



UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO
CENTRO ACADÊMICO DO AGRESTE
NÚCLEO DE TECNOLOGIA
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL

MICKAEL FRANKLIN DE ARAUJO

**ANÁLISE E PROJETO ESTRUTURAL DE UMA RESIDÊNCIA EM ESTRUTURA
MISTA DE AÇO E CONCRETO**

Caruaru
2023

MICKAEL FRANKLIN DE ARAUJO

**ANÁLISE E PROJETO ESTRUTURAL DE UMA RESIDÊNCIA EM ESTRUTURA
MISTA DE AÇO E CONCRETO**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à
Coordenação do Curso de Engenharia Civil do
Campus Agreste da Universidade Federal de
Pernambuco – UFPE, na modalidade de artigo
científico, como requisito parcial para obtenção
do grau de Bacharel em Engenharia Civil.

Área de concentração: Estruturas

Orientador: Prof. Dr. Douglas Mateus de Lima

Caruaru
2023

AGRADECIMENTOS

Primeiramente agradecer a Deus pois a ele deve ser dada toda honra e glória, agradeço por seu imenso amor e por me manter firme durante essa caminhada, sem seus cuidados nada disso seria possível.

Agradeço a minha mãe, Maria Margarida, por me dar o dom da existência, por ter batalhado toda a vida em prol do meu desenvolvimento, por me passar bons ensinamentos, princípios e dignidade mondando dessa forma quem sou.

A todos meus familiares, por toda torcida a favor do meu sucesso, em especial a minha tia Gerça pois sua ajuda financeira foi de fundamental importância para a chegada desse momento.

Aos meus amigos em especial Rayanne Emily, Ednalva Bezerra e toda sua família que são as das pessoas mais altruístas que tive o prazer de conhecer e que tiveram papel fundamental nessa conquista.

Ainda aos amigos, deixo meus sentimentos de gratidão a Junior Pires e Graça Borba que acompanharam toda a batalha e sempre me incentivaram nessa longa caminhada.

Ao Professor orientador Douglas Mateus de Lima, pela amizade, paciência e por não medir esforços para que fosse possível a execução e conclusão desse trabalho.

Análise e projeto estrutural de uma residência em estrutura mista de aço e concreto

Structural analysis and design of a house in composite steel and concrete structure

Mickael Franklin de Araujo¹

RESUMO

Ao longo dos anos projetos estruturais com sistemas mistos vêm conquistando lugar na construção civil no Brasil. Com isso, é possível observar um crescimento e preferência na execução de obras com esse método. Constatou-se que o concreto alia boa resistência à compressão e elevada robustez, já o aço apresenta como características complementares elevada resistência à tração e esbeltez dos elementos. O estudo concentra-se no dimensionamento e análise, em conformidade com as diretrizes estabelecidas pela ABNT NBR 8800 (2008) de uma residência de alto padrão (R1-A) empregando estruturas mistas de aço e concreto, partindo da revisão bibliográfica, elaboração do projeto arquitetônico, definição dos materiais utilizados e dimensionamento dos elementos estruturais. No contexto das lajes mistas, buscou-se a compatibilização do projeto com os limites máximos permitidos para o dimensionamento por esse método, considerando por muitas vezes um sistema de quatro apoios com a mesma espessura de forma, padronizando e facilitando o esquema de montagem. As vigas foram projetadas utilizando-se de perfis laminados biapoiada e rotulada, com o objetivo de minimizar a transmissão dos momentos fletores para os pilares. A interação entre a viga e a laje na fase mista considerando a interação parcial foi estabelecida pelos conectores de cisalhamento que desempenham o papel principal na transmissão de esforços entre os materiais. Os pilares foram dimensionados para suportar eficientemente os esforços provenientes dos carregamentos, visando a facilitar a execução e economia. Com isso optou-se pelo menor perfil disponível, o W150x22,5 segundo o catálogo da GERDAU S.A (2014) reduzindo consideravelmente o peso da estrutura e consequentemente reduzindo os custos com a fundação. Todas as ligações viga-viga, viga-pilar e chapa de base-fundação se deram por meio do método LCPP, com relação a ligação pilar-chapa de base se deu por meio do método LCSP. Dito isso, o presente trabalho visa trazer verificações valiosas e dessa maneira contribuir com a exploração e emprego desse método construtivo na região.

Palavras-chave: estrutura mista; aço e concreto; projeto estrutural; viga mista; *steel deck*, laje mista

¹Graduando em Engenharia Civil pela Universidade Federal de Pernambuco. E-mail: mickael.araujo@ufpe.br

ABSTRACT

Over the years, structural projects with mixed systems have been gaining ground in the Brazilian construction industry. As a result, there has been noticeable growth and a preference for the implementation of works using this method. It has been observed that concrete combines good compressive strength and high robustness, while steel presents complementary characteristics of high tensile strength and slender elements. This study focuses on the design and analysis, in accordance with the guidelines established by ABNT NBR 8800 (2008), of a high-end residence (R1-A) employing mixed steel and concrete structures, starting with a literature review, architectural design development, material selection, and structural element sizing. In the context of composite slabs, efforts were made to ensure compatibility with the maximum limits allowed for dimensioning using this method, often considering a four-support system with the same form thickness, standardizing and facilitating the assembly scheme. The beams were designed using bi-supported and pinned rolled sections, aiming to minimize the transfer of bending moments to the columns. The interaction between the beam and the slab in the composite phase, considering partial interaction was established by shear connectors, which play a key role in transferring forces between materials. The columns were sized to efficiently support the loads, with the goal of simplifying construction and reducing costs. Thus, the smallest available profile, W150x22.5 according to GERDAU S.A's catalog (2014) was chosen, significantly reducing the structure's weight and, consequently, foundation costs. All connections, beam-beam, beam-column, and base plate-foundation, were made using the LCPP method. As for the column-base plate connection, it was accomplished using the LCSP method. With that said, this study aims to provide valuable verifications and, in this way, contribute to the exploration and use of this construction method in the region.

Keywords: composite structure; steel and concrete; structural design; composite beam; steel deck, composite slab.

DATA DE APROVAÇÃO: 04 de outubro de 2023.

1 INTRODUÇÃO

Historicamente, estruturas de aço e concreto vêm sendo amplamente empregadas, em todo o mundo, há mais de 100 anos. No entanto, apenas a partir da década de 60 foi que os sistemas mistos aço-concreto passaram a ser considerados trabalhando conjuntamente (QUEIROZ; PIMENTA; MARTINS, 2012).

Dentre os sistemas estruturais existentes, destacam-se os formados por elementos mistos de aço e concreto, pois essa combinação visa aproveitar as vantagens de ambos os materiais. Segundo Queiroz, Pimenta e Martins (2012), as vantagens da utilização de estruturas mistas são relativas à qual estrutura se compara. Com relação às comparações com o concreto armado, o uso de estrutura mista possibilita reduzir os prazos de execução da obra e reduzir o peso da estrutura que, consequentemente, reduz os custos com fundação. Além disso, viabiliza uma construção sem escoramentos. Com relação ao aço, é possível, reduzir a necessidade de proteções contra incêndio e corrosão, além de reduzir consideravelmente o consumo de aço estrutural.

Os elementos mistos de aço e concreto são utilizados principalmente em pilares, vigas e lajes. Nas vigas mistas, um perfil de aço, quase sempre em forma de I, trabalha com uma laje de concreto sobreposta, com a união mecânica entre ambos proporcionada por dispositivos apropriados, denominados de conectores de cisalhamento. Nas lajes mistas, utiliza-se uma forma de aço conformada a frio, na maioria das vezes, de seção trapezoidal. Essa forma fica na face inferior da laje e trabalha como armadura positiva ou em conjunto com as barras adicionais dependendo dos esforços solicitantes (FAKURY; CASTRO E SILVA; CALDAS, 2016).

Em obras horizontais como em residências de alto padrão, que possui uma construção diferenciada e projeto original, ou até mesmo em condomínios logísticos ou galpões, as estruturas em aço se mostram vantajosas, pois possibilitam o emprego de vãos maiores eliminando pilares no interior do empreendimento, flexibilizando o uso do espaço.

Portanto, o presente artigo visa a concepção de um projeto arquitetônico e dimensionamento estrutural de uma residência de alto padrão (do tipo R1-A) conforme ABNT NBR 12721 (2006) analisando um sistema formado por elementos mistos de aço e concreto e visando contribuir com a exploração e emprego desse método construtivo na região.

1.1 Objetivos

1.1.1 Objetivo Geral

Conceber, analisar, dimensionar e detalhar os projetos arquitetônico e estrutural de uma residência de alto padrão (R1-A). Detalhar as características do dimensionamento dos elementos que compõe o sistema em estruturas mistas de aço e concreto.

1.1.2 Objetivos Específicos

- Elaborar o projeto arquitetônico.
- Realizar a concepção do projeto estrutural.
- Realizar o dimensionamento dos elementos estruturais.
- Elaborar o detalhamento do projeto.

2 METODOLOGIA

Nesta seção serão abordados os tópicos iniciais de projeto, como a definição do empreendimento modelo que será utilizado como base para a concepção do projeto estrutural, definição do sistema estrutural, assim como a escolha do método construtivo e dos materiais.

2.1 Descrição da Residência em Estudo

Para o presente trabalho foi adotado uma residência de alto padrão R1-A, de autoria própria, com dois pavimentos (térreo e primeiro andar), que conta com reservatório de água inferior e superior (Figura 1). O sistema construtivo utilizado é composto por estruturas mistas de concreto e aço, com laje em *steel deck* descarregando em vigas mistas, que, por sua vez, descarrega em pilares de aço, o qual transmitem a carga ao solo através de fundações rasas do tipo sapata.

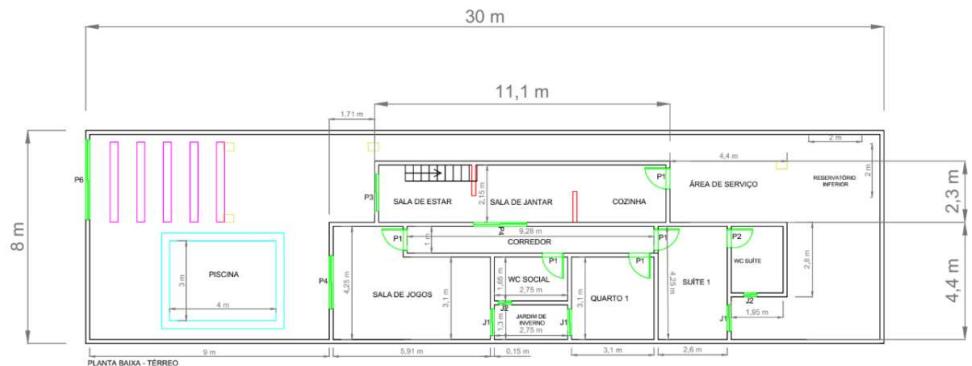
Figura 1 – Previsão da residência finalizada



Fonte: Autor (2022)

O pavimento térreo (Figura 2) é composto por piscina, garagem, sala de estar, sala de jantar, cozinha, corredor, sala de jogos, WC social, jardim de inverno, um quarto, um quarto com suíte, área de serviço e reservatório inferior com capacidade para 8.000 litros de água. O pavimento primeiro andar (Figura 3) é composto por varanda, área de convivência, escritório, quarto, WC social, jardim de inverno, quarto com suíte e sala de cinema. A coberta (Figura 4) é o último pavimento do empreendimento, onde fica localizada a saída do jardim de inverno, o reservatório superior com capacidade para 3.000 litros de água. Além disso, o pavimento possui uma laje impermeabilizada e é coberto com telha cerâmica tipo canal, com um telhado de duas águas invertido.

