

UNIVERSIDADE ESTADUAL DO MARANHÃO
CAMPUS BACABAL
DEPARTAMENTO DE CIÊNCIAS EXATAS E NATURAIS
CURSO DE ENGENHARIA CIVIL BACHARELADO

JOHAN ALEXIS SILVA CARVALHO

**IMPACTOS DE UMA MÁ CONCEPÇÃO ESTRUTURAL NO CONSUMO DE AÇO E
CONCRETO EM UM DUPLEX**

Bacabal – MA

2024

JOHAN ALEXIS SILVA CARVALHO

**IMPACTOS DE UMA MÁ CONCEPÇÃO ESTRUTURAL NO CONSUMO DE AÇO E
CONCRETO EM UM DUPLEX**

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado ao Curso de Engenharia civil
da Universidade Estadual do Maranhão
para o grau de Bacharel em engenharia
civil.

Orientador: Prof. Esp. Gabriel Gregório
Sousa Pereira

Bacabal – MA

2024

C257i Carvalho, Johan Alexis Silva.

Impactos de uma má concepção estrutural no consumo de aço e concreto em um sobrado / Johan Alexis Silva Carvalho – Bacabal-MA, 2024.

00 f: il.

Monografia (Graduação) – Curso de Engenharia Civil Bacharelado - Universidade Estadual do Maranhão-UEMA/ Campus Bacabal-MA, 2024.

Orientador: Profº Esp. Gabriel Gregório Sousa Pereira
1. Concepção Estrutural 2. Consumo de Aço 3. Consumo de Concreto 4. Concreto Armado

CDU: 691: 624.01

Elaborada por Poliana de Oliveira Ferreira CRB/13-702 MA

JOHAN ALEXIS SILVA CARVALHO

**IMPACTOS DE UMA MÁ CONCEPÇÃO ESTRUTURAL NO CONSUMO DE
AÇO E CONCRETO EM UM SOBRADO**

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado ao Curso de
Engenharia Civil da Universidade
Estadual do Maranhão para o grau
de bacharelado em Engenharia Civil.

Aprovado em: 05/08/24

BANCA EXAMINADORA:

Prof. Esp. Gabriel Gregório Sousa Pereira (Orientador)
UNIVERSIDADE ESTADUAL DO MARANHÃO

Prof.ª. Me. Natália Barros Falcão Cutrim
UNIVERSIDADE ESTADUAL DO MARANHÃO

Prof.ª. Esp. Valéria de Freitas Lima
UNIVERSIDADE ESTADUAL DO MARANHÃO

AGRADECIMENTOS

Primeiramente agradeço a Deus, por nos conceder o conhecimento, a capacidade e as oportunidades para conquistarmos tudo.

Agradeço a minha família, que sempre me apoiou de todas as formas possíveis, não só na minha jornada acadêmica, mas também durante toda a minha vida.

Agradeço aos meus colegas do curso de engenharia civil da UEMA CESB, por terem feito parte dessa longa jornada e por me ajudarem a chegar até a conclusão do curso de engenharia civil.

Agradeço também a todos os professores que fizeram parte da minha formação. Vocês não só contribuíram para a minha formação como engenheiro civil, mas também para me tornar um ser humano melhor.

Agradeço ao meu orientador prof. Gabriel Gregório e ao prof. Célio Honorato, pela orientação e conselhos para a confecção do presente trabalho. Sem isso, a produção deste trabalho seria muito mais complicada.

RESUMO

A concepção estrutural é a primeira etapa de um projeto estrutural, é nela que o engenheiro civil pensa em soluções para as problemáticas do projeto, deixando para as etapas posteriores apenas a validação do que foi proposto na concepção. Objetivou-se, neste trabalho investigar como uma má concepção estrutural pode afetar negativamente o consumo de concreto e aço de uma estrutura. Para tal, desenvolveu-se duas concepções diferentes, onde apenas uma delas lança mão das melhores soluções. Uma vez desenvolvidas as concepções estruturais, foi realizado um comparativo entre elas a fim de saber o quanto de aço e concreto foi consumido desnecessariamente pela má concepção estrutural. Após a análise verificou-se que houve uma enorme discrepância entre os resultados das duas concepções estruturais.

Palavras-chave: concepção estrutural; consumo de aço; consumo de concreto, concreto armado.

ABSTRACT

The structural design is the first stage of a structural project. It is during this stage that the civil engineer thinks of solutions for the project's issues, leaving only the validation of what was proposed in the design for the later stages. This work aimed to investigate how poor structural design can negatively affect the consumption of concrete and steel in a structure. To this end, two different designs were developed, where only one employs the best solutions. Once the structural designs were developed, a comparison was made between them to determine how much steel and concrete were unnecessarily consumed due to poor structural design. After the analysis, a significant discrepancy between the results of the two structural designs was observed.

Keywords: structural design; steel consumption; concrete consumption; reinforced concrete.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Vergalhões	18
Figura 2 – Viga em concreto armado	19
Figura 3 – Representação 3D das vigas em balanço (concepção otimizada)	25
Figura 4 – Representação 3D das vigas em balanço (concepção mal otimizada)	26
Figura 5 – Planta de forma das lajes da suíte 01 (concepção otimizada)	27
Figura 6 – Planta de forma das lajes da suíte 01 (concepção otimizada)	27
Figura 7 – Planta de forma da área de serviço (concepção otimizada).....	28
Figura 8 – Planta de forma da área de serviço (concepção mal otimizada).....	29
Figura 9 – Planta de forma da garagem (concepção otimizada)	30
Figura 10 – Planta de forma da garagem (concepção mal otimizada)	30
Figura 11 – Planta de forma laje da caixa d’água (concepção otimizada)	32
Figura 12 – Planta de forma laje da caixa d’água (concepção mal otimizada).....	32

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – cargas accidentais atuantes no duplex	22
Tabela 2 – Resumo de materiais (concepção otimizada).....	34
Tabela 3 – Resumo de materiais (concepção mal otimizada).....	34
Tabela 4 – Consumo de aço de pilares em cada pavimento.....	35
Tabela 5 – Consumo de aço de vigas em cada pavimento.....	35
Tabela 6 – Consumo de aço de lajes em cada pavimento.....	36
Tabela 7 – Consumo de concreto de pilares em cada pavimento.....	36
Tabela 8 – Consumo de concreto de vigas em cada pavimento.....	37
Tabela 9 – Consumo de concreto de lajes em cada pavimento	37

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	12
2	OBJETIVOS.....	13
2.1	Objetivo geral	13
2.2	Objetivos específicos.....	13
3	METODOLOGIA	14
4	REFERENCIAL TEÓRICO.....	15
4.1	Concepção estrutural.....	15
4.2	Concreto.....	16
4.3	Concreto armado.....	16
4.4	Resistência característica do concreto à compressão (Fck)	17
4.5	Aço para concreto armado	17
4.6	Lajes	18
4.7	Vigas.....	19
4.8	Pilares.....	19
5	PARÂMETROS USADOS NO DESENVOLVIMENTO DOS PROJETOS ESTRUTURAIS.....	20
5.1	Arquitetura	20
5.2	Normas técnicas.....	20
5.3	Cargas permanentes adotadas	21
5.4	Cargas acidentais adotadas	21
5.5	Fck	22
5.6	Classe de agressividade ambiental	22
5.7	Vento	23
5.8	Fundações	23

6 ANÁLISE DAS DIFERENTES SOLUÇÕES ESTRUTURAIS NAS CONCEPÇÕES	24
6.1 Vigas em balanço da área gourmet	24
6.2 Vigas da suíte 01	26
6.3 Locação dos pilares	28
6.3.1 Pilares da área de serviço	28
6.3.2 Pilares da garagem	29
6.4 Orientação do pilar P8	31
6.5 Pilar de transição no 1º pavimento	31
7 RESULTADOS E DISCUSSÃO	34
7.1 Consumo de aço em cada elemento estrutural	35
7.1.1 Pilares	35
7.1.2 Vigas	35
7.1.3 Lajes	36
7.2 Consumo de concreto em cada elemento estrutural	36
7.2.1 Pilares	36
7.2.2 Vigas	37
7.2.3 Lajes	37
8 CONSIDERAÇÕES FINAIS	39
REFERÊNCIAS	41
APÊNDICE A – PROJETO ARQUITETÔNICO DUPLEX	43
APÊNDICE B – CONCEPÇÃO OTIMIZADA	44
APÊNDICE C – CONCEPÇÃO MAL OTIMIZADA	45

1 INTRODUÇÃO

A produção de um projeto estrutural de uma edificação pode ser subdividida em algumas etapas, são elas: concepção estrutural, pré-dimensionamento, análise estrutural e detalhamento das armaduras. Evidentemente todas essas etapas exigem total atenção e empenho do projetista, mas existe uma que pode ser considerada uma das mais importantes: a concepção estrutural.

É nessa etapa que o engenheiro civil, deve conceber um sistema estrutural que transmita, de forma eficiente, as cargas que nele incidem para o solo. Em outras palavras o projetista deve escolher a forma, a disposição, e o material dos elementos estruturais. (PINHEIRO et. al, 2007).

Segundo Santos (2017; p.15), “Um mesmo projeto arquitetônico entregue a dez engenheiros diferentes resultará em dez soluções diferentes”. Isso acontece porque, apesar do projeto arquitetônico apresentar os mesmos desafios, cada engenheiro terá uma forma particular de resolvê-los, baseado na sua experiência e capacidade técnica. Dito isto, não é difícil imaginar que cada concepção estrutural terá um custo diferente.

Uma má concepção estrutural pode resultar em desperdício de materiais, aumento do tempo de execução, retrabalho e elevação dos custos. Por exemplo, uma estrutura subdimensionada exigirá reforços adicionais, enquanto uma superdimensionada pode implicar em aumento de gastos, além de aumentar o peso próprio da estrutura desnecessariamente. Por outro lado, uma concepção estrutural bem elaborada garante a segurança, eficiência e durabilidade de uma obra, além de tornar mais barato o custo final do empreendimento.

O presente trabalho tem como objetivo estudar como uma má concepção estrutural afeta as taxas de consumo de aço e concreto de uma estrutura. Para tanto, serão desenvolvidas duas estruturas em concreto armado a partir de um mesmo projeto arquitetônico de um duplex. Uma delas será desenvolvida visando otimizar ao máximo os elementos estruturais, enquanto a outra será desenvolvida sem essa preocupação. Após isso, será feito um comparativo entre as taxas de consumo de aço e concreto das duas estruturas. Neste comparativo pretende-se constatar que a concepção otimizada, em comparação à concepção mal otimizada, foi capaz de gerar uma economia de aço e concreto.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo geral

Analisar como um projeto estrutural e uma concepção estrutural ruim aumentam desnecessariamente o consumo de aço e concreto em um duplex, através da elaboração e comparação de dois projetos estruturais distintos.

2.2 Objetivos específicos

- Modelar, usando o software TQS 24, duas estruturas. Uma delas será desenvolvida buscando-se as soluções mais econômicas possíveis, enquanto a outra lançará mão de soluções antieconômicas.
- Analisar as diferentes soluções adotadas pelas duas estruturas, e determinar porque a soluções adotadas por uma delas é melhor que a outra.
- Fazer um comparativo entre o volume de concreto e os quilogramas de aço utilizados nas duas estruturas, e constatar a quantidade que desses materiais foi economizada na estrutura otimizada em comparação com a estrutura mal otimizada.

3 METODOLOGIA

Será feita a modelagem de duas concepções estruturais, uma delas será feita visando tornar a estrutura a mais econômica possível, em conformidade com o projeto arquitetônico, e atendendo os parâmetros de segurança das normas técnicas (esta estrutura será denominada “estrutura otimizada”). A segunda ainda atenderá a exigências do projeto arquitetônico, bem como das normas técnicas, mas lançará mão de soluções estruturais, que não serão as mais adequadas do ponto de vista da economia, isso tornará essa estrutura, denominada “mal otimizada”, menos viável economicamente que a primeira.

A modelagem das duas estruturas será feita com auxílio do software TQS 24 (da TQS Informática LTDA), este software permite ao engenheiro fazer a modelagem da estrutura, a análise estrutural, gerar tabelas de quantitativo de materiais, gerar e editar as plantas de forma.

Pretende-se fazer uma pesquisa qualitativa, estudo as duas concepções, focando na análise dos pontos que tornam a estrutura mal otimizada mais cara.

Pretende-se também fazer uma pesquisa quantitativa, comparando os quantitativos de consumo de aço e concreto gerados pelo TQS para as duas estruturas, e através destes quantitativos determinar o quanto destes materiais foram desperdiçados na estrutura mal otimizada.

4 REFERENCIAL TEÓRICO

4.1 Concepção estrutural

A concepção estrutural é a primeira etapa de qualquer projeto estrutural, seja de uma ponte, de um prédio ou casa. É nesta etapa que o projetista define qual será o sistema construtivo, onde estarão os elementos estruturais e principalmente qual será o comportamento destes elementos, e também da estrutura como um todo. Segundo Rebello:

Conceber uma estrutura é ter consciência da possibilidade da sua existência; é perceber a sua relação com o espaço gerado; é perceber o sistema ou sistemas capazes de transmitir as cargas ao solo, da forma mais natural; é identificar os materiais que, de maneira mais adequada, se adaptam a esses sistemas. (Rebello, 2000, p.26)

É importante que ao conceber uma estrutura o projetista estrutural posicione e dimensione os elementos da estrutura em conformidade com o projeto arquitetônico, ou seja, a estrutura não pode de maneira alguma interferir na utilização a qual o arquiteto atribuiu para a edificação, isso vale tanto para a edificação como um todo, como também para os diversos ambientes que a compõe. (PINHEIRO et. al, 2007).

Desta forma, o projetista deve evitar, por exemplo, pilares nascendo em meio aos acentos de um auditório (uma vez que estes obstruem o campo de visão e atrapalhariam a experiência dos espectadores). Ou ainda vigas muito altas em uma residência, onde para escondê-las, o arquiteto seja obrigado a projetar um forro muito baixo, abrindo mão do conforto térmico.

O projeto estrutural deve também estar compatibilizado com os outros projetos complementares (hidrossanitário, elétrico, ar-condicionado, etc.), já que as incompatibilidades geram retrabalho e prejuízos financeiros. (PINHEIRO et. al, 2007).

Para Pinheiro et. al (2007; p.29), “A solução estrutural adotada no projeto deve atender aos requisitos de qualidade estabelecidos nas normas técnicas, relativos à capacidade resistente, ao desempenho em serviço e à durabilidade da estrutura.”, ou seja, uma boa concepção estrutural não deve apenas estar em conformidade com o projeto arquitetônico, mas também atender aos requisitos de qualidade de normas técnicas, como por exemplo, as normas da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT): NBR 6118, NBR 6123, NBR 6120, dentre outras.

4.2 Concreto

O concreto é um material de construção amplamente utilizado devido à sua durabilidade e resistência. Ele é composto principalmente por cimento Portland, areia, brita e água. O processo de fabricação do concreto envolve a mistura desses “ingredientes” em proporções que variam a fim de atingir a resistência característica à compressão especificada em projeto.

Além dos compostos já citados, a depender da necessidade, podem ser acrescidos ao concreto, os aditivos; que provocam no concreto a alteração de algumas de suas propriedades, como por exemplo, os aditivos retardadores de pega, que aumenta o tempo necessário para o início da “pega” (fase em que o concreto começa a endurecer). (PINHEIRO et. al, 2007).

O cimento Portland é o aglomerante, isso significa que é ele o responsável por “colar” todos os componentes que formam o concreto. O cimento Portland é um aglomerante hidráulico, ou seja, a água é responsável por iniciar as reações químicas que resultam no endurecimento do concreto. (PINHEIRO et. al, 2007).

