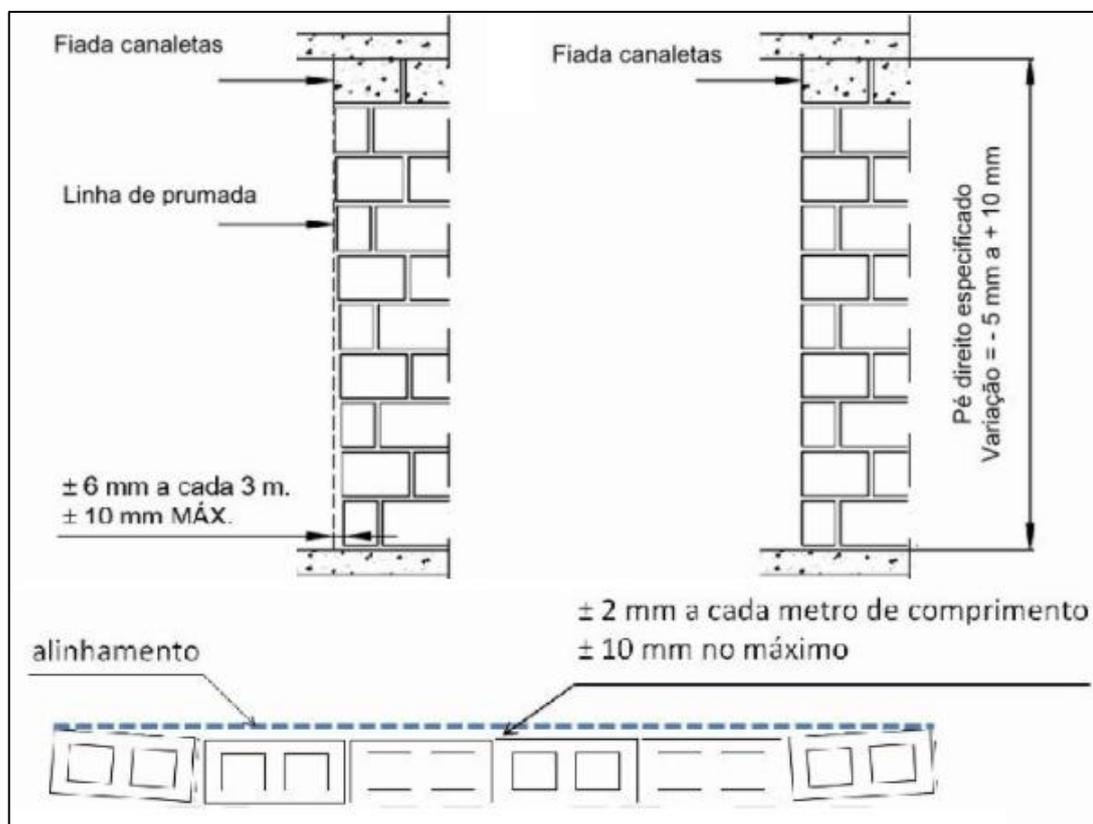
Fonte: Arquivo pessoal do autor (2020)

Após a execução da primeira fiada, executou-se mais 7 (sete) fiadas, até atingir a cinta, que devem seguir a paginação dos projetos, conforme mostrado na figura 20, utilizando argamassa de assentamento industrializada e dois tipos de bloco: inteiro e meio. Nessa etapa, utilizou-se régua de nível, esquadro e linha-guia em cada fiada, com o propósito de elevar a parede em nível e em prumo. O desaprumo e o desalinhamento máximos permitidos obedeceram a valores vistos na NBR 16868-2 (ABNT, 2020).

Para aceitação de uma parede, a geometria e resistência dos elementos que compõem a alvenaria devem estar de acordo com as recomendações vigentes. No quesito geométrico, três critérios são indispensáveis: alinhamento, nível e prumo. Para verificação desses itens, a obra utilizou: nível a laser, prumo de parede, régua de prumo e nível e esquadro. Na figura 28, tem-

se as tolerâncias recomendadas pela norma de execução de alvenaria estrutural, na qual a obra se baseou para aceitação ou rejeição de uma parede.

Figura 28 - Valores máximos de desaprumo e desalinhamento



Fonte: ABNT NBR 16868-2:2020 - Alvenaria estrutural - Parte 2: Execução e controle de obras (2020)

Para execução de cintas, que são as fiadas 9 e 15, vergas e contravergas, localizadas em vãos de portas e janelas, utilizou-se bloco tipo canaleta preenchidas com graute e armadura. A NBR 16868-2 (ABNT, 2020) também permite a utilização de peças moldadas e pré-moldadas para execução desses elementos, que garantem mais agilidade na produção. A armadura era colocada pelo próprio pedreiro que executava a alvenaria. Essa tarefa era fiscalizada de maneira informal e aleatória pelo mestre de obras e pelos estagiários, que não utilizavam Fichas de Verificação de Serviço, que é uma indicação do Programa Brasileiro da Qualidade e Produtividade do Habitat.

O lançamento do graute, ou grauteamento, nos pilaretes e blocos canaletas deve ser feito após a limpeza (figura 29) dos furos e fechamento da janela de inspeção, para evitar que o graute escape. Esse lançamento (figura 30), conforme norma, deve ser feito com altura máxima

de 160cm, para garantir que não ocorra segregação da mistura. O adensamento do graute deve ser feito de forma manual, com haste de 10mm a 15mm de diâmetro. O lançamento do graute foi realizado de forma manual com a utilização de baldes, conforme indicado na figura 31, onde um operário grauteia um pilarete. O graute utilizado tinha um tempo em aberto, que é o tempo disponível para o lançamento sem que o material perca suas características, de 8 horas.