Figura 2 – Planta baixa do pavimento térreo



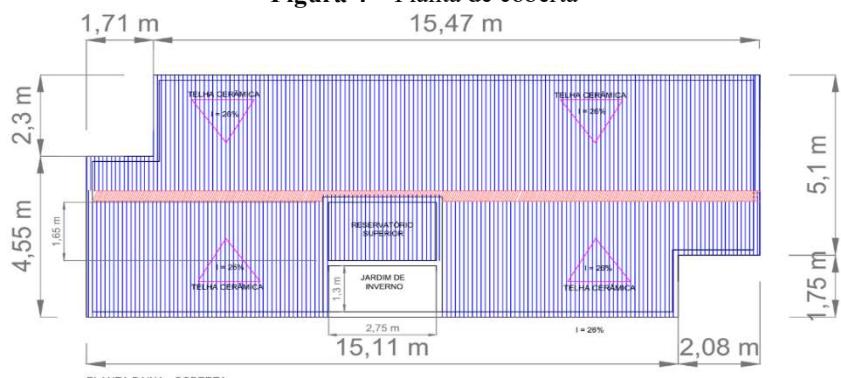
Fonte: Autor (2022)

Figura 3 – Planta baixa do primeiro andar



Fonte: Autor (2022)

Figura 4 – Planta de coberta



Fonte: Autor (2022)

2.2 Materiais Utilizados

A definição dos materiais utilizados depende da disponibilidade em mercado e suas características e estão apresentadas no quadro 1.

Quadro 1 – Valores característicos das resistências dos materiais utilizados

Material	Elementos	Características	Valor (kN/cm ²)
Aço ASTM A572 Grau 50	Perfis das vigas e pilares	Resistência ao escoamento	34,5
		Resistência à ruptura	34
Aço ASTM MR250	Cantoneiras, talas e chapas de ligação	Resistência ao escoamento	25
		Resistências à ruptura	40
Aço ASTM A108 Grau 1020	Conectores de cisalhamento	Resistência ao escoamento	34,5
		Resistências à ruptura	41,5
Aço ASTM A325	Parafusos	Resistências à ruptura	82,5
Aço Galvanizado Z275	Fôrmas das lajes mistas	Resistência ao escoamento	28
		Resistência ao escoamento	50
Aço CA-50	Armadura das lajes	Resistência ao escoamento	60
Concreto C20	Lajes	Resistência à compressão	2,0

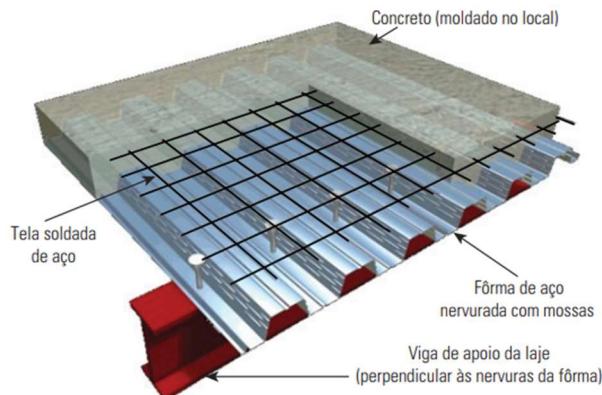
Fonte: Autor (2022)

2.3 Elementos Estruturais

2.3.1 Laje Mista

São formadas por perfis de aço e por concreto moldado *in loco* (Figura 5). Na etapa inicial ou de construção, o perfil de aço trabalha como forma, suportando todo o peso próprio do concreto e a sobrecarga de construção, sendo possível a dispensa, parcial ou total, do escoramento. Na etapa final, ou seja, quando o concreto atinge 75% da resistência à compressão, ambos os materiais atuam em conjunto e a forma de aço funciona como armadura positiva da laje necessitando ou não de armadura adicional ABNT NBR 8800 (2008).

Figura 5 – Laje mista de aço e concreto



Fonte: Fakury, Castro e Silva, Caldas (2016)

Para as fases de construção antes e depois da cura do concreto, os cálculos para a determinação da resistência, devem ser obtidos conforme a ABNT NBR 8800 (2008).

Foram considerados os esforços identificados como: P_{forma} (peso da forma do steel deck), $P_{armadura}$ (peso da armadura de retração), $P_{concreto,pre-cura}$ (peso do concreto no estado fresco), $P_{concreto,pós-cura}$ (peso do concreto no estado seco), $P_{sobrecarga,pre-cura}$ (carga da sobrecarga antes da cura do concreto) e $P_{sobrecarga,pós-cura}$ (peso da sobrecarga depois da cura do concreto). Esses esforços foram avaliados em diferentes combinações, conforme apresentado na tabela 1.

Tabela 1 – Combinações dos estados limites último e de serviço

Fase	Combinação
Pré-cura	$1,3*(P_{forma} + P_{armadura}) + 1,4*(P_{concreto,pre-cura}) + 1,5*(P_{sobrecarga,pre-cura})$ $(P_{forma} + P_{armadura} + P_{concreto}) + 0,3*(P_{sobrecarga,pre-cura})$
Pós-cura	$1,40*(P_{laje} + P_{utilidades}) + 1,5*(P_{sobrecarga,pós-cura})$ $(P_{laje} + P_{utilidades}) + 0,3*(P_{sobrecarga,pós-cura})$

Fonte: Autor (2022)

A determinação das ações permanentes seguiu as diretrizes estabelecidas pela ABNT NBR 6120 (2019) chegando aos valores detalhados na tabela 2.

Tabela 2 – Cargas após a cura do concreto

Cargas	Valores (kN/m ²)
Primeiro andar	
Peso próprio	0,155
Concreto	3,013
Contrapiso	0,72
revestimento	0,46
Paredes	1,7
Cobertura	
Peso próprio	0,155
Concreto	2,263
Telhado	0,7
Impermeabilização	0,11

Fonte: Autor (2022)

2.3.2 Viga mista

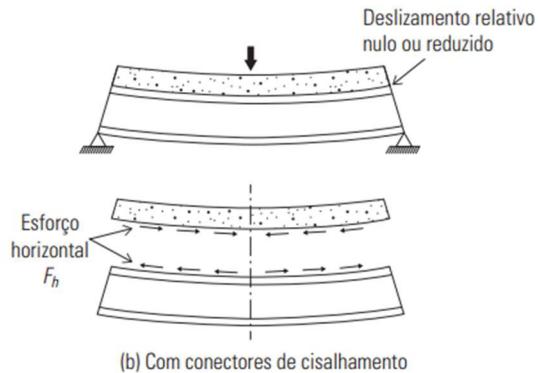
As vigas mistas resultam da associação de uma viga de aço com uma laje, que pode ser de concreto armado moldada *in loco*, pré-moldada ou mista, cuja ligação é feita por meio dos conectores de cisalhamento, soldados à mesa superior do perfil.

Para que uma ligação seja considerada mista, devem ser considerados três componentes principais. A armadura da laje de concreto, os conectores de cisalhamento e a ligação metálica. No caso das armaduras, apenas as barras que estiverem situadas na largura efetiva da laje participaram da ligação mista, ABNT NBR 8800; (2008).

A aderência do aço e concreto por meio das morsas apesar de atingir valores elevados não deve ser considerada no dimensionamento, devido à baixa confiabilidade e ductilidade, exceto os pilares mistos submetidos à força axial de compressão.

Segundo Queiroz, Pimenta e Martins (2012) nos trechos entre as regiões de introdução de carga (Figura 6), é necessário introduzir algum tipo de conexão mecânica para transferir o cisalhamento entre as peças. Os conectores de cisalhamento são os responsáveis pela transferência desses esforços, o conjunto formado pela laje e perfil deformam-se como um único elemento proporcionando a melhor distribuição dos esforços no conjunto laje-viga.

Figura 6 – Comportamento conforme interação do conector de cisalhamento

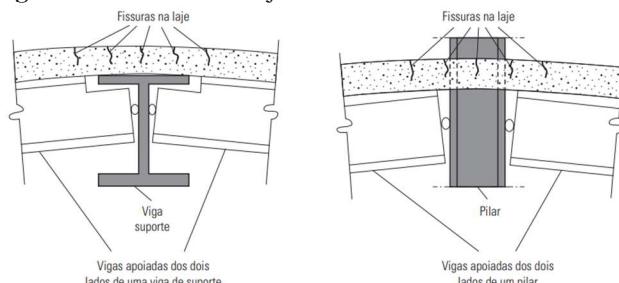


Fonte: Fakury, Castro e Silva, Caldas (2016)

As armaduras de continuidade podem ser consideradas outro fator importante para o sistema misto, pois ajudam na transferência de esforços em pontos de encontro.

Segundo Fakury, Castro e Silva, Caldas (2016), no encontro de vigas dos dois lados opostos de um apoio seja um pilar ou uma viga de suporte (Figura 7), as rotações de sentidos contrários dessas duas vigas provocam fissuras nas regiões tracionadas da laje em decorrência de sua continuidade. Para manter o controle dessas fissuras, deve-se prever uma armadura de continuidade na direção das vigas.

Figura 7 – Fissuras em lajes em decorrência da continuidade



Fonte: Fakury, Castro e Silva, Caldas (2016)

São verificações necessárias para o dimensionamento do sistema misto segundo ABNT NBR 8800 (2008):

Estados limites últimos:

- Flambagem local da mesa;
- Flambagem lateral à torção;
- Flambagem por cisalhamento;
- Plastificação da seção pela ação do momento fletor
- Escoamento;

Estados limites de serviço:

- Deslocamento máximo, conforme limites impostos pelo anexo C;
- Fissuração da laje, devendo prever armadura de retração, conforme item O.1.3;
- Vibração excessiva, respeitando-se os limites apresentados para laje;

2.3.3 Pilares

Segundo Fakury, Castro e Silva, Caldas (2016), os perfis H são os mais indicados para trabalhar como barras comprimidas, especialmente como pilares, possuem a largura das mesas próximas da altura da seção transversal e valores significativos de momento de inércia tanto com relação ao eixo x quanto com relação ao eixo y. Devido a essa disposição construtiva foi definido para o projeto em questão que os pilares seriam formados por perfis H laminados.

A verificação feita para o momento fletor, esforço cortante, esforço normal e flexocompressão seguiu os requisitos técnicos da ABNT NBT 8800 (2008), ABNT NBR 1590 (2020).

As solicitações atuantes foram obtidas por meio do *software ftool*, por se tratar de um *software* com limitações técnicas foi feita apenas uma análise de primeira ordem.

Neste processo de obtenção dos esforços, as ações do vento foram consideradas e lançadas em todas as fachadas da residência, a fim de obter a pior situação possível. Desse modo foi determinado a velocidade do vento e os coeficientes de pressão interna e externa de acordo com a ABNT NBR 6123 (1988) e pôr fim às cargas de vento atuante na estrutura.

Os esforços foram identificados como: $q_{\text{permanente}}$ (carga total), $q_{\text{sobrecarga}}$ (sobrecarga de utilização), $q_{\text{vento}0^\circ}$ (carga de vento a 0°), $q_{\text{vento}90^\circ}$ (carga de vento a 90°). Esses esforços foram avaliados em diferentes combinações conforme a tabela 3.