Uma das propriedades mais importantes do concreto é a sua resistência à compressão. Ela é determinada pela proporção de cimento em relação aos agregados (graúdo e miúdo) e pela quantidade de água utilizada.

O concreto simples é utilizado em estruturas que não são muito solicitadas, como calçadas, pisos e pequenas fundações.

4.3 Concreto armado

O concreto armado nada mais é que o concreto simples reforçado com barras de aço (chamadas de armaduras). Essas armaduras são inseridas na estrutura do concreto para aumentar sua resistência à tração. (LEONHARDT, 2008).

Quando unidos, o concreto e o aço apresentam perfeita aderência entre si, isso torna o concreto armado viável como material estrutural. A armadura só começa a trabalhar quando o concreto tracionado fissa (a esse tipo de armadura dar-se o nome de armadura passiva), e através da ancoragem proporcionada pelo concreto, a armadura pode suportar as tensões de tração que solicitam a peça de concreto armado. (ARAÚJO, 2010)

Em caso de incêndio, graças a sua boa resistência ao fogo, o concreto confere a estrutura um certo grau de segurança, diferentemente das estruturas em

aço, onde as altas temperaturas diminuem consideravelmente a resistência do aço na estrutura, fazendo com que está se torne instável.

Outro aspecto positivo da união concreto e aço é a proteção a corrosão proporcionada pelo concreto ao aço, mas para que haja essa proteção é necessário evitar que o concreto fissure demasiadamente a ponto de expor a armadura ao meio (é muito difícil evitar a fissuração do concreto, mas há como controlá-la).

Outra vantagem do concreto armado é a sua fácil execução, o que faz com que a mão de obra qualificada a executar desse sistema estrutural seja abundante, principalmente no Brasil, onde esse é o sistema estrutural mais difundido. (Porto,2015)

O concreto armado tem como uma de suas principais desvantagens o seu alto peso específico (cerca de 25 kN/m³). (CLÍMACO,2008)

4.4 Resistência característica do concreto à compressão (Fck)

Após a realização de ensaios de compressão com diversos corpos de prova (que devem seguir as diretrizes da norma ABNT NBR 5739 – Concreto – Ensaio de compressão de corpos de prova cilíndricos), a resistência característica do concreto à compressão é definida como o valor de resistência a compressão (em Mpa), que foi atingido ou superado por 95% dos corpos de prova ensaiados, e consequentemente, apenas 5% deles não foi capaz de atingir. (CHUST,2014).

O Fck é importante porque garante que o concreto tem apenas 5% de probabilidade de não atingir a resistência à compressão desejada. Essa garantia é fundamental para o dimensionamento e segurança das estruturas de concreto.

4.5 Aço para concreto armado

O aço é obtido através da mistura do ferro com o carbono (entre 0,002 a 2%). Sua principal característica é resistir muito bem a tensões de tração, e graças a sua alta resistência, as estruturas metálicas geralmente são mais leves em comparação as de concreto. (FERRAZ, 2003 apud BARFKNECHT, 2020).

O aço empregado na confecção do concreto armado é fornecido em barras (vergalhões) ou em fios. Os dois tipos de aço mais comuns no mercado são: o CA 25 e CA 50. O termo “CA” (abreviação de “concreto armado”) é o tipo de denominação que se dá ao aço próprio para ser usado no concreto armado, e o número que o

acompanha se refere à resistência ao escoamento mínimo do aço (em kN/cm^2). (CHUST, 2014).

Figura 1 – Vergalhões



Fonte: Catálogo da Gerdau (2006).

A resistência de escoamento do aço (representada pela sigla F_{yk}) é a característica mais importante do aço empregado no concreto armado, uma vez que ele é empregado junto do concreto, pois este sozinho não é capaz de suportar as tensões de tração na estrutura.

Como dito anteriormente, a resistência a tração é a principal contribuição do aço no concreto armado. Mas essa não é a única vantagem da associação entre concreto e aço, visto que o primeiro é um material frágil e o aço colabora promovendo a ductilidade das peças de concreto armado. Esta propriedade é fundamental para a segurança das estruturas de concreto armado. (PINHEIRO et. al, 2007).

4.6 Lajes

Lajes são estruturas planas que suportam principalmente forças normais a seu plano, e cujo a sua espessura (dimensão perpendicular à superfície) é significativamente menor que a sua largura e comprimento. (Porto, 2015).

Este elemento estrutural é responsável por receberem as cargas de utilização da edificação (cargas acidentais) e parte das cargas permanentes e as transmitem às vigas. Além disso são responsáveis por distribuir as cargas horizontais, promovendo o contraventamento da estrutura.

As lajes maciças podem ainda funcionar como mesas de compressão para vigas “T”.

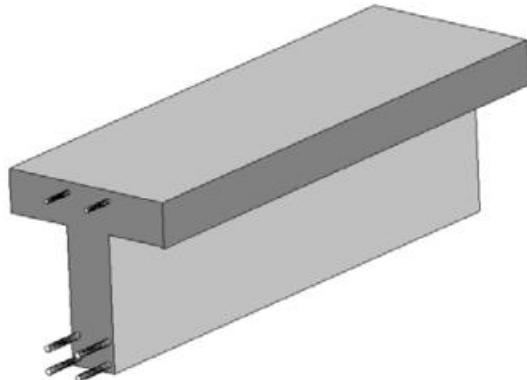
4.7 Vigas

São elementos estruturais projetados para receber as cargas provenientes das lajes, outras vigas e de paredes que estão apoiadas na viga e as transferem para os seus apoios (geralmente são pilares). (PINHEIRO et. al, 2007).

Essas cargas são perpendiculares ao eixo longitudinal da viga, o que provoca nessa, esforços de cisalhamento e momento fletor. (Hibbeler, 2010).

Esses elementos, quando em concreto armado, possuem dois tipos de armadura, a longitudinal e a transversal (estribos). A primeira é dimensionada visando combater o momento fletor, já a segunda é projetada para combater o cisalhamento. Além disso as armaduras podem, caso essa seja a intenção do projetista, promover o engastamento entre a viga e os pilares que lhe servem de apoio. (CLÍMACO,2008)

Figura 2 – Viga em concreto armado



Fonte: PINHEIRO et. al (2007)

4.8 Pilares

Segundo a ABNT NBR 6118 (2023), pilares são elementos lineares que suportam predominantemente forças de compressão.

Pilares são elementos esbeltos que suportam principalmente esforços internos de compressão. Eles são responsáveis por receber esforços das vigas e lajes que se apoiam neles, e transmitem esses esforços para as fundações. (PINHEIRO et. al, 2007).

Geralmente, pilares têm seção transversal quadrada, retangular ou circular. (CHUST, 2009).

5 PARÂMETROS USADOS NO DESENVOLVIMENTO DOS PROJETOS ESTRUTURAIS

5.1 Arquitetura

As duas concepções foram desenvolvidas a partir da mesma arquitetura, ou seja, tanto a concepção estrutural otimizada quanto a mal otimizada estiveram sujeitas as mesmas limitações impostas pelo projeto arquitetônico.

Algumas limitações foram: espessura da parede (20 centímetros), não podendo haver pilares que não estejam embutidos nessas paredes, evitando assim os “dentes” nas paredes; dois vãos em balanço na área gourmet de cerca de 3,5 metros; espaço entre a face superior da laje e forro, igual a 50 centímetros, que limita a altura das vigas que não estão embutidas nas paredes.

Além disso, o projeto arquitetônico atribui o tipo de uso de cada repartição do duplex, e também a localização de paredes, lajes e outros elementos responsáveis por impor cargas permanentes nas estruturas. Assim sendo, através do projeto arquitetônico e da ABNT NBR 6120 define-se então as cargas acidentais e as cargas permanentes impostas sobre as estruturas.

5.2 Normas técnicas

As normas técnicas da ABNT (Associação Brasileira de Normas Técnicas) visam padronizar a qualidade de produtos e serviços prestados no Brasil. Para a engenharia estrutural sua principal contribuição é garantir a segurança das estruturas projetadas.

Tanto na concepção otimizada quanto na mal otimizada buscou-se atender as exigências das principais normas vigentes que tratam de projetos de estruturas de concreto armado. São elas: ABNT NBR 6118 (2023), ABNT NBR 6120 (2019), ABNT NBR 6123 (2023).

É importante pontuar que as normas da ABNT passam por atualizações constantes. Desta forma as concepções estruturais desenvolvidas neste trabalho podem não ser adequadas às exigências das futuras revisões das normas citadas acima.

5.3 Cargas permanentes adotadas

As cargas permanentes são aquelas que sempre estarão atuando sobre a estrutura, são elas: peso próprio de lajes, vigas, pilares, paredes, telhado, revestimento do piso, forro, etc.

Para o cálculo do peso próprio dos elementos em concreto armado foi considerado que essas peças terão 25 kN/m³ de peso específico.

Para a estrutura do telhado considerou-se uma simplificação onde há tesouras (treliças) de madeira a cada dois metros. Essas tesouras se apoiam nas vigas V301, V304 e V305, impondo sobre elas uma carga pontual de 4,8 kN (para as treliças intermediárias) e 11,9 kN (para as treliças nas extremidades).

Sobre as lajes, além do seu peso próprio, irão atuar as cargas de peso próprio do forro, do contrapiso e revestimento de porcelanato. Para o forro, foi adotado uma carga distribuída de 0,15 kN/m² (referente a forro de placas de gesso); para o contrapiso foi considerado uma espessura de 4 cm e peso específico 21 kN/m²; já para o porcelanato, 1 cm de espessura e 23 kN/m² de peso específico. Todos esses carregamentos totalizam 1,22 kN/m² atuantes sobre todas as lajes do térreo.

Para a laje que apoia a caixa d'água (de volume igual a 1000 L), foi admitida uma carga de 8,8 kN/m². Esse valor foi obtido através da razão entre o peso da água armazenada no reservatório (1000 kg) e a área da base da caixa d'água (equivalente a 1,13 m²). Apesar da carga só estar presente dentro do perímetro que delimita a base da caixa d'água, a carga foi considerada como atuando sobre toda a área da laje, desta forma o dimensionamento deste elemento estrutural fica a favor da segurança.

Em grande parte das vigas da estrutura atuam as cargas provenientes do peso próprio das paredes. Essas paredes têm espessura igual a 20 cm, por isso adotou-se um peso específico de 2 kN/m², referente ao item “Bloco cerâmico vazado (Furo horizontal - ABNT NBR 15270-1)”, da tabela 2 da NBR 6120. Considerou-se ainda que esse bloco terá 14 cm espessura e 2 cm de revestimento em cada face.

Além disso, em sacadas e vão de escadas, onde há guarda corpo de vidro foi adotado uma carga atuante nas vigas equivalente a 0,5 kN/m.

5.4 Cargas accidentais adotadas

As cargas accidentais dependem do tipo de utilização do ambiente, e atuam diretamente sobre as lajes e escadas da edificação.

As cargas acidentais foram obtidas através da tabela 10 da ABNT NBR 6120 (2019), intitulada: “Tabela 10 – Valores característicos nominais das cargas variáveis”. Os valores adotados para o dimensionamento das estruturas são apresentados na tabela 1.

Tabela 1 – cargas acidentais atuantes no duplex

ambiente	Item correspondente na tabela 10 da NBR 6120	Carga acidental adotada (kN/m ²)
Mezanino	–	2,00
Escritório	Sala de uso geral (Edifícios comerciais, corporativos e de escritórios)	2,5
Sacada	Sacadas Residenciais	2,5
Circulação	Corredores dentro de unidades autônoma	1,5
Suíte 01 e 02	Dormitórios	1,5
Terraço	Terraços Residenciais	2,5
Escadas	Escadas Residenciais (uso comum)	3
Caixa d'água	Barilete	1,5

Fonte: Autor (2024)

5.5 Fck

O Fck (resistência característica do concreto à compressão) adotado em ambas as concepções foi 30 Mpa (concreto C30). Esse valor foi escolhido pois atende as exigências da classe de agressividade ambiental adotada e também é bastante usual em projetos residenciais e de pequenos prédios.

5.6 Classe de agressividade ambiental

Na escolha da classe de agressividade foram consideradas as condições da cidade de Bacabal – MA, que se encaixam nas características descritas na classe de agressividade ambiental II – moderada.

A classe de agressividade ambiental moderada demanda que o concreto usado no projeto seja C25 ou superior. Quanto ao cobrimento das armaduras, é exigido 25 mm para lajes e 30 mm para os demais elementos.

5.7 Vento

Assim como a classe de agressividade ambiental, a velocidade do vento também depende do local onde irá construir. Assim sendo, a velocidade básica do vento em Bacabal – MA fornecido pela ABNT NBR 6123 é 30 m/s.

O fator topográfico (S1) adotado foi igual a 1, referente a terrenos planos ou fracamente acidentados. A rugosidade do terreno adotada foi a de categoria IV, visto que o local escolhido para o projeto é uma zona urbanizada. De acordo com as suas dimensões, o duplex é uma edificação de classe A. Para o fator estatístico (S3) adotou-se o valor 1, visto que se trata de uma edificação residencial.

Para os coeficientes de arrasto das concepções estruturais foram consideradas 4 direções principais de incidência do vento ($0^\circ, 90^\circ, 180^\circ$ e 270°). Os coeficientes de arrasto adotados foram: 0,88 (para os ângulos de incidência 0 e 180°) e 1,44 (para os ângulos de incidência 90 e 270°). Estes valores foram obtidos através do ábaco para coeficiente de arrasto em baixa turbulência, disponibilizado pela ABNT NBR 6123 (2023), intitulado: “Figura 4 – Coeficiente de arrasto CA para edificações paralelepípedicas em vento de baixa turbulência”.

5.8 Fundações

No presente trabalho optou-se apenas por fazer a análise da superestrutura nas concepções estruturais, visto que o dimensionamento da infraestrutura envolve diversas variáveis como resistência do solo, as camadas de solo sob a estrutura, nível de lençol freático, cargas provenientes dos pilares, entre outras. Uma vez que o projeto arquitetônico, que serve de base para o desenvolvimento deste trabalho, é fictício, não há como obter os dados para o dimensionamento da fundação.

6 ANÁLISE DAS DIFERENTES SOLUÇÕES ESTRUTURAIS NAS CONCEPÇÕES

Como dito anteriormente, a concepção estrutural mal otimizada lança mão de soluções estrutural que, apesar de atender as exigências da arquitetura e das normas técnicas, não são as mais econômicas.

Por outro lado, na concepção estrutural otimizada houve a preocupação não só com a arquitetura e a segurança, mas também em implementar as soluções mais econômicas possíveis.

Esse item é destinado a analisar porque as soluções estruturais implementadas na concepção otimizada se sobressaem no quesito economia.

6.1 Vigas em balanço da área gourmet

Vigas ou lajes em balanço são estruturas que possuem uma de suas extremidades livres (sem apoios), geralmente são utilizadas em sacadas ou marquises. Essas estruturas devem ser evitadas pois implicam em momentos fletores muito elevados nos apoios.