Figura 29 - Limpeza dos furos antes do grauteamento



Fonte: Arquivo pessoal do autor (2020)

Figura 30 - Lançamento de graute com balde



Fonte: Arquivo pessoal do autor (2020)

A moldagem de corpos de prova para ensaio de prisma para confirmar a resistência do graute, onde a eficiência dos prismas deveria ser no mínimo 70%, não era realizada pela obra, somente pelo fornecedor do graute, que enviava os resultados para o responsável técnico da obra e projetista estrutural. A rastreabilidade do graute era realizada pela obra através de plantas e planilhas. A resistência característica do graute deve ser igual ou superior ao valor de projeto, que é de $f_{gk} = 15\text{MPa}$. Se a geometria da parede e a resistência característica do graute estiverem de acordo, a obra aceita o elemento. Após comprovação da resistência dos trechos grauteados, que é enviada pelo fornecedor do material, e verificação da janela de inspeção, que não deve apresentar nenhum vazio de grauteamento, consegue-se continuar a elevação da parede, o que dá início a um novo ciclo de todo o processo.

Após lançamento de todo o graute, as paredes eram limpas, para evitar a ocorrência de manchas, já que a alvenaria tem acabamento aparente. Após o grauteamento, o bloco canaleta apresentava o seguinte aspecto apresentado na figura 31:

Figura 31 – Canaleta grauteada



Fonte: Arquivo pessoal do autor (2020)

4.2.3 Estrutura metálica

Com a fase da alvenaria estrutural finalizada, começou a etapa da estrutura metálica, que teve pouco mais de 14.000 kgs de aço carbono ASTM A36. Os elementos foram revestidos com primer anti-corrosivo com espessura de 150 μ m e pintura esmalte na cor preto fosco.

Primeiramente as chapas de aço com 3/8” de espessura, que serviram de apoio para pilares, foram locadas, com a utilização de linhas e nível a laser. Para instalação das chapas dos pilares, foi utilizada uma furadeira para perfurar a laje (figura 32). Os pilares metálicos, de seção circular com 15cm de diâmetro, chegaram na obra já unidos através de ligação soldada com uma chapa A e quatro chapas B (figura 35), que servem para fixação ao substrato e reforço, respectivamente. A NBR 8800 (ABNT, 2008) recomenda que o desaprumo de pilares metálicos não deve ser superior a relação 1:500cm/cm. Isso foi conferido na obra utilizando prumo de parede. A locação e perfuração das chapas de aço para apoio das tesouras metálicas seguiram os mesmos passos, mas foram feitas na alvenaria.

Após a perfuração da laje e da alvenaria, os furos foram limpos e inseriu-se chumbador químico base epóxi de alto desempenho para ancoragens pesadas e barras roscadas de 1/2” de diâmetro parafusadas (parafuso A-307) (figura 33), para fixar as chapas aos substratos, conforme detalhamento de projeto nas figuras 34 e 35.

Figura 32 – Perfuração da laje para chumbar pilares metálicos



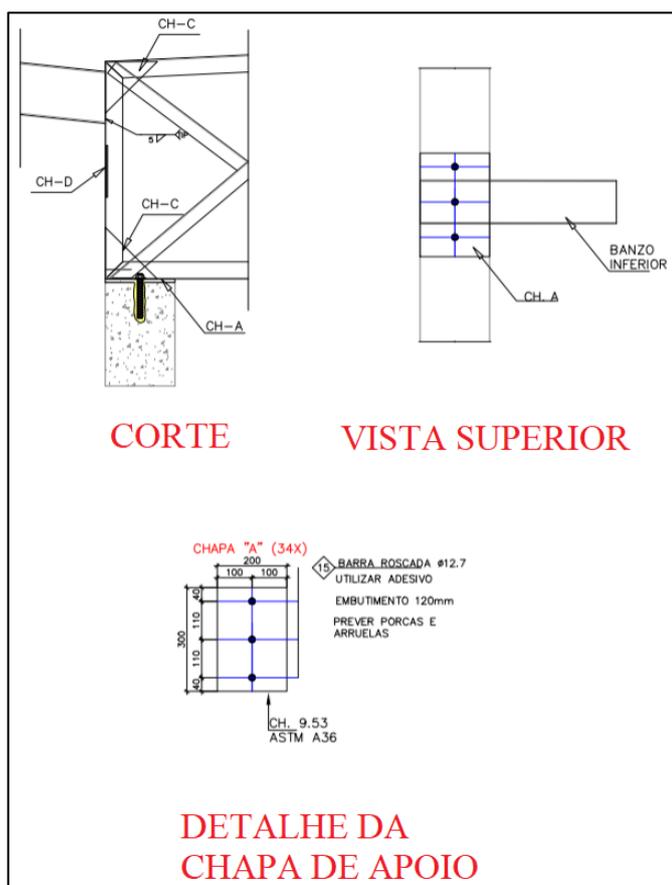
Fonte: Arquivo pessoal do autor (2020)