Tabela 3 – Verificação das vigas na etapa final e comparação entre os métodos de interação

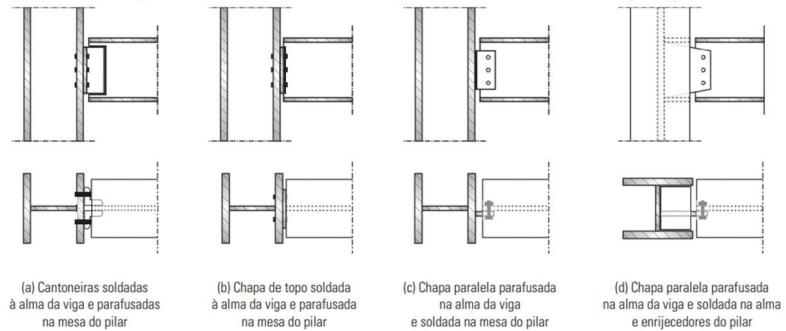
Classificação	Ações com fatores de ponderação
	ELU
Final	$1,5*(q_{\text{permanente}}) + 1,35*(q_{\text{sobrecarga}}) + 1,35*0,3*(q_{\text{vento}0^\circ})$
Final	$1,5*(q_{\text{permanente}}) + 1,35*(q_{\text{sobrecarga}}) + 1,35*0,3*(q_{\text{vento}90^\circ})$
	ELS
Final	$(q_{\text{permanente}}) + 0,3*(q_{\text{vento}0^\circ})$
Final	$(q_{\text{permanente}}) + 0,3*(q_{\text{vento}90^\circ})$

Fonte: Autor (2023)

2.3.4 Ligações

Divide-se em rígidas, semirrígidas e flexíveis cada tipo interferi diretamente no preço, praticidade de execução e transferências de esforços. O projeto em questão adota ligações flexível, também definida como ligação rotulada (Figura 8). Esse tipo de ligação reduz a transmissão de momento fletor, considerando que o momento fletor aplicado na ligação irá produzir esforços solicitantes de tração no grupo de parafusos superior e de compressão sobre o grupo de parafusos localizados na região inferior. Ou seja, há transmissão integral de força cortante e pode haver transmissão de força axial (PFEIL, PFEIL, 2009).

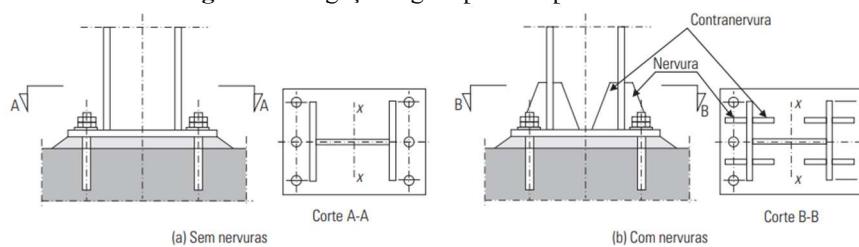
Figura 8 – Ligações flexíveis entre viga e pilar constituído por perfis I ou H



Fonte: Fakury, Castro e Silva, Caldas (2016)

A ligação feita pilar-base pode ser engastada ou rotulada, para o projeto em questão foi utilizada a base engastada (Figura 9), sendo considerada mais simples e também mais empregada. É constituída por uma placa de base soldada na extremidade do pilar e fixada ao bloco de concreto por chumbadores afastados do eixo de flexão. Os chumbadores geralmente são posicionados externamente as mesas, com o intuito de criar o maior braço de alavanca possível, aumentando a capacidade da base suportar os momentos fletores em (FAKURY; CASTRO E SILVA; CALDAS, 2016).

Figura 9 – Ligação rígida para chapa de base



Fonte: Fakury, Castro e Silva, Caldas (2016)

2.4 Ferramenta de Análise Estrutural

O *Software* utilizado será o Ftool (*Two dimensional frame analysis tool*). É um programa gráfico interativo de engenharia civil que permite auxiliar no ensino do comportamento estrutural de pórticos planos. Com seu auxílio será possível a obtenção dos esforços solicitantes e deslocamentos no dimensionamento da estrutura.

2.5 Definição do Sistema Estrutural

O sistema estrutural é definido pelo conjunto de informações a respeito do dimensionamento de toda estrutura que fará parte de uma edificação. Diante disso a residência em questão tem seu sistema composto por pilares de aço, vigas mistas e laje mista.

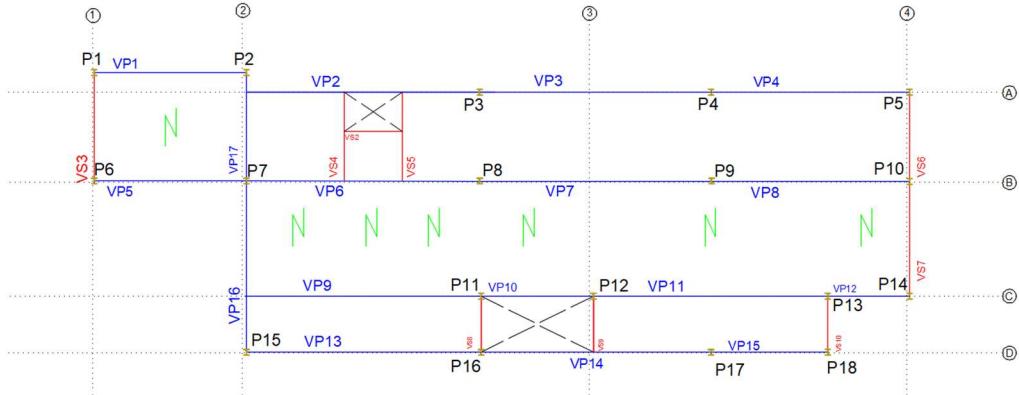
O lançamento da estrutura consiste no posicionamento das vigas e pilares e os seguintes aspectos foram considerados:

- O vão entre vigas deve estar compreendido no máximo até 3 metros, para que dessa maneira o sistema *steel deck* possa ser executado sem escoramento.
- Os pilares devem ser posicionados embutidos nas paredes e fora das áreas de uso.
- A transferência de cargas para os pilares deve ser executada a mais direta possível.
- Onde houver paredes deve-se sempre que possível lançar vigas para a sustentação da referida alvenaria.

Diante do proposto, foi executado um estudo das disposições do sistema estrutural para planta baixa do primeiro andar e coberta, afim se chegar no sistema mais econômico e executável possível, lançando pilares, vigas e laje no *software AutoCAD*.

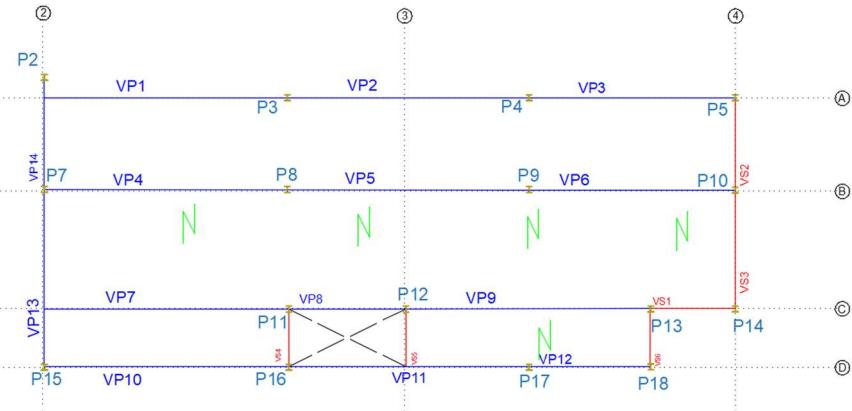
Dentre as análises estruturais, a opção que se mostrou com um melhor aspecto construtivo é determinada por uma laje unidirecional perpendicular as vigas o que auxilia tanto no dimensionamento quanto na execução. Dito isso, descreve-se o primeiro andar (Figura 10) sendo composto por dezoito pilares de aço, dezessete vigas mistas primárias, nove vigas mistas secundárias e laje em uma direção, perpendicular a direção das vigas. O pavimento de coberta (Figura 11) contem onze pilares de aço, onze vigas mistas primárias e quatorze vigas mistas secundárias, a laje segue o método descrito no primeiro andar.

Figura 10 – Lançamento das vigas, pilares e laje do pavimento primeiro andar



Fonte: Autor (2023)

Figura 11 – Lançamento das vigas, pilares e laje do pavimento coberta



Fonte: Autor (2023)

2.6 Método Construtivo

A proposta de sequência construtiva adotada é:

- Construir as sapatas.
- Instalar os pilares (placa de base, solda e chumbadores) e as vigas de aço, conectando-os entre si através de ligações flexíveis (parafusos, cantoneiras e chapas de ligação).
- Conectar os *decks* de aço da laje nas vigas utilizando de *stud bolts*.
- Instalação da tela de aço solda nervurada, armaduras adicionais (continuidade, por exemplo) e todos os arremates de *deck* para posterior concretagem da laje e
- Por fim, fechamento dos vãos com a alvenaria, esquadrias e demais serviços de acabamento.

Segundo Taranath (2012) a proposta de não escoramento da laje traz as vantagens de execução simultânea de serviços e, com isso, redução do tempo de execução da obra. Na construção não escorada o perfil de aço é projetado para suportar sozinho o carregamento

proveniente do concreto fresco e das sobrecargas de construção. Assim, a viga torna-se mais robusta do que na construção escorada.

3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

3.1 Laje mista

Os procedimentos descritos referem-se aos resultados obtidos no dimensionamento das lajes (Figura 12) e (Figura 13) do projeto em questão, com as verificações tanto na etapa de construção (pré-cura), quanto na etapa final (pós-cura). Os resultados do dimensionamento do *steel deck* se deram por meio da elaboração de memoriais de cálculo conforme a (ABNT NBR 8800, 2008; ABNT NBR 6120, 2019; FAKURY; CASTRO E SILVA; CALDAS, 2016) e, apenas para conferência, fez-se o uso das tabelas de vãos e cargas disponibilizadas pelo fabricante ArcelorMittal (2021).