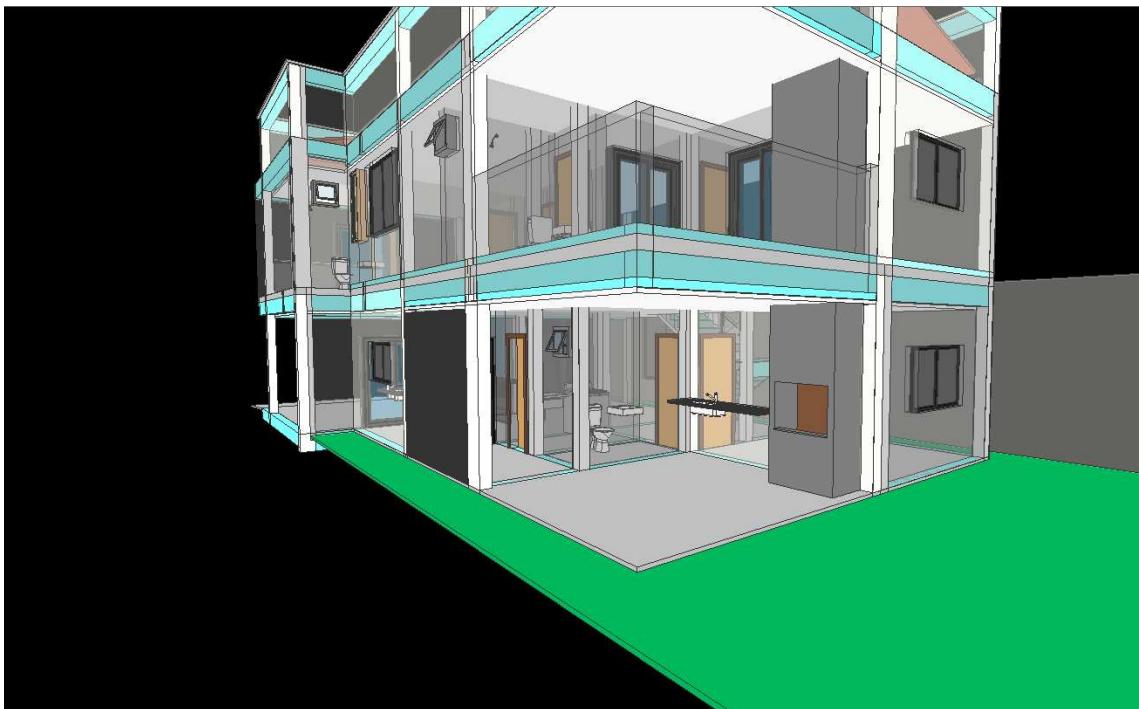
No caso das vigas V204 e V215 (para a concepção estrutural mal otimizada a mesma viga recebe o título de V214), a necessidade de se usar vigas em balanço é uma imposição do projeto arquitetônico, para que fosse criado um ambiente sem pilares aparentes e também para apoiar a laje L9 (no pavimento térreo), correspondente ao terraço no projeto arquitetônico.

Na concepção estrutural otimizada optou-se por posicionar um pilar (P15), de dimensão 19x40 cm para apoiar a V204. Esta viga vence um vão em balanço de 3,7 metros, além de apoiar a viga V215, que por sua vez vence um vão de aproximadamente 4,2 metros.

As vigas anteriormente mencionadas têm dimensão de 19x60 cm. Foi constatado que a altura de 60 cm é a mínima necessária para vencer os vãos mencionados anteriormente de maneira satisfatória.

Para que estas vigas não ficassem aparentes devido a limitação de altura de vigas imposta pelo forro do duplex, foi necessário o uso de vigas semi-invertidas (vide figura 3).

Figura 3 – Representação 3D das vigas em balanço (concepção otimizada)



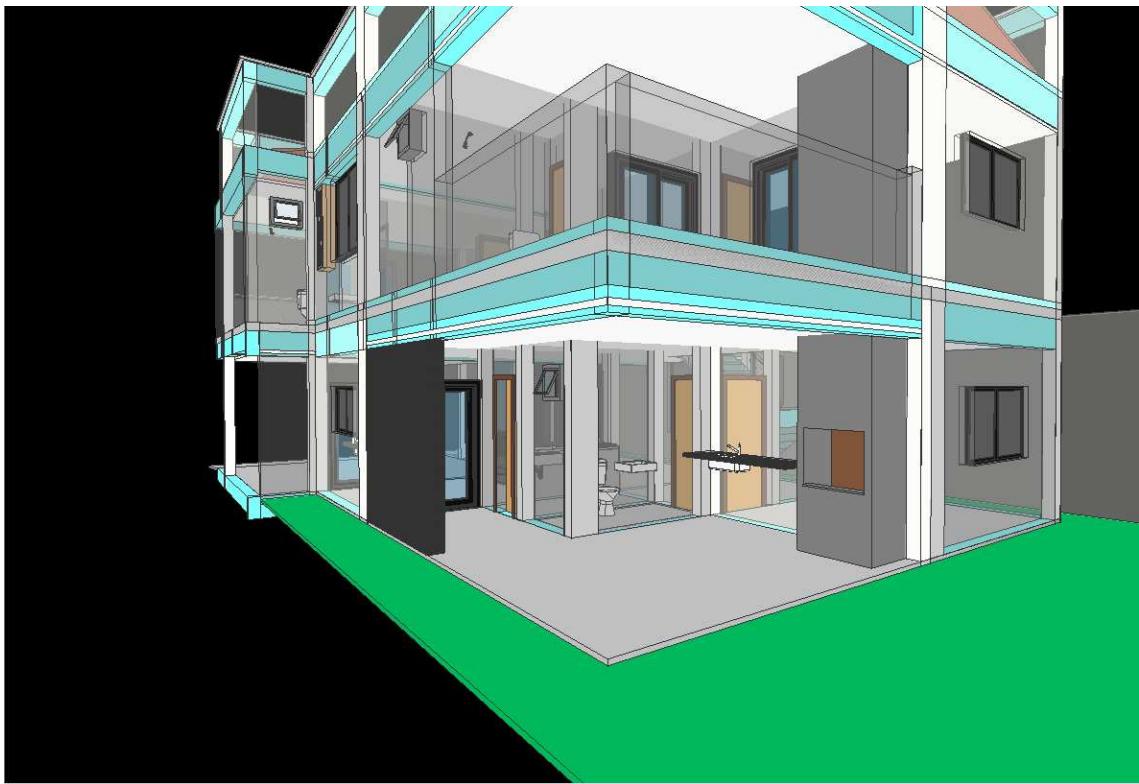
Fonte: TQS (2024)

Já na concepção estrutural mal otimizada a solução adotada foi apoiar a viga V204 na V213, desta forma, dispensou-se o uso de um pilar (vide figura 4). Essa não é considerada a melhor solução, pois de acordo com Rebello (2000; p.197), “Sempre que possível, os pilares devem ser locados nos encontros das vigas. Com esse procedimento evita-se que vigas apoiem-se sobre vigas”.

Foi constatado então, que a V213 na concepção estrutural mal otimizada teve uma armadura negativa com 4 barras de aço de diâmetro 16 mm, enquanto a mesma viga na concepção estrutural otimizada necessitou apenas de 3 barras de aço de diâmetro 10 mm. Mesmo se for considerada a economia das barras de aço do P15 (6 barras de diâmetro igual a 10 mm) devido à ausência deste pilar na concepção mal otimizada, ainda assim nota-se que houve um aumento na área de aço usada neste trecho de 1 cm^2 (o que seria equivalente a 2 barra de 8 mm de diâmetro).

Dada a menor rigidez do apoio de viga em outra viga, houve a necessidade de aumentar a altura das vigas V204 e V214 para 70 cm. Além disso, a viga V213 (viga que apoia a V204), necessitou também de maior rigidez, o que resultou em um aumento de 20 cm em sua altura se comparado a concepção estrutural otimizada. Essa diferença de altura representa um acréscimo de $0,3 \text{ m}^3$ de concreto.

Figura 4 – Representação 3D das vigas em balanço (concepção mal otimizada)



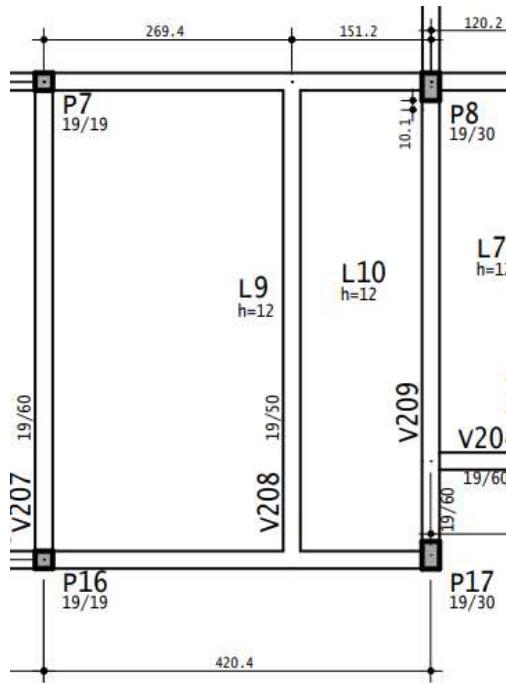
Fonte: TQS (2024)

6.2 Vigas da suíte 01

A suíte 01 é um ambiente bastante amplo, com 4x5 metros, por conta disso optou-se pela utilização de dois panos de laje neste ambiente, visto que apenas uma laje de 17 m² de área, não seria a melhor solução. Na divisão entre as lajes da suíte 01 está a viga V208.

Na concepção estrutural otimizada, optou-se por posicionar a viga V208 abaixo da parede do banheiro da suíte 01 (conforme mostra a figura 5). Segundo Rebello (2000; p.194), “Sempre que possível, as vigas devem ser locadas sob as alvenarias”. Essa prática é recomendada pois a viga apresenta maior rigidez que a laje, o que torna a tarefa de resistir ao peso próprio da alvenaria muito mais fácil para a viga que para a laje, e isso se traduz em uma menor flecha e menor taxa de armadura na laje.

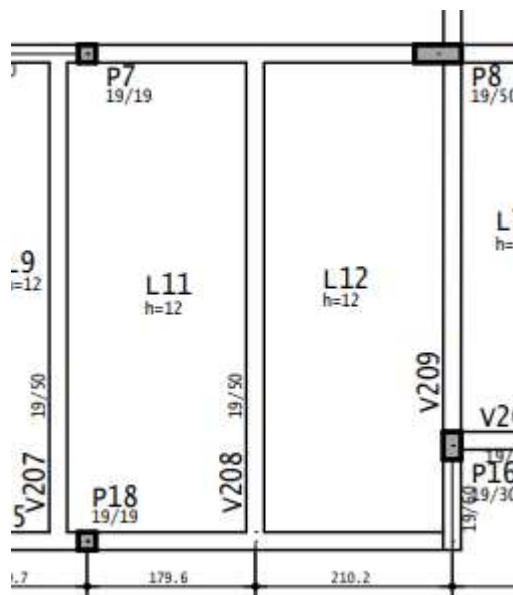
Figura 5 – Planta de forma das lajes da suíte 01 (concepção otimizada)



Fonte: TQS (2024)

A solução adotada na concepção mal otimizada foi o posicionamento da viga V208, exatamente no meio do vão entre as vigas V207 e V209 (vide figura 6). Dessa forma as lajes L11 e L12 tem dimensões iguais, havendo assim a tendência de que as cargas se distribuam de forma mais uniforme entre as vigas V207 e V209.

Figura 6 – Planta de forma das lajes da suíte 01 (concepção otimizada)



Fonte: TQS (2024)

Apesar do diferente posicionamento da V208 nas duas concepções, não houve grandes mudanças no momento fletor que incide sobre ela. Este foi da ordem de 4,6 tfm. No entanto, notou-se uma diferença na flecha da laje L12 (equivalente a laje L10 na concepção otimizada). Enquanto na concepção otimizada tem-se uma flecha igual a 0,31 cm, na concepção mal otimizada tem-se 0,35 cm.

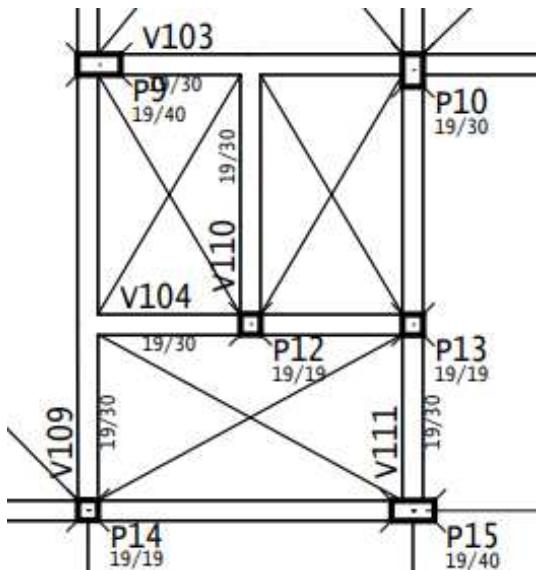
6.3 Locação dos pilares

6.3.1 Pilares da área de serviço

Ao todo, a concepção estrutural otimizada dispôs de 17 pilares (mais um pilar de transição), enquanto a concepção estrutural mal otimizada dispôs de 18 pilares. Essa diferença se deu principalmente pelo maior número de pilares na região da área de serviço e do banheiro social.

Na concepção estrutural otimizada, optou-se por posicionar os pilares P10, P12 e P13 (conforme mostrado na figura 7), para que estes suportem a laje que apoia a caixa d'água. O pilar P9 foi posicionado no encontro das vigas V103 e V109 para que não ocorra o apoio de uma viga sobre a outra.

Figura 7 – Planta de forma da área de serviço (concepção otimizada)



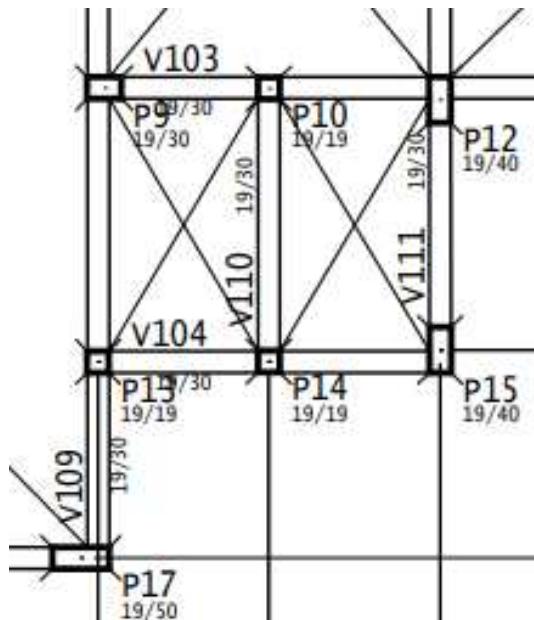
Fonte: TQS (2024)

Já na concepção estrutural mal otimizada, a mesma região do projeto dispõe de 6 pilares (conforme indica a figura 8), um em cada encontro de vigas, o que apresenta duas desvantagens em relação a outra concepção.

A primeira desvantagem: quando há pilares muito próximos, em um deles pode haver a predominância de esforços normais de tração. Isso não é algo necessariamente ruim, mas demanda uma maior taxa de aço no pilar.

A segunda desvantagem é que a maior quantidade de pilares certamente aumentará o consumo de concreto e também tornará a execução da obra mais difícil, tudo isso se traduz em um projeto estrutural menos econômico.