Figura 33 - Chapa de apoio de tesouras treliçadas fixada na alvenaria



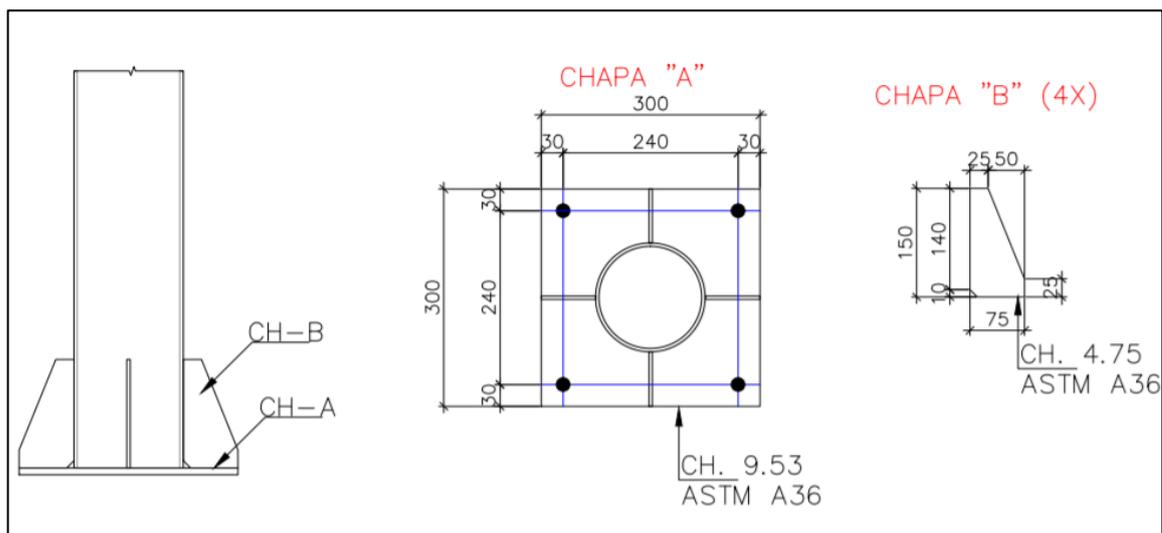
Fonte: Arquivo pessoal do autor (2020)

Figura 34 - Detalhe da chapa de apoio das tesouras treliçadas



Fonte: Acervo de projetos da construtora (2019) – modificado pelo autor (2021)

Figura 35 - Detalhe da chapa de apoio dos pilares



Fonte: Acervo de projetos da construtora (2019) – modificado pelo autor (2021)

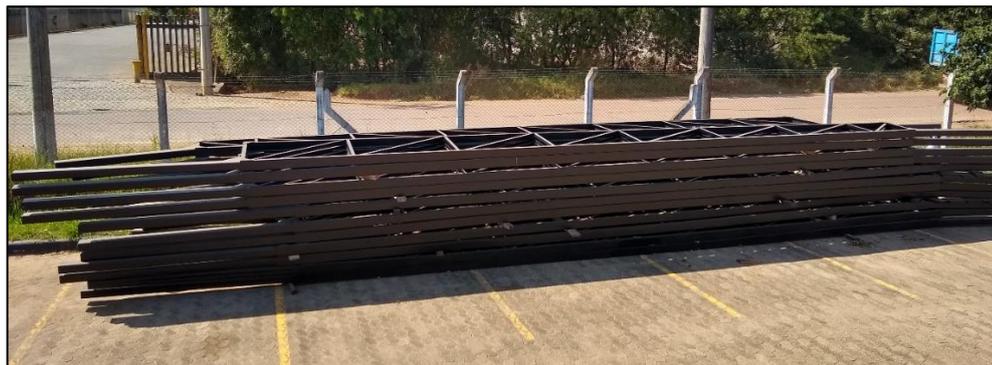
Após instalação dos pilares (figura 36) e de 42 chapas de apoio para as tesouras treliçadas (34 fixadas na alvenaria e 8 fixadas no topo de pilares), pode-se instalar o módulo das tesouras metálicas (figura 37 e 38), que chegava na obra praticamente pronto. Importante ressaltar que os pilares poderiam ser montados antes da conclusão da alvenaria, isso não foi feito, pois houve atraso na produção das peças metálicas.

Figura 36 - Pilares metálicos localizados na entrada do restaurante



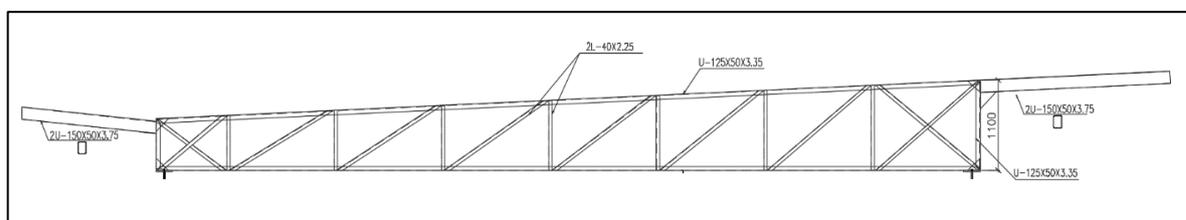
Fonte: Arquivo pessoal do autor (2020)

Figura 37 - Módulo das tesouras treliçadas na obra



Fonte: Arquivo pessoal do autor (2020)