Figura 12 – Laje do 1º andar

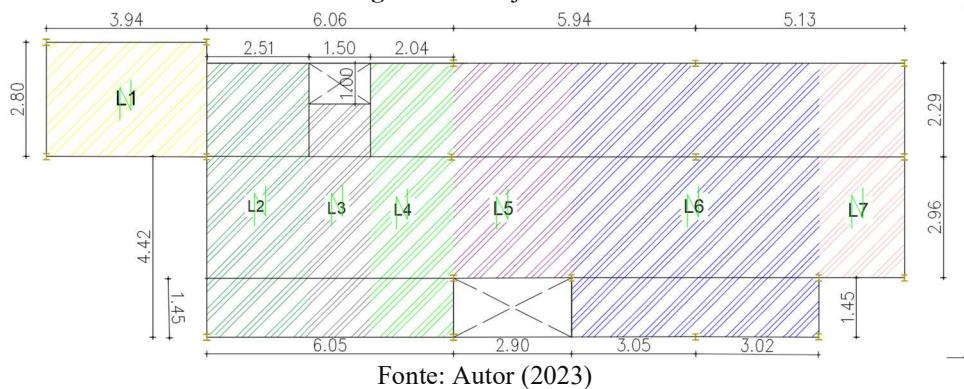
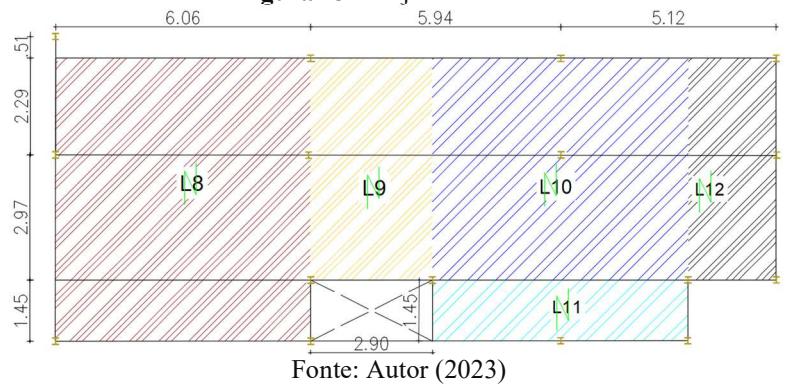


Figura 13 – Laje da cobertura



Inicialmente foi determinado o vão máximo sem escoramento e a carga que deveria atuar na seção (Tabela 4), levando em consideração o peso próprio da forma, peso do concreto no estado fresco, armadura de retração (área maior que 0,1% da área de concreto acima da face superior

da forma) e sobrecarga de construção. A partir disso, é possível observar de acordo com o manual, qual *deck* estaria de acordo com as verificações de projeto, obtendo inicialmente o tipo mais viável para construção.

Tabela 4 – Dimensionamento das lajes primeiro andar e coberta

Laje	Carga atuante (kN/m ²)	Vão máximo sem escoramento (m)	Forma (mm)	Altura da laje (cm)	Carga máxima (kN/m ²)	Aproveitamento %
Primeiro andar						
L1	6,493	2,80			8,18	79,38%
L2	6,027				12,34	48,84%
L3	5,377				12,90	41,68%
L4	5,377		Polydeck 59S - 1,25	15	12,34	43,57%
L5	4,077	2,96			12,90	31,60%
L6	5,377				12,34	43,57%
L7	5,377				12,90	41,68%
Coberta						
L8	4,402				9,66	45,57%
L9	4,402	2,96			10,06	43,76%
L10	4,402		Polydeck 59S - 1,25	12	10,06	43,76%
L11	4,402	1,45			17,87	24,63%
L12	4,402	2,96			10,06	43,76%

Fonte: Autor (2023)

Como só a forma resiste aos carregamentos durante essa fase é necessário a verificação quanto ao deslocamento (Tabela 5) e estados limites últimos (Tabela 6). O deslocamento foi obtido por meio do *software ftool* e o momento de inércia, módulo de elasticidade e dimensões da forma é determinado pelo manual do fabricante polydeck 59S, ArcelorMittal (2021).

Tabela 5 – Deslocamento da laje do 1º andar na fase de construção

Laje	Carga atuante (kN/m ²)	Comprimento (m)	E (kN/cm ²)	I(cm ⁴)	δ(cm)	δlim(cm)	δ/δlim
Primeiro andar							
L1	5,377	2,8			1,49	1,5556	95,79%
L2	5,377	6,703			0,8529	3,7239	22,90%
L3	5,377	5,7			0,9903	3,1667	31,27%
L4	5,377	6,703	20000	90,1	0,8529	3,7239	22,90%
L5	5,377	5,2			1,535	2,8889	53,13%
L6	5,377	6,703			0,8532	3,7239	22,91%
L7	5,377	5,2			1,535	2,8889	53,13%
Coberta							
L8	4,402	6,703			0,6981	3,7239	18,75%
L9	4,402	5,2			1,256	2,8889	43,48%
L10	4,402	5,2	20000	90,1	1,278	2,8889	44,24%
L11	4,402	1,45			0,732	0,8056	90,87%
L12	4,402	5,2			1,256	2,8889	43,48%

Fonte: Autor (2023)

Tabela 6 – Dimensionamento pós-cura lajes do 1º andar e da coberta

Laje	Carga atuante (kN/m ²)	Vsd (kN/m)	Msd positivo (kN*m/m)	Msd negativo (kN*m/m)	Mrd positivo (kN*m/m)	Mrd negativo (kN*m/m)	Vrd vertical (kN/m)
Primeiro andar							
L1	10,41	14,58	10,21	-			
L2	10,41	15,80	4,90	7,60			
L3	10,41	20,00	6,80	8,40			
L4	10,41	20,40	6,60	9,80	47,28	21,08	161,10
L5	10,41	23,90	9,90	12,10			
L6	10,26	24,00	7,90	11,10			
L7	10,25	18,30	7,30	9,30			
Coberta							
L8	5,85	9,00	2,80	4,40			
L9	5,87	10,50	4,20	5,30			
L10	5,87	10,50	4,20	5,30	32,76	9,47	155,79
L11	27,06	19,60	7,10	-			
L12	5,86	10,50	4,20	5,30			

Fonte: Autor (2023)

A tabela de vãos e cargas fornecida pelo fabricante traz informações para a escolha da armadura necessária a fim combater o momento negativo. Porém, com o intuito de obter o máximo desempenho e economicidade no projeto, foi feita a verificação quanto a área de aço necessária para suportar o momento negativo gerado nos apoios, com isso, observou-se que o manual traz uma análise um tanto quanto conservadora, tornando o projeto superdimensionado e acarretando assim um aumento no custo da obra.

De acordo com o manual geral de dimensionamento Polideck 59S ArcelorMittal (2021), a forma de obtenção da armadura resistente ao momento negativo de cálculo é por meio da aproximação da largura efetiva da forma, em que, ao invés de tomar uma forma trapezoidal real para a nervura do *steel deck*, é definida como uma forma retangular, tomando o valor da largura mínima inferior do *deck* como largura efetiva, ou seja, 59 mm diferenciando-se dos 50 mm calculado no presente artigo. Essa consideração feita pelo manual do fabricante faz com que a área de aço para suportar o momento fletor negativo de cálculo torne-se maior que a necessária. É possível observar a variação da malha utilizada (Tabela 7) e o consumo de aço por m². Com essa análise foi possível observar uma variação total de menos 11,10 kg/m² de aço a ser utilizado.

Tabela 7 – Comparação entre os métodos de dimensionamento da armadura negativa

Laje	Armadura momento negativo memorial de cálculo próprio	Peso (kg/m ²)	Armadura momento negativo tabela do fabricante	Peso (kg/m ²)
Primeiro andar				
L1	-	-	-	-
L2	Ø3,4 x Ø3,4 - 150 x 150 (Q61)	0,97	Ø3,8 x Ø3,8 - 10 x 10 (Q113)	1,80
L3	Ø3,4 x Ø3,4 - 150 x 150 (Q61)	0,97	Ø3,8 x Ø3,8 - 10 x 10 (Q113)	1,80
L4	Ø3,8 x Ø3,8 - 150 x 150 (Q75)	1,21	Ø4,5 x Ø4,5 - 10 x 10 (Q159)	2,52
L5	Ø3,8 x Ø3,8 - 100 x 100 (Q113)	1,80	Ø5,0 x Ø5,0 - 10 x 10 (Q196)	3,11
L6	Ø3,8 x Ø3,8 - 100 x 100 (Q113)	1,80	Ø5,0 x Ø5,0 - 10 x 10 (Q196)	3,11
L7	Ø3,8 x Ø3,8 - 150 x 150 (Q75)	1,21	Ø4,5 x Ø4,5 - 10 x 10 (Q159)	2,52
Coberta				
L8	Ø3,4 x Ø3,4 - 150 x 150 (Q61)	0,97	Ø4,2 x Ø4,2 - 150 x 150 (Q92)	1,48
L9	Ø3,4 x Ø3,4 - 150 x 150 (Q61)	0,97	Ø4,2 x Ø4,2 - 10 x 10 (Q138)	2,20
L10	Ø3,4 x Ø3,4 - 150 x 150 (Q61)	0,97	Ø4,2 x Ø4,2 - 10 x 10 (Q138)	2,20
L11	-	-	-	-
L12	Ø3,4 x Ø3,4 - 150 x 150 (Q61)	0,97	Ø4,2 x Ø4,2 - 10 x 10 (Q138)	2,20
TOTAL		11,84	TOTAL	22,94
DIFERENÇA:				11,10 kg/m ²

Fonte: Autor (2023)

A deformação obtida a partir do ELS foi calculada considerando a laje continua, obteve-se o momento de inércia da seção homogeneizada levando em conta o módulo de elasticidade reduzido do concreto para a parcela quase permanente das ações variáveis, visando considerar o efeito de fluência. E o módulo de elasticidade secante para a parcela restante das ações variáveis. Desse modo, os valores obtidos quanto ao dimensionamento final são descritos na tabela 8.

Tabela 8 – Verificação do deslocamento e armaduras da laje na fase final

Laje	Comprimento (m)	δ (cm)	Δ_{max} (cm)	δ/δ_{max}	Itr (mm ⁴ /m)	Armadura de retração	armadura momento negativo (dimensionada)	armadura positiva
Primeiro andar								
L1	2,80	0,618	0,800	77,25%		$\varnothing 4,2 \times \varnothing 4,2$ - 150 x 150 (Q92)	-	$\varnothing 6,3$
L2	6,70	0,577	1,915	30,13%		$\varnothing 4,2 \times \varnothing 4,2$ - 150 x 150 (Q92)	$\varnothing 3,4 \times \varnothing 3,4$ - 150 x 150 (Q61)	-
L3	5,70	0,678	1,629	41,63%		$\varnothing 4,2 \times \varnothing 4,2$ - 150 x 150 (Q92)	$\varnothing 3,4 \times \varnothing 3,4$ - 150 x 150 (Q61)	$\varnothing 5,0$
L4	6,70	0,577	1,915	30,13%	$1,402 \times 10^7$	$\varnothing 4,2 \times \varnothing 4,2$ - 150 x 150 (Q92)	$\varnothing 3,8 \times \varnothing 3,8$ - 150 x 150 (Q75)	$\varnothing 5,0$
L5	5,20	1,037	1,486	69,80%		$\varnothing 4,2 \times \varnothing 4,2$ - 150 x 150 (Q92)	$\varnothing 3,8 \times \varnothing 3,8$ - 100 x 100 (Q113)	$\varnothing 5,0$
L6	6,70	0,678	1,915	35,40%		$\varnothing 4,2 \times \varnothing 4,2$ - 150 x 150 (Q92)	$\varnothing 3,8 \times \varnothing 3,8$ - 100 x 100 (Q113)	$\varnothing 5,0$
L7	5,20	1,037	1,486	69,80%		$\varnothing 4,2 \times \varnothing 4,2$ - 150 x 150 (Q92)	$\varnothing 3,8 \times \varnothing 3,8$ - 150 x 150 (Q75)	-
Coberta								
L8	6,70	0,5321	1,915	27,78%		$\varnothing 3,4 \times \varnothing 3,4$ - 150 x 150 (Q61)	$\varnothing 3,4 \times \varnothing 3,4$ - 150 x 150 (Q61)	-
L9	5,20	0,9605	1,486	64,65%		$\varnothing 3,4 \times \varnothing 3,4$ - 150 x 150 (Q61)	$\varnothing 3,4 \times \varnothing 3,4$ - 150 x 150 (Q61)	-
L10	5,20	0,9605	1,486	64,65%	$7,548 \times 10^6$	$\varnothing 3,4 \times \varnothing 3,4$ - 150 x 150 (Q61)	$\varnothing 3,4 \times \varnothing 3,4$ - 150 x 150 (Q61)	-
L11	1,45	0,3483	0,414	84,07%		$\varnothing 3,4 \times \varnothing 3,4$ - 150 x 150 (Q61)	-	$\varnothing 5,0$
L12	5,20	0,9605	1,486	64,65%		$\varnothing 3,4 \times \varnothing 3,4$ - 150 x 150 (Q61)	$\varnothing 3,4 \times \varnothing 3,4$ - 150 x 150 (Q61)	

Fonte: Autor (2023)

Segundo Fakury, Castro e Silva, Caldas (2016) as armaduras de continuidade são necessárias para o controle de fissuras próximos aos apoios e encontros de vigas devido as rotações causadas (essas rotações se tornam maiores em ligações flexíveis devido ao apoio do segundo gênero como é o caso do projeto em questão), tabela 9.