Figura 8 – Planta de forma da área de serviço (concepção mal otimizada)



Fonte: TQS (2024)

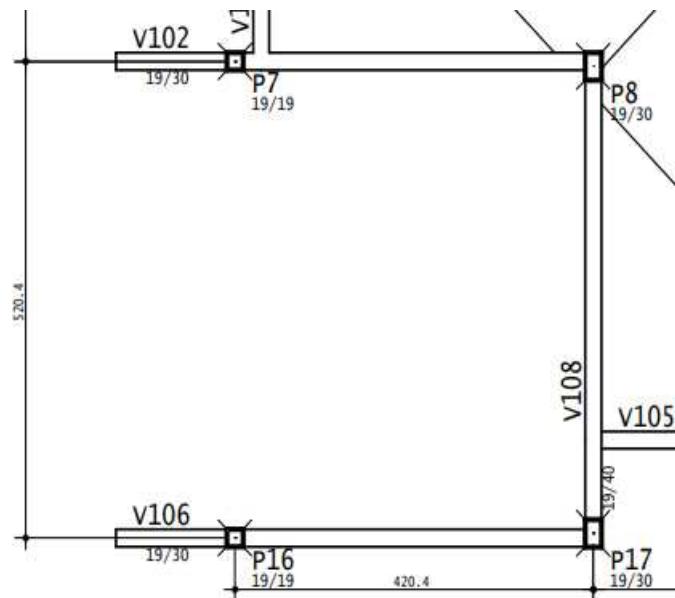
Buscou-se, em ambas as concepções alinhar os eixos dos pilares, visto que segundo Pinheiro et al. (2007; p.32), “Deve-se, sempre que possível, dispor os pilares alinhados, a fim de formar pórticos com as vigas que os unem. Os pórticos, assim formados, contribuem significativamente na estabilidade global do edifício”.

6.3.2 Pilares da garagem

Na concepção estrutural otimizada optou-se por posicionar o pilar P17 no encontro entre as vigas V106 e V108 (vide figura 9). Essa solução estrutural resultou

em 4 barras de 10 mm de diâmetro no primeiro lance do pilar P17, e na viga V209 (viga que se apoia neste pilar) necessitou-se 53 kg de aço.

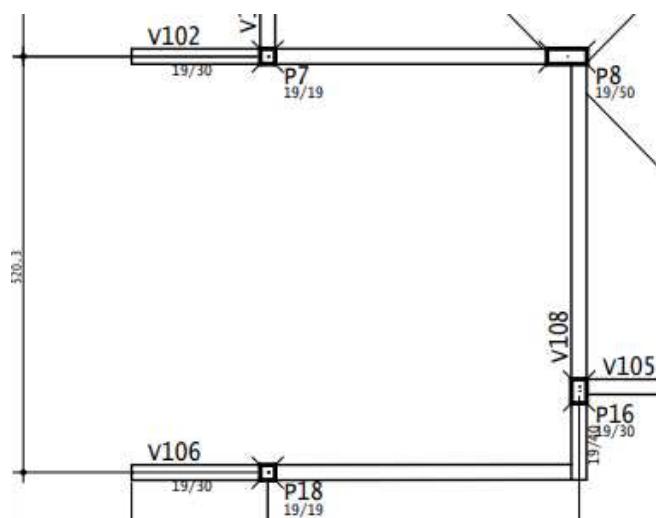
Figura 9 – Planta de forma da garagem (concepção otimizada)



Fonte: TQS (2024)

Por outro lado, na concepção estrutural mal otimizada o pilar P16 (equivalente ao pilar P17 da concepção otimizada) foi posicionada no encontro das vigas V105 e V108 (conforme mostrado na figura 10). Essa solução estrutural resultou em 6 barra de aço de 20 mm, e na viga V209 necessitou-se 59 kg de aço.

Figura 10 – Planta de forma da garagem (concepção mal otimizada)



Fonte: TQS (2024)

Outra diferença entre as concepções estruturais é o posicionamento dos pilares P7 e P16 (nomeado “P18”, na concepção mal otimizada). Enquanto na concepção otimizada estes pilares se encontram alinhados ao eixo da viga V207, na concepção mal otimizada eles estão alinhados ao eixo do pilar P1.

A solução estrutural adota para esses pilares na concepção mal otimizada implica que a viga V207 ficará apoiada sobre as vigas V202 e V205, e como comentado no item 6.1, deve-se sempre que possível evitar que isso aconteça.

Na solução onde a V207 se apoia nas vigas V202 e V205 obteve-se momento fletor negativo da ordem de -5 tfm nessas vigas, enquanto na solução onde a V207 se apoia em pilares o momento fletor negativo obtido foi -3,45 tfm.

6.4 Orientação do pilar P8

A definição da orientação de um pilar é um dos pontos críticos da fase de concepção estrutural. O recomendado para a escolha da orientação dos pilares é sempre alinhar a maior dimensão do pilar com a viga que transfere a ele os maiores valores de momento fletor. Caso esta recomendação não poder ser seguida, o projetista deve estar ciente que o pilar em questão terá uma taxa de armadura muito maior.

Dito isso, durante a análise estrutural notou-se que a solução mais econômica implica que o pilar P8 deveria ter seu eixo de maior inércia no sentido da viga V209. Esta foi a solução adotada na concepção estrutural otimizada, onde o pilar P8 tem dimensões de 19x30 cm e necessita de uma armadura composta por 4 barras de 10 mm de diâmetro.

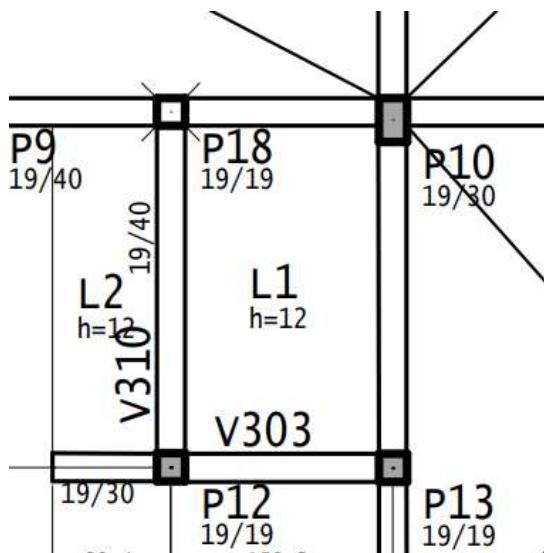
Na concepção mal otimizada, a solução adotada foi colocar o eixo de maior inércia do P8 perpendicular ao eixo longitudinal da viga V209. Constatou-se que, mesmo com dimensões maiores (19x50 cm), este pilar necessitou de 16 barras de 10 mm (o que representa um número de barras quatro vezes maior que a armadura do mesmo pilar na outra concepção estrutural).

6.5 Pilar de transição no 1º pavimento

Na concepção estrutural otimizada optou-se pelo uso de um pilar de transição (pilar que se apoia em uma viga), que “nasce” no 1º pavimento e “morre” na laje de cobertura do abrigo da caixa d’água. O pilar P18 foi concebido como pilar de

transição visto que não havia a necessidade da existência deste pilar nos pavimentos baldrame e térreo, mas havia a necessidade de um pilar para apoiar as vigas da cobertura do abrigo da caixa d'água.

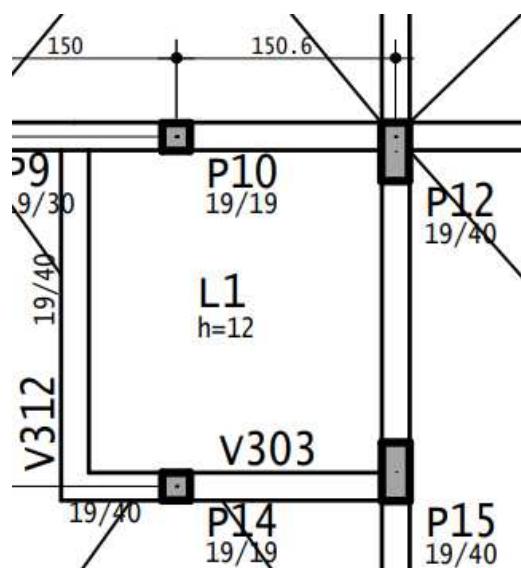
Figura 11 – Planta de forma laje da caixa d’água (concepção otimizada)



Fonte: TQS (2024)

Já na concepção estrutural mal otimizada há um pilar (nomeado “P10”), posicionado no mesmo local que o pilar P18 da concepção otimizada, mas diferente deste, o pilar P10 “nasce” na fundação.

Figura 12 – Planta de forma laje da caixa d’água (concepção mal otimizada)



Fonte: TQS (2024)

Segundo Rebello (2000; p.197), “Os pilares devem ser posicionados sem descontinuidade, da fundação à cobertura. Com isto, evita-se o uso de vigas de transição, que encarecem a estrutura”.

De fato, a viga V302 (viga de transição responsável por apoiar o pilar P18) apresentou um acréscimo de 2 barras de 10 mm em relação a concepção mal otimizada (o que representou uma diferença de 4,07 kg de aço). Em contrapartida, o fato do pilar P18 só ter dois lances, enquanto o pilar P10 tem 4 lances, resultou em uma economia de 15,54 kg de aço. Além disso, a economia de concreto do pilar P18 em relação ao P10 foi de 0,23 m³.

7 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Tabela 2 – Resumo de materiais (concepção otimizada)

Resumo de materiais																	
Bitola	3.2	4.2	5	6.3	8	10	12.5	16	20	22	25	32	40	Aço	Concreto	Forma	Área
-	kgf	kgf	kgf	kgf	kgf	kgf	kgf	kgf	m3	m2	m2						
Piso 4: CAIXA DAGUA	-	-	13	34	4	28	-	-	-	-	-	-	-	79	1.01	11.87	6.22
Piso 3: PLATIBANDA	-	-	74	4	58	76	11	-	-	-	-	-	-	223	3.53	54.09	9.06
Piso 2: 1 PAVIMENTO	-	-	162	107	32	307	30	54	-	-	-	-	-	692	9.61	131.60	27.46
Piso 1: TERREO	-	-	307	467	12	493	79	49	-	-	-	-	-	1407	23.27	235.46	114.73
Piso 0: BALDRAME	-	-	69	-	67	90	-	-	-	-	-	-	-	226	3.90	53.81	12.71
Cortinas	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.00
Totais	-	-	625	612	173	994	120	103	-	-	-	-	-	2627	41.32	486.83	170.18

Fonte: TQS (2024)

Ao todo na estrutura otimizada foram necessários 2627 kg de aço e 41,32 m³ de concreto (vide tabela 2). O pavimento onde o consumo destes materiais é maior é o térreo, que representa 53,56% do consumo de aço e 56,32% do volume de concreto da estrutura otimizada.

Tabela 3 – Resumo de materiais (concepção mal otimizada)

Resumo de materiais																	
Bitola	3.2	4.2	5	6.3	8	10	12.5	16	20	22	25	32	40	Aço	Concreto	Forma	Área
-	kgf	kgf	kgf	kgf	kgf	kgf	kgf	kgf	kgf	kgf	kgf	kgf	kgf	kgf	m3	m2	m2
Piso 4: CAIXA DAGUA	-	-	13	34	4	18	-	-	-	-	-	-	-	69	1.02	11.93	6.20
Piso 3: PLATIBANDA	-	-	78	3	54	85	-	-	15	-	-	-	-	235	3.62	54.47	9.12
Piso 2: 1 PAVIMENTO	-	-	301	121	63	562	194	36	39	-	-	-	-	1316	12.57	164.01	28.86
Piso 1: TERREO	-	-	288	733	60	493	178	120	155	-	-	-	-	2027	24.18	246.24	114.77
Piso 0: BALDRAME	-	-	59	-	76	69	-	-	-	-	-	-	-	204	3.59	49.52	11.67
Cortinas	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.00
Totais	-	-	739	891	257	1227	372	156	209	-	-	-	-	3851	44.98	526.17	170.63

Fonte: TQS (2024)

Já na estrutura mal otimizada o consumo de aço foi de 3851 kg e o volume de concreto totalizou 44,98 m³ (vide tabela 3). Assim como na outra, a estrutura mal otimizada teve o maior consumo de aço e concreto no pavimento térreo. Este

pavimento representa 52,63% do consumo de aço e 53,76% do volume de concreto da estrutura.

Comparando os resultados das duas estruturas nota-se que na concepção estrutural otimizada foi possível economizar mais de 1 tonelada de aço e também mais de 3 m³ de concreto.

7.1 Consumo de aço em cada elemento estrutural

7.1.1 Pilares

Tabela 4 – Consumo de aço de pilares em cada pavimento

Pavimento	Concepção otimizada	Concepção mal otimizada
Caixa d'água	0 kg	0 kg
Platibanda	101 kg	107 kg
1º pavimento	218 kg	326 kg
Térreo	313 kg	568 kg
Baldrame	0 kg	0 kg

Fonte: Autor (2024)

Ao todo a concepção estrutural otimizada necessitou de 632 kg de aço em seus pilares, enquanto a concepção estrutural mal otimizada necessitou de 1000 kg.

O pavimento com a maior diferença foi o térreo, onde se constata que a concepção mal otimizada necessitou de 255 kg a mais de aço.

7.1.2 Vigas

Tabela 5 – Consumo de aço de vigas em cada pavimento

Pavimento	Concepção otimizada	Concepção mal otimizada
Caixa d'água	41 kg	31 kg
Platibanda	122 kg	128 kg
1º pavimento	363 kg	892 kg
Térreo	544 kg	680 kg
Baldrame	226 kg	204 kg

Fonte: Autor (2024)

Nas vigas, a concepção estrutural otimizada totalizou 1296 kg de consumo de aço. Já a concepção mal otimizada o consumo de aço chegou a 1731 kg. Representando uma diferença de 435 kg entre as duas concepções.

Pode-se notar que a maior discrepância foi nas vigas do 1º pavimento, onde a concepção otimizada economizou 529 kg de aço.

7.1.3 Lajes

Tabela 6 – Consumo de aço de lajes em cada pavimento

Pavimento	Concepção otimizada	Concepção mal otimizada
Caixa d'água	38 kg	38 kg
Platibanda	0 kg	0 kg
1º pavimento	111 kg	98 kg
Térreo	550 kg	779 kg
Baldrame	0 kg	0 kg

Fonte: Autor (2024)

Nas lajes, pode-se notar uma economia de 216 kg de aço na estrutura otimizada em comparação a estrutura mal otimizada. No total aquela necessitou de 699 kg, enquanto essa necessitou de 915 kg.

O térreo é o pavimento onde se nota a maior economia, visto que a estrutura otimizada economiza 229 kg de aço.

7.2 Consumo de concreto em cada elemento estrutural

7.2.1 Pilares

Tabela 7 – Consumo de concreto de pilares em cada pavimento

Pavimento	Concepção otimizada	Concepção mal otimizada
Caixa d'água	0,08 m ³	0,11 m ³
Platibanda	1,01 m ³	1,1 m ³
1º pavimento	2,43 m ³	2,8 m ³
Térreo	2,54 m ³	3,02m ³
Baldrame	0 m ³	0 m ³

Fonte: Autor (2024)

O volume de concreto empregado nos pilares da concepção estrutural otimizado foi de 6,06 m³, enquanto na estrutura mal otimizada foi de 7,03 m³. Ou seja, a estrutura otimizada economizou quase 1 m³ de concreto.

Dentre os pavimentos do duplex, aquele que apresentou a maior economia foi o térreo, onde se nota uma economia de aproximadamente 0,5 m³.

7.2.2 Vigas

Tabela 8 – Consumo de concreto de vigas em cada pavimento

Pavimento	Concepção otimizada	Concepção mal otimizada
Caixa d'água	0,48 m ³	0,46 m ³
Platibanda	2,52 m ³	2,52 m ³
1º pavimento	5,97 m ³	8,56 m ³
Térreo	8,54 m ³	9,02 m ³
Baldrame	3,9 m ³	3,59 m ³

Fonte: Autor (2024)

Nas vigas, o volume de concreto na concepção estrutural otimizada totalizou 21,41 m³. Já a concepção mal otimizada esse valor chegou a 24,15m³. Representando uma diferença de 2,74 m³ entre as duas concepções.