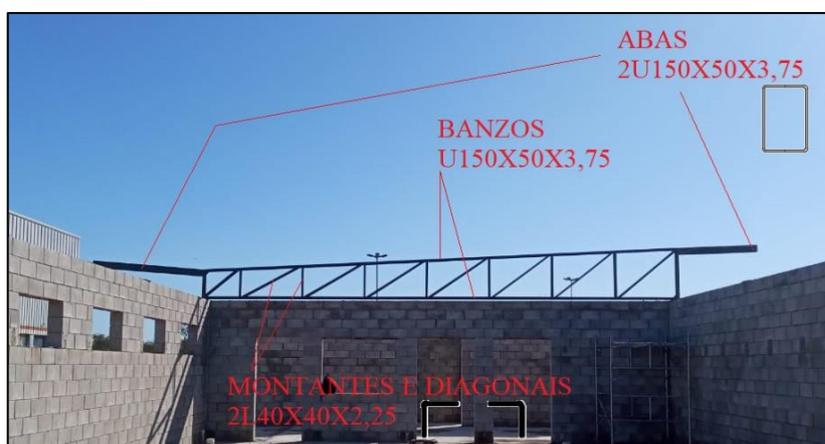
Figura 38 - Detalhe do módulo da tesoura treliçada



Fonte: Acervo de projetos da construtora (2019) – modificado pelo autor (2021)

O módulo das tesouras metálicas era formado por perfis U e L, ambos laminados, ASTM A36 (figura 39). Os perfis U tem a dimensão de 150x50x3,75mm, que formam as duas abas e os banzos superior e inferior. Já os perfis L, que compõem os montantes e as diagonais, têm a dimensão de 40x40x2,25mm.

Figura 39 - Perfis que compõem o módulo da tesoura treliçada



Fonte: Arquivo pessoal do autor (2020)

Como o módulo já estava montado, utilizou-se *munck* com balancim travessa para sua elevação e posicionamento nos locais indicados em projeto, conforme figura 40. Após o *munck* posicionar o módulo, um soldador realizava a soldagem da tesoura nas chapas chumbadas, também ilustrado na figura 40. O alinhamento e a posição de cada elemento foram conferidos pela obra, através de nível a laser e alinhamentos do gabarito do canteiro.

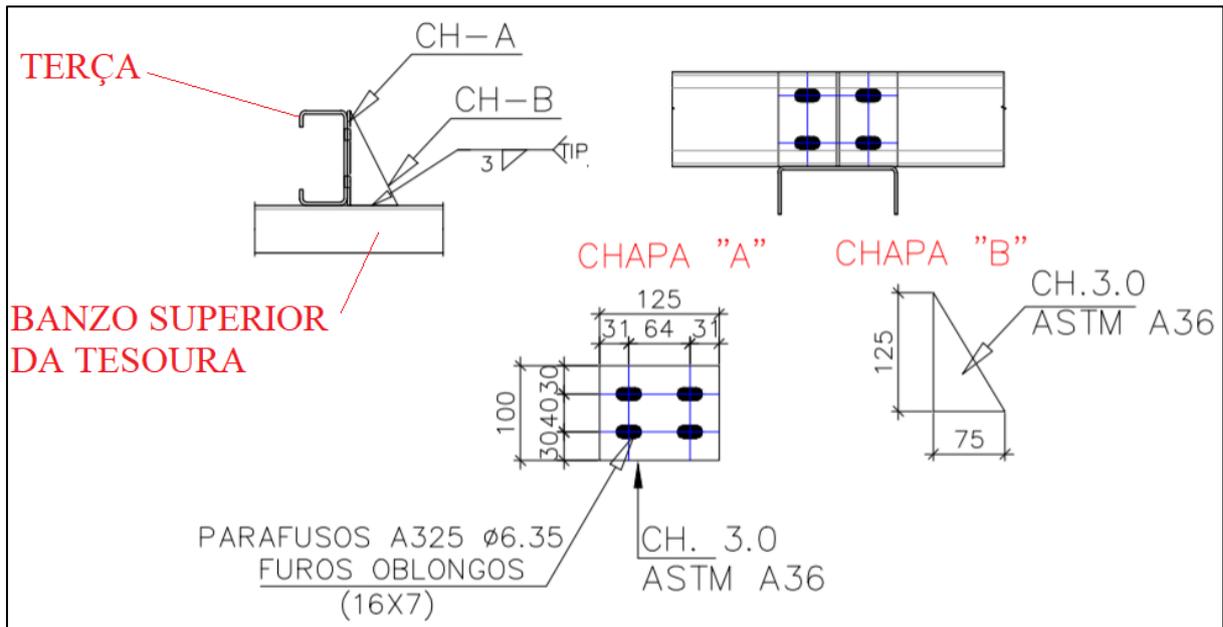
Figura 40 - Elevação do módulo da tesoura treliçada e soldagem



Fonte: Arquivo pessoal do autor (2020)

Depois de soldar todas as 21 tesouras treliçadas, partiu-se para execução das terças metálicas, que têm a função de servir de apoio para as telhas, distribuir o peso para as tesouras e contribuir com o contraventamento. A cada tesoura, foram distribuídas 14 terças (perfil C 125x50x20x3,35mm), soldadas e parafusadas, distanciadas entre 62 e 130cm, conforme detalhe estrutural na figura 41. A inspeção dessa e de quaisquer soldas realizadas no canteiro de obras foi estritamente visual. Entretanto, a NBR 8800 (ABNT, 2008) recomenda que a inspeção deve ser feita de acordo com os requisitos do Código de Soldagem Estrutural Aço da Sociedade Americana de Soldagem, por um inspetor de soldas.

Figura 41 - Detalhe estrutural das terças



Fonte: Acervo de projetos da construtora (2019) – modificado pelo autor (2021)

Ao final da execução das terças, soldou-se seus respectivos travamentos (figura 42), que são cerca de 180 unidades, a fim de aumentar a rigidez da estrutura, reduzir deslocamentos horizontais e fornecer estabilidade à estrutura. Para esses travamentos foi dimensionado o perfil L 30x30x2,0mm.