Tabela 9 – Armaduras de continuidade

Vigas	Vão direito (cm)	Vão esquerdo (cm)	Área de aço (cm ²)	Transpasse direito (cm)	Transpasse esquerdo (cm)	Comprimento de trabalho (cm)	barra
Primeiro andar							
VP1 - VP2	252	397	1,12	31,50	49,60	20,30	Ø 6.3
VP2 - VP3	598	200	1,38	74,90	25,00	25,00	Ø 8.0
VP3 -VP4	598	606	2,07	74,90	75,80	37,60	Ø 6.3
VP5-VP6	252	397	1,12	21,50	49,60	20,30	Ø 6.3
P8	296	229	0,90	37,00	28,60	16,40	
VP6-VP7	598	606	2,07	74,80	75,80	37,60	
VP9-VP10	290	606	1,51	36,30	75,80	28,00	
VP10-VP11	606	290	1,54	75,80	36,30	28,00	Ø 8.0
VP11-VP12	210	606	1,40	26,30	75,80	25,50	
VP14-VP15	301	305	1,04	37,60	38,10	18,90	
VS4-VS2	150	252	0,69	18,80	31,50	12,60	Ø 6.3
VS5-VS2	183	150	0,57	22,90	18,80	10,40	
Coberta							
VP1-VP2	598	200	1,38	74,90	25,00	25,00	
VP2-VP3	598	606	2,07	74,90	75,80	37,60	
P8	296	229	0,90	37,00	28,60	16,40	
VP4-VP5	598	606	2,07	74,80	75,80	37,60	Ø 8.0
VP7-VP8	290	606	1,51	36,30	75,80	28,00	
VP8-VP9	606	290	1,54	75,80	36,30	28,00	
VP9-VS1	210	606	1,40	26,30	75,80	25,50	
VP11-VP12	301	305	1,04	37,60	38,10	18,90	

Fonte: Autor (2023)

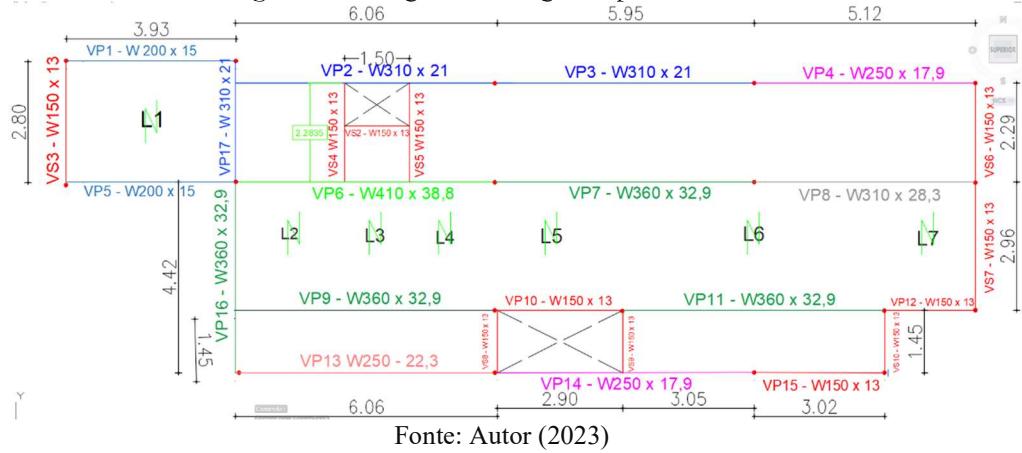
Com isso foi determinado as armaduras de continuidade (Figura 14),(Figura 15), sendo N1 para barras de Ø6.3 mm e N2 para barras de Ø8.0 mm.

3.2 Vigas

Para as vigas da residência (Figura 16) e (Figura 17), optou-se por manter uma distribuição entre o vão das vigas semelhantes afim de obter a menor variação possível com relação aos perfis, possibilitando uma maior praticidade na execução do projeto.

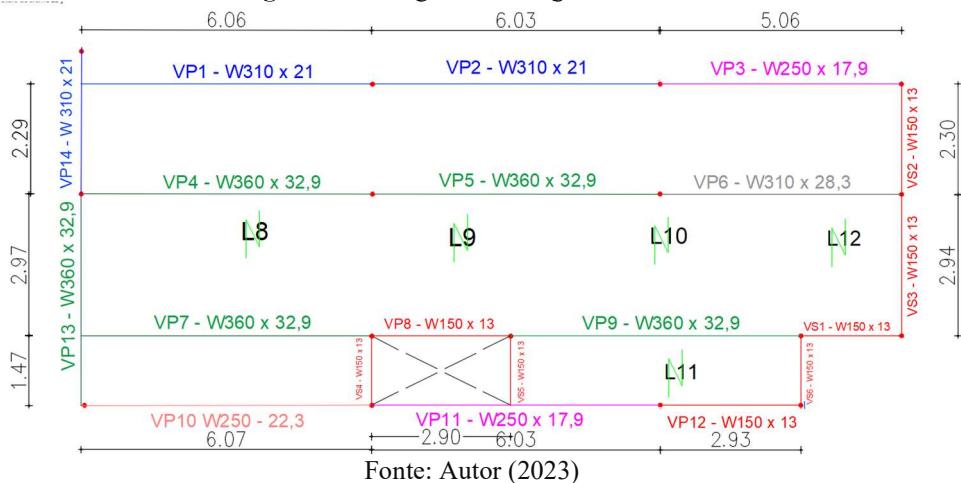
Durante a análise foram levados em consideração alguns aspectos. O pré-dimensionamento, ainda na fase pré-cura, se deu pela obtenção dos perfis por meio dos deslocamentos máximos, obtidos de acordo com a tabela C.1 da ABNT NBR 8800 (2008).

Figura 14 – Diagrama das vigas do primeiro andar



Fonte: Autor (2023)

Figura 15 – Diagrama das vigas da cobertura



Fonte: Autor (2023)

Apesar de ser viável essa alternativa para o pré-dimensionamento, não é suficiente, pois a simples seleção da viga de acordo com o seu comprimento não leva em consideração os esforços solicitantes e a resistência da viga. Diante disso é necessário fazer mais algumas verificações para obter o sistema estrutural que vise a economia, praticidade de execução e segurança.

Após o pré-dimensionamento, todas as vigas foram analisadas quanto aos seus estados-limite, tanto na etapa de construção (Tabela 10) quanto na etapa final.

Tabela 10 – Verificação das vigas na etapa de construção

VIGA	PERFIL W	Msd (kN/m)	Mrd (kN/m)	Msd/Mrd	Vsd (kN)	Vrd (kN)	Vsd/Vrd
Primeiro andar							
VS2		1,082		3,58%	2,887		2,41%
VS3		13,8		45,64%	20,6		17,20%
VS4	150x13	3,9	30,235	12,90%	5,7	119,75	4,76%
VS5		3,9		12,90%	5,7		4,76%
VS6		1,807		5,98%	3,129		2,61%

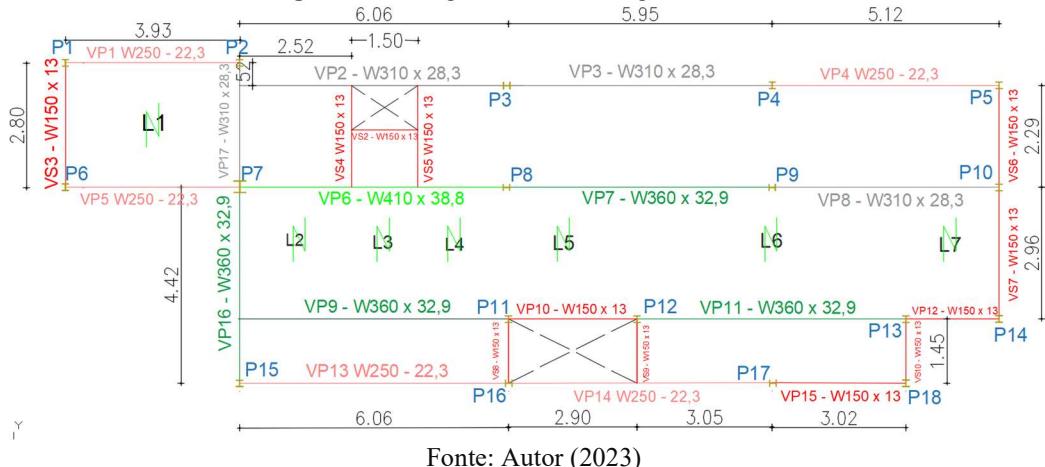
VS7	3,685		12,19%	4,996		4,17%	
VS8	0,455		1,50%	1,255		1,05%	
VS9	0,455		1,50%	1,255		1,05%	
VS10	0,451		1,49%	1,243		1,04%	
VP10	9,331		30,86%	12,87		10,75%	
VP12	4,962		16,41%	9,451		7,89%	
VP15	5,112		16,91%	6,748		5,64%	
VP1	200x15	16,25	46,387	35,03%	16,54	161,83	10,22%
VP5	200x15	15,975	46,387	34,44%	16,25	161,83	10,04%
VP4	250x17,9	22,228	66,177	33,59%	17,365	226,72	7,66%
VP14	250x17,9	15,1	66,177	22,82%	12,1	226,72	5,34%
VP13	250x22,3	21,066	83,96	25,09%	13,905	277,229	5,02%
VP2	310x21	32,4	91,55	35,39%	22,1	290,79	7,60%
VP3	310x21	30,207	91,55	33,00%	20,307	290,797	6,98%
VP17	310x21	23,1	46,387	49,80%	36,4	161,836	22,49%
VP8	310x28,3	56,144	129,218	43,45%	43,86	384,86	11,40%
VP7	360x32,9	76,102	171,74	44,31%	51,161	380,91	13,43%
VP9	360x32,9	59,69	171,747	34,75%	39,405	380,918	10,34%
VP11	360x32,9	59,69	171,74	34,76%	39,405	380,91	10,34%
VP16	360x32,9	50,9	91,55	55,60%	38,7	290,79	13,31%
VP6	410x38,8	88,9	231,087	38,47%	57,1	480,54	11,88%
Coberta							
VP8		9,331		30,86%	12,87		10,75%
VP12		5,112		16,91%	6,748		5,64%
VS1		4,962		16,41%	9,451		7,89%
VS2		1,807		5,98%	3,129		2,61%
VS3	150x13	3,685	30,235	12,19%	4,996	119,75	4,17%
VS4		0,455		1,50%	1,255		1,05%
VS5		0,455		1,50%	1,255		1,05%
VS6		0,451		1,49%	1,243		1,04%
VP3	250x17,9	22,228	66,177	33,59%	17,365	226,72	7,66%
VP11	250x17,9	15,1	66,177	22,82%	12,1	226,72	5,34%
VP10	250x22,3	21,066	83,96	25,09%	13,905	277,229	5,02%
VP1	310x21	32,027	91,55	34,98%	21,351	290,797	7,34%
VP2	310x21	30,207	91,55	33,00%	20,307	290,797	6,98%
V14	310x21	23,1	46,387	49,80%	36,4	161,836	22,49%
VP6	310x28,3	56,144	129,218	43,45%	43,86	384,86	11,40%
VP4	360x32,9	71,604	171,747	41,69%	47,736	380,918	12,53%
VP5	360x32,9	23,1	46,387	49,80%	36,4	161,836	22,49%
VP7	360x32,9	59,69	171,747	34,75%	39,405	380,918	10,34%
VP9	360x32,9	59,69	171,74	34,76%	39,405	380,91	10,34%
VP13	360x32,9	50,9	91,55	55,60%	38,7	290,79	13,31%

Fonte: Autor (2023)

Com a definição das vigas na etapa de construção foi feito a verificação na etapa final, quanto aos estados limites últimos e de serviço. Entretanto, devido à variação nos tipos de perfis encontrados durante a etapa, foi necessário alterar o tipo de alguns perfis, visando diminuir a variação tornando o projeto ainda mais executável.