Pode-se notar que a maior discrepância foi nas vigas do 1º pavimento, onde a concepção otimizada economizou 2,59 m³ de concreto.

7.2.3 Lajes

Tabela 9 – Consumo de concreto de lajes em cada pavimento

Pavimento	Concepção otimizada	Concepção mal otimizada
Caixa d'água	0,45 m ³	0,45 m ³
Platibanda	0 m ³	0 m ³
1º pavimento	1,21 m ³	1,21 m ³
Térreo	10,7 m ³	10,7 m ³
Baldrame	0 m ³	0 m ³

Fonte: Autor (2024)

O volume de concreto usado nas duas concepções foi idêntico, pois os ambientes que necessitavam de lajes eram os mesmos, bem como a espessura das lajes são iguais em ambas as estruturas.

Devido a maior quantidade de ambientes do térreo em relação aos outros pavimentos e a necessidade destes ambientes disporem de lajes para o acesso dos moradores, é compreensível que este pavimento tenha o maior consumo de concreto dentre todos os pavimentos do duplex.

8 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A luz das análise e resultados apresentados foi possível verificar que uma concepção estrutural onde não há uma preocupação em implementar as melhores soluções resultará em um maior consumo de concreto e aço. Assim como foi estabelecido no objetivo geral deste trabalho.

Um dos objetivos específicos foi modelar duas estruturas (denominadas “otimizada” e “mal otimizada”), isso foi feito através do software TQS e também através dos parâmetros comuns as duas estruturas que foram definidos no item 5. Graças a esses parâmetros a comparação dos resultados se tornou possível, já que ambas estavam sujeitas as mesmas condições, sendo a única variável as soluções estruturais adotadas em cada uma delas.

O segundo objetivo específico definido foi a análise das diferentes soluções estruturais nas concepções. Essa análise foi realizada com as ferramentas de análise estrutural presentes no software TQS e também com as recomendações apresentadas nos livros “A concepção estrutural e a arquitetura” e “Fundamentos do concreto e projeto de edifícios” nos capítulos 5 e 4, respectivamente. De acordo com as análises feitas constatou-se que as soluções adotadas na concepção estrutural otimizada eram melhores em comparação com a concepção mal otimizada

O último objetivo específico estabelecido foi comparar o consumo de aço e concreto das duas concepções estruturais. Nesse comparativo constatou-se que o consumo desses materiais na concepção mal otimizada foram significativamente maiores, e que graças as soluções adotadas na concepção estrutural otimizada teve-se uma economia de mais de 1000 kg de aço e mais 3 m³ de concreto.

Uma das limitações enfrentadas nesse trabalho foi a impossibilidade de ser feita uma análise que levasse em consideração os elementos de fundação, visto que o dimensionamento de fundações leva em consideração vários fatores. Fatores esses que não puderam ser estabelecidos neste trabalho.

A arquitetura foi outra limitação enfrentada, pois os resultados aqui apresentados são validos apenas para o projeto arquitetônico que foi escolhido como base para o desenvolvimento das concepções analisadas. Caso a mesma análise fosse realizada usando como base outro projeto arquitetônico (por exemplo de um prédio ou até mesmo outro duplex) os resultados obtidos poderiam ser bem diferentes dos que foram obtidos neste trabalho.

Como já foi dito anteriormente, um mesmo projeto arquitetônico pode resultar em diversas concepções estruturais diferentes, a depender do engenheiro civil que se responsabilizará pela elaboração do projeto estrutural. Neste trabalho foram exploradas apenas duas, das infinitas possibilidades para o projeto arquitetônico escolhido.

Dada as limitações, o que se sugere é que as mesmas análises feitas neste trabalho sejam feitas a partir de outro projeto arquitetônico, podendo este ser de outro duplex, ou edifícios de múltiplos pavimentos (residenciais ou comerciais).

Também é possível fazer outras concepções estruturais a partir do mesmo duplex que serviu de base para o desenvolvimento das concepções estruturais deste trabalho. Pois não foi possível, em um único trabalho, esgotar todas as possibilidades de soluções estruturais proporcionadas pela arquitetura.

É possível também fazer outra análise desse ou de outro projeto arquitetônico, desta vez fazendo o dimensionamento das fundações juntamente com o restante da estrutura.

Diante de tudo o que foi exposto é notória a importância da preocupação do profissional da engenharia civil em pensar e aplicar sempre as melhores soluções para os problemas que a ele são apresentados. A concepção estrutural é a fase de um projeto estrutural onde o engenheiro civil poderá propor as melhores soluções para as necessidades particulares de cada projeto, soluções essa que pode viabilizar ou inviabilizar todo um empreendimento.

REFERÊNCIAS

ARAÚJO, José Milton de. **Curso de concreto armado**. Rio Grande: Dunas, 2010. v.1.

ARAÚJO, José Milton de. **Curso de concreto armado**. Rio Grande: Dunas, 2010. v.2.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6118: Projeto de estruturas de concreto – Procedimento**. Rio de Janeiro, 2023.

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

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6123: Forças devidas ao vento em edificações**. Rio de Janeiro, 2023.

BARFKNECHT, Matheus Menin. **Análise da influência da concepção estrutural no custo de uma edificação**. 2020. Monografia (Bacharelado em Engenharia Civil) – Universidade de Caxias do Sul, Caxias do Sul, 2020.

BEER, Ferdinand P. et al. **Mecânica dos materiais**. Tradução de José Benaque Rubert. 7.ed. Porto Alegre: AMGH, 2015.

CARVALHO, Roberto Chust; FIGUEIREDO FILHO, Jasson Rodrigues de. **Cálculo e detalhamento de estruturas usuais de concreto armado**. São Carlos: EDUFSCAR, 2014.

CARVALHO, Roberto Chust; PINHEIRO, Libânia Miranda. **Cálculo e detalhamento de estruturas usuais de concreto armado**. São Paulo: Pini, 2009. V.2

CLÍMACO, João Carlos Teatini de Souza. **Estruturas de concreto armado: fundamentos de projeto, dimensionamento e verificação**. 2. ed. Brasília: Editora Universidade de Brasília, 2008.

HIBBEKER, Russell Charles. **Resistência dos materiais**. Tradução de Arlete Simille Marques. Revisão técnica de Sebastião Simões da Cunha Jr. 7. ed. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2010.

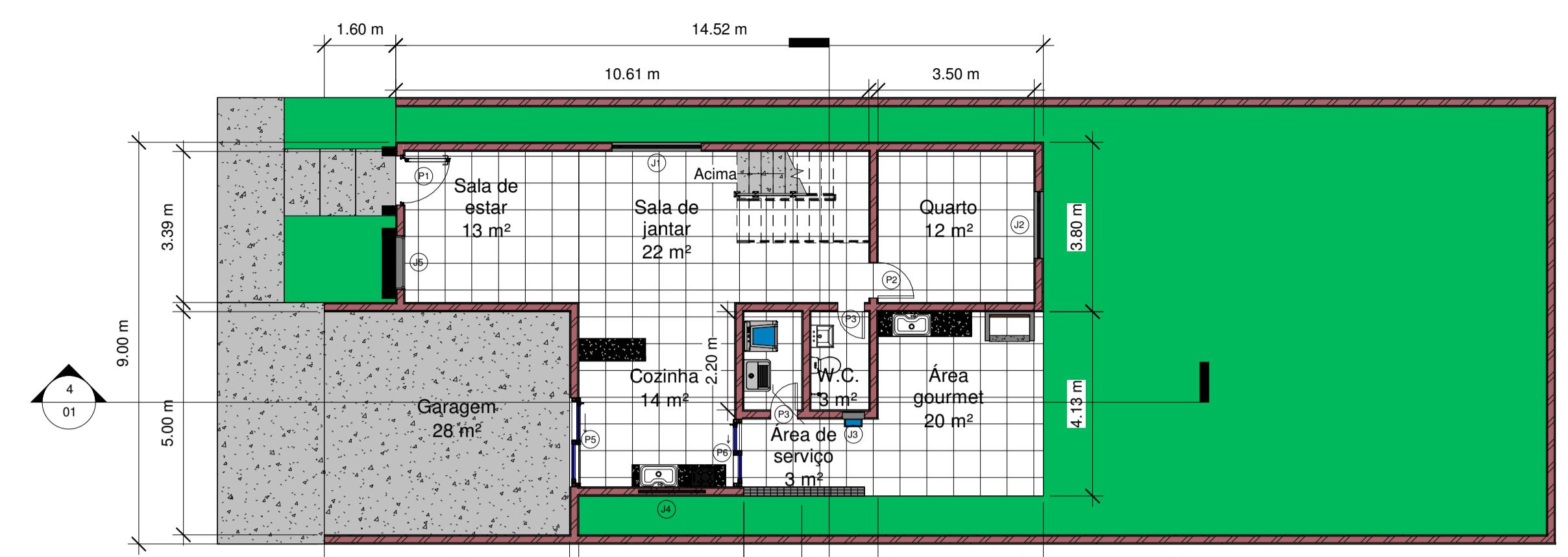
LEONHARDT, Fritz; MÖNNING, Eduard. **Construções de concreto: princípios básicos do dimensionamento de estruturas de concreto armado**. Tradução de David Fridman. Revisão técnica de João Luís Escosteguy Merino e Pedro Paulo Sayão Barreto. Rio de Janeiro: Interciência, 2008. v.1

PINHEIRO, Libânia M. et al. **Fundamentos do concreto e projeto de edifícios**. USP escola de engenharia de São Carlos. Disponível em: <https://arquitetonica.files.wordpress.com/2011/11/fundamentos-do-concreto-eesc-usp.pdf>

PORTE, Thiago Bomjardim; FERNANDES, Danielle Stefane Gualberto. **Curso básico de concreto armado:** conforme NBR 6118/2014. São Paulo: Oficina de textos, 2015

REBELLO, Yopanan Conrado Pereira. **A concepção estrutural e a Arquitetura.** São Paulo: Zigurate editora, 2000.

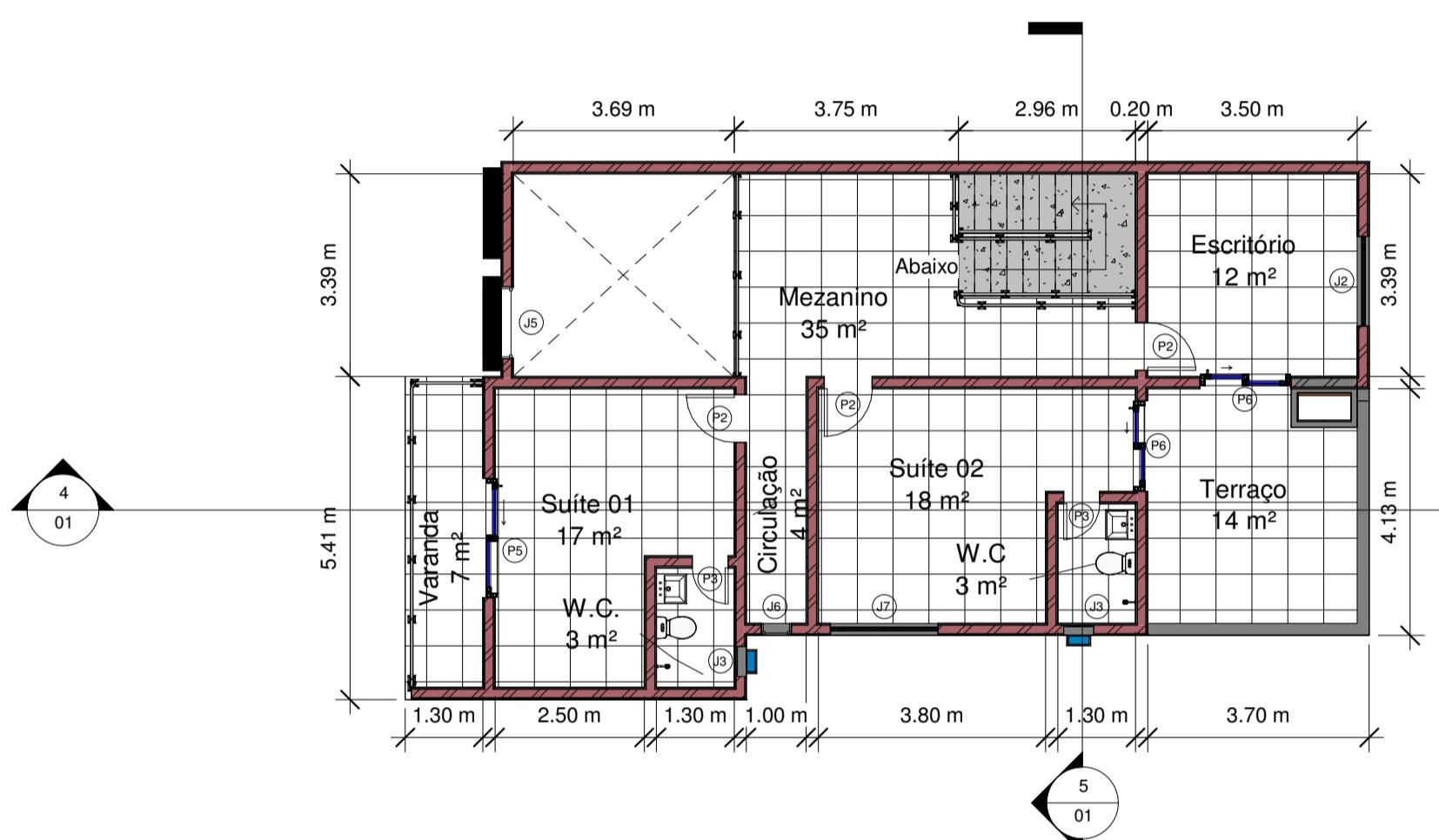
SANTOS, José Sérgio dos. **Desconstruindo o projeto estrutural de edifícios:** concreto armado e protendido. São Paulo: Oficina de textos, 2017.