Figura 42 - Terças e travamentos



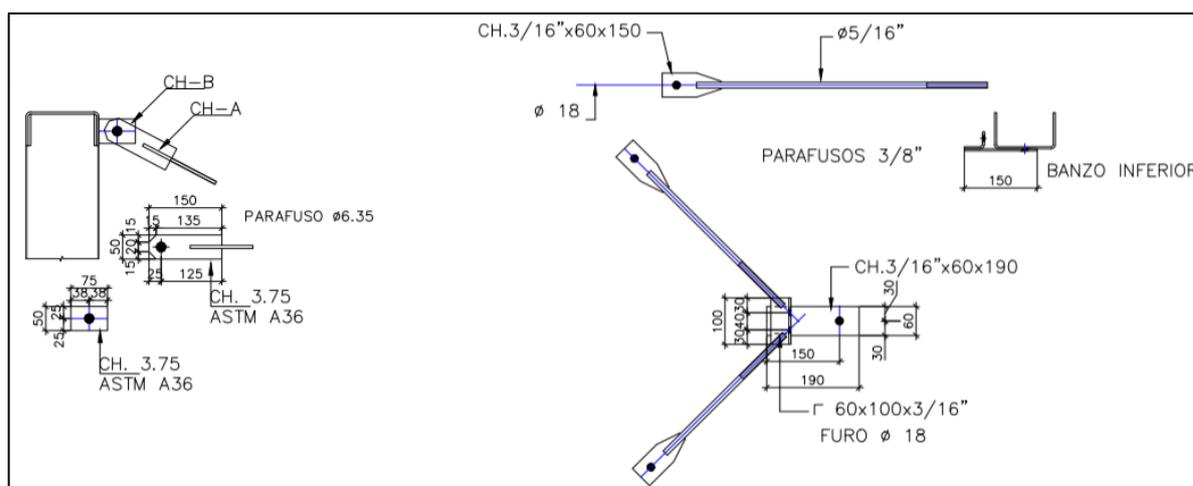
Fonte: Arquivo pessoal do autor (2020)

Com a execução dos travamentos das terças, foi possível executar duas frentes de trabalho. A primeira foi o telhamento, utilizando telha sanduíche termoacústica de poliuretano (PUR), que, segundo o fabricante, garante estanqueidade, isolamento térmica e grande rigidez contra impactos. Já a segunda, foi a execução de contraventamento das tesouras treliçadas e contraventamento horizontal no banzo inferior das tesouras treliçadas.

As telhas foram encomendadas sob medida, o que economizou mão de obra e tempo para execução da edificação. Outra medida que diminuiu tempo de execução foi o lançamento das telhas para as terças em diversos pontos da estrutura (mostrado na figura 43), economizando tempo na distribuição do material. A execução de todo o telhamento, incluindo posicionamento das chapas, fixação dos parafusos e vedação com selante de poliuretano, durou apenas um dia.

A execução de contraventamentos foi similar à execução do restante da estrutura metálica. De posse do detalhe dos contraventamentos (figura 44) do projeto da estrutura metálica, os contraventamentos das tesouras treliçadas (figura 45) e os contraventamentos horizontais nos banzos inferiores das tesouras treliçadas (figura 46) foram soldados. Com isso, a execução da estrutura metálica ficou completa.

Figura 43 - Detalhe dos contraventamentos



Fonte: Acervo de projetos da construtora (2019) – modificado pelo autor (2021)

Figura 44 - contraventamentos das tesouras treliçadas



Fonte: Arquivo pessoal do autor (2020)

Figura 45 - Contraventamentos horizontais nos banzos inferiores das tesouras treliçadas



Fonte: Arquivo pessoal do autor (2020)

5 ANÁLISE

O sistema misto de aço e alvenaria estrutural compreende dois sistemas bem diferentes, que podem ser desenvolvidos juntos. A seguir serão abordados itens aptos a serem implantados ou otimizados em obras com sistema semelhante.

5.1.1 Custos e formas de contratação

Sobre a alvenaria estrutural, todo material foi comprado pela construtora, já a mão de obra foi terceirizada, onde foi negociado um valor por m² de alvenaria “pronta” – alvenaria assentada, grauteada com a armadura posicionada, com a junta rebaixada feita, limpa e livre de arremates, e pago conforme medição de serviço. Ao todo foram executados 750m² de alvenaria estrutural com acabamento aparente, utilizando, três pedreiros e três auxiliares, em 32 dias úteis, sendo 6 horas trabalhadas por dia. O custo aproximado da atividade está apresentado na tabela abaixo:

Tabela 1 - Custos para execução de alvenaria estrutural de bloco de concreto aparente

Insumos	Quant.	Unidade	Custo unitário do material	Custo unitário da mão de obra	Custo total
Bloco inteiro	7804	unid.	R\$ 3,10	R\$ -	R\$ 24.192,40
Meio bloco	329	unid.	R\$ 1,80	R\$ -	R\$ 592,20
Bloco canaleta	1399	unid.	R\$ 3,45	R\$ -	R\$ 4.826,55
Meio bloco canaleta	36	unid.	R\$ 1,90	R\$ -	R\$ 68,40
Aço cortado e dobrado	1096	kg	R\$ 4,30	R\$ -	R\$ 4.712,80
Graute	30,2	m ³	R\$ 372,00	R\$ -	R\$ 11.234,40
Argamassa de assentamento	10,6	m ³	R\$ 560,00	R\$ -	R\$ 5.936,00
Alvenaria estrutural (armada, grauteada e com junta acabada)	750	m ²	R\$ -	R\$ 46,50	R\$ 34.875,00
Total					R\$ 86.437,75

Fonte: Elaborado pelo autor (2021)

Já a instalação da estrutura metálica e o telhamento, a partir da produção de todos os componentes, demorou 18 dias úteis para ser concluída, também com 6 horas trabalhadas ao dia, e foram 1085m² realizados. Essa atividade foi realizada por dois serralheiros e dois auxiliares. A contratação desse escopo aconteceu na forma de fornecimento de todo equipamento, material e mão de obra necessários para execução do projeto estrutural. Os pagamentos eram

realizados através de metas atingidas. Por exemplo, quando a empreiteira finalizasse a instalação da cobertura do telhado, receberia uma parcela. Na tabela 2, tem-se os valores negociados com a empresam.