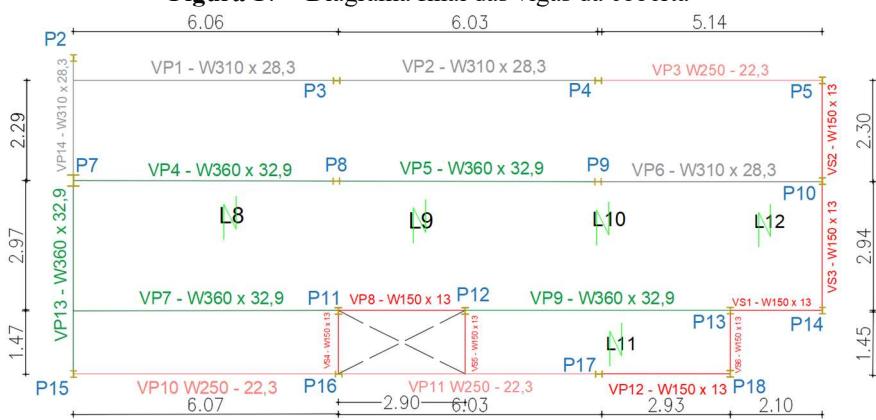
Com essa alteração, as vigas que foram dimensionadas com perfil W200x15 e W250x17,9 passaram a ser W250x22,3, e as vigas W310x21 passaram a ser W310x28,3. dessa forma, o projeto final passou a conter cinco tipos de vigas (Figura 18), (Figura 19): W150x13, W250x22,3, W310x28,3, W360x32,9 e W410x38,2 fornecido em GERDAU S.A (2018), ABNT NBR 15980 (2020).

Figura 16 – Diagrama final das vigas do 1º andar



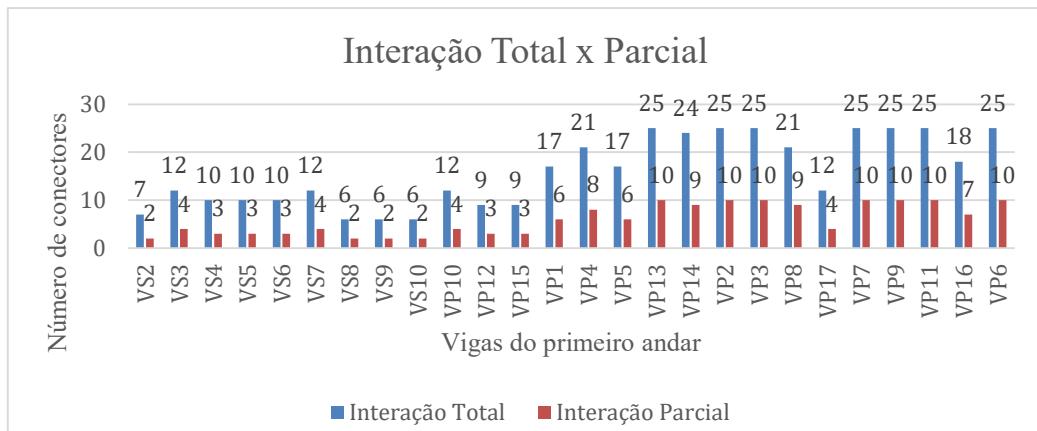
Fonte: Autor (2023)

Figura 17 – Diagrama final das vigas da coberta



Fonte: Autor (2023)

A verificação dos estados limites últimos foi realizada por meio da interação completa e parcial, tornando-se possível uma análise para aplicação mais viável (Figura 20). A escolha recaiu-se sobre o método da interação parcial, além de diminuir a rigidez do conjunto estrutural, necessitou de um número menor de conectores de cisalhamento, tornando o projeto mais econômico e executável.

Figura 18 – Comparação entre o número de conectores de acordo com a interação

Fonte: Autor (2023)

A verificação dos estados limites de serviço, na fase pós-cura, foi necessária para obter os deslocamentos máximos das vigas e seguiu o anexo C da ABNT NBR 8800 (2008), o processo foi feito admitindo o não escoramento das vigas mistas com o intuito de tornar o processo de execução mais rápido. Foi calculado o momento de inércia da seção homogeneizada de aço e desconsiderada a contribuição do concreto nas regiões abaixo do topo da forma do *steel deck*.

Verificou-se que todas as vigas atenderam aos estados limites (Tabela 11) referente do deslocamento excessivo.

Tabela 11 – Verificação das vigas na etapa final e comparação entre os métodos de interação

Vigas	Perfil W	Msd (kN/m)	Mrd parcial (kN/m)	Aproveitamento Msd/Mrdparcial	δlim(cm)	δ(cm)	Aproveitamento δ/δlim
VS2	150x13	2,478	33,799	7,33%	0,429	0,070	16,31%
VS3	150x13	9,110	45,930	19,83%	0,800	0,070	8,74%
VS4	150x13	5,280	40,130	13,16%	0,651	0,073	11,24%
VS5	150x13	5,280	41,130	12,84%	0,651	0,073	11,24%
VS6	150x13	6,450	41,130	15,68%	0,654	0,073	11,19%
VS7	150x13	11,770	47,430	24,82%	0,846	0,123	14,54%
VS8	150x13	2,239	32,340	6,92%	0,414	0,024	5,87%
VS9	150x13	2,239	33,340	6,72%	0,414	0,024	5,87%
VS10	150x13	2,239	33,340	6,72%	0,414	0,024	5,87%
VP10	150x13	19,327	46,875	41,23%	0,829	0,176	21,24%
VP12	150x13	10,135	39,530	25,64%	0,600	0,075	12,43%
VP15	150x13	6,770	39,350	17,20%	0,860	0,136	15,81%
VP1	250x22,3	29,750	108,990	27,30%	1,123	0,170	15,14%
VP5	250x22,3	29,750	108,990	27,30%	1,123	0,190	16,92%
VP4	250x22,3	51,602	124,910	41,31%	1,463	0,384	26,25%
VP14	250x22,3	52,900	136,110	38,87%	1,720	0,529	30,76%
VP13	250x22,3	56,822	137,550	41,31%	1,731	0,579	33,44%
VP2	310x28,3	73,800	177,560	41,56%	1,731	0,616	35,58%
VP3	310x28,3	70,400	175,830	40,04%	1,700	0,451	26,53%
VP17	310x28,3	38,400	126,390	30,38%	0,800	0,137	17,18%
VP8	310x28,3	99,220	164,870	60,18%	1,463	0,487	33,29%
VP7	360x32,9	134,260	212,720	63,12%	1,700	0,633	37,24%

VP9	360x32,9	83,996	214,633	39,13%	1,731	0,372	21,49%
VP11	360x32,9	83,990	214,630	39,13%	1,731	0,382	22,06%
VP16	360x32,9	82,400	185,910	44,32%	1,263	0,338	26,76%
VP6	410x38,8	165,300	268,503	61,56%	1,731	0,647	37,37%
VP8	150x13	14,080	36,230	38,86%	0,826	0,199	24,10%
VP12	150x13	35,700	111,980	31,88%	0,834	0,124	14,86%
VS1	150x13	6,739	31,552	21,36%	0,600	0,091	15,23%
VS2	150x13	3,961	32,669	12,12%	0,654	0,086	13,13%
VS3	150x13	7,373	36,620	20,13%	0,846	0,130	15,37%
VS4	150x13	1,353	26,830	5,04%	0,414	0,032	7,75%
VS5	150x13	1,353	27,830	4,86%	0,414	0,032	7,75%
VS6	150x13	1,353	27,830	4,86%	0,414	0,032	7,75%
VP3	250x22,3	34,290	100,934	33,97%	1,463	0,370	25,29%
VP11	250x22,3	34,100	108,810	31,34%	1,700	0,468	27,53%
VP10	250x22,3	39,148	109,860	35,63%	1,731	0,537	31,01%
VP1	310x28,3	48,408	145,280	33,32%	1,731	0,572	33,04%
VP2	310x28,3	48,408	146,280	33,09%	1,700	0,518	30,47%
V14	310x28,3	8,929	37,051	24,10%	0,800	0,167	20,88%
VP6	310x28,3	57,200	135,910	42,09%	1,463	0,468	31,99%
VP4	360x32,9	80,512	180,800	44,53%	1,731	0,577	33,33%
VP5	360x32,9	77,610	179,450	43,25%	1,700	0,528	31,06%
VP7	360x32,9	61,153	180,800	33,82%	1,731	0,385	22,24%
VP9	360x32,9	61,150	180,800	33,82%	1,731	0,397	22,93%
VP13	360x32,9	86,000	161,026	53,41%	1,263	0,324	25,66%

Fonte: Autor (2023)

3.3 Pilares

Nesta seção é apresentado o dimensionamento dos pilares, em número de 18. Visando a economia e praticidade de execução foi escolhido a mesma especificação de perfil para todos os pilares (W 150 x 22,5, tipo H, o mais leve de toda a série).

Resumidamente, a (Tabela 12) apresenta os valores dos esforços de compressão solicitante e resistente, bem como a análise quanto a flexocompressão nos estados limites últimos, devido as ações provenientes das cargas totais da estrutura e vento a 0°.