1 Térreo

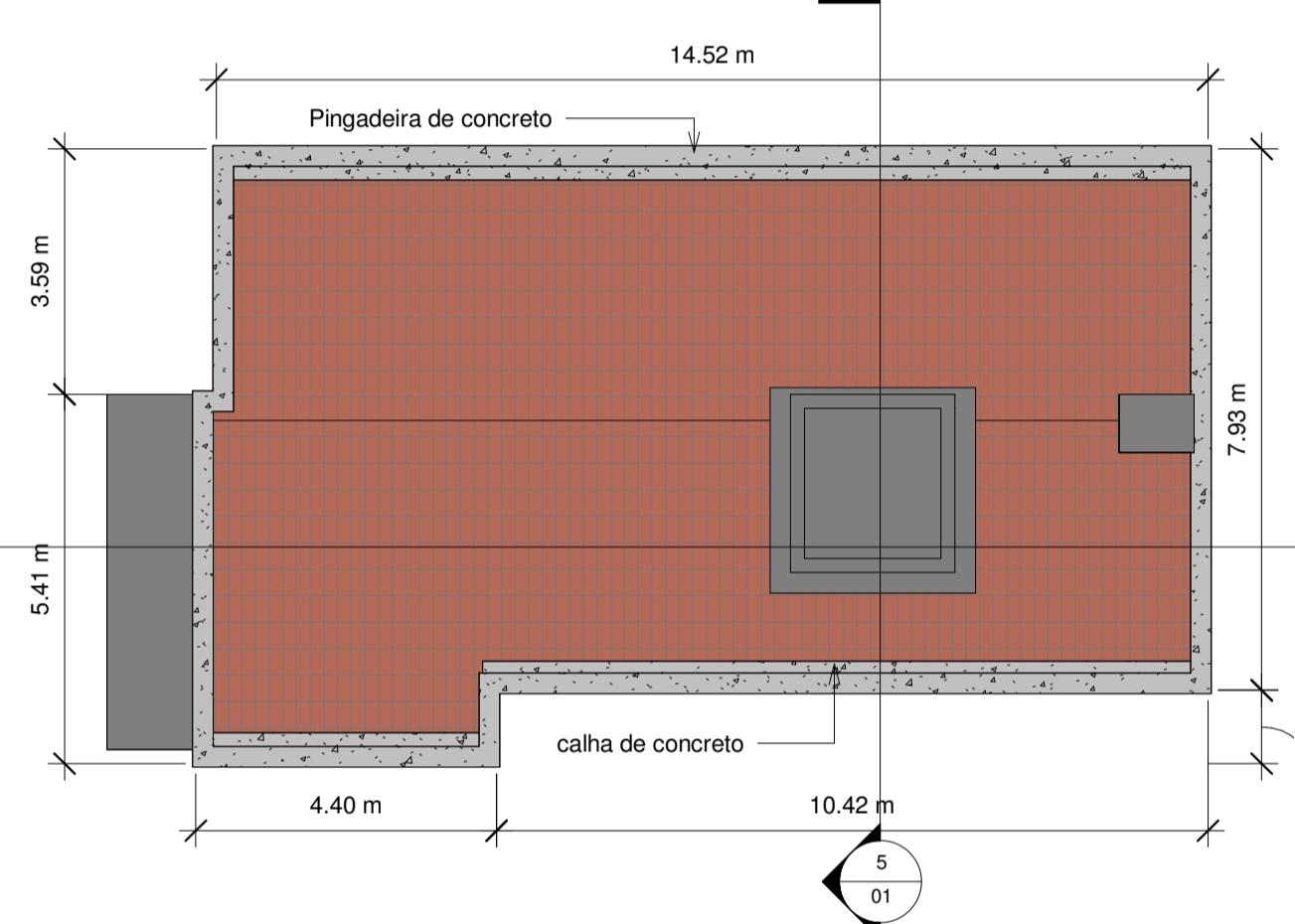
1 : 100

Tabela de porta				
Marca de tipo	Contagem	Comentários de tipos	Altura	Largura
P1	1	porta de giro de alumínio	2.19 m	1.10 m
P2	4	porta de giro de madeira	2.10 m	0.80 m
P3	4	porta de giro de madeira	2.10 m	0.60 m
P5	2	porta de correr duas folhas alumínio e vidro	2.10 m	2.00 m
P6	3	porta de correr duas folhas alumínio e vidro	2.10 m	1.52 m



2 1 Pavimento

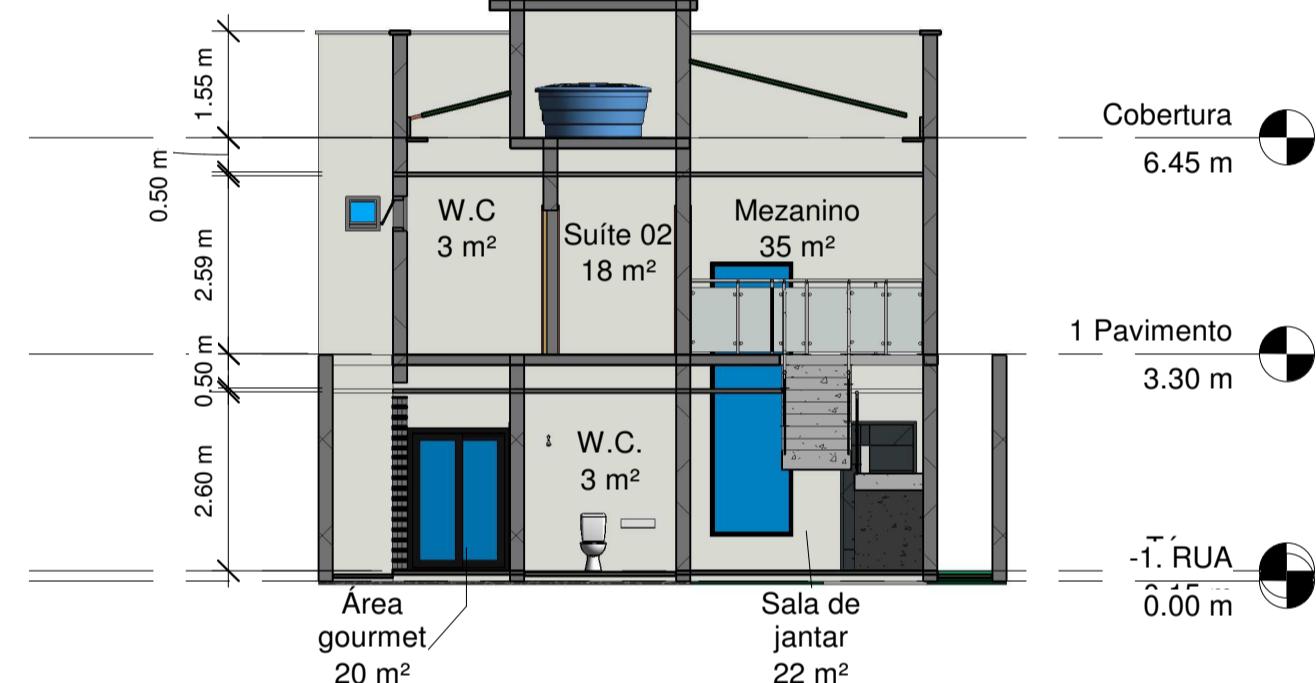
1 : 100



3 Cobertura

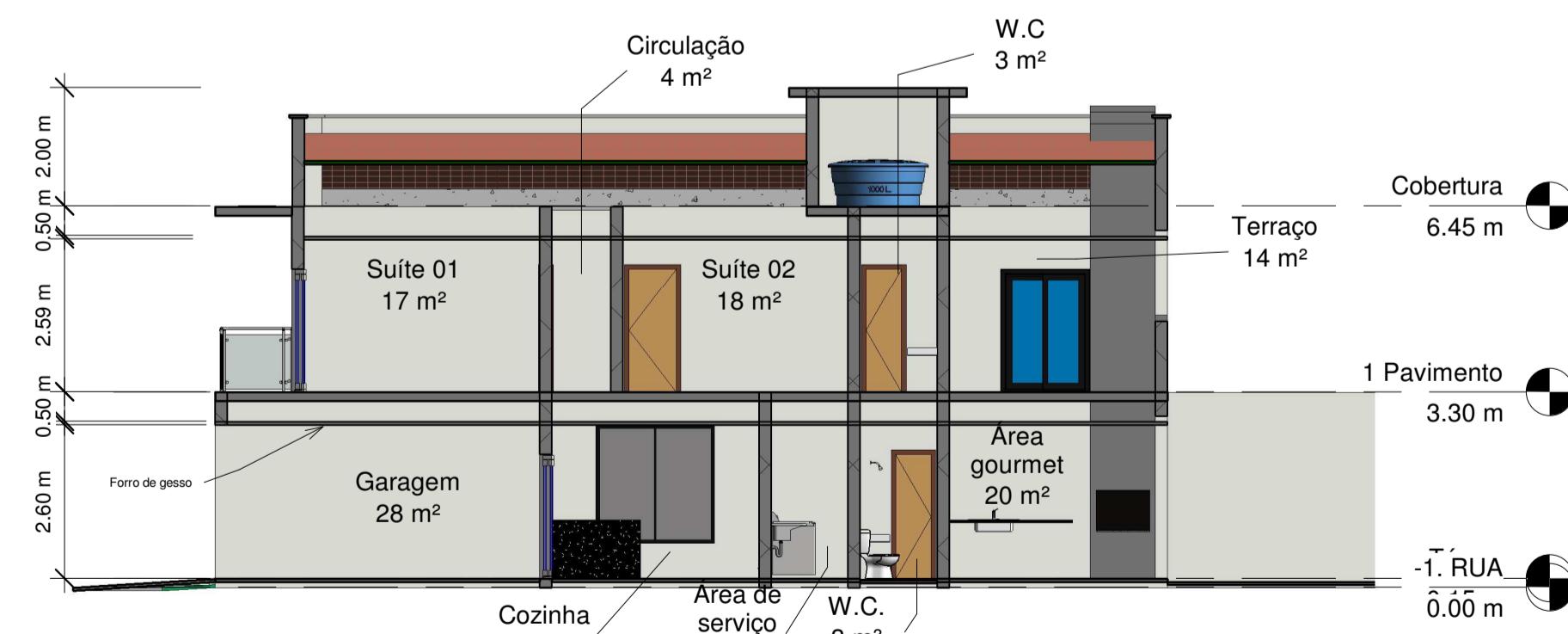
1 : 100

Tabela de janela				
Marca de tipo	Contagem	Comentários de tipos	Altura	Largura
J1	1	janela de correr duas folhas	2.00 m	2.00 m
J2	2	janela de correr duas folhas	1.00 m	1.50 m
J3	3	janela basculante	0.50 m	0.50 m
J4	1	janela de correr duas folhas	0.80 m	1.50 m
J5	1	janela fixa	4.00 m	1.20 m
J6	1	janela fixa	1.50 m	0.50 m
J7	1	janela de correr duas folhas	1.40 m	1.80 m



5 Corte AA

1 : 100



4 Corte BB

1 : 100



6 Vista 3D



Projeto: APÊNDICE A - Projeto arquitetônico sobrado

Descrição:

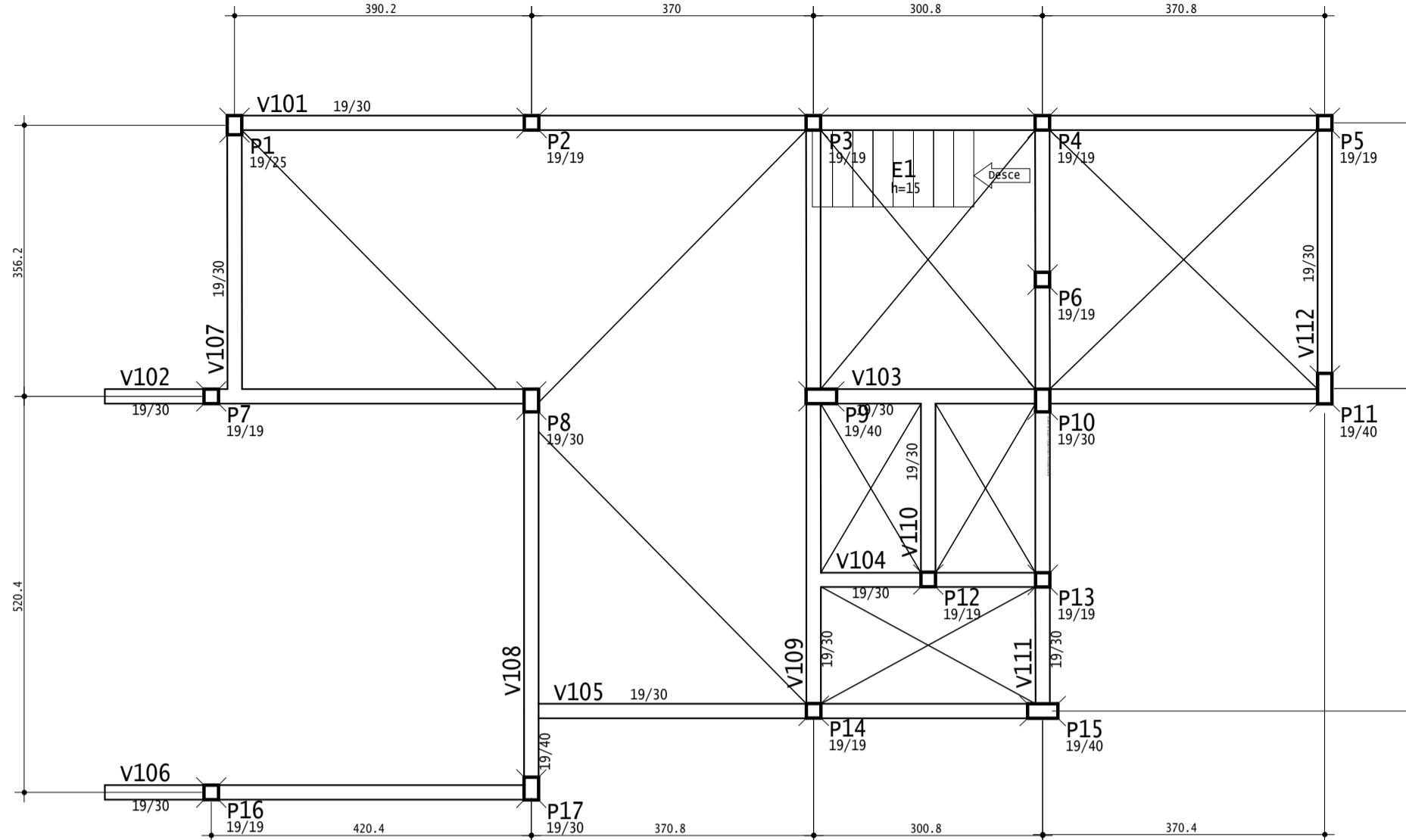
Planta baixa do térreo, 1º pavimento e cobertura Cortes AA e BB

Desenhista:

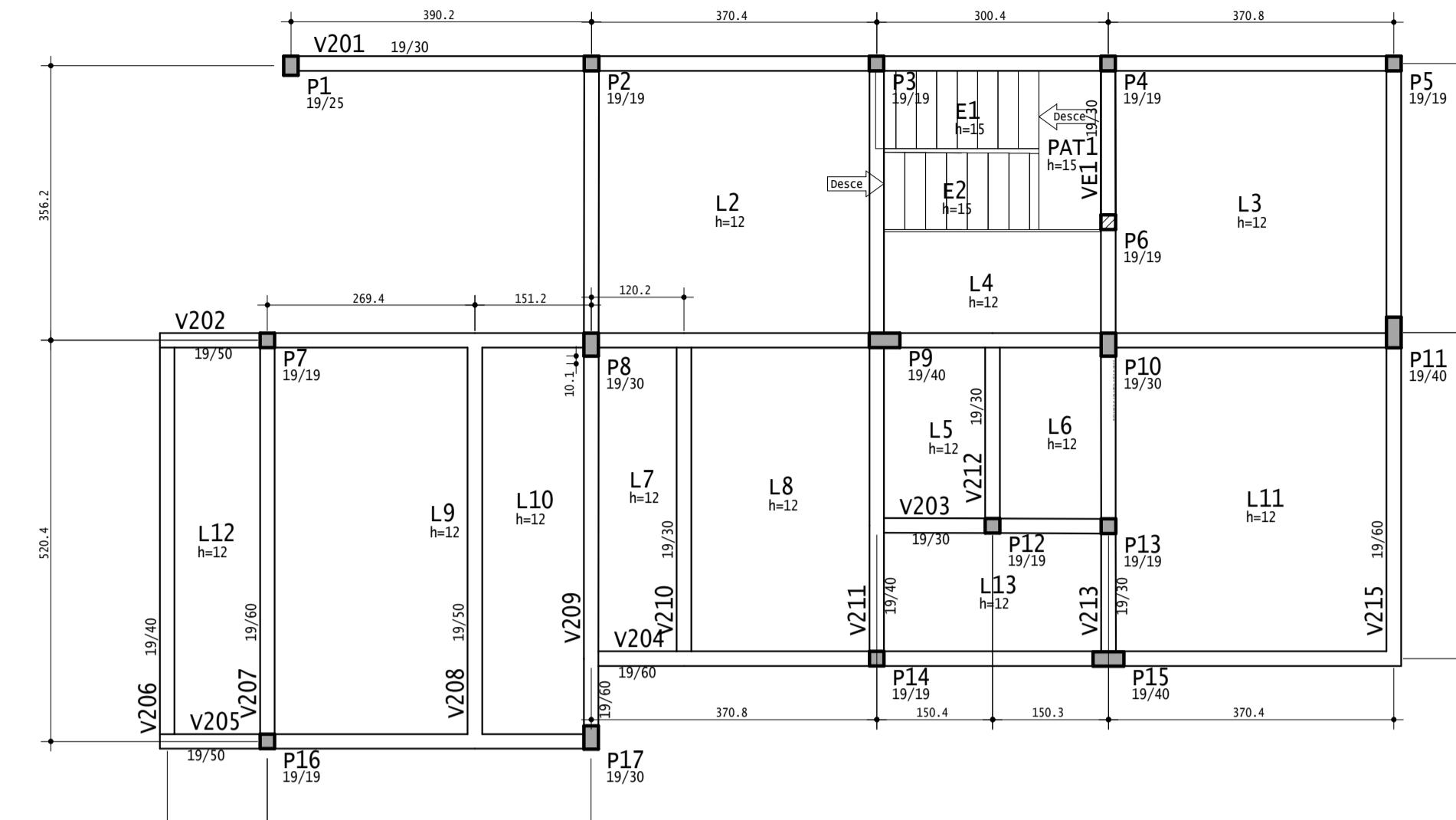
Johan Alexis Silva Carvalho

Data: 22/07/2011 Escala: INDICADA Folha: 01 / 03

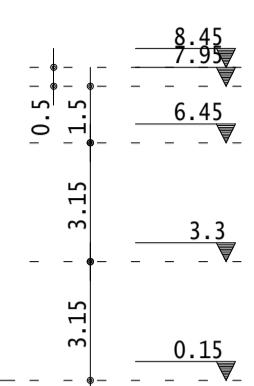
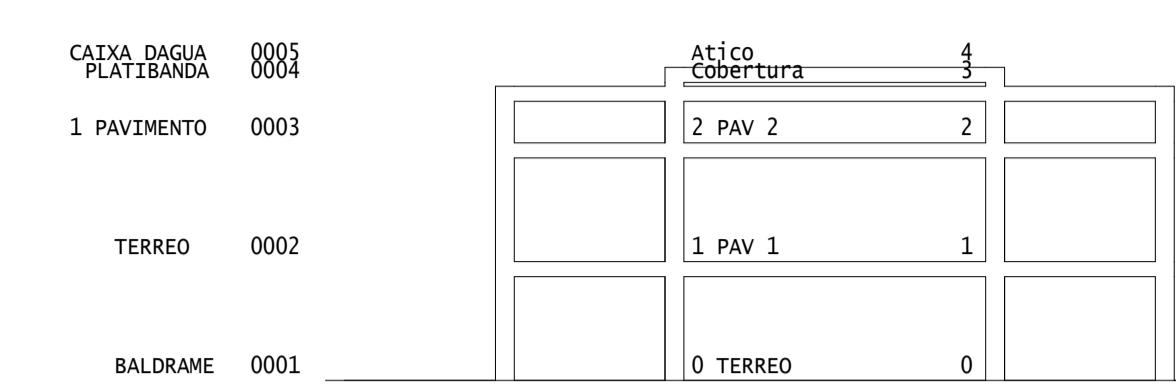
PLANTA DE FORMA - BALDRAME



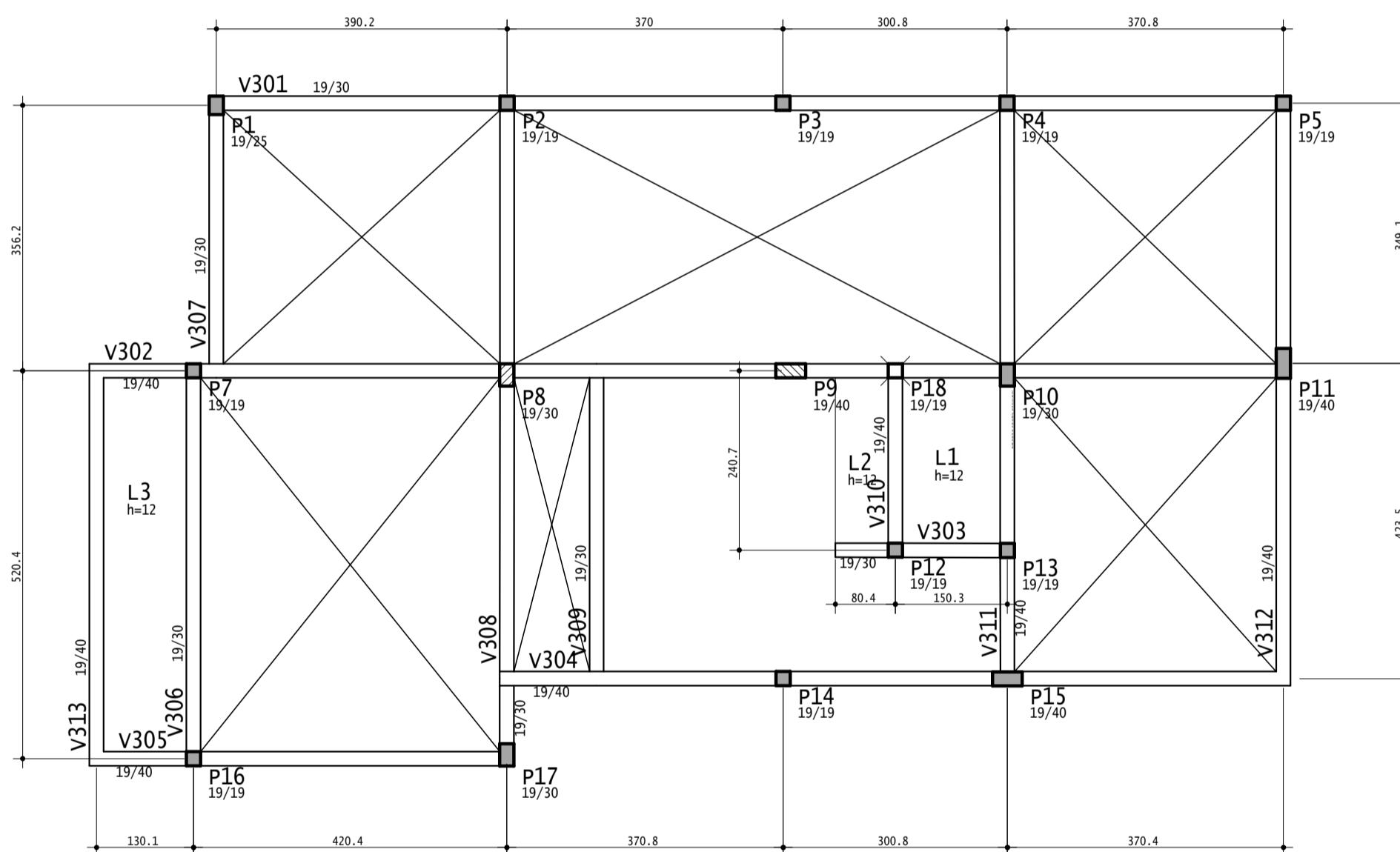
PLANTA DE FORMA - TÉRREO



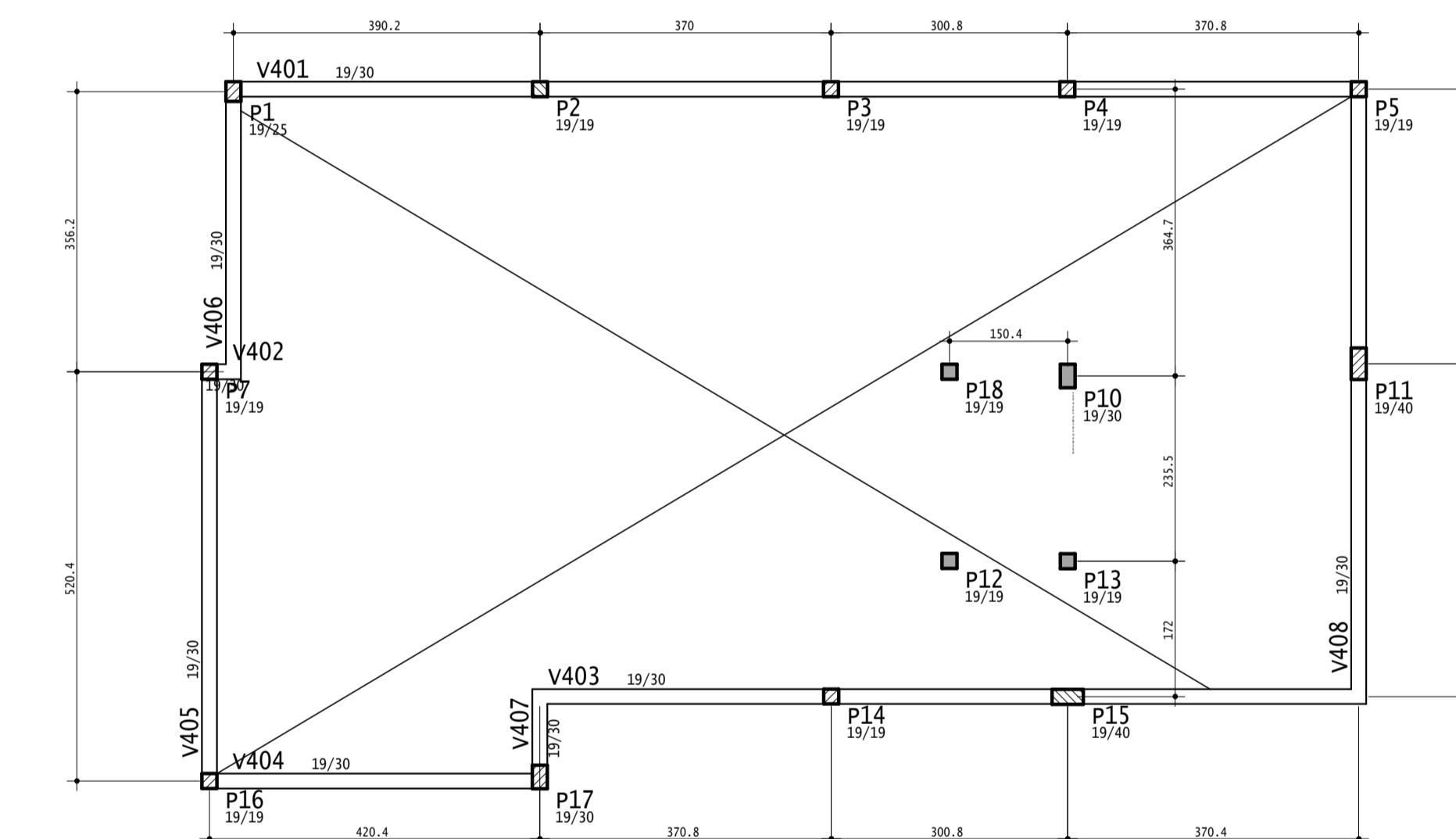
Corte esquemático



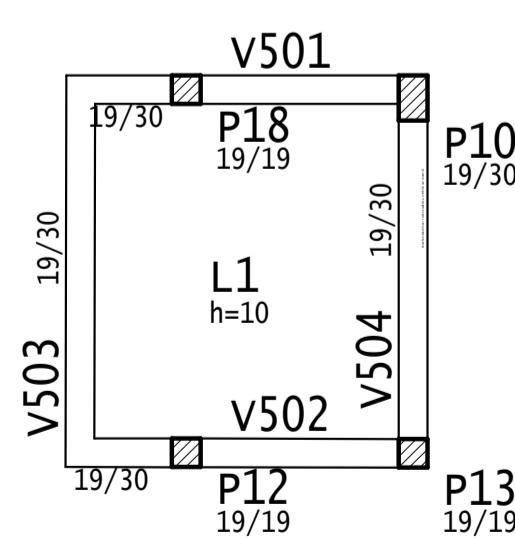
PLANTA DE FORMA - 1º PAVIMENTO



PLANTA DE FORMA - PLATIBANDA



PLANTA DE FORMA - CAIXA D'ÁGUA



Uema

UNIVERSIDADE ESTADUAL

DO MARANHÃO

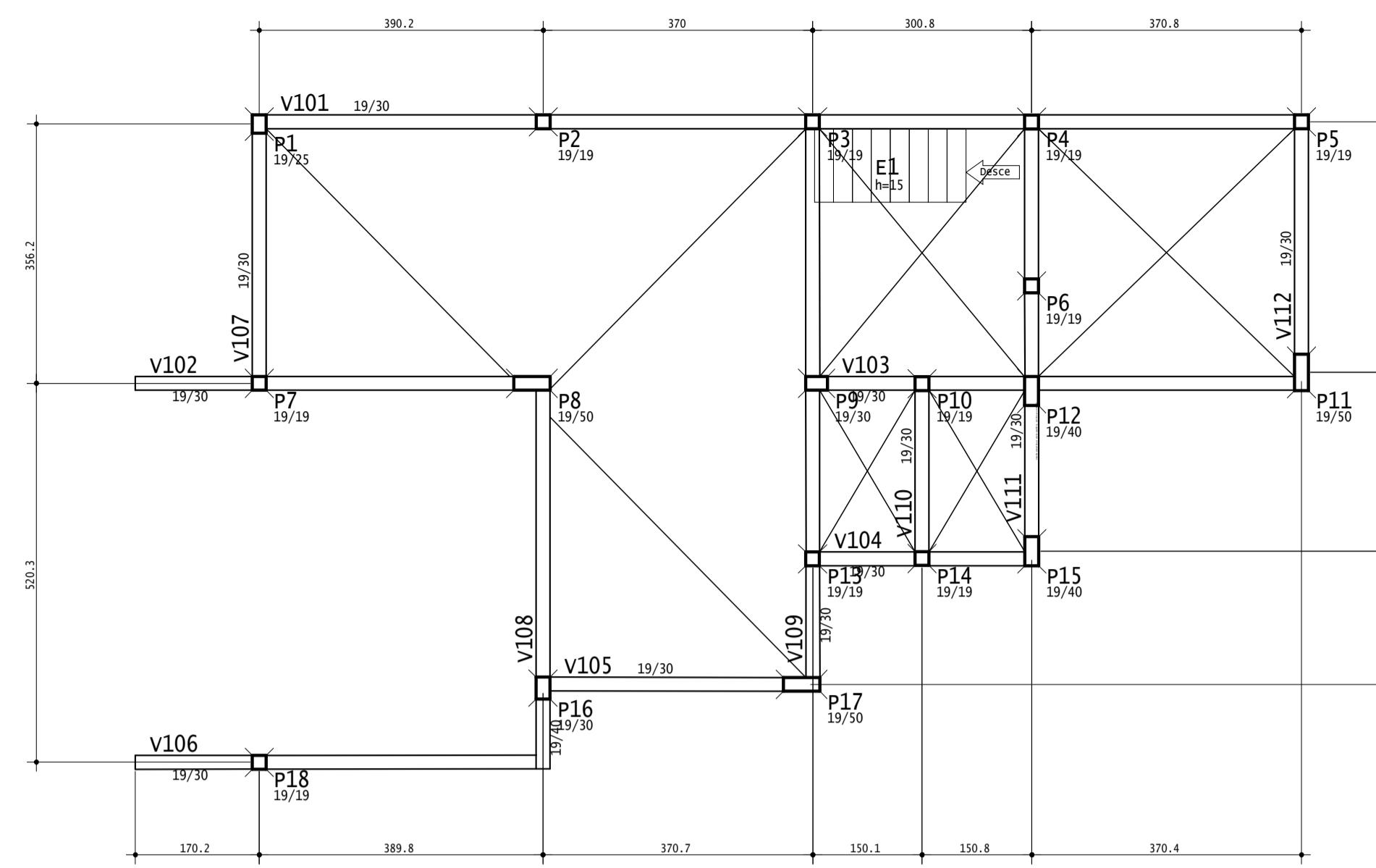
Projeto:
APÊNDICE B - CONCEPÇÃO OTIMIZADA

Descrição:
PLANTA DE FORMA DOS PAVIMENTOS:
BALDRAME, TÉRREO, 1º PAVIMENTO,
PLATIBANDA E CAIXA D'ÁGUA

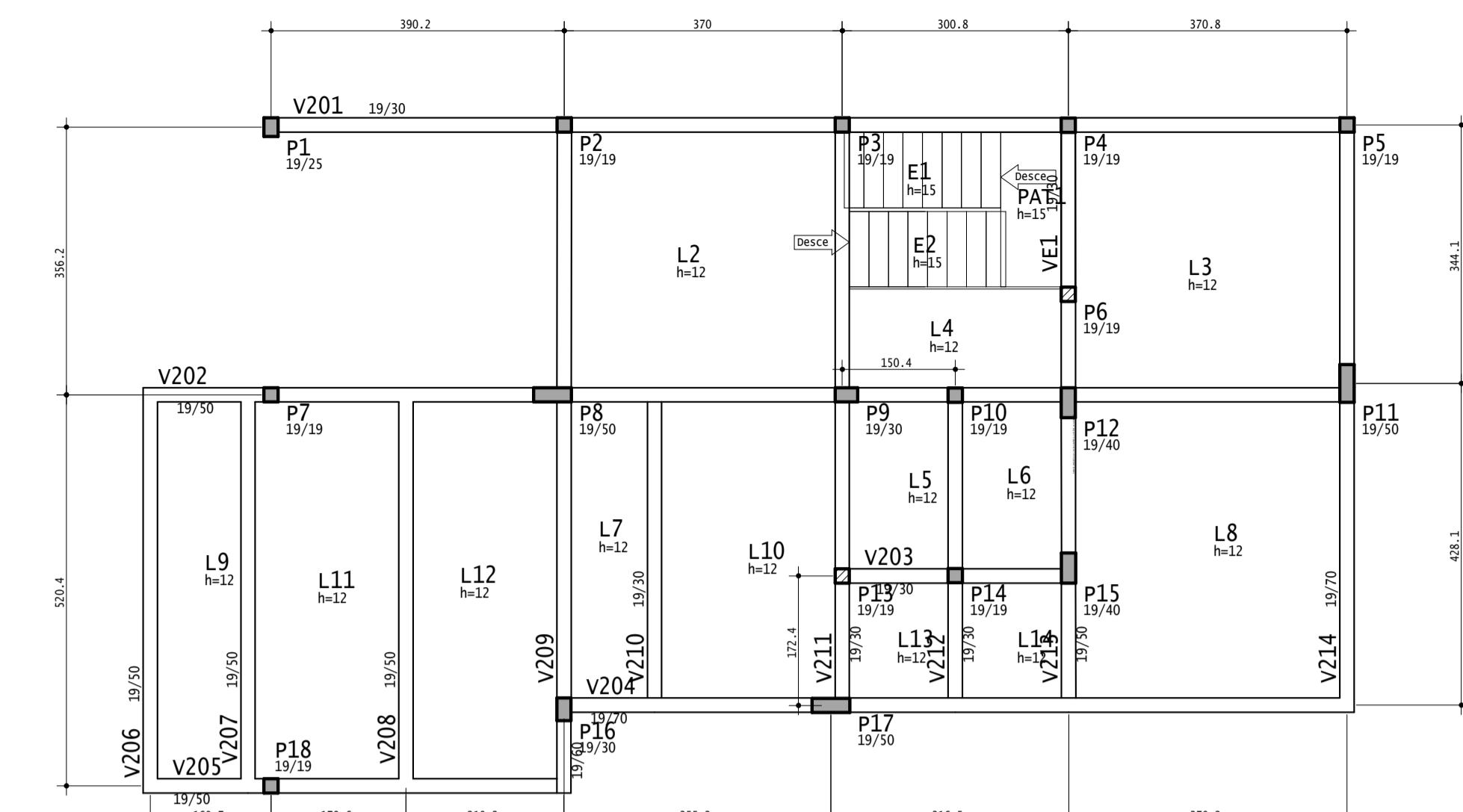
Desenhista:
Johan Alexis Silva Carvalho

Data: 23/07/2024 Escala: 1/75 Fócha: 01/01

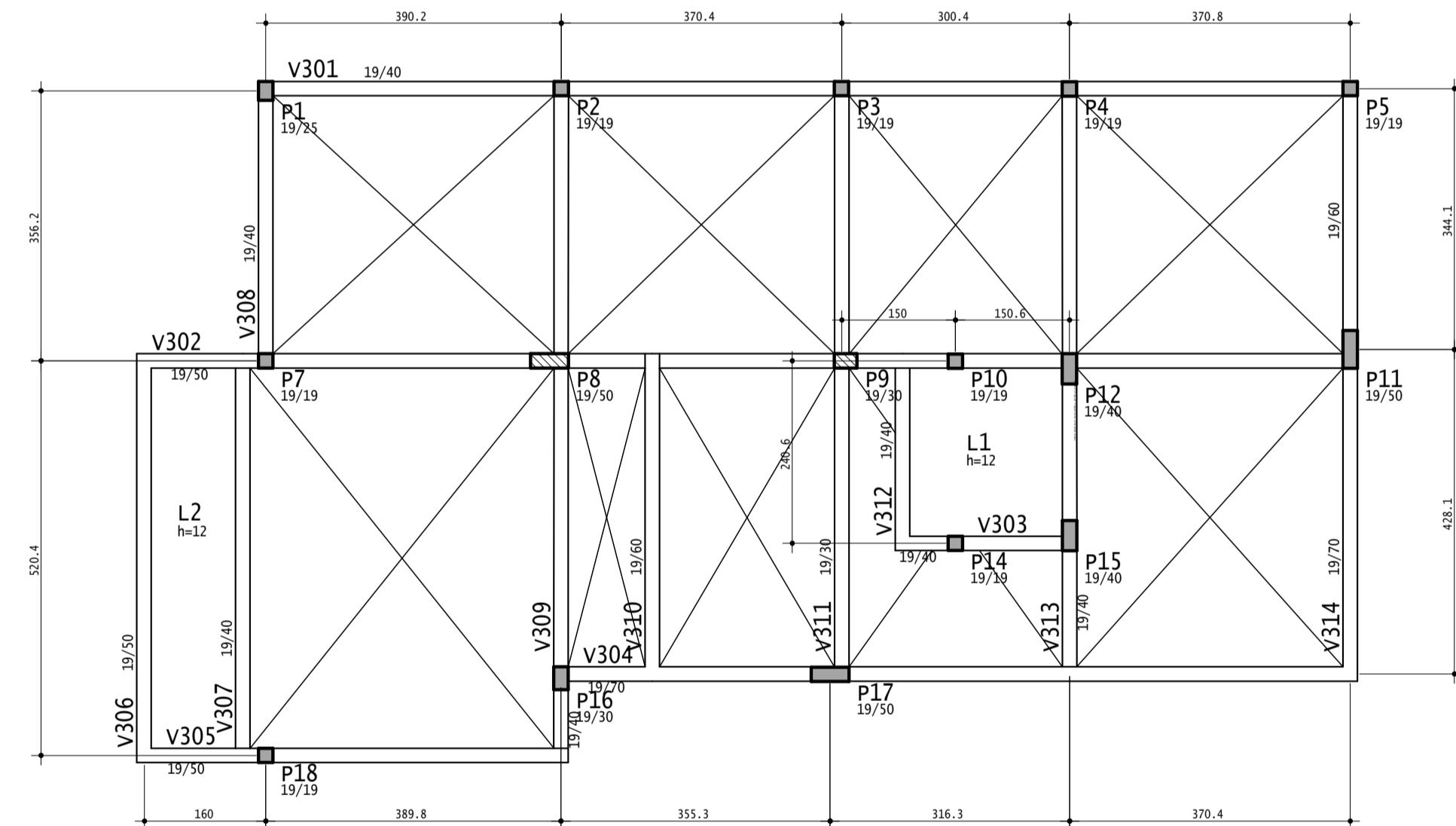
PLANTA DE FORMA – BALDRAME



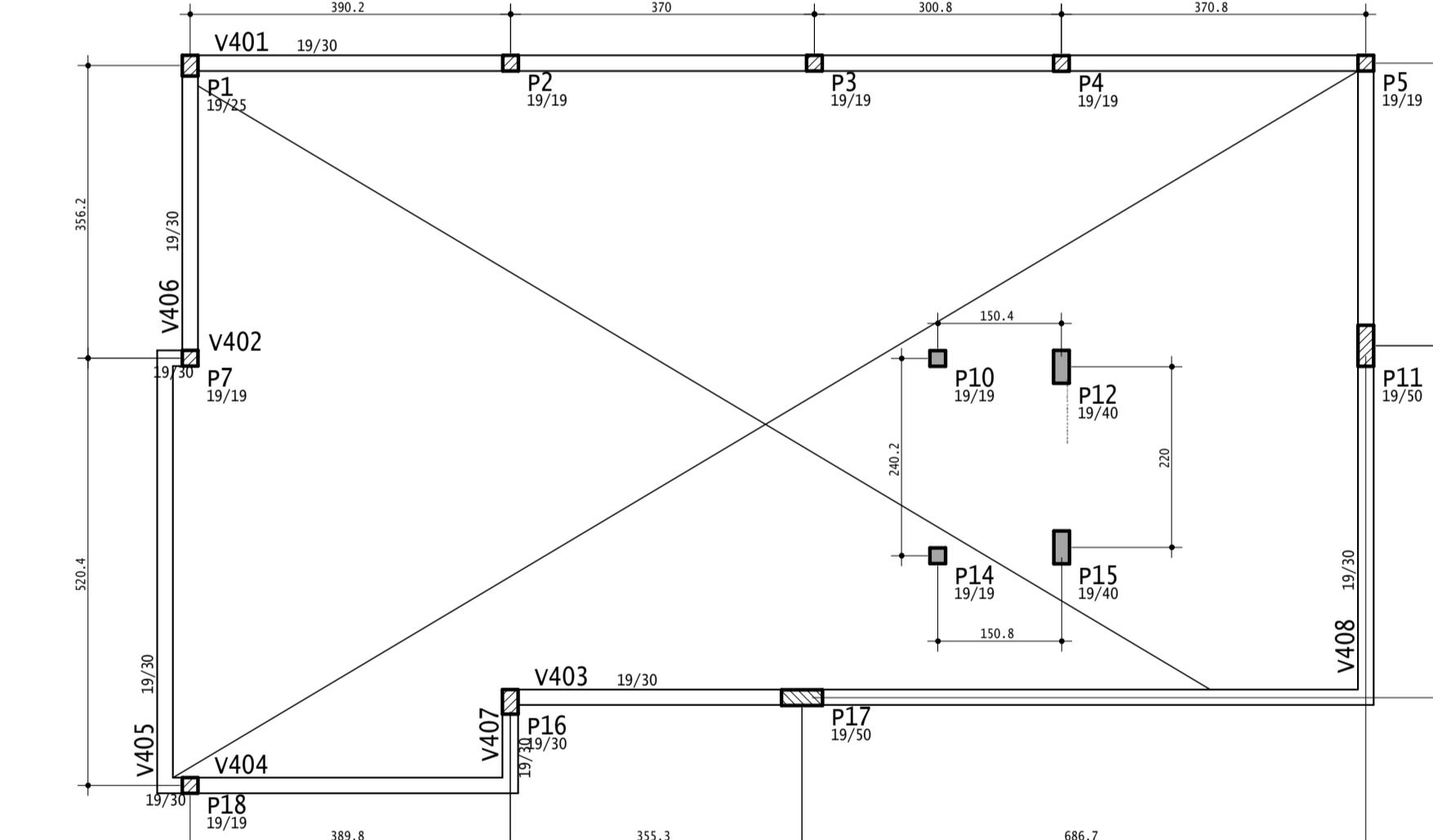
PLANTA DE FORMA - TÉRREO



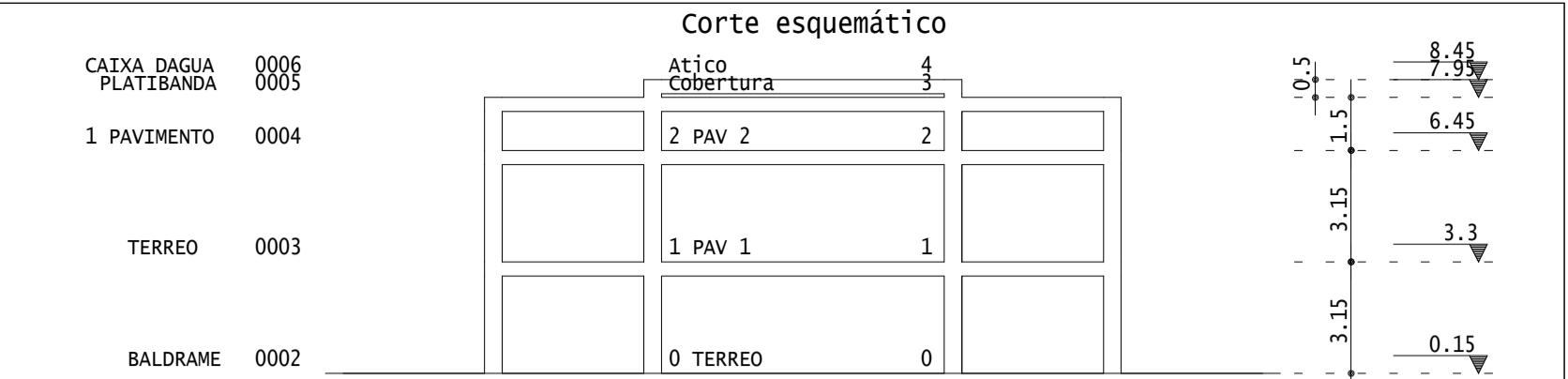
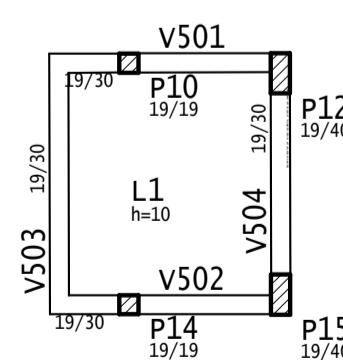
PLANTA DE FORMA - 1º PAVIMENTO



PLANTA DE FORMA – PLATIBANDA



PLANTA DE FORMA - CAIXA D'ÁGUA



UNIVERSIDADE ESTADUAL
DO MARANHÃO

DO MARANHÃO

APÊNDICE C - CONCEPÇÃO MAL OTIMIZADA

descrição:
PLANTA DE FORMA DOS PAVIMENTOS: BALDRAME
TÉRREO, 1º PAVIMENTO, PLATIBANDA,
CAIXA D'ÁGUA

Desenhista:
Johan Alexis Silva Carvalho

Data:	Escala:	Folha:
23/07/2024	1/75	01/01