Tabela 2 - Custos para execução de 1085m² de estrutura metálica

Insumos	Quant.	Unidade	Custo unitário do material	Custo unitário da mão de obra	Custo total
Pilares e estrutura metálica para cobertura	1085	m ²	R\$ 106,20	R\$ 70,80	R\$ 192.045,00
Telhamento	1085	m ²	R\$ 36,00	R\$ 24,00	R\$ 65.100,00
Locação de equipamentos (muncks e andaimes)	1	vb	R\$ 22.000,00	R\$ -	R\$ 22.000,00
Total					R\$ 279.145,00

Fonte: Elaborado pelo autor (2021)

Em ambos os contratos, fornecimento de mão de obra de execução de alvenaria estrutural e fornecimento de material e mão de obra para execução de estrutura metálica, a construtora negociou uma parcela de retenção técnica ou caução contratual, cerca de 5% do valor total do contrato. A retenção técnica serve para caso exista qualquer não conformidade ou necessidade de reparos e a contratada se recuse a realizar devido conserto, a contratante pode procurar a reparação das perdas com o valor retido. Esse artifício foi utilizado em ambos os contratos.

No contrato da alvenaria estrutural, o empreiteiro negou-se a reparar uma parede da fachada onde o acabamento das juntas rebaixadas não tinha ficado de acordo com a qualidade esperada, demonstrada na figura 46. A contratante conseguiu reparar a parede utilizando mão de obra própria. Já no contrato de fornecimento de material e mão de obra para execução de estrutura metálica, a contratada se recusou a trocar três telhas que apresentavam partes amassadas (figura 47) e a retocar diversos pontos de pintura. A construtora utilizou os recursos da retenção técnica para comprar e instalar novas telhas e contratar empreiteira de pintura, especializada em estrutura metálica.

Figura 46 - Juntas de assentamento mal acabadas



Fonte: Arquivo pessoal do autor (2020)

Figura 47 - Telha amassada



Fonte: Arquivo pessoal do autor (2020)

Nos dois casos, a caução contratual foi bem utilizada pela construtora, pois ela utilizou essa garantia a fim de conquistar toda qualidade necessária dos serviços.

5.1.2 Ligações da estrutura metálica

Na execução da estrutura metálica do estudo de caso, existem conexões através de solda e de parafuso. Os dois tipos foram feitos *in loco*. Na indústria, apenas ligações soldadas foram feitas.

Conforme Dias(1997), recomenda-se que ligações soldadas, que são a união de componentes de um elemento estrutural preservando a continuidade do material e de suas respectivas características, sejam feitas apenas em indústrias e fábricas, ambientes controlados e com certificação de controle de qualidade, realizada por um inspetor de soldas, que é um profissional com qualificação e certificação comprovada para exercer devida atividade. Conforme mencionado anteriormente, em algumas etapas, a soldagem foi feita na obra, o que não é aconselhado, uma vez que o canteiro de obras não possui características semelhantes à de uma indústria. Além disso, não havia nenhum profissional no canteiro, nem da contratante e nem da contratada, apto para realizar a inspeção das soldas, uma grande falha da construtora, uma vez que isso poderia comprometer a estrutura. Na indústria da contratada, havia um profissional habilitado para inspeção de soldas.

Sobre as conexões utilizando parafuso, adotadas em situações onde a ligação é feita no canteiro de obras, devido ao prévio conhecimento da resistência mecânica dos parafusos, que é disponibilizado pelo fabricante. De acordo com Pfeil e Pfeil (2009), recomenda-se que os furos para essa ligação sejam feitos na indústria, a fim de controlar a qualidade. Na obra estudada, pouquíssimas peças vinham com os furos já feitos, o que provocava na diminuição de produtividade dos operários, uma vez que tinham de realizar essa atividade no canteiro. Deve haver cuidado extra para não enfraquecer consideravelmente as peças conectadas através dessa ligação. Mesmo assim, a ligação parafusada tem rapidez de execução e a mão de obra necessária não precisa ter certificação comprovada, como o caso da ligação soldada.

Assim, para otimizar o projeto e execução da estrutura metálica, propõe-se que quando possível a ligação deve ser soldada, realizada na indústria, com o aval de um inspetor de soldas qualificado. No caso de ligação parafusada, aconselha-se que os perfis já cheguem à obra com

os furos feitos em ambiente industrial controlado, exigindo do montador apenas a colocação do parafuso. Nos quadros 1 e 2, apresenta-se o que foi encontrado na obra e o que é recomendado para cada ambiente, respectivamente:

Quadro 1 - Tipos de ligação encontrados na obra

Tipo de ligação	Execução no canteiro	Execução na indústria
Parafusada	Sim	Não
Soldada	Sim	Sim

Fonte: Elaborado pelo autor (2021)

Quadro 2 - Tipos de ligação recomendados para cada ambiente

Tipo de ligação	Execução no canteiro	Execução na indústria
Parafusada	Sim	Não, apenas furos
Soldada	Não	Sim

Fonte: Elaborado pelo autor (2021)

5.1.3 Logística da estrutura metálica

Como dito anteriormente, a responsabilidade por equipamentos como *muncks* e andaimes era de responsabilidade da contratada para execução dos pilares e da cobertura metálica. A contratante pagou um preço certo e total para execução do escopo.