Tabela 12 – Verificação dos pilares quanto ao ELU

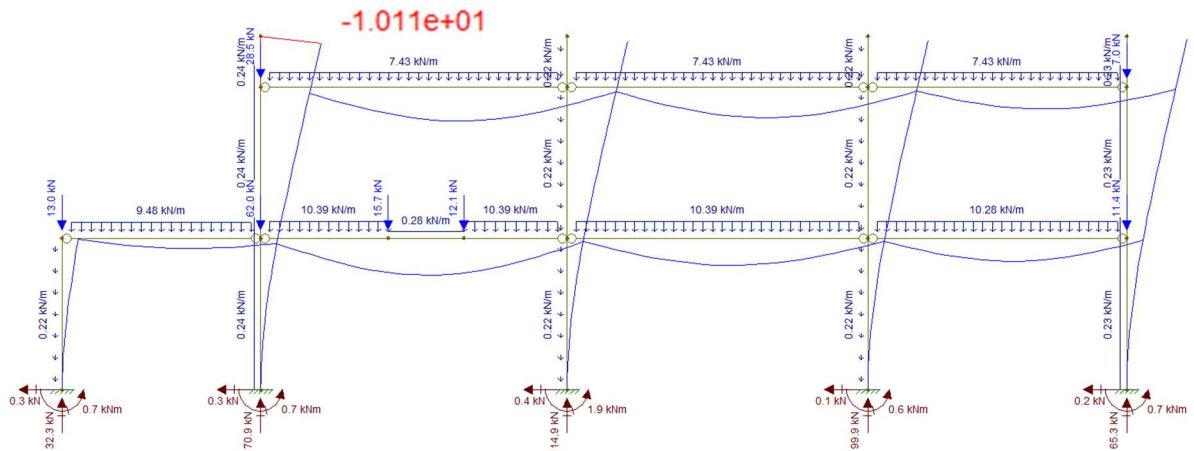
Pilar	Msdx (kN/m)	Mrdx (kN/m)	Msdx/Mrdx	Msdy (kN/m)	Mrdy (kN/m)	Msdy/Mrdy	Nsd(kN)	Nrd (kN)	Nsd/Nrd
P1	-0,10	52,98	0,19%	-1,50	49,08	3,06%	43,60	546,67	7,98%
P2	0,70	52,98	1,32%	-1,30	49,08	2,65%	206,00	546,67	37,68%
P3	0,00	52,98	0,00%	-1,20	49,08	2,44%	166,00	546,67	30,37%
P4	0,00	52,98	0,00%	-1,20	49,08	2,44%	151,00	546,67	27,62%
P5	0,10	52,98	0,19%	-1,30	49,08	2,65%	89,20	546,67	16,32%
P6	-0,10	52,98	0,19%	-2,90	49,08	5,91%	43,60	546,67	7,98%
P7	0,00	77,62	0,00%	-2,70	77,62	5,50%	282,90	755,15	37,50%
P8	0,00	52,98	0,00%	-2,50	49,08	5,09%	274,40	546,67	50,19%
P9	0,00	52,98	0,00%	-2,50	49,08	5,09%	267,10	546,67	48,86%

P10	0,00	52,98	0,00%	-2,60	49,08	5,30%	168,70	546,67	30,86%
P11	0,00	52,98	0,00%	-1,00	49,08	2,04%	147,20	546,67	26,93%
P12	0,00	52,98	0,00%	-1,00	49,08	2,04%	147,20	546,67	26,93%
P13	0,00	52,98	0,00%	-1,00	49,08	2,04%	141,11	546,67	25,81%
P14	0,00	52,98	0,00%	-1,20	49,08	2,44%	61,30	546,67	11,21%
P15	-0,70	52,98	1,32%	-1,50	49,08	3,06%	172,00	546,67	31,46%
P16	0,00	52,98	0,00%	-1,40	49,08	2,85%	114,20	546,67	20,89%
P17	0,00	52,98	0,00%	-1,40	49,08	2,85%	92,10	546,67	16,85%
P18	-0,20	52,98	0,38%	-1,40	49,08	2,85%	42,30	546,67	7,74%

Fonte: Autor (2023)

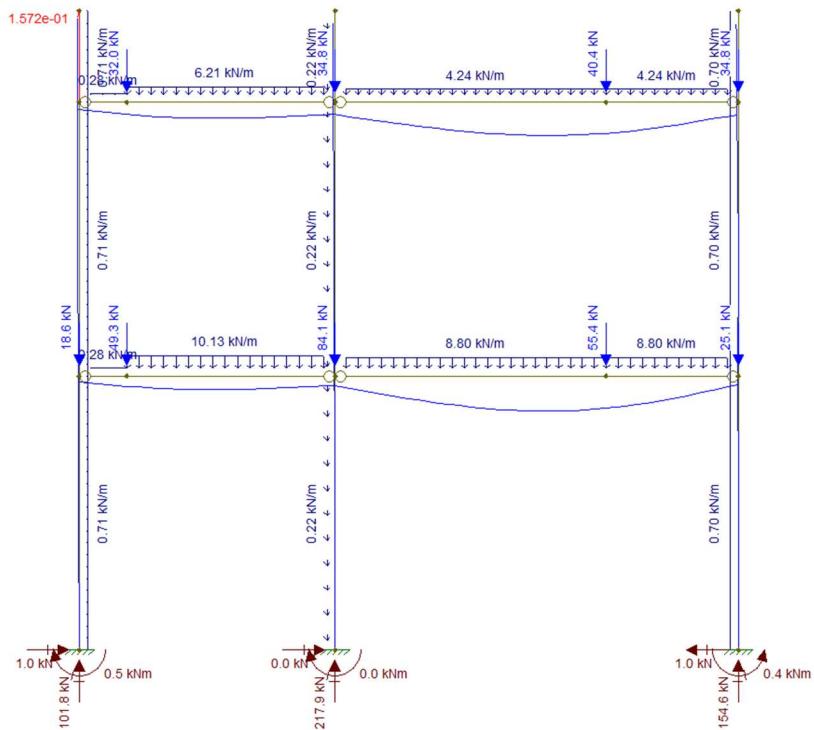
Para os estados limites de serviço, os deslocamentos de primeira ordem sofridos pelos pórticos (Figura 21), (Figura 22) formados pelos pilares de aço e vigas mistas, quando o vento atua no sentido positivo do eixo y e sentido negativo do eixo x.

Figura 19 – Deslocamento dos pilares metálicos: P1, P2, P3, P4, P5, vento a 0° CPI +0,2



Fonte: Autor (2023)

Figura 20 – Deslocamento dos pilares metálicos: P2, P7, P15, vento a 0° CPI +0,2



Fonte: Autor (2023)

Os valores referentes ao deslocamento da estrutura (Tabela 13), considera a ação do vento a 0° no eixo x e eixo y. Com relação ao deslocamento da estrutura considerando a ação do vento a 90° no eixo x e eixo y pode ser observado na tabela 14.

Tabela 13 – Verificação do deslocamento dos pilares vento a 0° CPI +0,2

Pilar	Comprimento (m)	δ lim(cm)	δ x(cm)	δ/δ lim	δ y(cm)	δ/δ lim
P1	3,00	0,75	0,11	15,20%	0,10	12,76%
P2	7,00	1,75	0,46	26,51%	0,27	15,31%
P3	7,00	1,75	0,46	26,51%	0,00	0,00%
P4	7,00	1,75	0,46	26,51%	0,00	0,00%
P5	7,00	1,75	0,46	61,87%	0,10	12,76%
P6	3,00	0,75	0,96	54,86%	0,10	1,41%
P7	7,00	1,75	0,96	54,86%	0,27	15,31%
P8	7,00	1,75	0,96	54,86%	0,00	0,00%
P9	7,00	1,75	0,96	54,86%	0,00	0,00%
P10	7,00	1,75	0,96	54,86%	0,09	5,23%
P11	7,00	1,75	0,00	0,00%	0,00	0,00%
P12	7,00	1,75	0,00	0,00%	0,00	0,00%
P13	7,00	1,75	0,00	0,00%	0,00	0,00%
P14	7,00	1,75	0,00	0,00%	0,09	5,23%
P15	7,00	1,75	0,46	26,46%	0,34	19,49%
P16	7,00	1,75	0,46	26,46%	0,00	0,00%
P17	7,00	1,75	0,46	26,46%	0,00	0,00%
P18	7,00	1,75	0,46	26,46%	0,08	4,77%

Fonte: Autor (2023)

Tabela 14 – Verificação do deslocamento dos pilares vento a 90° CPI +0,2

Pilar	Comprimento (m)	$\delta_{lim} (cm)$	$\delta_x (cm)$	δ/δ_{lim}	$\delta_y (cm)$	δ/δ_{lim}
P1	3,00	0,75	0,37	49,20%	0,26	34,80%
P2	7,00	1,75	1,39	79,37%	1,70	96,91%
P3	7,00	1,75	1,39	79,49%	0,00	0,00%
P4	7,00	1,75	1,38	79,03%	0,00	0,00%
P5	7,00	1,75	1,39	79,37%	1,43	81,77%
P6	3,00	0,75	0,42	55,97%	0,14	18,80%
P7	7,00	1,75	1,54	87,83%	1,70	96,97%
P8	7,00	1,75	1,53	87,66%	0,00	0,00%
P9	7,00	1,75	1,54	87,83%	0,00	0,00%
P10	7,00	1,75	1,52	87,03%	1,43	81,83%
P11	7,00	1,75	0,84	48,18%	0,00	0,00%
P12	7,00	1,75	0,84	47,94%	0,00	0,00%
P13	7,00	1,75	0,84	48,19%	0,00	0,00%
P14	7,00	1,75	0,84	48,09%	1,43	81,83%
P15	7,00	1,75	1,47	83,89%	1,67	95,37%
P16	7,00	1,75	1,48	84,69%	0,00	0,00%
P17	7,00	1,75	1,49	84,97%	0,00	0,00%
P18	7,00	1,75	1,49	84,91%	1,43	81,60%

Fonte: Autor (2023)

3.4 Ligações

Para ligação entre viga-viga e viga pilar apenas ligações parafusadas foram utilizadas, para ligação pilar-chapa de base foram utilizadas ligação parafusada e soldada. Os materiais utilizados foram: cantoneiras laminadas MR250, chapas de enchimento MR250, chapas de ligação MR 250, eletrodos E70XX e parafusos A325N.

Com a utilização do perfil W 150x22,5 H para os pilares foi encontrado um desafio no processo de ligação, o comprimento da alma do perfil desconsiderando o raio de concordância era de 11,9 cm definida por d' conforme o manual do fabricante. Ou seja, o conjunto de duas cantoneiras com 7,6 cm cada e espessura da alma da viga de ligação que varia conforme o perfil não caberia no espaço existente.

Visando a economia, uma solução encontrada ao invés de alterar o perfil dos pilares foi utilizar uma cantoneira com o auxílio de uma chapa de enchimento que por sua vez teria a função de centralizar a viga no eixo do pilar.

Como a verificação ao esforço cortante para a utilização das duas cantoneiras é determinada pelo manual, definiu-se que utilização de uma cantoneira deveria possuir valor de resistência ao cisalhamento igual a metade do valor determinado pelo manual de ligações para estruturas de aço da Gerdau.

Com isso foi possível executar as ligações com o perfil adotado para os pilares por meio das considerações citadas acima. Um resumo dos valores (Tabela 14) quanto ao esforço cisalhante solicitante e resistente de algumas ligações entre viga-pilar e viga-viga.