Um ponto importante a ser discutido é a logística da operação de montagem da estrutura metálica. O transporte de tesouras, terças e telhas até a obra foi feito através de caminhões de carga convencionais. Já a elevação desses materiais foi feita por caminhão *munck*, que é um caminhão com carroceria e lança articulada, com capacidade entre 4000 e 25000kgf e extensão da lança entre 8 a 30m. Na figura 48, demonstra-se como eram feitas as descargas dos materiais no canteiro de obras, onde a contratada sempre utilizava dois equipamentos: um caminhão de carga, para frete da carga, e outro caminhão *munck*, para movimentação.

Figura 48 - Processo de descarga de materiais na obra



Fonte: Arquivo pessoal do autor (2020)

Para a construtora, realizar a descarga dessa maneira, utilizando dois equipamentos, não a prejudicava, uma vez que o contrato tinha um valor certo e fechado. Já para a contratada, isso implicava no acréscimo do custo de locação de equipamentos. Caso a contratada utilizasse apenas caminhões *munck*, com a finalidade de transportar (frete) – da fábrica até a obra – e içar – descarregar os materiais no canteiro – poderia ter economizado cerca de R\$1.800,00, provenientes da não necessidade de caminhão de carga. Essa economia é demonstrada na tabela abaixo:

Tabela 3 - Custos para transporte e içamento de material da estrutura metálica

Insumos	Quant.	Unidade	Custo unitário	Custo total
Frete do caminhão de carga	3	unid	R\$ 600,00	R\$ 1.800,00
Diária de caminhão munck	3	unid	R\$ 1.300,00	R\$ 3.900,00
Total				R\$ 5.700,00

Fonte: Elaborado pelo autor (2021)

5.1.4 Controle tecnológico da alvenaria estrutural

Um grande ponto negativo na execução da edificação do estudo de caso, foi a confiança exacerbada do responsável técnico da obra na contratação dos insumos utilizados na alvenaria

estrutural. Conforme mencionado anteriormente, a obra não fez seus próprios ensaios do bloco de concreto, somente confiou nos dados apresentados pelo fornecedor. O controle tecnológico é necessário, mesmo para obras de apenas um pavimento, como a apresentada, para confirmar a qualidade dos insumos entregues na obra. Os ensaios do bloco de concreto são fundamentais para a estabilidade estrutural e qualidade da estrutura, a fim de aferir suas respectivas propriedades, como a resistência, além de preservar a vida-útil da edificação e conservar a segurança dos usuários do empreendimento.

Sobre o ensaio do bloco vazado de concreto simples classe B da família 20x40cm de agregado normal, a construtora deveria ter coletado blocos de forma aleatória, na quantidade conforme o quadro 5. Após isso, deveria ter enviado a amostra para um laboratório realizar ensaios de: resistência à compressão, análise dimensional e área líquida e retração linear por secagem, conforme critérios presentes na NBR 6136 (ABNT, 2016), apresentados nos quadros 6 e 7, respectivamente:

Quadro 3 - Tamanho da amostra para ensaio de bloco vazado de concreto simples

Quantidade de blocos do lote	Quantidade de blocos da amostra		Quantidade mínima de blocos para ensaio dimensional e resistência à compressão axial		Quantidade de blocos para ensaios de absorção e área líquida
	Prova	Contra-prova	Critério 6.5.1 da NBR 6136:2016	Critério 6.5.2 da NBR 6136:2016	
Até 5000	7 ou 9	7 ou 9	6	4	3
5000 a 10000	8 ou 11	8 ou 11	8	5	3
Mais de 10000	9 ou 13	9 ou 13	10	6	3

Fonte: ABNT (2016) – modificado pelo autor

Quadro 4 – Dimensões nominais para bloco vazado de concreto simples da família 20 x 40cm

Família		20 x 40	
Medida nominal (mm)	Largura		190
	Altura		190
	Comprimento	Inteiro	390
		Meio	190
		Canaleta	390
		Meia canaleta	190
NOTA 1 - Tolerância de $\pm 2,0\text{mm}$ para a largura e $\pm 3,0\text{mm}$ para a altura e para o comprimento.			

Fonte: ABNT (2016) – modificado pelo autor

Quadro 5 - Requisitos para resistência característica à compressão, absorção e retração para bloco de concreto Classe B de agregado normal

Classificação	Resistência característica à compressão axial obtida aos 28 dias (MPa)	Absorção (%)		Retração (%)
		Agregado normal		
		Individual	Média	
Com função estrutural	$4,0 \leq f_{bk} < 8,0$	$\leq 10,0$	$\leq 9,0$	$\leq 0,065$

NOTA 1 - Ensaio de retração é facultativo

Fonte: ABNT (2016) – modificado pelo autor

A aceitação ou rejeição do lote, deve obedecer ao quadro abaixo:

Quadro 6 - Aceitação e rejeição de bloco vazado de concreto simples

Critério	Ensaio	Aceitação do bloco	Rejeição do bloco
Bloco com concreto homogêneo e compacto, com presença de arestas vivas e sem trincas ou fraturas	Inspeção visual	$\leq 2\%$	$> 2\%$
Quadro 5	Dimensional	Prova ou contraprova	Contraprova
Quadro 6	Compressão	Prova ou contraprova	Contraprova
Quadro 6	Absorção	Prova ou contraprova	Contraprova

Fonte: ABNT (2016) – modificado pelo autor

Caso a construtora optasse por fazer os ensaios conforme norma, esse custo sairia entre R\$1.015,00 e R\$1.568,00, valores praticados por empresas de controle tecnológico de engenharia civil em maio de 2021. Cerca de menos de 2% do valor total gasto na alvenaria estrutural.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Após revisão bibliográfica sobre estruturas mistas, alvenaria estrutural e estruturas metálicas, descreveu-se um estudo de caso de um sistema que não tem norma brasileira específica para execução, que é o sistema misto de aço e alvenaria estrutural, de uma obra realizada em Porto Alegre - RS. Apesar de não haver norma específica, pode-se executar o tipo de edificação estudado através das normas que abordam cada sistema separadamente: alvenaria estrutural e estruturas de aço, uma vez que esse conjunto de documentos abordam os sistemas de forma consistente, a fim de prosperar com ambas as partes.

O estudo de caso apresentado da edificação mista de alvenaria estrutural armada aparente e estrutura metálica buscou, de forma imparcial, descrever a edificação como um todo, dissertar sobre as etapas construtivas e mostrar acertos e erros de execução dessa edificação.

As considerações do trabalho proposto aconteceram através da apresentação de custos e formas de contratação dos dois escopos – alvenaria estrutural e estrutura metálica –, onde a construtora pode ter vantagem por descumprimentos contratuais provocados pelas contratadas, das recomendações sobre a escolha das ligações soldadas ou parafusadas, dependendo do ambiente em questão, das críticas aos erros de logística da contratada para execução da estrutura metálica, que poderiam ter economizado com uma simples escolha e do controle tecnológico dos blocos vazados de concreto, para verificar qualidade do produto recebido em obra.

Por fim, espera-se que trabalho possa proporcionar orientações e informações para quem pretende executar edificações com sistema estrutural semelhante, sempre recorrendo às normas brasileiras vigentes. Assim, garantirá qualidade e economia ao seu produto.

REFERÊNCIAS

ABNT NBR 8800:2008 – Projeto de estruturas de aço e de estruturas mistas de aço e concreto de edifícios.

ABNT NBR13281:2005 Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos – Requisitos.

ABNT NBR 14323:2013 – Projeto de estruturas de aço e de estruturas mistas de aço e concreto de edifícios em situação de incêndio.

ABNT NBR 16775:2020 Estruturas de aço, estruturas mistas de aço e concreto, coberturas e fechamentos de aço — Gestão dos processos de projeto, fabricação e montagem — Requisitos.

ABNT NBR 16868:2020 - Alvenaria estrutural (todas as partes).

ALVA, G. M. S. Sobre o projeto de edifícios em estrutura mista aço-concreto. Dissertação (Mestrado em Estruturas). Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, 2000.

CENTRO BRASILEIRO DA CONSTRUÇÃO EM AÇO. Manual de Construção em Aço: Estruturas Mistas - volume 1. Rio de Janeiro: Instituto Aço Brasil, 2012.

CENTRO BRASILEIRO DA CONSTRUÇÃO EM AÇO. Manual de Construção em Aço: Estruturas Mistas - volume 2. Rio de Janeiro: Instituto Aço Brasil, 2012.

CORDEIRO, Leila Cristina Santos. Sobre as lajes mistas de aço e concreto em situação de incêndio. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Estruturas) - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, 2014

CORRÊA, M.R.S. Aperfeiçoamento de modelos usualmente empregados no projeto de sistemas estruturais de edifícios. Tese de Doutorado - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, 1991.

COUTINHO, Sandra Moscon; PRETTI, Soraya Mattos; TRISTÃO, Fernando Avancini. Argamassa preparada em obra x argamassa industrializada para assentamento de blocos de vedação: Análise do uso em Vitória-ES. Teoria e Prática na Engenharia Civil, Universidade Federal do Espírito Santo, 2013

DE NARDIN, Silvana; SOUZA, Alex S. C.; EL DEBS, Ana L.C. H.; EL DEBS, Mounir K. Estruturas Mistas Aço-Concreto: Origem, Desenvolvimento e Perspectivas. Anais do 47º Congresso Brasileiro do Concreto, 2005.

DIAS, L. A de M. Estruturas de aço: Conceito, técnicas e linguagem. 1. São Paulo, 1997

MONTEIRO FILHA, Dulce Corrêa; COSTA, Ana Cristina Rodrigues da; ROCHA, Érico Rial Pinto da. Perspectivas e desafios para inovar na construção civil. BNDES Setorial, Rio de Janeiro, 2010.

PARSEKIAN, Guilherme Aris; FRANCO, Luiz Sérgio. Recomendações para projeto e execução de alvenaria estrutural protendida. 2000.

PFEIL, W; PFEIL, M. Estruturas de aço: Dimensionamento prático de acordo com a NBR 8800:2008. 8a edição. Rio de Janeiro - RJ. LTC, 2009.

SOUZA, P. R A. Desenvolvimento de painel pré-fabricado em alvenaria protendida. 2008. Dissertação (mestrado em Engenharia Civil) Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2008.

TRAJANO, Michelle Daiany da Conceição Aplicabilidade, habitabilidade e sustentabilidade da alvenaria com bloco de concreto aparente em instituições de ensino. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de São Carlos, 2016