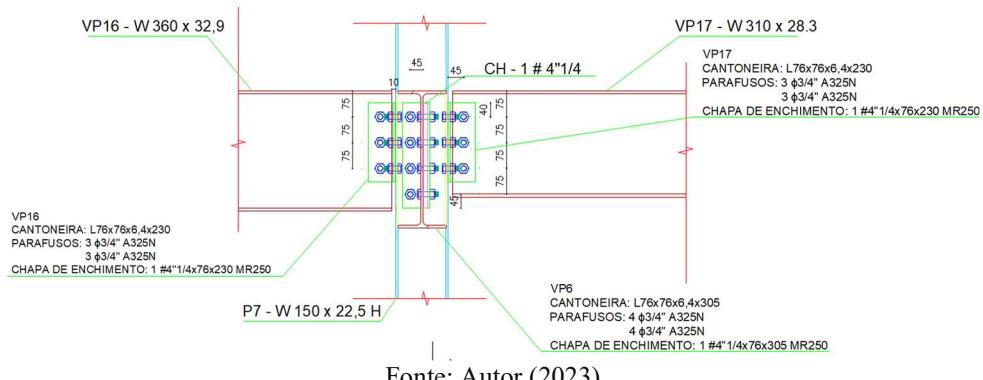
Tabela 15 – Verificação do esforço cortante para as ligações

Vigas	Viga Vsd (kN)	Cantoneira Vrd (kN)	Vsd/Vrd
Viga-Pilar			
VP7-P7	78,70	292,00	26,95%
VP5-P7	29,70	177,00	16,78%
VP16-P7	47,80	274,00	17,45%
VP17-P7	30,10	265,00	11,36%
Viga-Viga			
VP9-VP16	55,40	265,00	20,91%
VP1-VP17	50,70	274,00	18,50%

Fonte: Autor (2023)

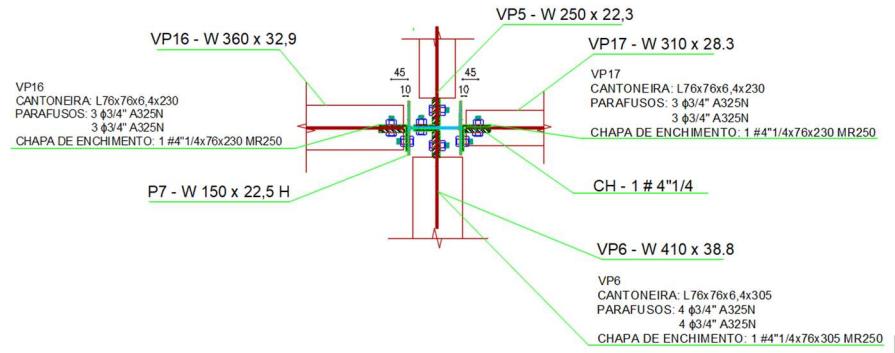
Foi possível verificar que nenhuma viga produziu um esforço solicitante maior do que 50% do valor suportado pela utilização de duas cantoneiras, possibilitando a alteração proposta para o projeto. Com isso, o método de ligação que deverá ser adotado (Figura 24), (Figura 25) e (Figura 26) contém apenas uma cantoneira em cada ligação viga-viga ou viga-pilar.

Figura 21 – Vista lateral ligação viga-pilar entre P7-VP5, VP6, VP16 e VP17



Fonte: Autor (2023)

Figura 22 – Vista superior ligação viga-pilar entre P7-VP5, VP6, VP16 e VP17

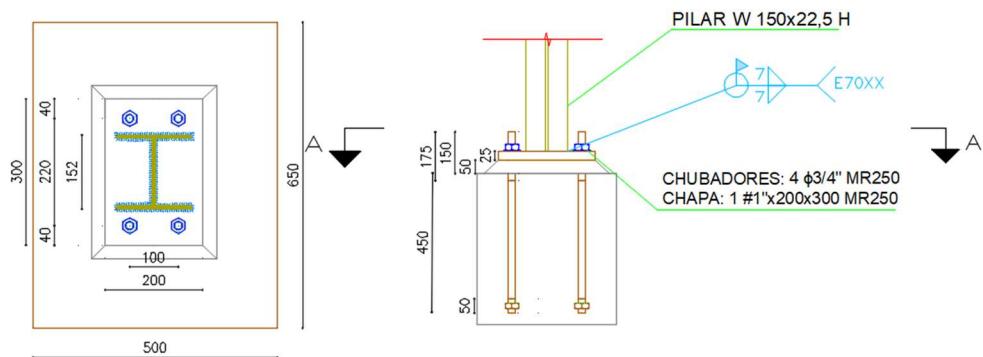


Fonte: Autor (2023)

As bases do pilar são definidas como os apoios da estrutura e precisam ser projetadas para transmitir, dependendo do seu tipo, forças axiais, forças cortantes e momentos fletores (FAKURY; CASTRO E SILVA; CALDAS, 2016).

A determinação da chapa de base (Figura 27) foi obtida por meio do manual de ligações para estruturas disponibilizado pela Gerdau, sendo composta por uma chapa aço MR250 de #1", quatro chumbadores de Ø3/4", solda de filete por todo o contorno da base do pilar, a solda terá 7 mm de profundidade feito *in loco*, o eletrodo utilizado para solda será o E70XX com resistência de 485 MPa.

Figura 23 – Ligação do pilar com os chumbadores



Fonte: Autor (2023)

4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Com a iniciativa do projeto, pode-se ter uma visão mais crítica dos métodos estruturais existentes, reforçar os conhecimentos sobre o sistema estrutural misto e todas suas particularidades construtivas. Além disso, foi possível observar que os elementos aço e concreto trabalhando juntos se tornam ferramentas estruturais poderosas tanto no quesito execução quanto segurança, pois esse sistema misto torna um material complemento do outro, aumentando suas competências e sanando as deficiências de cada um.

Dessa forma, o projeto teve como proposta, dimensionar os elementos dos pavimentos primeiro andar e coberta de uma residência do tipo R1-A com vigas e lajes mistas e fazer as verificações necessárias estabelecidas pela ABNT NBR 8800; (2008). Durante o processo, o método construtivo mostrou-se adequado e atendeu aos critérios normativos referentes aos estados limites últimos e de serviço, tanto na etapa de construção, quanto na etapa final.

Tratando-se da laje mista, a utilização da forma de aço colaborante não só dispensou o uso de escoramento, aumentando assim a velocidade de execução da obra devido a possibilidade de trabalhos simultâneos, como também diminuiu a utilização de armaduras para suportar o

momento fletor positivo. Observou-se, também, que o dimensionamento da armadura para resistir ao momento fletor negativo se mostrou financeiramente vantajoso, quando comparado com a determinação da armadura pelo manual do fabricante. Verificou-se que a consideração da área de aço para seção pelo fabricante é conservadoramente maior do que a necessária.

Tratando-se das vigas na fase mista, a consideração do concreto trabalhando em conjunto com a viga através dos conectores de cisalhamento aumentou consideravelmente a resistência do conjunto, resistindo de maneira satisfatória aos esforços e deslocamentos. Diante disso, foi possível observar uma grande eficiência do conjunto misto em vencer grandes vãos, tanto durante a análise por meio da interação total quanto por meio da interação parcial.

Algumas análises futuras podem contribuir na ampliação do presente artigo. São elas: dimensionar os elementos estruturais em situação de incêndio, realizar o projeto executivo detalhando todas as ligações, aberturas nas lajes, sistemas de contraventamento e dimensionamento da fundação, realizar análise dinâmica da residência, fazer a comparação entre o projeto em concreto armado e estruturas mistas com relação ao tempo de execução, quantitativos de material e verificar a comparação orçamentária entre as propostas, comparativo entre ligações soldadas e parafusadas e por fim, projetar utilizando um software de modelagem e gerar os comparativos com o presente artigo

Por fim, verifica-se que o sistema misto de aço e concreto se mostra adequado para a residência em estudo. Também é possível ressaltar a intenção de que o projeto possa contribuir com as publicações sobre construções mistas em concreto e aço na região do agreste de Pernambuco.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 8800**: Projeto de estruturas de aço e de estruturas mistas de aço e concreto de edifícios. Rio de Janeiro, 2008.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6120**: cargas para o cálculo de estruturas de edificações. Rio de Janeiro, 2019.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6123**: cargas devidas ao vento em edificações. Rio de Janeiro, 1988.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15980**: perfis laminados de aço para uso estrutural. Rio de Janeiro, 1988.

CARINI, Matheus Roman. **ESTRUTURAS MISTAS DE AÇO E CONCRETO: PROJETO DE EDIFÍCIO COMERCIAL**. 2014. 158 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2014.

CBCA. **CONSTRUÇÃO EM AÇO | Vantagens**. Disponível em: <http://www.cbca-acobrasil.org.br/site/vantagens-e-sustentabilidade/>. Acesso em: 13 outubro 2022.

FAKURY, R. H.; CASTRO E SILVA, A L. R.; CALDAS, R. B. **dimensionamento de elementos estruturais de aço e mistos de aço e concreto**. 1^a ed. São Paulo, 2016.

GERDAU S.A. **Perfis estruturais Gerdau**: Perfis Estruturais Gerdau. Disponível em: <https://www2.gerdau.com.br/publicacao/perfis-estruturais-gerdau-informacoes-tecnicas/>. Acesso em 25 outubro 2022.

GERDAU. **Ligações para estruturas de aço**: guia prático para estruturas com perfis laminados. Disponível em: <<https://www2.gerdau.com.br/>>. Acesso em: 10 agosto 2023

PFEIL, W.; PFEIL, M. **Estruturas de aço**: dimensionamento prático de acordo com a NBR 8800:2008. 8^a ed. Rio de Janeiro: LTC, 2009

QUEIROZ, G.; PIMENTA, J. R.; MATA, C. A. L. **Elementos das estruturas mistas aço-concreto 1**. Belo Horizonte: O Lutador, 2001. 332 p

QUEIROZ, G.; PIMENTA, R. J.; MARTINS, A. G. **Estruturas Mistas**. 2. ed. Rio de Janeiro: Instituto Aço Brasil, 2012. v.1.

VIANNA, Juliana da Cruz. **Avaliação do comportamento estrutural de conectores Perfobond e T-Perfobond para vigas mistas**. 2009. 300 f. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro 2009.

WAGNER, Walter Nunes Silva. **ESTRUTURA MISTA DE AÇO E CONCRETO**: Análise e projeto estrutural de edifício com múltiplos pavimentos em estrutura mista de aço e concreto. 2018. 160 f TCC (Graduação) – Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal de Pernambuco, Caruaru 2018.

APÊNDICE A – ARQUIVOS CITADOS

Todos os arquivos utilizados para a elaboração deste trabalho se encontram no Google Drive que pode ser acessado pelo link ou QR-Code abaixo.

https://drive.google.com/drive/folders/1hjNsqdTlgc8vE0oisvwUA4vFCtQtH1jK?usp=share_link



MICKAEL FRANKLIN DE ARAUJO

**ANÁLISE E PROJETO ESTRUTURAL DE UMA RESIDÊNCIA DE ALTO PADRÃO
(R1-A) EM ESTRUTURA MISTA DE AÇO E CONCRETO**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à Coordenação do Curso de Engenharia Civil do Campus Agreste da Universidade Federal de Pernambuco – UFPE, na modalidade de artigo científico, como requisito parcial para obtenção do grau de Bacharel em Engenharia Civil.

Área de concentração: Estruturas

Aprovado em 04 de outubro de 2023.

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Douglas Mateus de Lima (Orientador)
Universidade Federal de Pernambuco

Prof. Dr. Humberto Correia Lima Júnior (Avaliador)
Universidade Federal de Pernambuco

Prof. Me. Matheus Alves Pereira (Avaliador)
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará