

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ  
CÂMPUS GUARAPUAVA  
COORDENAÇÃO DE ENGENHARIA CIVIL

**Aline Montanher Polizel**

**ANÁLISE COMPARATIVA DA RELAÇÃO ENTRE A  
CONCEPÇÃO ESTRUTURAL E OS QUANTITATIVOS  
RESULTANTES NO DIMENSIONAMENTO DE  
EDIFICAÇÕES MULTIPAVIMENTOS COM O AUXÍLIO DE  
SISTEMAS COMPUTACIONAIS INTEGRADOS**

Guarapuava  
Novembro 2018

**ALINE MONTANHER POLIZEL**

**ANÁLISE COMPARATIVA DA RELAÇÃO ENTRE A  
CONCEPÇÃO ESTRUTURAL E OS QUANTITATIVOS  
RESULTANTES NO DIMENSIONAMENTO DE  
EDIFICAÇÕES MULTIPAVIMENTOS COM O AUXÍLIO DE  
SISTEMAS COMPUTACIONAIS INTEGRADOS**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à  
Coordenação de Engenharia Civil da Universidade  
Tecnológica Federal do Paraná, Câmpus Guarapuava,  
como parte dos requisitos para obtenção do título de  
Engenheiro Civil.

**Orientador: Prof. Msc. Edson Florentino de Souza**  
**Coorientador: Prof. Msc. Carlos Francisco Pecapedra Souza**

Guarapuava  
Novembro 2018

**ALINE MONTANHER POLIZEL**

**ANÁLISE COMPARATIVA DA RELAÇÃO ENTRE A  
CONCEPÇÃO ESTRUTURAL E OS QUANTITATIVOS  
RESULTANTES NO DIMENSIONAMENTO DE  
EDIFICAÇÕES MULTIPAVIMENTOS COM O AUXÍLIO DE  
SISTEMAS COMPUTACIONAIS INTEGRADOS**

Este Trabalho de Diplomação foi julgado adequado como pré-requisito para a obtenção do título de ENGENHEIRO CIVIL e aprovado em sua forma final pelo/a Professor/a Responsável pela disciplina Trabalho de Conclusão de Curso 2 da Universidade Tecnológica Federal do Paraná.

Guarapuava, novembro de 2018

**BANCA EXAMINADORA**

**Prof. Msc. Edson Florentino de Souza (UTFPR) - Orientador**  
Msc. pela Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho

**Prof. Msc. Carlos Francisco Pecapedra Souza (UTFPR)- Coorientador**  
Msc. pela Universidade Federal de Santa Catarina

**Prof. Dr. Dyorgge Alves Silva (UTFPR)**  
Dr. pela Universidade de Brasília

Dedico este trabalho aos meus pais, Sérgio e Irani,  
e ao meu irmão, Daniel.

## **AGRADECIMENTOS**

Meus sinceros agradecimentos:

A Deus, por sempre me proteger, me iluminar e me guiar em todos os momentos de minha vida.

Aos meus pais, Sérgio Luiz Polizel e Irani Cristina Montanher Polizel, por me proporcionarem a maior herança de todas: a educação. Não existem palavras para agradecer todo o apoio, carinho e amor que sempre me deram. Sem vocês eu não seria nada.

Ao meu irmão, Daniel Montanher Polizel, por toda inspiração, companheirismo, amizade e conselhos.

Ao meu namorado, Victor Henrique Javara, que esteve comigo em todos os momentos ao longo desta jornada, comemorando os bons e me levantando nos ruins, obrigada por todo carinho e amor.

Aos meus tios e primos que sempre me mostraram a força da união. Em especial, a minha prima, Silvia Palotti Polizel, por estar sempre ao meu lado, me enchendo de alegria e motivação.

As minhas amigas da faculdade, Fernanda Horst Andrade e Isabela dos Santos Custódio de Souza, por estarem sempre ao meu lado, dividindo momentos de angústia, raiva, felicidade, conquistas e muitas, muitas risadas. Sem elas, esta etapa da minha vida não seria tão especial.

As minhas amigas de Birigui, Beatriz, Ingrid e Giovana, que mesmo com a distância neste período estiveram ao meu lado.

A Universidade Tecnológica Federal do Paraná pela formação profissional e a concessão da bolsa auxílio.

A Tecnobens Construções e Incorporações SA pela disponibilização do projeto arquitetônico.

Ao meu orientador, Edson Florentino de Souza, e meu coorientador, Carlos Francisco Pecapedra Souza, pelos ensinamentos e paciência ao longo deste período de conclusão de curso.

A professora responsável pelo Trabalho de Conclusão de Curso 1, Mariane Kempka, pelo empenho, incentivo e paciência, que tornaram possível a elaboração deste trabalho.

Enfim, a todos que, direta ou indiretamente, me auxiliaram a tornar este trabalho exequível.

O meu muito obrigada!!

O saber a gente aprende com os mestres e os livros. A  
sabedoria, se aprende é com a vida e com os humildes

*Cora Coralina*

## RESUMO

O presente trabalho teve por finalidade a análise da relação entre quantitativos de concreto, aço e formas empregando quatro concepções estruturais em dois estudos de caso. Para isso, adotou-se um range entre as concepções partindo de um pressuposto de um número mínimo de pilares na estrutura, ou seja, um número máximo de vigas apoiadas em outras vigas, garantindo, ainda, estabilidade para a estrutura; e finalizando numa concepção cuja todas vigas tiveram pilares como apoio. O dimensionamento final e o levantamento de quantitativos, de ambos estudos de caso, foi realizado com o auxílio do *software* computacional Cypecad. Com os resultados obtidos, pôde-se notar uma significativa redução no consumo de materiais à medida que mais pilares foram inseridos nas edificações dos estudos de caso.

Palavras-chave: Concreto armado. Projeto estrutural. Concepção estrutural. Projeto assistido por computador.



## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Áreas de influência dos pilares.....	23
Figura 2 – Variação do coeficiente gamma z .....	27
Figura 3 – Carregamento axial de um pilar em sua fundação.....	28
Figura 4 – Concepção A: Mínimo de pilares, máximo de vigas apoiadas em vigas.....	32
Figura 5 – Concepção D: Todas as vigas apoiadas em pilares .....	32
Figura 6 - Fluxograma do estudo de caso 1 .....	33
Figura 7 – Fluxograma do estudo de caso 2 .....	33
Figura 8 - Cruzamento de dados dos edifícios nos estudos de caso .....	35
Figura 9 - Consumo de aço e concreto de vigas do estudo de caso 1 .....	37
Figura 10 - Consumo de aço e concreto de pilares do estudo de caso 1 .....	38
Figura 11 - Consumo de aço e concreto das lajes do estudo de caso 1.....	39
Figura 12 - Consumo de aço e concreto total da obra do estudo de caso 1 .....	40
Figura 13 - Consumo de formas do estudo de caso 1 .....	41
Figura 14 - Custos dos materiais da superestrutura do estudo de caso 1 .....	42
Figura 15 - Deformada em relação ao peso próprio da estrutura.....	43
Figura 16 - Deformada em relação as cargas permanentes.....	43
Figura 17 - Deformada em relação as sobrecargas .....	44
Figura 18 - Deformada em relação ao vento na direção X .....	44
Figura 19 - Deformada em relação ao vento na direção Y .....	45
Figura 20 - Consumo de aço e concreto de vigas do estudo de caso 2 .....	46
Figura 21 - Consumo de aço e concreto de pilares do estudo de caso 2.....	47
Figura 22 - Consumo de aço e concreto das lajes do estudo de caso 2.....	48
Figura 23 - Consumo total de aço e concreto da superestrutura do estudo de caso 2.....	49
Figura 24 - Consumo de formas do estudo de caso 2 .....	50
Figura 25 - Custos dos materiais da superestrutura do estudo de caso 2.....	51
Figura 26 - Relação aço/concreto das vigas dos estudos de caso 1 e 2.....	52
Figura 27 - Relação aço/concreto dos pilares dos estudos de caso 1 e 2.....	53
Figura 28 - Relação aço/concreto das lajes dos estudos de caso 1 e 2.....	54
Figura 29 - Relação aço/concreto dos estudos de caso 1 e 2 .....	55
Figura 30 - Índice de formas por m <sup>2</sup> construído dos estudos de caso 1 e 2 .....	56
Figura 31 - Índice de concreto por m <sup>2</sup> construído dos estudos de caso 1 e 2.....	57
Figura 32 - Índice de aço por m <sup>2</sup> construído dos estudos de caso 1 e 2.....	58
Figura 33 - Custo da superestrutura por m <sup>2</sup> construído dos estudos de caso 1 e 2 .....	59

# SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	12
1.1	DELIMITAÇÃO DO TEMA.....	13
1.2	OBJETIVOS DO TRABALHO.....	13
1.2.1	Objetivo principal.....	14
1.2.2	Objetivos secundários.....	14
1.3	JUSTIFICATIVA.....	14
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	16
2.1	ELEMENTOS ESTRUTURAIS.....	16
2.2	ESTADOS LIMITES.....	16
2.3	CONCEPÇÃO ESTRUTURAL.....	17
2.4	CARREGAMENTO DA ESTRUTURA.....	18
2.4.1	Carga permanente.....	19
2.4.2	Carga acidental.....	20
2.5	LANÇAMENTO DOS ELEMENTOS ESTRUTURAIS.....	21
2.6	PRÉ-DIMENSIONAMENTO DAS ESTRUTURAS.....	21
2.6.1	Pré-dimensionamento dos pilares.....	22
2.6.2	Pré-dimensionamento das vigas.....	24
2.6.3	Pré-dimensionamento das lajes maciças.....	25
2.7	AÇÃO DO VENTO NA ESTRUTURA.....	27
2.8	CONSIDERAÇÕES SOBRE O PROGRAMA COMPUTACIONAL CYPECAD.....	28
3	MATERIAIS E MÉTODOS.....	31
3.1	PROJETOS ARQUITETÔNICOS.....	31
3.2	METODOLOGIA APLICADA NOS ESTUDOS DE CASO.....	31
4	RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	36
4.1	ESTUDO DE CASO 1.....	36
4.1.1	Consumo de aço e concreto.....	36
4.1.2	Consumo de formas.....	40
4.1.3	Custos dos materiais.....	41
4.2	ESTUDO DE CASO 2.....	42
4.2.1	Consumo de aço e concreto.....	45
4.2.2	Consumo de formas.....	49
4.2.3	Custos dos materiais.....	50
4.3	COMPARATIVO ENTRE OS ESTUDOS DE CASO 1 E 2.....	51
4.3.1	Relação aço/concreto.....	52
4.3.2	Índice de custos e materiais por metro quadrado construído.....	55
5	CONCLUSÕES.....	60
6	REFERÊNCIAS.....	62
	APÊNDICE A - PLANTA DE FORMAS EDIFÍCIO 1A.....	65
	APÊNDICE B - RELATÓRIO DE QUANTITATIVOS EDIFÍCIO 1A.....	70
	APÊNDICE C - PLANTA DE FORMAS EDIFÍCIO 1B.....	72

APÊNDICE D -	RELATÓRIO DE QUANTITATIVOS EDIFÍCIO 1B.....	77
APÊNDICE E -	PLANTA DE FORMAS EDIFÍCIO 1C .....	79
APÊNDICE F -	RELATÓRIO DE QUANTITATIVOS EDIFÍCIO 1C.....	84
APÊNDICE G -	PLANTA DE FORMAS EDIFÍCIO 1D .....	86
APÊNDICE H -	RELATÓRIO DE QUANTITATIVOS EDIFÍCIO 1D .....	91
APÊNDICE I -	PLANTA DE FORMAS EDIFÍCIO 2A .....	93
APÊNDICE J -	RELATÓRIO DE QUANTITATIVOS EDIFÍCIO 2A .....	98
APÊNDICE K -	PLANTA DE FORMAS EDIFÍCIO 2B .....	101
APÊNDICE L -	RELATÓRIO DE QUANTITATIVOS EDIFÍCIO 2B.....	106
APÊNDICE M -	PLANTA DE FORMAS EDIFÍCIO 2C .....	109
APÊNDICE N -	RELATÓRIO DE QUANTITATIVOS EDIFÍCIO 2C.....	114
APÊNDICE O -	PLANTA DE FORMAS EDIFÍCIO 2D .....	117
APÊNDICE P -	RELATÓRIO DE QUANTITATIVOS EDIFÍCIO 2D .....	122
ANEXO A	- PROJETO ARQUITETÔNICO ESTUDO DE CASO 1 .....	125
ANEXO B	- PROJETO ARQUITETÔNICO ESTUDO DE CASO 2 .....	130

## 1 INTRODUÇÃO

O sistema construtivo em concreto armado possui uma posição consolidada e difundida em todo o Brasil. O concreto está inserido no país desde o início do século XX, sendo introduzido primeiramente como um produto patenteado, produzido por filiais de empresas estrangeiras aqui estabelecidas. No entanto, só teve sua utilização estabilizada como sistema construtivo em 1940, após a regularização com a Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) e regulamentado pelas atribuições profissionais do Conselho Federal e Conselhos Regionais de Engenharia, Arquitetura e Agronomia (CONFEA/CREAs). (SANTOS, 2008)

Segundo Santos (2008), a predominância da utilização de estruturas de concreto armado na construção civil no Brasil foi socialmente construída a partir de interesses, conveniências e limitações variadas. Já Couto et al. (2013) vê o concreto como material de construção principal quando associado ao sistema estrutural das edificações no Brasil, uma vez que se adquire aderência e trabalho em conjunto quando se associa tal compósito com o aço.

A elaboração e execução de um projeto de concreto armado no Brasil deve obrigatoriamente seguir a NBR 6118 – Projeto de estruturas de concreto – Procedimento (Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT, 2014). A Norma Brasileira define os critérios gerais que regem o projeto de estruturas de concreto armado, sejam elas edifícios, pontes, obras hidráulicas, portos etc.

Além disso, para a elaboração de um projeto estrutural em concreto armado, alguns passos devem ser respeitados para que seja encontrada a melhor solução estrutural, sendo eles, a concepção da estrutura, o levantamento de cargas, pré-dimensionamento dos elementos, verificação dos parâmetros de instabilidade, detalhamento e verificação dos consumos de materiais.

Pode-se observar que todo projeto, na sua fase preliminar, dependerá de uma concepção estrutural e sua qualidade posteriormente irá influenciar nos custos e no desempenho da estrutura, pois a mesma consiste em determinar os materiais a serem utilizados e a disposição dos elementos que compõe a estrutura. (KIMURA, 2007).

Já para a etapa de dimensionamento, detalhamento e verificação dos consumos de materiais, os softwares de cálculo estrutural são utilizados como aliados do engenheiro. Segundo Silva e Filho (2015), os *softwares* de cálculo estrutural trazem resultados precisos e economia de tempo, no entanto, continua indispensável a interpretação dos resultados por um engenheiro, que possui conhecimento prático e teórico, advindo da formação acadêmica e de experiências profissionais, para que não haja o uso inadequado dessas ferramentas computacionais.

A utilização de recursos computacionais começou a se difundir na área de projetos com a popularização dos microcomputadores. Os programas eram desenvolvidos nos próprios escritórios e seu uso era apenas para automatização dos cálculos, uma vez que os procedimentos ainda eram realizados manualmente com utilização de modelos clássicos. De acordo com Loriggio (2016), com o aprimoramento das análises estruturais realizadas pelos softwares, começou a se fazer necessário um maior conhecimento do profissional sobre a modelagem e o comportamento estrutural.

## 1.1 DELIMITAÇÃO DO TEMA

A partir de dois edifícios-exemplos, sendo um sobrado de alto padrão e uma edificação multipavimento de utilização exclusivamente residencial, foram concebidas quatro concepções estruturais diferentes para cada um dos casos, as hipóteses partirão de um caso um número mínimo de pilares na edificação e conseqüentemente um máximo de vigas apoiadas em vigas, seguidas de duas hipóteses intermediárias – com números médios de pilares – e, tem-se a última hipótese a qual conta com todas as vigas apoiadas em pilares.

Cada alternativa foi analisada, dimensionada e detalhada por inteiro – com o auxílio do *software* Cypecad –, com isso tornou-se possível a geração dos quantitativos de toda a superestrutura, considerando os elementos planos, conhecidos como lajes e os elementos lineares, como vigas e pilares.

## 1.2 OBJETIVOS DO TRABALHO

Os objetivos do trabalho estão classificados em principal e secundários, os quais serão apresentados nos próximos itens.

### 1.2.1 Objetivo principal

O presente trabalho tem por objetivo a análise comparativa de quantitativos e de custos de armaduras, concreto e formas e a verificação da relação entre aço e concreto de quatro concepções estruturais para dois estudos de caso, sendo eles, um edifício residencial multipavimento e um sobrado de alto padrão. Com isso, gerou-se gráficos a fim de correlacionar os consumos de materiais com cada concepção estrutural. Para o auxílio no dimensionamento, detalhamento e geração de quantitativos dos projetos estruturais foi utilizado o programa computacional Cypecad.

### 1.2.2 Objetivos secundários

Para alcançar o objetivo principal, fez-se necessário executar os seguintes objetivos secundários, sendo eles: Modelar as estruturas com o *software* Cypecad, analisar os quantitativos obtidos em cada uma das concepções estruturais de ambos estudos de caso e por fim realizar uma análise comparativa de quantitativos de armaduras, concreto e formas entre as concepções estruturais dos estudos de caso.

## 1.3 JUSTIFICATIVA

“Nem o melhor programa pode “corrigir” uma concepção estrutural ruim.” (LORIGGIO, 2016, v. 1, p. 65).

De acordo com estudo de Vargas et al. (2010), a fase de superestruturas da construção de um edifício residencial de 4 pavimentos de concreto armado corresponde a 19,34% do seu valor total, sendo esta a etapa mais custosa de toda a obra. Já González (2008) faz uma análise de edifícios residenciais de 8 a 12 pavimentos e também afirma que a etapa de maior custo no orçamento da obra é a de estruturas, equivalente a 19,00% do custo total da construção.

Segundo Albuquerque (1999), o custo das formas representam em média 30% do custo da estrutura, logo sua padronização – que é advinda de uma concepção estrutural que uniformiza as características geométricas dos elementos estruturais – gera maior produtividade, diminuição de mão-de-obra e tempo de execução, ou seja, os custos são diminuídos. Pode-se reafirmar, então, que a padronização das formas é apenas uma exemplificação de que os

softwares não são capazes de substituírem o engenheiro de estruturas. Neste caso, eles apenas o complementam e trazem economia de tempo, agilizando o trabalho manual.

Em detrimento da relevância da concepção estrutural no resultado do projeto por ela gerado, a produção bibliográfica disponível sobre o tema (a concepção estrutural em concreto armado) é escassa – os trabalhos disponíveis abordam, em sua maioria, as análises e modelagens estruturais. A falta de material técnico-científico é dada, também, devido a esta temática ser de esfera prática, considerada por autores como Vianna (2003), Sias e Alves (2014) e Loriggio (2016) uma fase do projeto que a sua qualidade é advinda da experiência e da criatividade do projetista.

Como a etapa da superestrutura é de grande representatividade nos custos de uma obra, tem-se que qualquer economia no âmbito estrutural de um edifício é de valor significativo para os custos totais da obra. Logo, para que essas contenções de gastos sejam alcançadas, o engenheiro civil deve trabalhar numa concepção estrutural que seja de qualidade, algo que nenhum software de estruturas gera, uma vez que esses apenas processam algo pré-definido pelo projetista.

## 2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 2.1 ELEMENTOS ESTRUTURAIS

A ABNT (2014) nº 6118 classifica os elementos estruturais de acordo com sua função estrutural e forma geométrica, sendo eles divididos em elementos lineares – vigas, pilares, tirantes e arcos – e elementos de superfície – placas, chapas, cascas e pilares-parede.

Para que um elemento seja caracterizado como elemento linear, este deve apresentar comprimento que seja superior a três vezes a maior dimensão da sua seção transversal e suas funções variam de acordo com o tipo do elemento. Uma viga, por exemplo, é um elemento linear que possui a função de resistir, majoritariamente, a esforços de flexão, enquanto um pilar – que também é considerado um elemento estrutural linear – deve ser dimensionado para suportar aos esforços normais de compressão. (ABNT, 2014)

Já os elementos de superfície, perante a ABNT (2014) nº 6118, são aqueles que possuem apenas uma das dimensões muito inferior quando comparada com as demais, como por exemplo as lajes maciças de concreto armado que são consideradas placas espessas por possuírem espessura menor do que 1/3 do vão. Já as vigas-parede são aquelas em que o vão é menor do que três vezes a maior dimensão da seção transversal e por fim tem-se os pilares-parede, onde uma das superfícies deve respeitar que a maior dimensão seja cinco vezes maior do que a menor dimensão.

### 2.2 ESTADOS LIMITES

O conceito de estado limite de estruturas de concreto armado é utilizado para definir o grau de confiabilidade da estrutura, ou seja, está relacionado ao seu grau de desempenho, de acordo com os parâmetros requeridos pela ABNT (2014) nº 6118. Os estados limites são divididos em dois tipos, o estado limite último e o estado limite de serviço. (OLIVEIRA, 2017)

O estado limite último (ELU) está relacionado ao colapso da estrutura, levando, em caso de seu não cumprimento, a interdição da edificação. Para o dimensionamento de estruturas de concreto armado perante os estados-limites últimos, a ABNT (2014) nº 6118 recomenda a



majoração dos esforços levantados nos elementos estruturais com um coeficiente  $\gamma_f$  variável - apresentado no quadro abaixo -, transformando a carga característica em um valor de cálculo.

Quadro 1 – Coeficiente  $\gamma_f$

Combinações de ações	Ações					
	Permanentes (g)		Variáveis (q)		Recalques de apoio e retração	
	D	F	G	T	D	F
Normais	1,4	1,0	1,4	1,2	1,2	0,0
Especiais ou de construção	1,3	1,0	1,2	1,0	1,2	0,0
Excepcionais	1,2	1,0	1,0	0,0	0,0	0,0
Onde D é desfavorável, F é favorável, G representa as cargas variáveis em geral e T é a temperatura.						

(fonte: ABNT - adaptado, 2014, p. 65)

Já o estado limite de serviço (ELS), também conhecido como estado limite de utilização, é caracterizado por sua direta influência no conforto do usuário e em questões de aparência do edifício, uma vez que o ELS está diretamente ligado à deformação da edificação. Com isso, este é dividido em estado limite de deslocamentos excessivos, vibrações excessivas, deformações permanentes, abertura de fissuras e fadiga. (OLIVEIRA, 2017)

### 2.3 CONCEPÇÃO ESTRUTURAL

A concepção estrutural de um projeto de estruturas é realizada por meio de etapas, sendo elas: definição de um arranjo estrutural, pré-dimensionamento de pilares, vigas e lajes e por fim, a escolha de um modelo estrutural virtual para obtenção de esforços de cálculo e seus deslocamentos (SILVA, 2017).

A primeira base para a definição do arranjo estrutural é o projeto arquitetônico, pois o posicionamento dos elementos estruturais deve respeitar a funcionalidade dos diferentes ambientes nos pavimentos. Analisando a respeito do lançamento da estrutural em relação ao

projeto arquitetônico, Alva (2007) considera que para a realização do lançamento é necessário levar em conta os aspectos estéticos, econômicos, funcionais e de resistência às ações horizontais. Além da compatibilidade do projeto estrutural com o projeto arquitetônico, a concepção deve prever a harmonização com os projetos complementares, como de instalações elétricas, hidráulicas, telefonia, ar condicionado, entre outros.

Oliveira (2017) considera a concepção estrutural uma das fases mais importantes do projeto estrutural, uma vez que esta, busca a melhor distribuição dos elementos estruturais de uma maneira espacial para que sejam atendidos os estados limites de utilização e de serviço. Pinheiro; Muzardo; Santos (2007) também ponderam essa etapa como de extrema importância para o resultado final do projeto estrutural, já que implica a escolha dos elementos que serão utilizados, a definição de suas posições e por fim a formação de um sistema que seja eficiente a fim de ser capaz de absorver os esforços das ações atuantes e transmiti-los ao solo de fundação. Silva (2017), considera a melhor concepção estrutural para um edifício aquela que apresenta maior eficiência estrutural, ou seja, um peso próprio de estrutura suficiente para as sobrecargas atuantes. Já Lacerda et. al. (2014), defendem o fator da avaliação da estabilidade global dos elementos estruturais, sejam em conjunto ou não, como de extrema importância para a concepção, uma vez que este visa a garantia da segurança da estrutura.

Pode-se dizer que a etapa de concepção estrutural é um processo trabalhoso e que geralmente depende da experiência do projetista. Mesmo que existam recomendações a serem seguidas, cada projeto possui características únicas; logo, deve-se explorar diversas maneiras eficientes para que haja economia de materiais. Pelo fato de se tratar de um processo laborioso, pode ser tomado muito tempo para que se encontre a concepção estrutural de maior eficácia. Para isso, os softwares trazem a vantagem da rapidez para a etapa de dimensionamento do projeto estrutural, o que permite que um maior tempo seja utilizado na etapa do arranjo da estrutura, uma vez que esta depende da criatividade do projetista e não pode ser substituída por programas de cálculos de estruturas. (OLIVEIRA, 2017; VIANNA, 2003)

## 2.4 CARREGAMENTO DA ESTRUTURA

Para que seja realizada a etapa do pré-dimensionamento, torna-se necessário levantar os carregamentos atuantes na estrutura e para isso, as considerações realizadas no presente

capítulo serão seguidas pelas ABNT (1980) n° 6120 – Cargas para cálculo de estruturas de edificações.

### 2.4.1 Carga permanente

As cargas permanentes são compostas pelo peso próprio dos elementos estruturais e das instalações construtivas permanentes, como paredes e divisórias. Os pesos específicos aparentes de alguns dos materiais da construção civil comumente utilizados encontram-se no Quadro 2:

Quadro 2 – Peso específico dos materiais de construção

Materiais	Peso específico aparente (kN/m <sup>3</sup> )
Basalto	30
Granito	28
Mármore	28
Lajotas cerâmicas	18
Tijolos furados	13
Tijolos maciços	18
Argamassa de cal, cimento e areia	19
Argamassa de cimento e areia	21
Concreto simples	24
Concreto armado	25
Aço	78,5

(fonte: ABNT - adaptado, 1980, p. 2)

## 2.4.2 Carga accidental

Carga accidental é aquela em que não se consegue estimar sua posição fixa na edificação e que atuam em relação ao seu uso, como pessoas, veículos e móveis. O Quadro 3 apresenta os valores mínimos destes carregamentos aplicados por metro quadrado de projeção.

Quadro 3 – Valores mínimos das cargas verticais

	Local	Carga (kN/m <sup>2</sup> )
Casas de máquinas	(incluindo o peso das máquinas) a ser determinada em cada caso, porém com o valor mínimo de	7,5
Corredores	Com acesso ao público	3
	Sem acesso ao público	2
Edifícios residenciais	Dormitórios, sala, copa, cozinha e banheiro	1,5
	Dispensa, área de serviço e lavanderia	2
Escadas	Com acesso ao público	3
	Sem acesso ao público	2,5
Escritórios	Salas de uso geral e banheiro	2
Forros	Sem acesso a pessoas	0,5
Galerias de lojas e galerias de arte	A ser determinada em cada caso, porém com o mínimo	3
Garagens e estacionamentos	Para veículos de passageiros ou semelhantes com carga máxima de 25 kN por veículo.	3
Laboratórios	Incluindo equipamentos, a ser determinado em cada caso, porém com o mínimo	3
Lavanderias	Incluindo equipamentos	3
Terraços	Sem acesso ao público	2
	Com acesso ao público	3
	Inacessível a pessoas	0,5

(fonte: ABNT - adaptado, 1980, p. 3 e 4)

## 2.5 LANÇAMENTO DOS ELEMENTOS ESTRUTURAIS

De acordo com Pinheiro, Muzardo e Santos (2007), os primeiros elementos estruturais a serem lançados nos projetos devem ser os pilares de canto, seguidos dos pilares comuns a todos os pavimentos, e então, posiciona-se os pilares de extremidades e internos. É interessante que os pilares sejam alinhados com a finalidade de formação de pórticos com as vigas que os unem, uma vez que os pórticos contribuem para a estabilidade global do edifício. No caso de edifícios multipavimento, deve-se inicializar o lançamento dos pilares no pavimento-tipo e posteriormente readequando-os para os outros pavimentos caso haja interferências, como por exemplo, causando impedimento nas áreas de manobra da garagem.

Além disso, os pilares deverão ser dispostos com distâncias de eixo a eixo entre 4 m a 6 m, pois distâncias grandes geram vigas com dimensões exorbitantes, o que origina maior custo à obra. Já pilares muito próximos geram maior consumo de materiais e mão-de-obra, o que também acrescem mais custos para a construção. (GIONGO, 2007)

Com os pilares posicionados, os próximos elementos a serem lançados nos pavimentos são as vigas. Além das vigas necessárias para ligarem os pilares a fim da formação de pórticos, pode-se fazer necessário outras posições de vigas, tanto para dividir um painel de laje com grandes vãos, como para suportar alguma parede divisória prevista pelo projeto arquitetônico, a fim de que esta não se apoie diretamente na laje. Além disso, por questões de valor econômico, as vigas devem ser dispostas a fim de que formem panos de laje cuja menor dimensão tenha entre 3,5 m a 5,0 m. (PINHEIRO, MUZARDO e SANTOS, 2007)

## 2.6 PRÉ-DIMENSIONAMENTO DAS ESTRUTURAS

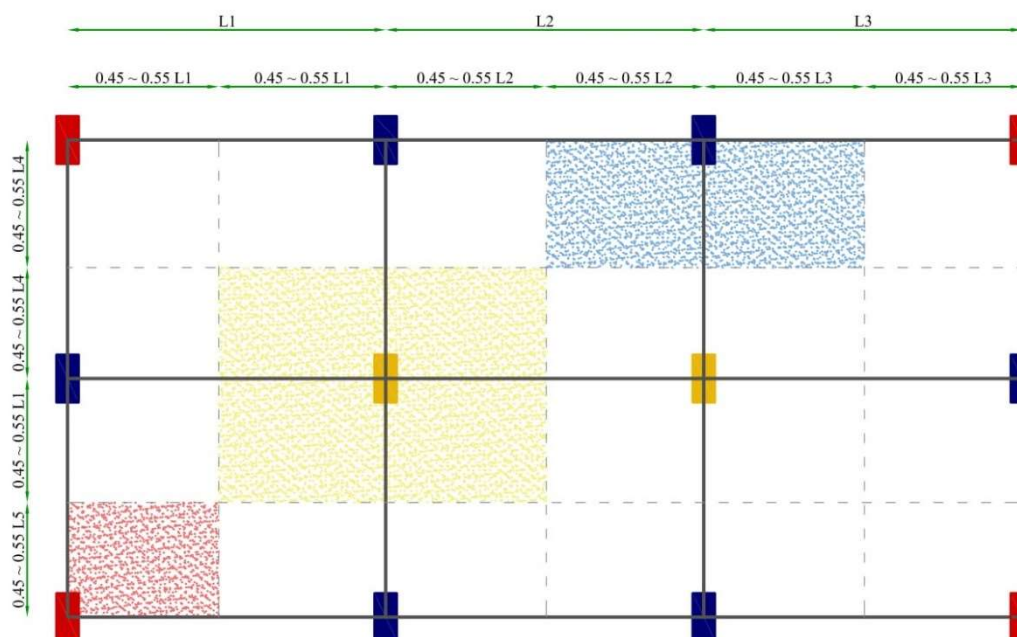
A geometria de um elemento estrutural é necessária para suportar os esforços solicitantes. No entanto, estes esforços só podem ser definidos após a escolha da geometria dos elementos, a qual altera no peso próprio e na rigidez da estrutura. Com esta contradição, faz-se necessário um pré-dimensionamento da estrutura, o qual define uma geometria inicial dos elementos para que seja feita uma análise preliminar e, posteriormente ajustes na geometria caso seja necessário. (PINHEIRO, MUZARDO E SANTOS, 2007)

Para a etapa de pré-dimensionamento é necessário, primeiramente, que o esquema estrutural já esteja definido. Com isso, deve ser realizada a estimativa do levantamento das cargas verticais – peso próprio da estrutura, ático, carregamentos acidentais, alvenaria e revestimento. Assim é possível realizar o pré-dimensionamento dos pilares, das vigas e das lajes e, então, é realiza-se a estimativa das cargas provocadas pela ação do vento, a determinação dos parâmetros *alpha* ( $\alpha$ ) e *gamma z* ( $\gamma z$ ) da rigidez da estrutura e, por fim, a determinação da flecha aproximada pelo estado limite de serviço. (SOUZA, 2017)

### 2.6.1 Pré-dimensionamento dos pilares

Para o pré-dimensionamento dos pilares deve-se, primeiramente, considerar os esforços normais de compressão atuantes para que posteriormente seja feita a análise do estado limite de serviço. O processo do pré-dimensionamento desse elemento estrutural pode ser realizado a partir de um processo conhecido como áreas de influência, ou seja, deve-se dividir a área total do pavimento em questão em áreas de influência para cada um dos pilares, e assim, é possível estimar o carregamento que cada coluna deverá suportar. De acordo com Pinheiro, Muzardo e Santos (2007) os intervalos da divisão de áreas de influências podem ser encontrados, também, considerando a divisão de eixo a eixo de 45% a 55% do comprimento do pavimento em questão. Além disso, em casos de lajes em balanço é necessário acrescentar suas respectivas áreas aos pilares. A figura 1 representa as áreas de influência de um pilar interno, de borda e de canto de um pavimento, representados pelas cores amarela, azul e vermelha, respectivamente.

Figura 1 – Áreas de influência dos pilares



(fonte: Autoria própria)

Levantado os valores das áreas de influência, é possível que os carregamentos sejam estimados. Para o pré-dimensionamento é permitido considerar que a carga da laje da cobertura é equivalente a 75% dos carregamentos do pavimento-tipo. Além disso, para o cálculo da área da seção transversal do pilar, deverá ser acrescido um coeficiente de majoração ( $\alpha$ ), o qual considera as excentricidades das cargas. Para os pilares internos e de extremidade  $\alpha$  é 1,3 quando a carga apresenta-se distribuída na maior dimensão do pilar e 1,5 em sua menor dimensão e para pilares de canto  $\alpha$  é 1,8 em ambas direções. (PINHEIRO, MUZARDO e SANTOS, 2007)

A equação 1 apresenta a formulação para o pré-dimensionamento de área bruta de concreto da seção transversal de pilares.

$$A_{c,pilar} = \alpha \frac{P_{pilar,d}}{0,5 \cdot f_{ck}} \quad \text{Equação (1)}$$

Onde:

$A_{c,pilar}$  é a área bruta de concreto do pilar (cm<sup>2</sup>);

$\alpha$  é o coeficiente de majoração da força normal aplicada no pilar;

$P_{pilar,d}$  é o carregamento total aplicado no pilar - cargas permanentes e variáveis (kN);

$f_{ck}$  é a resistência característica do concreto à compressão (kN/cm<sup>2</sup>).

A ABNT (2014, p. 73) nº 6118 restringe os valores da seção transversal bruta de pilar de no mínimo 360 cm<sup>2</sup> e dimensões mínimas de pilares e pilares-parede de 19 cm, no entanto “permite-se a consideração de dimensões entre 19 cm e 14 cm, desde que se multipliquem os esforços solicitantes de cálculo a serem considerados no dimensionamento por um coeficiente adicional  $\gamma_n$ ”.

O Quadro 4 apresenta os coeficientes que devem se relacionar com a menor dimensão da seção transversal do pilar.

Quadro 4 – Valores do coeficiente adicional  $\gamma_n$  para pilares e pilares-parede

b (cm)	$\geq 19$	18	17	16	15	14
$\gamma_n$	1,00	1,05	1,10	1,15	1,20	1,25

Onde

$$\gamma_n = 1,95 - 0,05b;$$

b é a menor dimensão da seção transversal, expressa em centímetros (cm).

NOTA: O coeficiente  $\gamma_n$  deve majorar os esforços solicitantes finais de cálculo quando de seu dimensionamento.

(fonte: ABNT, 2014, p. 73)

## 2.6.2 Pré-dimensionamento das vigas

O pré-dimensionamento das vigas apoiadas e em balanço podem ser realizados pelas Equações (2) e (3) respectivamente:

$$\frac{l}{12} \leq h_{viga} \leq \frac{l}{10} \quad \text{Equação (2)}$$



$$h_{viga} \geq \frac{l}{5} \quad \text{Equação (3)}$$

Onde:

$l$  é o vão da viga;

$h_{viga}$  é a altura da viga.

Já para o pré-dimensionamento da largura da viga, utiliza-se como base o projeto arquitetônico, a fim de que as vigas possuam a mesma largura da parede. Porém, deve-se ressaltar que a ABNT (2014, p. 76) faz uma restrição em relação à largura mínima das vigas: “a seção transversal das vigas não pode apresentar largura menor que 12 cm [...]”, é permitida a redução desse limite à 10 cm, contando que sejam atendidos os quesitos de distribuição de armaduras e respeitando os cobrimentos e espaçamentos mínimos previstos pela ABNT (2014) nº 6118 e além disso devem ser atendidos os parâmetros da ABNT (2004) nº 14931 sobre lançamento e vibração do concreto.

### 2.6.3 Pré-dimensionamento das lajes maciças

As lajes maciças são aquelas compostas unicamente por concreto armado e podem ser armadas em uma ou duas direções, sendo isto definido de acordo com a relação entre as dimensões de seus vãos. Caso o maior vão seja duas vezes maior que o menor vão, tem-se uma laje armada em apenas uma direção, caso contrário, a laje maciça será armada nas duas direções. (BASTOS, 2015)

A espessura das lajes maciças pode ser obtida com a Equação 4:

$$h = d + \frac{\emptyset}{2} + c \quad \text{Equação (4)}$$

Onde:

$d$  é a altura útil da laje;

$\emptyset$  é o diâmetro das barras;

$c$  é o cobrimento nominal da armadura.

Para que seja estimada uma altura útil das lajes maciças, são necessários alguns conhecimentos sobre a vinculação nas bordas das lajes. Existem bordas dos tipos livre, simplesmente apoiada e engastada, já as vinculações são divididas em três tipos: apoio simples, engaste perfeito e engaste elástico. (SOUZA, 2017)

A altura útil de lajes com bordas apoiadas ou engastadas para o pré-dimensionamento é estimada por meio da Equação 5:

$$d_{est} = (2,5 - 0,1 \times n) \times \frac{l^*}{100} \quad \text{Equação (5)}$$

Onde:

$$l^* = \leq \begin{cases} l_x \\ 0,7 \cdot l_y \end{cases};$$

$n$  é o número de bordas engastadas;

$l_x$  é o menor vão da laje;

$l_y$  é o maior vão da laje.

Já para lajes com borda livre, a altura útil é estimada a partir da Equação 6:

$$d_{est} = \frac{l_x}{\Psi_2 \Psi_3} \quad \text{Equação (6)}$$

Onde,

$l_x$  é o menor vão da laje;

$\Psi_2$  e  $\Psi_3$  são coeficientes tabelados de pré-dimensionamento de lajes, adaptados por Pinheiro (2007).

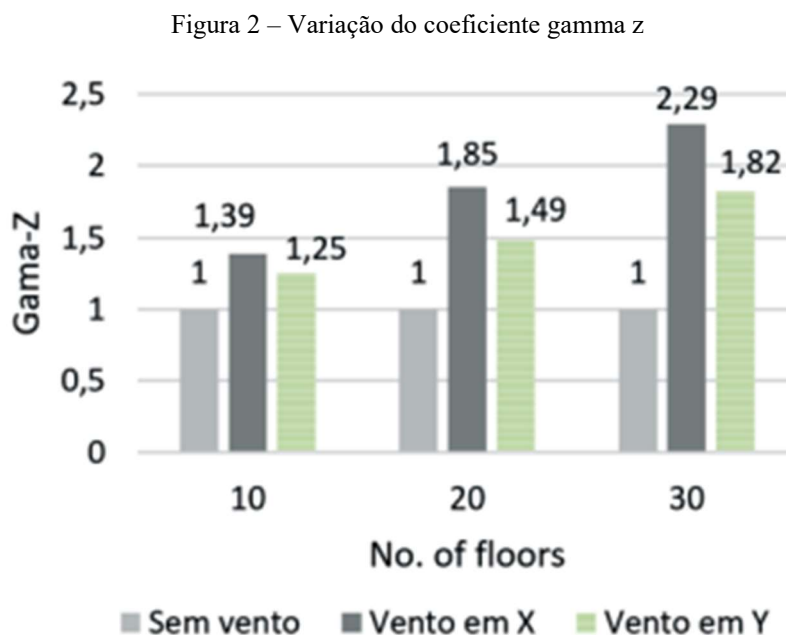
A ABNT (2014) nº 6118 estipula espessuras mínimas de 7 cm para lajes de cobertura que não estejam em balanço, 8 cm para pisos, 10 cm para lajes em balanço e para as que suportam

veículos cujo peso total não ultrapasse 30 kN, caso esse valor seja superado, a espessura mínima deverá ser de 12 cm.

## 2.7 AÇÃO DO VENTO NA ESTRUTURA

Para o estudo dos carregamentos provocados pela ação do vento na estrutura, a ABNT (2013) nº 6123 recomenda a levar em consideração características sobre o terreno em que a estrutura está inserida, como o fator topográfico do relevo, a rugosidade do terreno, bem como os aspectos da estrutura como suas dimensões e sua finalidade (para ciência do grau de segurança requerido).

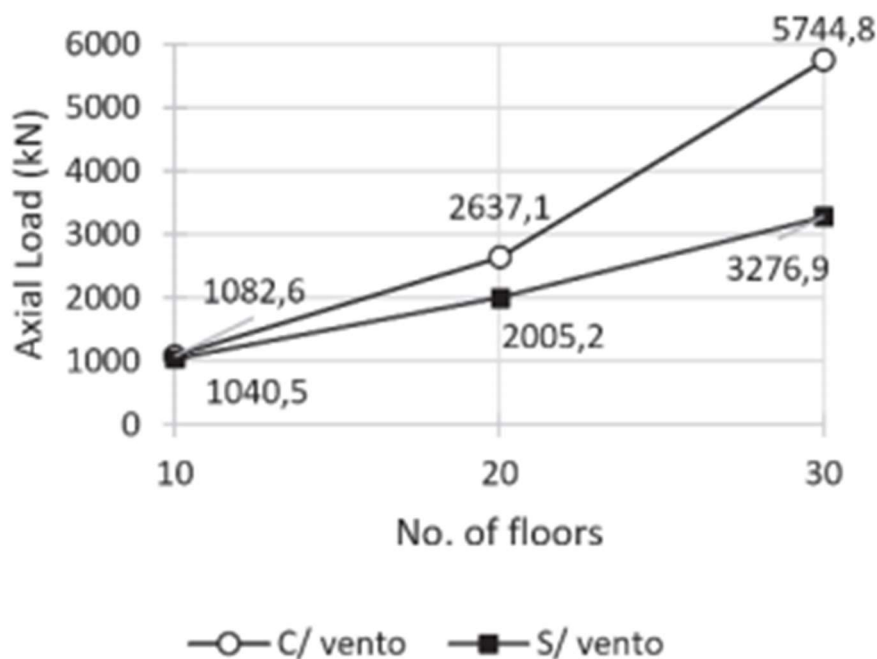
O estudo realizado por Tapajós, et al (2016) apresentou o quanto os erros de consideração da força do vento, na etapa de projeto, podem comprometer a estrutura em seu atendimento ao estado limite de serviço. A figura 2 apresenta os dados levantados na pesquisa, correlacionando o coeficiente gamma z – “coeficiente de majoração dos esforços globais de 1ª ordem devidos aos carregamentos horizontais para obtenção dos esforços finais de 2ª ordem” (ABNT, 2014 p. 99), cuja mesma normativa estabelece seu valor máximo de 1,3 – e as considerações ou não das forças do vento na estrutura.



(fonte: TAPAJÓS et.al, 2016)

Além da diferença do coeficiente  $\gamma_z$ , o estudo também abordou o impacto da ação do vento nos pilares, o que acarreta aumento de esforços para o dimensionamento das fundações o qual está representado na figura 3.

Figura 3 – Carregamento axial de um pilar em sua fundação



(fonte: TAPAJÓS et.al, 2016)

## 2.8 CONSIDERAÇÕES SOBRE O PROGRAMA COMPUTACIONAL CYPECAD

O *software* Cypecad pertence e foi desenvolvido pela empresa Multiplus Softwares Técnicos, a qual disponibiliza manuais para usuário sobre rotinas de cálculo geradas pelo programa e manuais de uso. O programa possui uma série de recursos gráficos e interface que facilita sua utilização. Além disso, a Multiplus (2010) o considera um software de alta produtividade, uma vez, que este é capaz de dimensionar diversos elementos estruturais de um edifício, como reservatórios, paredes diafragmas, estruturas mistas, entre outros.

Como o Cypecad possui seu próprio ambiente CAD – *softwares* que geram arquivos do tipo DWG e DXF –, é permitido a interação com outros softwares da mesma plataforma, o que facilita a exportação de pranchas finais de formas e armaduras para edição no AutoCAD e

também a importação deste para que seja realizado o lançamento automático dos pilares – que são reconhecidos pelos *layers* (camadas) – e utilizando o projeto arquitetônico como máscara para a concepção da estrutura.

De acordo com a Multiplus (2010), o procedimento utilizado para o dimensionamento da estrutura no Cypecad é o de pórtico espacial, por métodos matriciais de rigidez, sendo considerado todos os elementos estruturais de superfície e lineares. O software faz a consideração de que cada nó da estrutura possui 6 graus de liberdade, ou seja, considera a hipótese de que o plano de cada um dos pisos da estrutura é indeformável, simulando, assim, o comportamento rígido da laje.

O Cypecad permite, para o cálculo dos pilares, que o usuário indique seu coeficiente de engastamento nas vigas, o qual varia de 0 a 1, sendo 0 o pilar articulado e 1 totalmente engastado. Além dos carregamentos aplicados aos pilares advindos automaticamente das lajes e das vigas, é possível acrescentar novos esforços sejam horizontais ou verticais, simulando empuxos e cargas provenientes de coberturas respectivamente. Já para as vigas, o Cypecad as simula com apoios do tipo engastados – deslocamentos e rotações impedidas em todas as direções –, com articulações fixas – rotações livres e deslocamentos impedidos – e articulações que garantem apenas os deslocamentos horizontais livres, também é possível a inserção de coeficientes de engastamento entre vigas e lajes, da mesma maneira que nos pilares, liberando ou não a torção das vigas presentes no contorno da edificação. (CUSTÓDIO; VERGUTZ, 2010)

O primeiro passo para o cálculo da estrutura utilizando o programa é o lançamento da geometria de todos os elementos estruturais. Para que seja formada a matriz de rigidez, o programa faz a verificação da geometria da estrutura, caso a geometria não atenda aos requisitos de rigidez, o software introduz uma mensagem de erro. O segundo passo consiste na solução do sistema estrutural e obtenção dos deslocamentos, sendo que em caso de deformações excessivas o programa emite uma mensagem de erro, uma vez que ele segue as diretrizes da ABNT (2014) nº 6118. A terceira etapa traz as envoltórias das combinações de cálculo para todos os elementos estruturais – vigas, lajes, pilares, pilar-parede, etc. Já a quarta e última etapa fornece o dimensionamento das armaduras de flexão, cisalhamento e pele a partir das envoltórias dos esforços. Realizado esse dimensionamento, cabe ao engenheiro

estrutural a realocação dessas armaduras, para facilitar a execução e padronizar as armações.  
(CUSTÓDIO e VERGUTZ, 2010; MULTIPLUS, 2010)

### 3 MATERIAIS E MÉTODOS

#### 3.1 PROJETOS ARQUITETÔNICOS

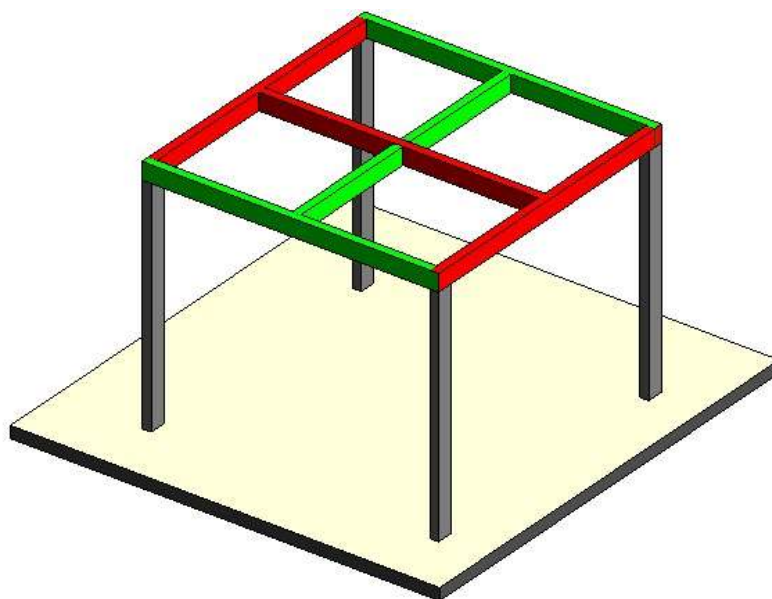
O estudo de caso 1 consiste em um sobrado de alto padrão, com área total construída de 485,11 m<sup>2</sup>, localizado em condomínio fechado no município de Maringá – PR, a empresa responsável pelo projeto não quis se identificar. Já o estudo de caso 2 equivale à um edifício residencial multipavimento de 3047,22 m<sup>2</sup>, localizado em Araçatuba – SP e composto por um pavimento térreo destinado para a garagem e 7 pavimentos-tipo, totalizando um edificação com 42 apartamentos, o estudo de caso 2 foi disponibilizado pela Tecnobens Construções e Incorporações S.A. Os projetos arquitetônicos dos estudos de caso 1 e 2 encontram-se nos Anexos A e B, respectivamente, do presente trabalho.

#### 3.2 METODOLOGIA APLICADA NOS ESTUDOS DE CASO

Para os dois estudos de caso foram utilizados os mesmos parâmetros para as quatro soluções estruturais geradas. Primeiramente foram analisadas as recomendações de lançamento dos elementos estruturais descritos no item 2.5 do presente trabalho e posteriormente fez-se o lançamento das concepções estruturais A, B, C e D.

A concepção A tem como característica o maior número possível de vigas apoiadas em vigas, gerando, então, uma quantidade mínima de pilares na estrutura. A Figura 4 traz uma exemplificação, onde a viga vermelha central é descarregada nas vigas vermelhas do piso elementar, as quais tem como apoio os pilares e o mesmo ocorre para a viga representada em cor verde.

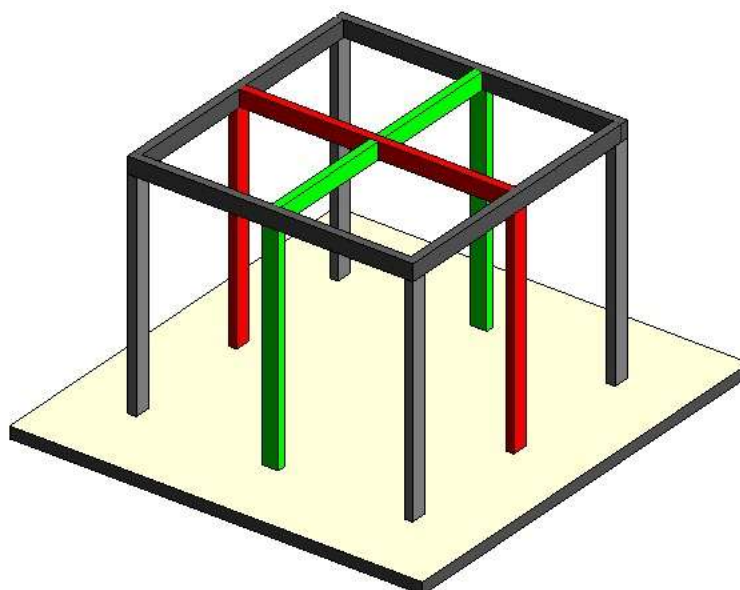
Figura 4 – Concepção A: Mínimo de pilares, máximo de vigas apoiadas em vigas



(fonte: Autoria própria)

Para a concepção estrutural D utilizou-se como premissa que todas as vigas estejam apoiadas nos pilares, transmitindo de forma mais direta possível os esforços para as estruturas de fundações, a Figura 5 apresenta uma ilustração gráfica das vigas e seus pilares de apoio nas mesmas cores.

Figura 5 – Concepção D: Todas as vigas apoiadas em pilares



(fonte: Autoria própria)



Em relação as concepções estruturais B e C, tem-se um número de pilares intermediários aos das concepções A e D. A escolha de se realizar concepções estruturais intermediárias aos extremos está relacionada a refinação dos gráficos gerados, por se terem quatro pontos ao invés de apenas dois; com isso, foi possível analisar a tendência de tais curvas que relacionam quantitativos com as concepções lançadas.

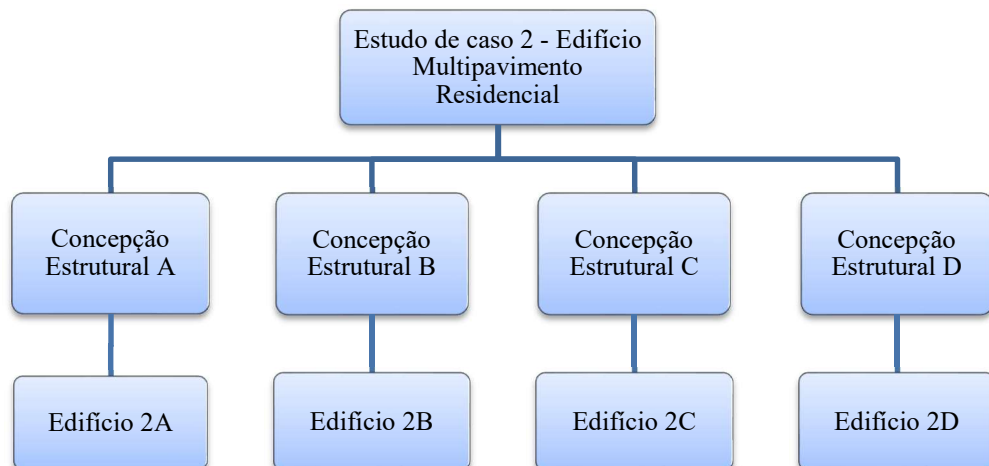
Considerando o estudo de dois projetos diferentes com quatro concepções estruturais lançadas em cada um desses, foram totalizados oito estudos de caso. Estes encontram-se melhor esquematizados nos fluxogramas da Figura 6 e 7.

Figura 6 - Fluxograma do estudo de caso 1



(fonte: Autoria própria)

Figura 7 – Fluxograma do estudo de caso 2



(fonte: Autoria própria)

Lançadas as concepções estruturais em cada um dos edifícios e realizados os respectivos levantamentos de cargas e pré-dimensionamento; a geometria inicial, os carregamentos e as vinculações da estrutura foram lançadas no programa computacional Cypecad. Com isso, foram gerados os detalhamentos da estrutura e seus respectivos quantitativos de armadura, concreto e formas, assim como o consumo de materiais por metro quadrado de construção.

Para o levantamento dos custos dos materiais da superestrutura foram utilizados os dados do banco de dados do gerador de preços da CYPE Ingenieros, os quais fornecem custos de construção ajustados aos do mercado. O Quadro 5 apresenta a descrição dos materiais utilizados para o cálculo e seus custos.

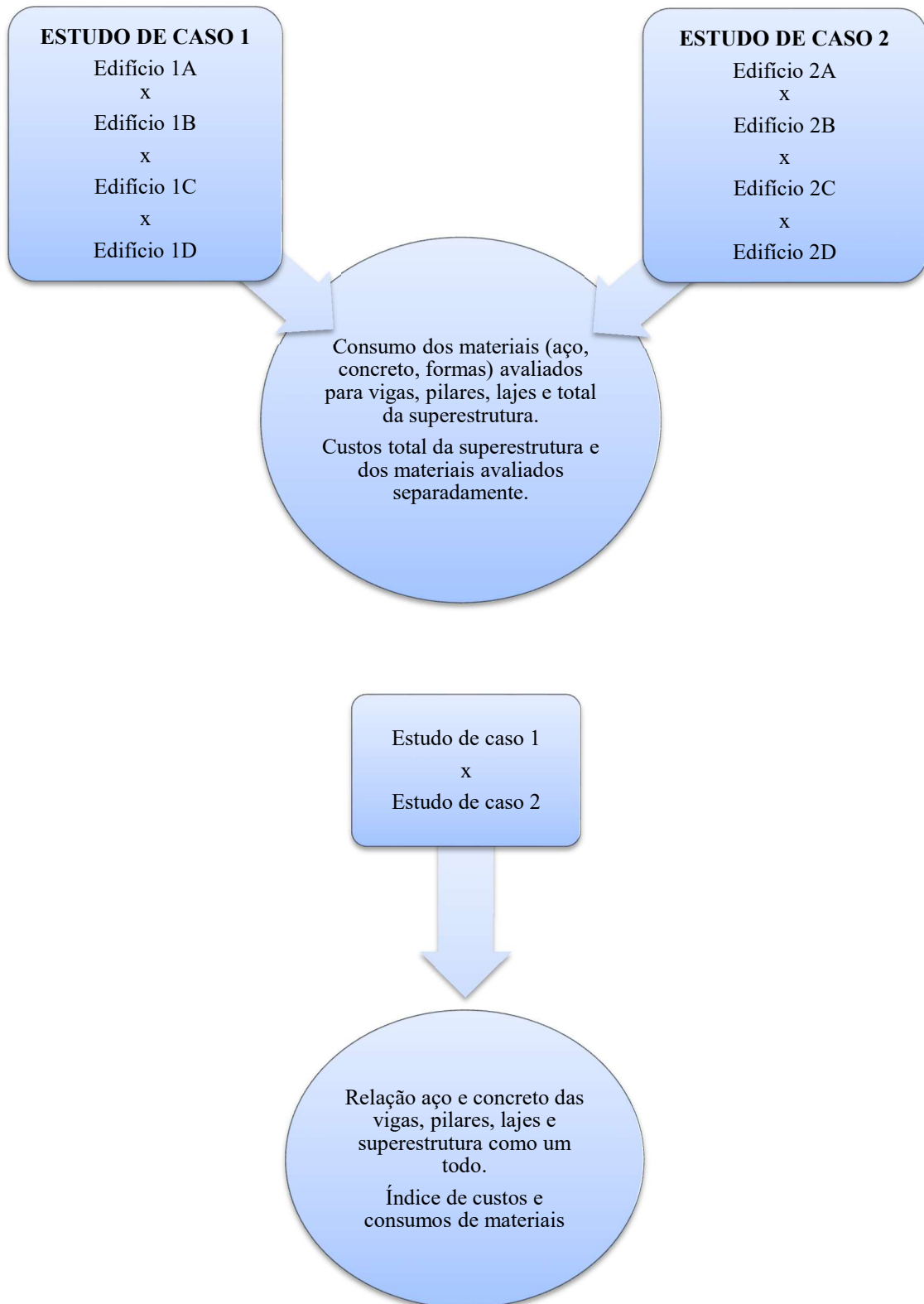
Quadro 5 - Tabela de custos unitários dos insumos da superestrutura

<b>Relação de materiais e custos</b>		
<b>Insumo</b>	<b>Unidade de medida</b>	<b>Valor Unitário</b>
Aço em barras nervuradas, CA-50, de vários diâmetros, segundo ABNT NBR 7480.	kg	R\$ 3,85
Concreto C25 classe de agressividade ambiental II e tipo de ambiente urbano, brita 1, dosado em central, segundo ABNT NBR 8953.	m <sup>3</sup>	R\$ 319,90
Painel de madeira compensada, resinado de 12 mm de espessura, com faces e bordas retas revestidas com resina fenólica, segundo NBR ISO 1096.	m <sup>2</sup>	R\$ 15,43

(fonte: CYPE Ingenieros – adaptado, 2018)

Em seguida, foram gerados gráficos a fim de comparar as concepções estruturais lançadas nos estudos de caso 1 e 2 com os consumos de materiais dos elementos estruturais de maneira isolada e da superestrutura como um todo, além dos custos totais de materiais da obra. Além disso, também foram gerados gráficos com a finalidade de comparar os dois estudos de caso, utilizando os índices de consumos de materiais e seus custos por metro quadrado construção. O fluxograma da Figura 8 auxilia na visualização desses comparativos entre os estudos de caso.

Figura 8 - Cruzamento de dados dos edifícios nos estudos de caso



(fonte: Autoria própria)

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Para os dois estudos de caso foram considerados: concreto com resistência característica à compressão de 25MPa de qualidade média, barras de aço do tipo CA-50 e a ação do vento como efeito de segunda ordem a fim de obter os dados para o dimensionamento das estruturas. Além disso, a superestrutura – composta totalmente por elementos em concreto armado – de ambos estudos de caso são compostas por lajes maciças, vigas altas e pilares.

A espessura da laje foi mantida para todos os casos com 12 centímetros, já as dimensões transversais das vigas foram alteradas para que se resistisse ao estado limite último e de serviço, mas a sua locação foi mantida a mesma em todas as concepções estruturais geradas. Em relação aos pilares, este foi o elemento que mais sofreu alterações, tanto de posicionamento, quanto de quantidade e dimensões transversais.

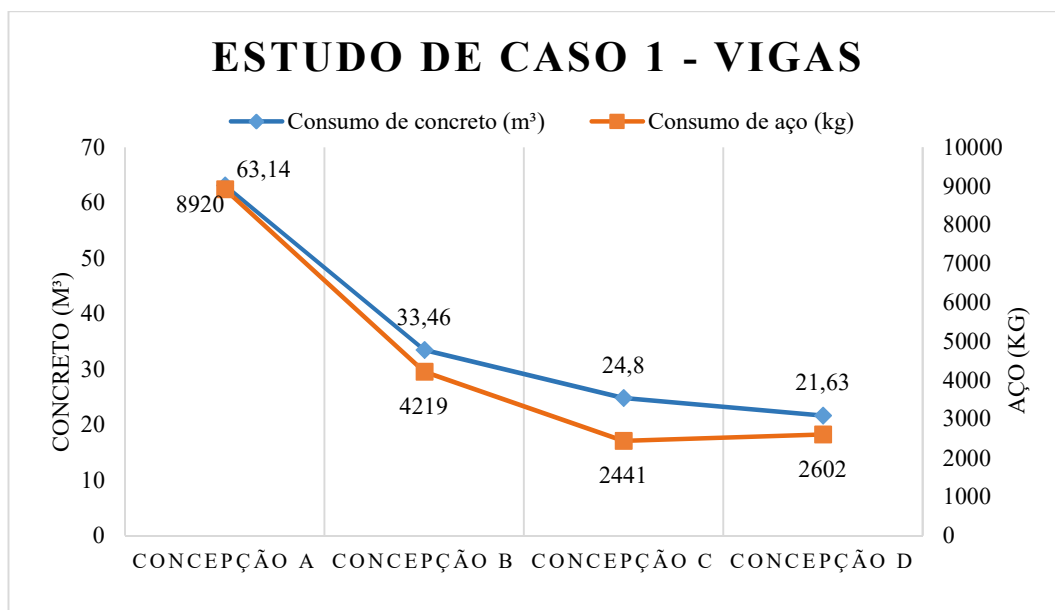
### 4.1 ESTUDO DE CASO 1

No estudo de caso 1, as concepções estruturais A, B, C e D foram lançadas com dezoito, vinte e oito, trinta e três e trinta e nove pilares, respectivamente. Realizando o pré-dimensionamento dos edifícios, pode-se notar que nos edifícios 1C e 1D houveram poucas alterações nas dimensões dos elementos estruturais. Já os edifícios 1A e 1B fez se necessário a alteração geométrica de mais elementos, uma vez que apresentaram problemas no dimensionamento relacionados ao estado limite de serviço, na verificação das flechas.

#### 4.1.1 Consumo de aço e concreto

Em relação ao consumo de aço e concreto considerando apenas o elemento estrutural viga, pode-se observar um comportamento decrescente de consumo ao se inserir mais pilares no estudo de caso. A queda de consumo de aço e concreto entre a concepção A e B caiu drasticamente, reduzindo 52,70% e 47,01% para cada um dos materiais, respectivamente. Entre as concepções B e C, pode-se observar uma grande redução no consumo de aço – 42,14% –, enquanto o consumo de concreto não apresentou grandes variações – redução no consumo de 25,88%. Já entre as concepções C e D, os consumos de aço e concreto não possuem variações expressivas, mantendo seus valores praticamente constantes. A Figura 9 apresenta este comparativo entre as concepções estruturais de maneira gráfica.

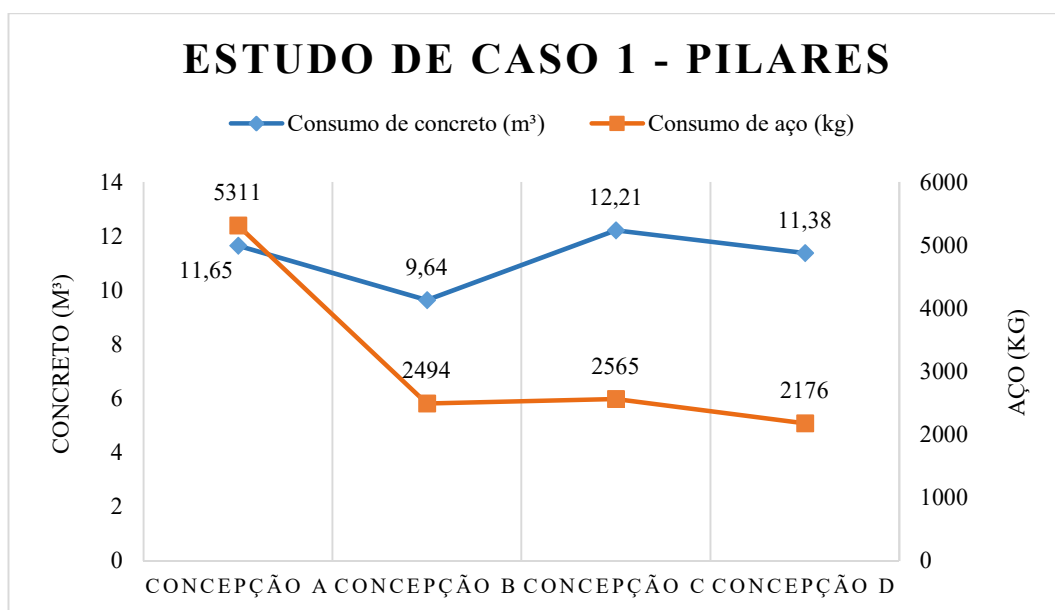
Figura 9 - Consumo de aço e concreto de vigas do estudo de caso 1



(fonte: Autoria própria)

Ao se tratar dos pilares, a Figura 10 representa os consumos de aço e concreto deste elemento estrutural considerando todas as concepções estruturais atribuídas ao estudo de caso 1. Para o consumo de concreto, foi observada uma constância nos resultados, cujo consumo mínimo – 9,64 m<sup>3</sup> ocorrente no edifício 1B – representa 78,95% do consumo máximo – 12,21 m<sup>3</sup> do edifício 1C. Já para o consumo de aço, houve uma expressiva queda entre as concepções estruturais A e B, onde o consumo diminuiu 53,04%; no entanto, ao analisar as concepções B, C e D o consumo de aço apresentou uma tendência constante, com variações pouco significativas.

Figura 10 - Consumo de aço e concreto de pilares do estudo de caso 1

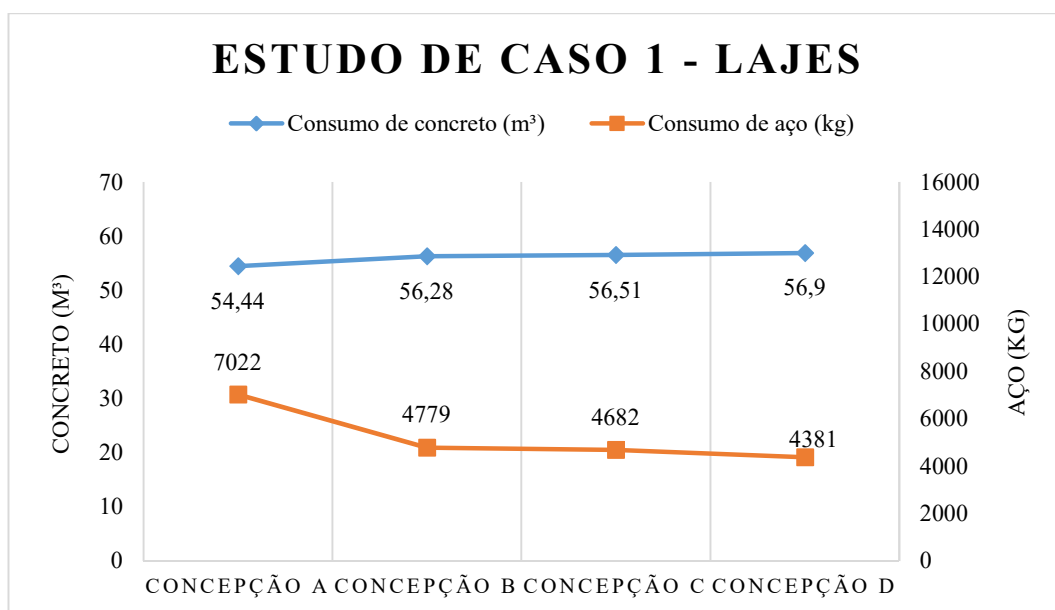


(fonte: Autoria própria)

Já para as lajes maciças, o consumo de concreto apresentou uma linearidade constante, onde o consumo mínimo – 54,44 m<sup>3</sup>, do edifício 1A – representou 95,68% do consumo máximo – 56,9 m<sup>3</sup>, do edifício 1D. Em relação ao consumo de aço, pode-se notar uma queda significativa de 31,94% entre as concepções A e B, enquanto as demais apresentaram uma tendência de estabilidade de seus quantitativos. A Figura 11 apresenta os valores de consumo de concreto e aço das lajes do estudo de caso 1 e representa graficamente o comportamento destes em relação às concepções analisadas.

Pode-se observar, também, que o estudo de caso 1A foi o que apresentou um menor consumo de concreto – 54,44 m<sup>3</sup> -, mas em contrapartida, o maior consumo de aço – 7022 kg. Já o estudo de caso 1D, apresentou o oposto; teve o maior consumo de concreto – 56,9 m<sup>3</sup> - e o menor consumo de aço 4381 kg. Há um aumento relevante de 60,28% entre os consumos de aço mínimo e máximo apresentados nas concepções D e A, enquanto o aumento entre os consumos de concreto mínimo e máximo é apenas de 4,52%.

Figura 11 - Consumo de aço e concreto das lajes do estudo de caso 1

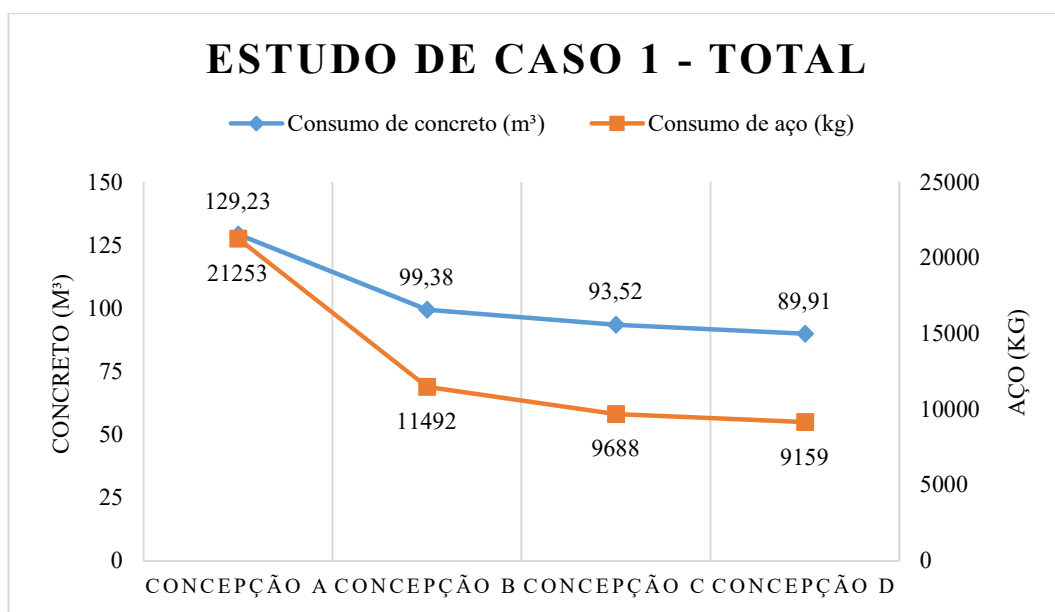


(fonte: Autoria própria)

Por fim, os consumos de aço e concreto totais da obra apresentaram uma queda mais significativa entre as concepções A e B; cuja redução do consumo de concreto foi de 23,1% e a de aço – a qual apresentou uma queda mais abrupta – de 45,92%. Assim como nos elementos estruturais abordados separadamente, os consumos totais entre as concepções B, C e D se apresentaram com valores mais constantes como pode ser observado na Figura 12.

Além disso, ao se comparar os edifícios 1A – 129,23 m<sup>3</sup> de concreto e 21253 kg de aço – e 1D – 89,91 m<sup>3</sup> de concreto e 9159 kg de aço – cujos apresentaram, respectivamente, os consumos máximos e mínimos de materiais, pode-se observar uma redução notória de 30,43% do consumo de concreto e 56,90% de aço.

Figura 12 - Consumo de aço e concreto total da obra do estudo de caso 1



(fonte: Autoria própria)

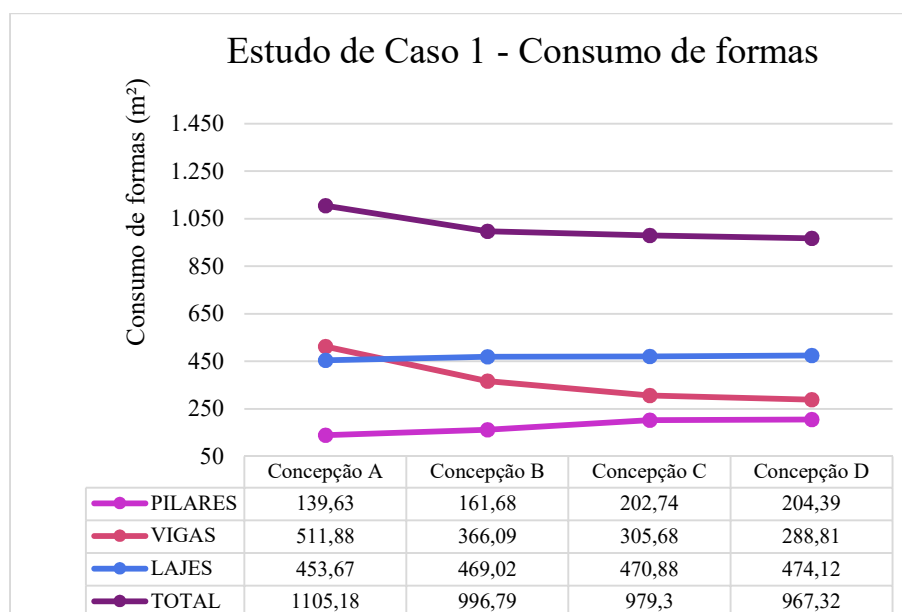
#### 4.1.2 Consumo de formas

A Figura 13 apresenta o consumo de formas, levantado em metros quadrados, dos pilares, das vigas, lajes e do total da estrutura dos edifícios do estudo de caso 1. Em relação aos pilares, o edifício 1A apresentou o menor consumo de formas (139,63 m<sup>2</sup>), enquanto o estudo de caso 1D exibiu o maior consumo (204,39 m<sup>2</sup>), ou seja, houve um aumento de 46,38% entre o consumo mínimo e máximo. Para as lajes, o consumo mínimo (453,67 m<sup>2</sup>) e máximo (474,12 m<sup>2</sup>) também foram apresentados no edifício 1A e 1D, respectivamente; no entanto, com um aumento menos significativo do que dos pilares, de 4,51%.

Ao contrário dos pilares e das lajes, o consumo de formas das vigas do edifício 1A apresentou valor mais significativo, com 511,88 m<sup>2</sup>, enquanto do edifício 1D foi o de menor consumo, com 288,81 m<sup>2</sup>, garantindo, assim, uma redução de 43,58%. Uma vez que o consumo de formas das vigas apresentaram uma redução mais significativa do que o aumento dos pilares e das lajes, o consumo total de formas da estrutura foi decrescente entre as concepções A e D; pode-se notar, também, que a queda mais expressiva encontra-se entre as concepções A e B, enquanto entre os edifícios 1B, 1C e 1D o consumo de formas total pouco variou.



Figura 13 - Consumo de formas do estudo de caso 1



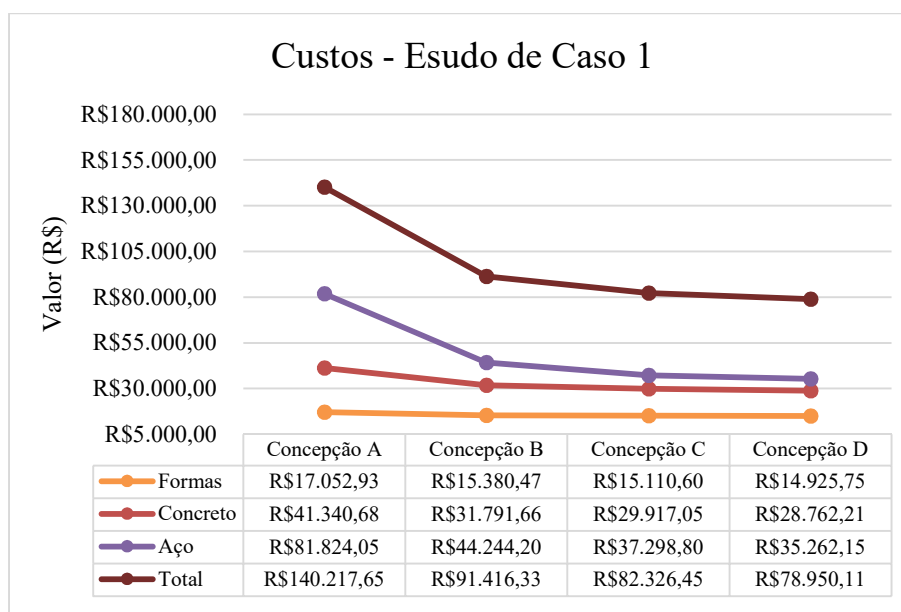
(fonte: Autoria própria)

### 4.1.3 Custos dos materiais

Ao analisar o custo da superestrutura do estudo de caso 1, pode-se notar a maior relevância do custo de aço no edifício 1A quando comparado ao custo de concreto e formas; já para os demais edifícios, o custo de aço torna-se bem próximo ao custo de concreto, sendo estes superiores ao custo de formas em todas as concepções lançadas. Analisando os custos totais, pode-se notar um queda abrupta de custos entre a concepção A e B; a qual é explicada devida queda dos consumos de materiais, os quais já foram analisados nos itens 4.1.1 e 4.1.2 do presente trabalho.

É possível de analisar na Figura 14 uma tendência constante entre os custos dos edifícios 1B, 1C e 1D; já a variação entre a concepção de maior custo global – edifício 1A – e a de menor custo global – edifício 1D – é de R\$ 61.267,54; correspondente à uma redução significativa de 43,69% do custo de materiais da superestrutura.

Figura 14 - Custos dos materiais da superestrutura do estudo de caso 1



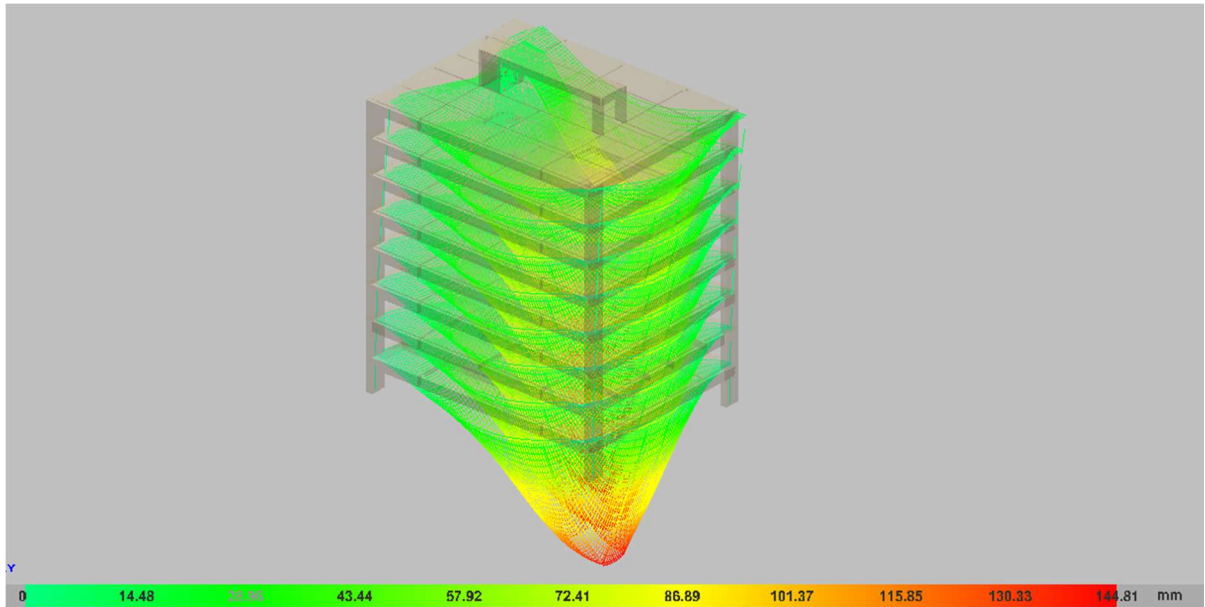
(fonte: Autoria própria)

## 4.2 ESTUDO DE CASO 2

No estudo de caso 2, as concepções estruturais A, B, C e D foram lançadas com onze, dezessete, vinte e dois e trinta pilares, respectivamente. Realizando o pré-dimensionamento dos edifícios, pôde-se notar que, analogamente ao estudo de caso 1, nos edifícios 2C e 2D houveram poucas alterações nas dimensões dos elementos estruturais. Já os edifícios 2A e 2B fez se necessário a alteração geométrica de mais elementos, uma vez que houveram problemas no dimensionamento relacionados ao estado limite de serviço, na verificação das flechas.

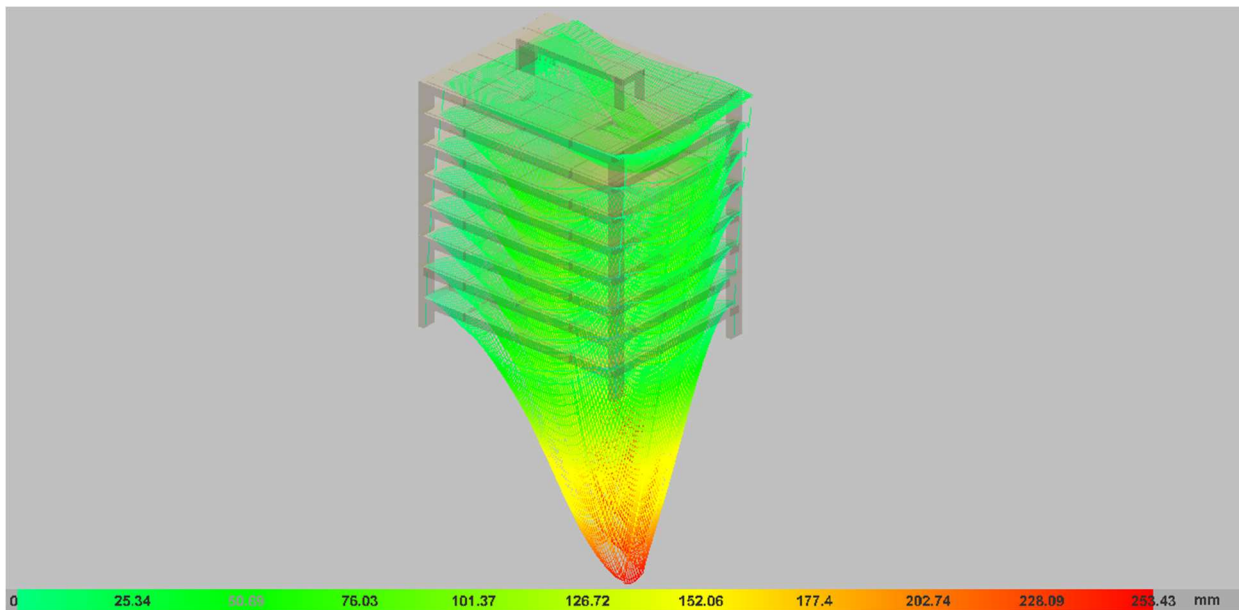
Vale destacar que para o edifício 2A foi testada a hipótese de mínimo de pilares que garantia a estabilidade da estrutura, ou seja, de acordo com a disposição das vigas, os únicos pilares necessários foram os de canto; no entanto, já adotando dimensões de vigas e pilares exorbitantes, o *software* apresentou resultados de deformação excessiva da estrutura. As Figuras 15, 16, 17, 18 e 19 apresentam os valores das deformadas e seu comportamento na estrutura correspondentes do peso próprio, das cargas permanentes, sobrecarga e dos ventos na direção X e Y respectivamente.

Figura 15 - Deformada em relação ao peso próprio da estrutura



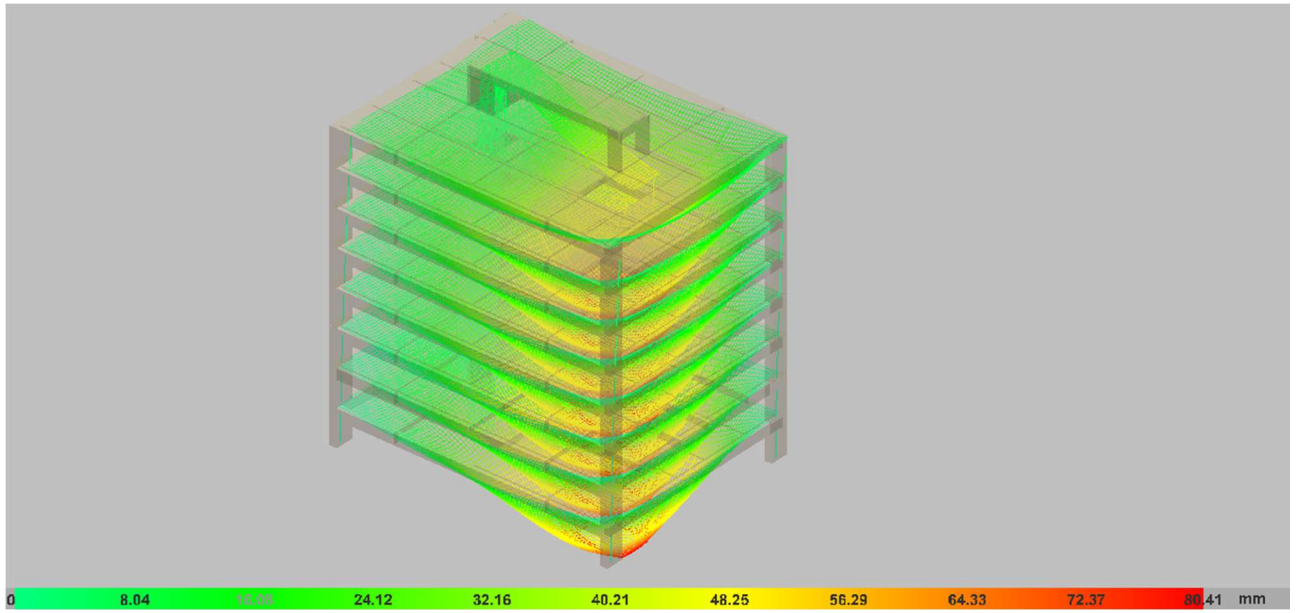
(fonte: Autoria própria)

Figura 16 - Deformada em relação as cargas permanentes



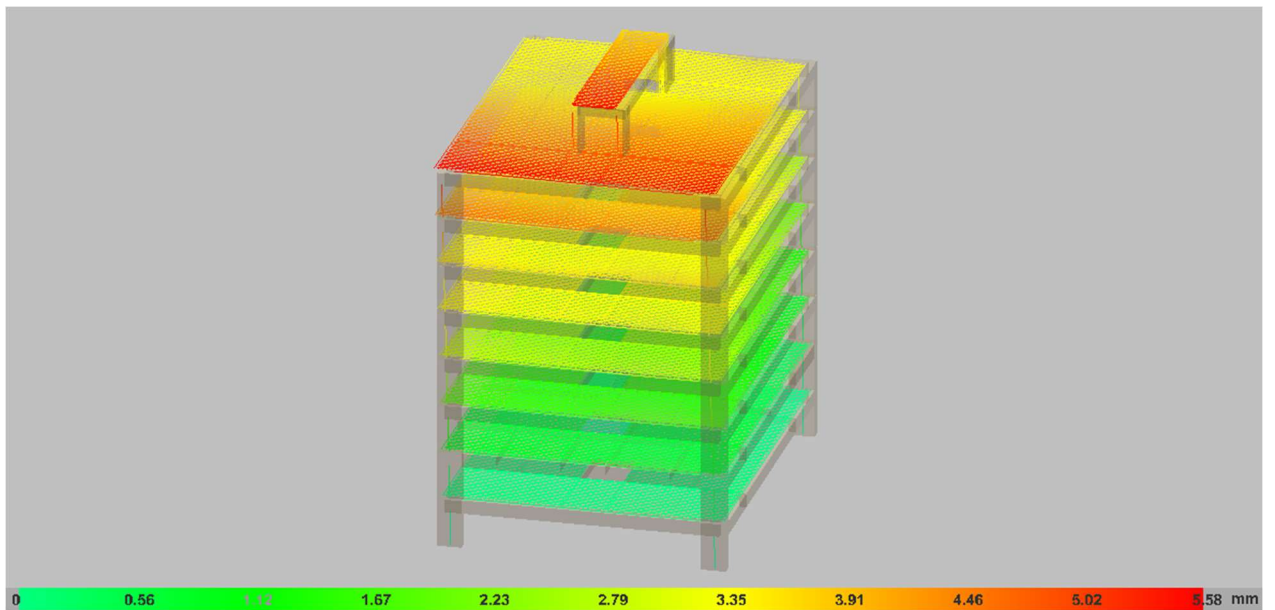
(fonte: Autoria própria)

Figura 17 - Deformada em relação as sobrecargas



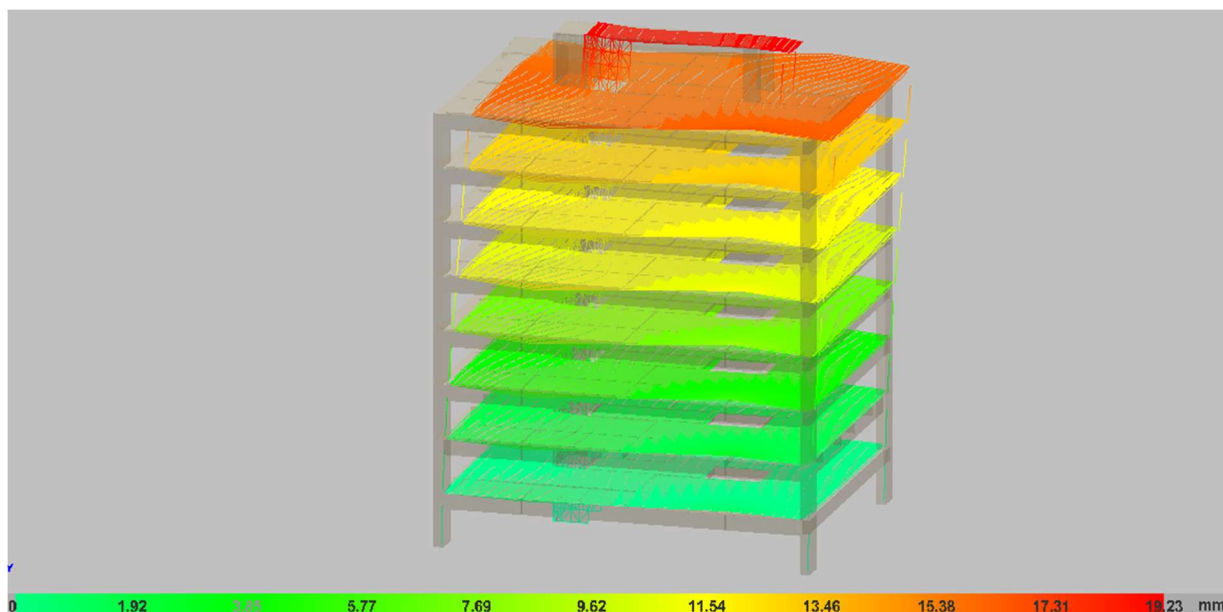
(fonte: Autoria própria)

Figura 18 - Deformada em relação ao vento na direção X



(fonte: Autoria própria)

Figura 19 - Deformada em relação ao vento na direção Y



(fonte: Autoria própria)

Assim, tornou-se necessário o acréscimo de pilares internos e de borda – a fim de diminuir os grandes vãos das vigas contínuas –, para que as combinações das deformadas apresentassem valores admissíveis. Uma outra solução para o vencimento de grandes vãos de vigas seria a utilização de um diferente sistema estrutural, como o concreto protendido.

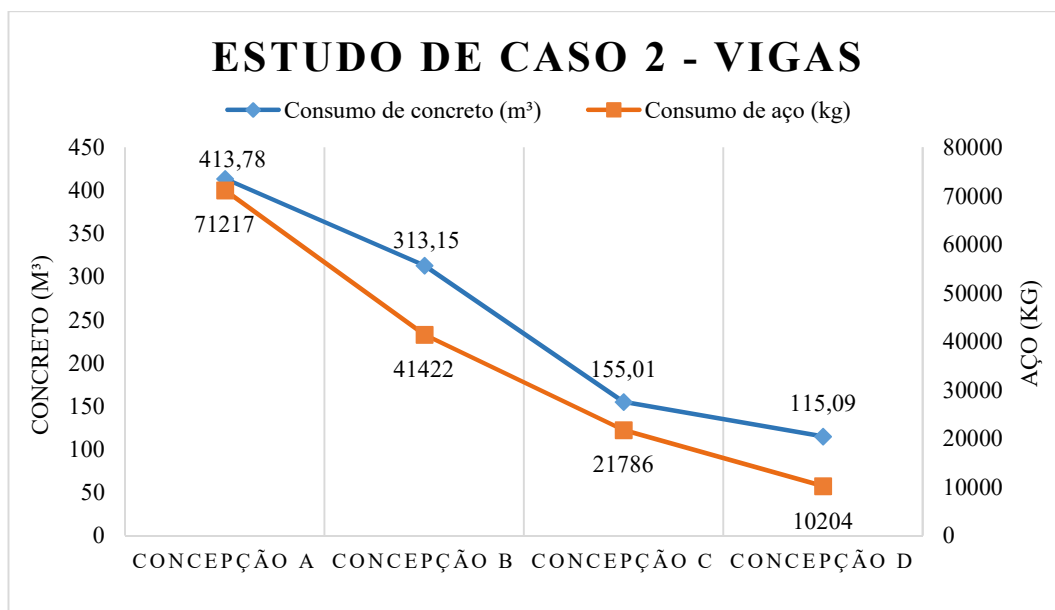
#### 4.2.1 Consumo de aço e concreto

Ao se analisar o consumo de aço e concreto das vigas do estudo de caso 2, pode-se observar um comportamento decrescente de consumo de ambos materiais a medida que foram acrescentados mais pilares na superestrutura. A queda do consumo de concreto entre os edifícios 2A e 2B teve uma significativa redução de 24,32%, no entanto, foi mais acentuada entre os edifícios 2B e 2C, com uma redução de 50,5% de material; já entre as concepções C e D o consumo de concreto manteve-se com pouca variação. Pode-se notar, também, a significativa redução de 72,19% entre o consumo máximo de concreto – observado no edifício 2A, 413,78 m<sup>3</sup> – e o consumo mínimo – edifício 2D, 115,09 m<sup>3</sup>.

Já em relação ao consumo de aço das vigas, houve uma queda em torno de 50% entre os edifícios 2A e 2B; 2B e 2C; 2C e 2D. Ao contrário do consumo de concreto, que houve uma constância entre as concepções que possuíam mais pilares, o consumo de aço reduziu

significativamente ao longo de todos os casos. Ao se comparar o consumo máximo de aço, com o consumo mínimo – ocorrentes no edifício 2A e 2D, respectivamente – pode-se observar uma queda expressiva de 85,67% no consumo. A Figura 20 apresenta de maneira gráfica os resultados obtidos do comparativo entre os consumos de concreto e aço das vigas com as concepções lançadas.

Figura 20 - Consumo de aço e concreto de vigas do estudo de caso 2

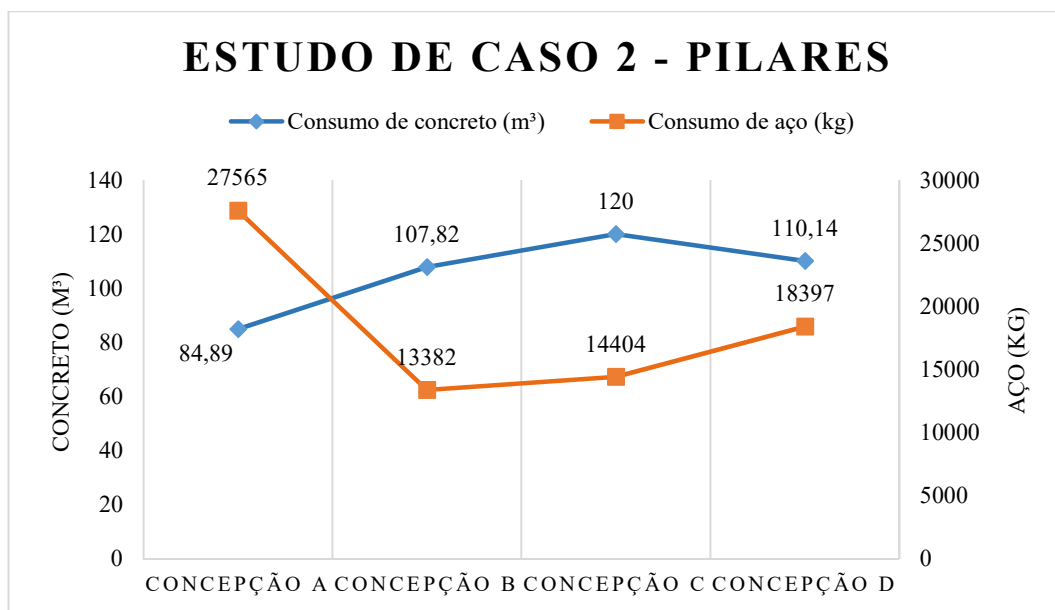


(fonte: Autoria própria)

A Figura 21 permite a análise do comportamento de consumo dos materiais concreto e aço ao se avaliarem os pilares do estudo de caso 2 de maneira isolada. Em relação ao consumo de concreto, pode-se observar um ligeiro aumento entre os edifícios 2A, 2B e 2C e uma queda entre as concepções C e D; o edifício 2C apresentou maior consumo do material (120 m³), superior em 41,36% do que obteve menor consumo – edifício 2A, 84,89 m³.

Em oposição, o edifício 2A, que apresentou o menor consumo de concreto, foi o que mais obteve quantidades de aço para os pilares – 27565 kg. Nota-se uma expressiva queda de 51,45% entre este e o edifício 2B – o qual apresentou um consumo de aço de 13382 kg, mínimo absoluto quando comparado aos demais edifícios do estudo de caso 2. Ao serem analisadas as concepções B, C e D; observa-se um ligeiro aumento de 7,64% e 27,72% do consumo de aço, respectivamente.

Figura 21 - Consumo de aço e concreto de pilares do estudo de caso 2

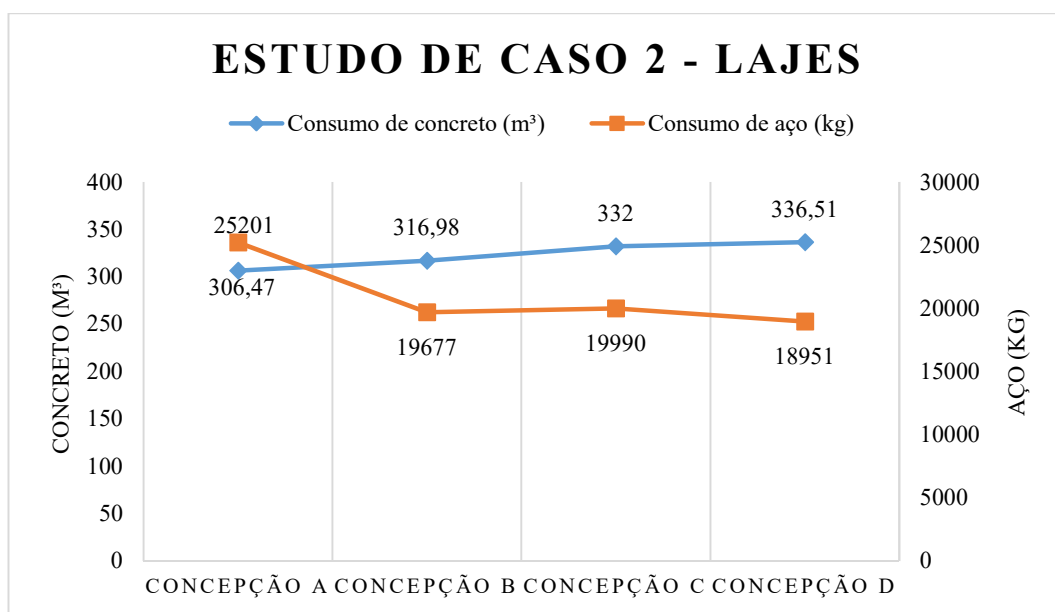


(fonte: Autoria própria)

Já para as lajes maciças, o consumo de concreto apresentou uma linearidade constante, onde o consumo mínimo – 306,47 m<sup>3</sup>, do edifício 2A – representou 91,07% do consumo máximo – 336,51 m<sup>3</sup>, do edifício 2D. Em relação ao consumo de aço, pode-se notar uma queda de 21,92% entre as concepções A e B, enquanto as demais apresentaram uma tendência de estabilidade de seus quantitativos. A Figura 22 apresenta os valores de consumo de concreto e aço das lajes do estudo de caso 2 e representa graficamente o comportamento destes em relação às concepções analisadas.

Pode-se observar, também, que o estudo de caso 2A foi o que apresentou um menor consumo de concreto – 306,47 m<sup>3</sup> -, mas em contrapartida, o maior consumo de aço – 25201 kg. Já o estudo de caso 2D, apresentou o oposto; teve o maior consumo de concreto – 336,51 m<sup>3</sup> - e o menor consumo de aço, 18951 kg. Ou seja, enquanto há uma redução de apenas 8,93% do consumo de concreto, há um aumento de 32,98% do consumo de aço entre as concepções A e D.

Figura 22 - Consumo de aço e concreto das lajes do estudo de caso 2



(fonte: Autoria própria)

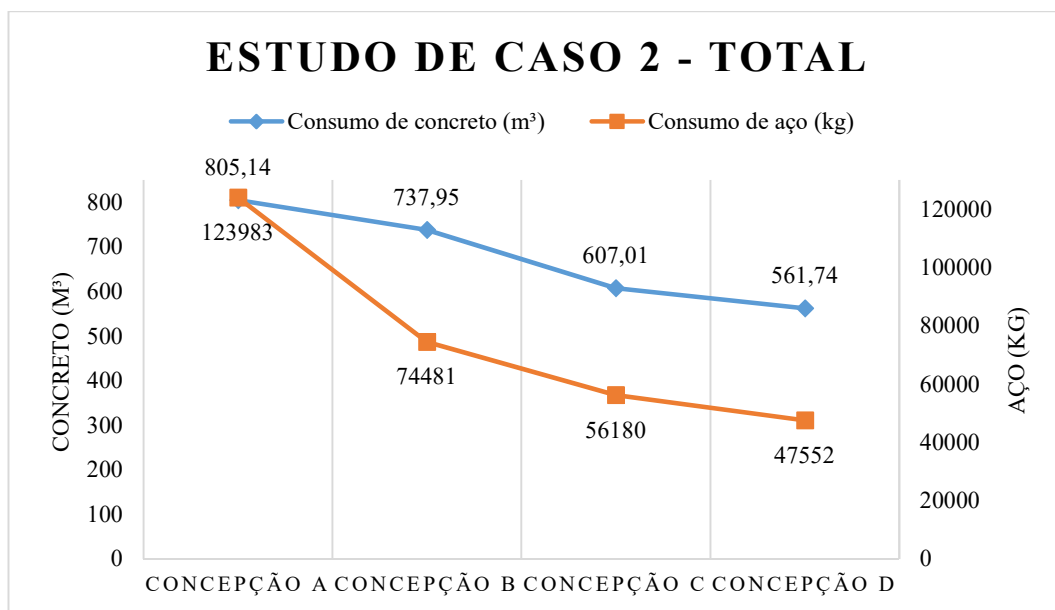
Considerando os consumos totais de concreto das concepções estruturais analisadas no estudo de caso 2, observa-se uma queda mais significativa de consumo de aço, quando comparado ao concreto – ao decorrer da inserção de novos pilares. A redução dos consumos de aço diminui de maneira gradual com 39,93% entre os edifícios 2A e 2B, 24,57% entre 2B e 2C e 15,36% entre 2C e 2D; ao se comparar os consumos mínimos e máximos de aço do total da obra, ocorrentes nas concepções D e A, respectivamente, tem-se uma redução de 61,65% do material.

Já em relação ao consumo total de concreto, que também se apresenta em uma curva decrescente, tem-se uma redução de 30,23% entre os consumos máximo – edifício 2A, 805,14 m<sup>3</sup> – e mínimo – edifício 2D, 561,74 m<sup>3</sup>. Enquanto a diminuição progressiva das concepções são de 8,35% entre o edifício 2A e 2B, 17,74% entre 2B e 2C e 7,46% entre 2C e 2D.

A Figura 23 apresenta de maneira gráfica os quantitativos de concreto e aço do total da obra correlacionados com as concepções estruturais.



Figura 23 - Consumo total de aço e concreto da superestrutura do estudo de caso 2



(fonte: Autoria própria)

#### 4.2.2 Consumo de formas

A Figura 24 apresenta o consumo de formas, levantado em metros quadrados, dos pilares, das vigas, lajes e do total da estrutura das concepções do estudo de caso 2. Em relação aos pilares, pode-se notar um crescimento linear entre os edifícios 2A até o 2D, cujo aumento entre cada um dos edifícios – na respectiva ordem – girou em torno de 25%; no entanto, ao se comparar o consumo mínimo de formas dos pilares com o consumo máximo – concepção A e D, respectivamente – tem-se um aumento de 95,29% dos quantitativos de formas.

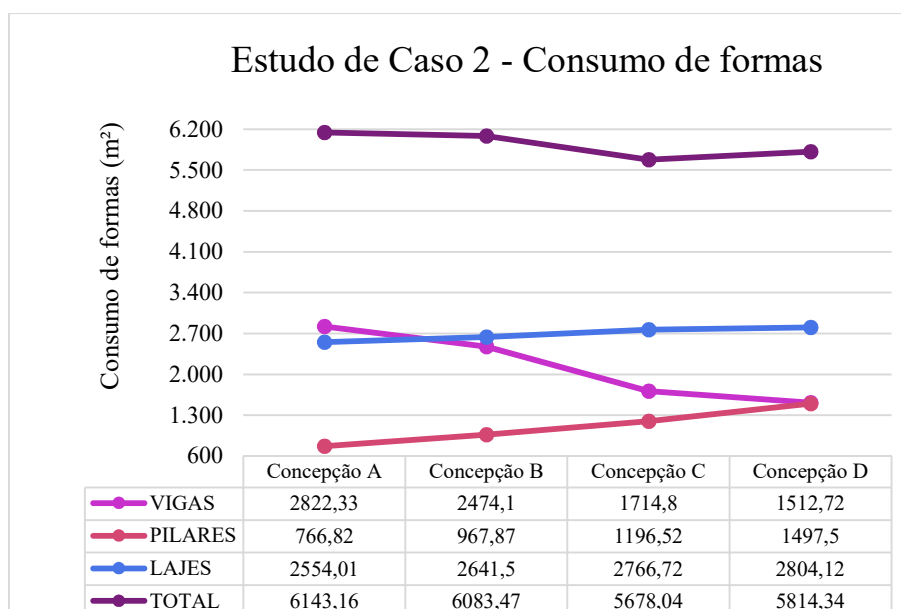
Assim como os pilares, as lajes também apresentaram um comportamento crescente, entretanto, houve uma ligeira estabilidade entre as concepções C e D. Uma vez em que o aumento de consumo de formas das lajes entre os edifícios 2A e 2B foi de 3,43% e entre 2B e 2C foi de 4,74%, para 2C e 2D teve-se apenas um aumento de 1,35%. O aumento global entre as concepções de consumo mínimo e máximo foi de 9,79% de material.

Ao contrário dos pilares e das lajes, o consumo de formas das vigas apresentou um comportamento decrescente entre os edifícios 2A e 2D; nota-se no gráfico da Figura 24 uma redução notória de 30,69% entre os edifícios 2B e 2C. Além disso, analisando os consumos de

formas das vigas de maneira global, tem-se uma redução de 46,40% entre o consumo mínimo – concepção D, 1512,72 m<sup>2</sup> – e consumo máximo – concepção A, 2822,33 m<sup>2</sup>.

Analisando o consumo total de formas do estudo de caso 2, observa-se uma ligeira redução entre os edifícios 2A e 2B (0,97%), seguida de uma decrescência mais significativa de 6,66% entre 2B e 2C e por fim um aumento de 2,40% entre 2C e 2D. Pode-se notar que o menor consumo de formas do total da obra – edifício 2C, 5678,04 m<sup>2</sup> – equivale a 92,43% do edifício de maior consumo – 2A, 6143,16 m<sup>2</sup> – ou seja, o consumo de formas total apresentou uma variação pouco expressiva.

Figura 24 - Consumo de formas do estudo de caso 2



(fonte: Autoria própria)

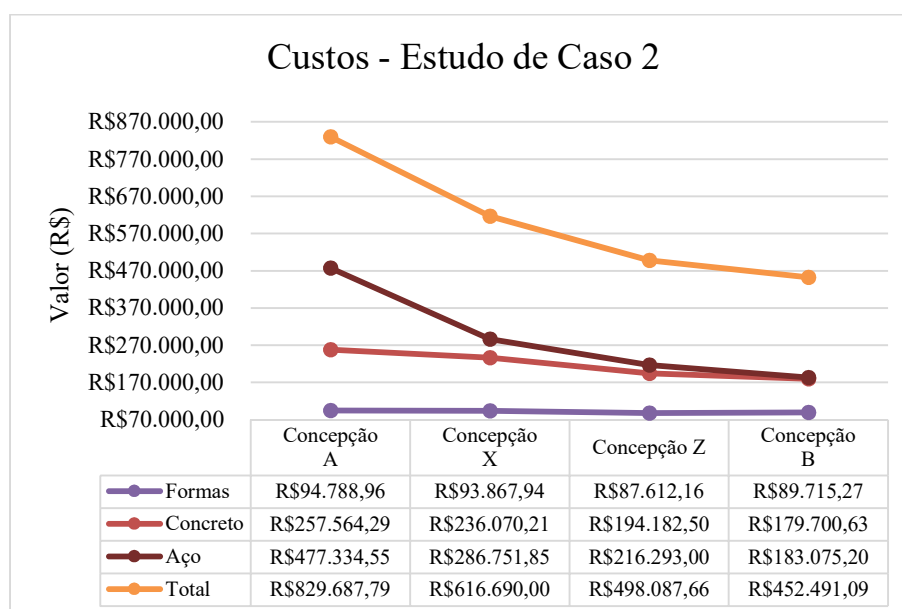
### 4.2.3 Custos dos materiais

Analogamente ao estudo de caso 1, ao analisar o custo da superestrutura do estudo de caso 2, pode-se notar a maior relevância do custo de aço no edifício 2A quando comparado ao custo de concreto e formas; já para os demais edifícios, o custo de aço torna-se bem próximo ao custo de concreto, sendo estes superiores ao custo de formas em todas as concepções lançadas.

Analisando os custos totais, observa-se uma redução destes a medida que se inserem mais pilares nas edificações; uma vez que os custos estão diretamente ligados aos consumos dos materiais – já analisados nos itens 4.2.1 e 4.2.2 do presente trabalho – nota-se uma queda mais significativa entre os edifícios 2A e 2B, com 25,67% de redução dos custos e de 19,23% entre 2B e 2C, enquanto entre 2C e 2D nota-se uma decrescência mais discreta de 9,15%. Já ao se comparar o edifício que apresentou a superestrutura de maior valor – edifício 2A, R\$829.687,79 – com a mais econômica – edifício 2B, R\$ 452.491,01 – há uma notória redução de 45,46% dos custos totais.

A Figura 25 apresenta os custos totais, de formas, concreto e aço correlacionados com cada uma das concepções estruturais geradas no estudo de caso 2.

Figura 25 - Custos dos materiais da superestrutura do estudo de caso 2



(fonte: Autoria própria)

### 4.3 COMPARATIVO ENTRE OS ESTUDOS DE CASO 1 E 2

No presente capítulo, serão comparadas as relações entre aço e concreto, os índices de custos e consumo de materiais por metro quadrado de obra dos estudos de caso 1 e 2 para cada uma das concepções geradas.

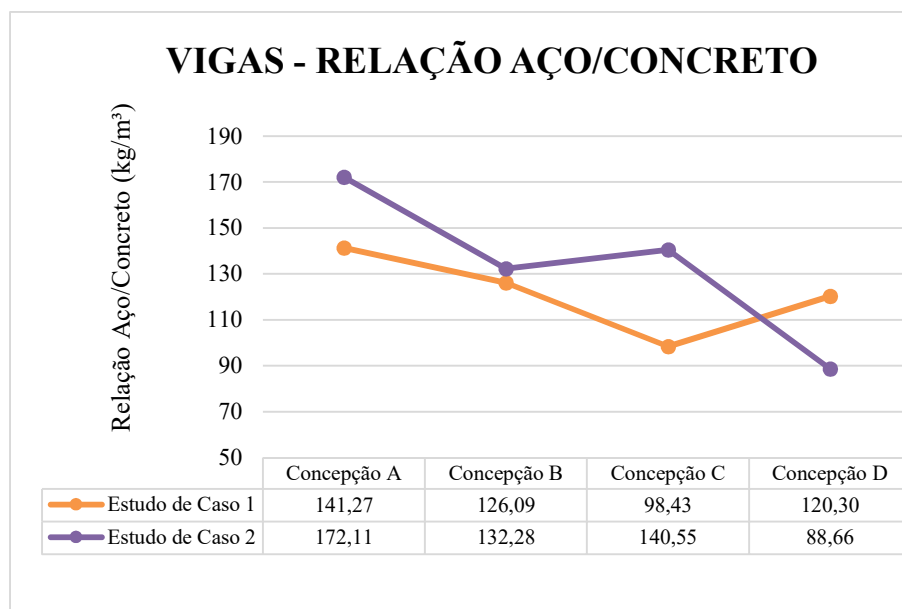
### 4.3.1 Relação aço/concreto

A Figura 26 apresenta a relação entre aço e concreto – em  $\text{kg/m}^3$  – das vigas dos estudos de caso 1 e 2. Pode-se notar que na concepção estrutural B houve maior proximidade da relação de aço e concreto entre os dois estudos de caso; já entre as concepções C e D, houve uma mudança de comportamento, onde o estudo de caso 1 passou a ter uma relação aço/concreto superior a do estudo de caso 2.

O estudo de caso 1 apresentou uma queda da relação aço/concreto das vigas entre os edifícios 1A, 1B e 1C e posteriormente uma ascensão entre os edifícios 1C e 1D; já o estudo de caso 2, exibiu duas quedas significativas da relação aço/concreto entre os edifícios 2A e 2B, 2C e 2D; enquanto entre os edifícios 2B e 2C houve um ligeiro aumento.

A relação entre aço e concreto máxima do estudo de caso 1 ( $141,27 \text{ kg/m}^3$ ) corresponde a 82,08% da relação máxima do estudo de caso 2 ( $172,11 \text{ kg/m}^3$ ), ambas proporcionadas pela concepção A. Enquanto para a menor relação aço/concreto do estudo de caso 2 – edifício 2D,  $88,66 \text{ kg/m}^3$  – equivale a 90,07% do mínimo do estudo de caso 1 – edifício 1C,  $98,43 \text{ kg/m}^3$ .

Figura 26 - Relação aço/concreto das vigas dos estudos de caso 1 e 2

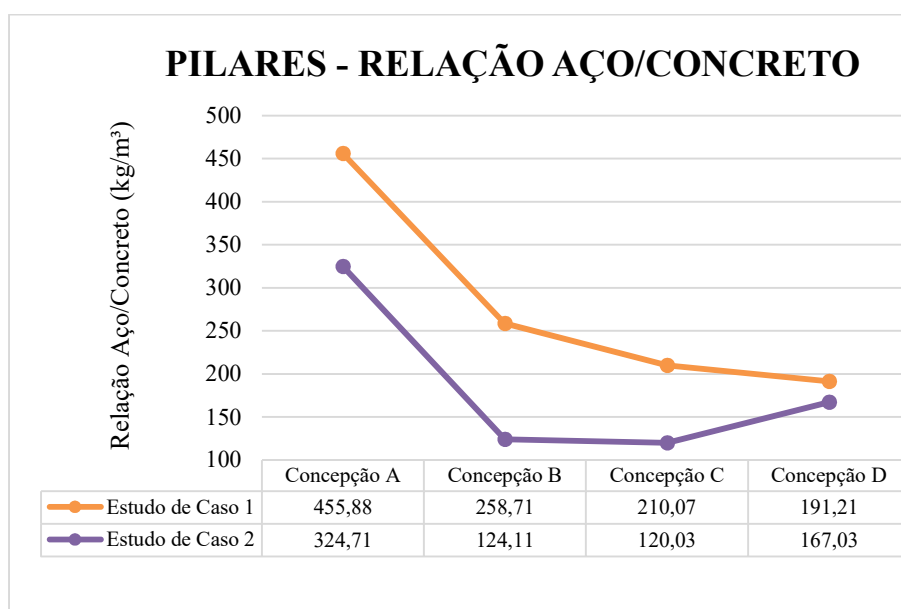


(fonte: Autoria própria)

A relação aço/concreto dos pilares dos estudos de caso 1 e 2 teve um comportamento semelhante entre as concepções A e B – redução de 43,25% do estudo de caso 1 e 61,78% o estudo de caso 2 – e B e C – queda de 18,80% e 3,29% dos estudos de caso 1 e 2 respectivamente – enquanto entre as concepções C e D, o estudo de caso 2 apresentou um aumento de 39,16% da relação aço/concreto; já o estudo de caso 1 continuou apresentando um comportamento decrescente, no entanto, de maneira mais sutil, com redução de 8,98% da relação.

Apesar do aumento da relação aço/concreto do estudo de caso 2 entre as concepções C e D, este não superou os valores das relações obtidas pelo estudo de caso 1. A Figura 27 apresenta o comportamento da entre aço e concreto dos pilares dos estudos de caso 1 e 2.

Figura 27 - Relação aço/concreto dos pilares dos estudos de caso 1 e 2

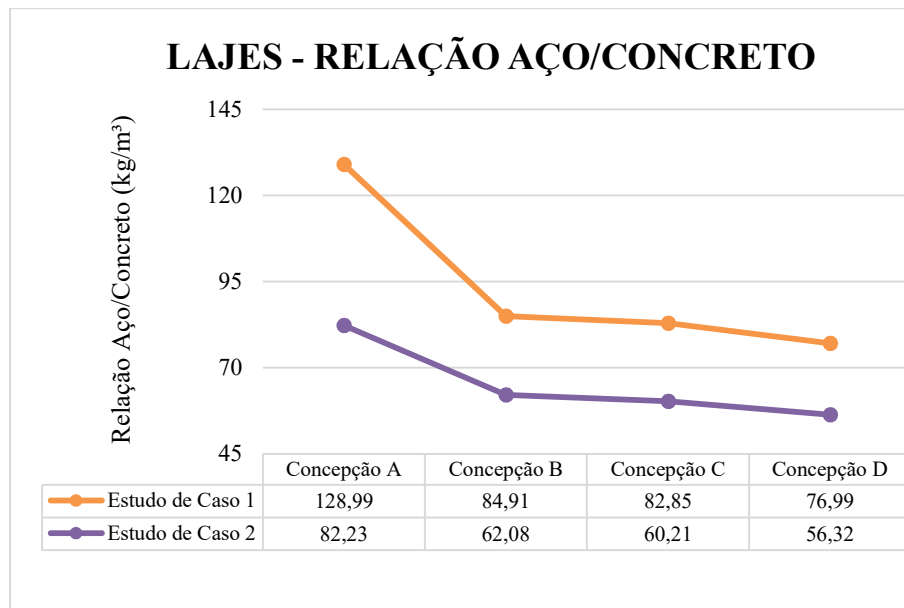


(fonte: Autoria própria)

O comportamento da relação aço/concreto das lajes dos estudos de caso 1 e 2 foram semelhantes ao longo de todas as concepções estruturais lançadas, como pode ser observado na Figura 28. Ambos apresentaram uma redução expressiva entre as concepções A e B (34,17% no estudo de caso 1 e 24,50% no estudo de caso 2), enquanto entre as demais concepções estruturais houve uma redução mais contida.

Para todas as concepções, as lajes do estudo de caso 1 apresentaram uma relação aço/concreto superior as do estudo de caso 2, em ambos, a maior relação ocorreu na concepção A – sendo o estudo de caso 1 superior em 56,86% ao estudo de caso 2 – e a mínima na concepção D – com o estudo de caso 1 superior em 36,70% ao caso 2.

Figura 28 - Relação aço/concreto das lajes dos estudos de caso 1 e 2



(fonte: Autoria própria)

Sobre a relação entre aço e concreto total dos estudos de caso, a Figura 29 apresenta as curvas que correlacionam tal relação com as concepções estruturais, com comportamento semelhante entre os casos e de cunho decrescente à medida que se acrescentam mais pilares.

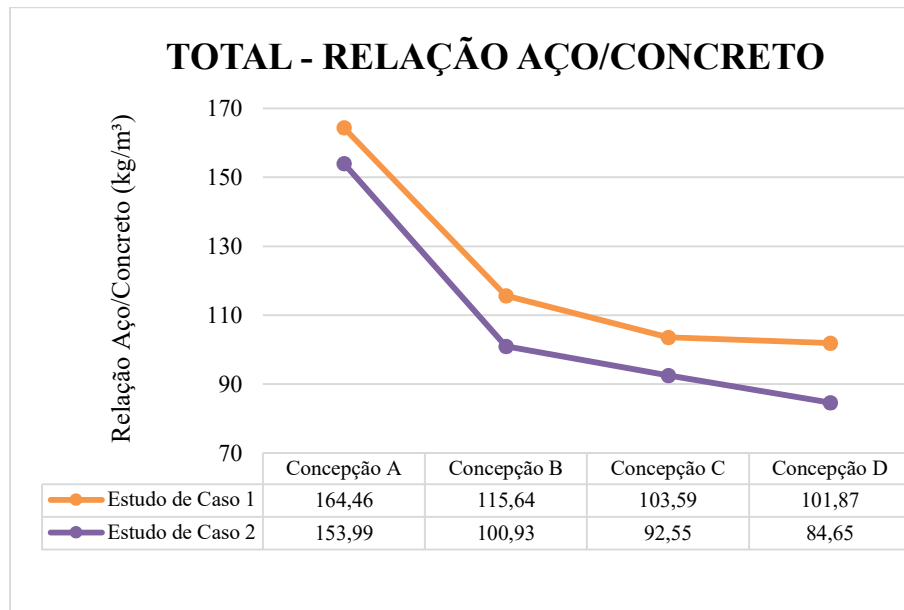
Entre as concepções A e B, nota-se uma redução expressiva de 29,69% e 34,46% na relação aço/concreto dos estudos de caso 1 e 2, respectivamente. A redução apresenta-se mais sutil entre as concepções B e C – 10,42% para o estudo de caso 1 e 8,30% para o estudo de caso 2. Já entre as concepções C e D, tem-se uma constância da relação aço e concreto do estudo de caso, cuja redução é de apenas 1,66%; enquanto, para o estudo de caso 2 a redução é de 8,54%.

Assim como a relação aço/concreto dos pilares e das lajes, o estudo de caso 1 se apresentou superior ao estudo de caso 2, em todas as concepções estruturais, para a relação total entre

estes materiais. Há uma superioridade de 6,80% e 20,34% das relações máximas e mínimas, respectivamente, entre os estudos de caso 1 e 2.

Pode-se dizer que a superioridade da relação aço concreto total do estudo de caso 1 em relação ao estudo de caso 2, dá-se devido a presença de lajes em balanço no estudo de caso 1 e a disposição dos elementos estruturais para formação de pórticos.

Figura 29 - Relação aço/concreto dos estudos de caso 1 e 2

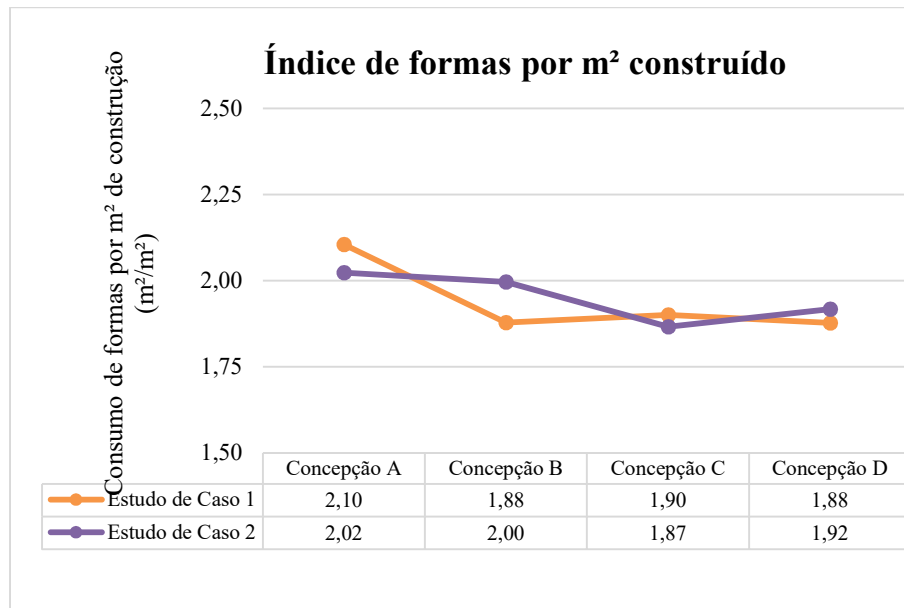


(fonte: Autoria própria)

### 4.3.2 Índice de custos e materiais por metro quadrado construído

Em relação ao índice de formas por metro quadrado de construção, observa-se uma redução de 10,48% e 7,43% do estudo de caso 1 e 2, respectivamente, entre os índices máximos – ambos gerados na concepção A – e mínimos – encontrados nas concepções B e D no caso 1; e em C no caso 2.

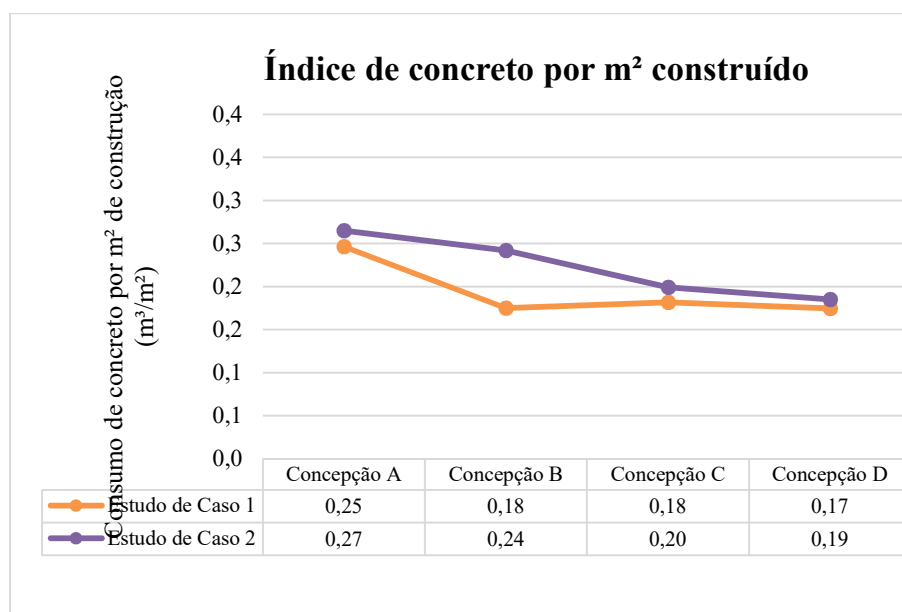
Ao se comparar os dois casos, pode-se avaliar juntamente com a Figura 30, índices de formas semelhantes em todas as concepções, apenas com uma variação maior na concepção estrutural B; no entanto, nota-se que o índice de formas por metro quadrado do edifício 1B – 1,88 m<sup>2</sup>/m<sup>2</sup> – equivale a 94% do edifício 2B – 2,0 m<sup>2</sup>/m<sup>2</sup>.

Figura 30 - Índice de formas por m<sup>2</sup> construído dos estudos de caso 1 e 2

(fonte: Autoria própria)

Os índices de concreto por metro quadrado entre os estudos de caso 1 e 2 possuem um comportamento muito próximo quando relacionados às concepções A, C e D, como pode ser observado na Figura 31. Em relação a concepção B, os índices apresentam-se mais distantes; há um aumento de 33,33% do estudo de caso 2 – 0,24 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup> – em relação ao estudo de caso 1 – 0,18 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>. Pode ser observado, também, que os índices de concreto por m<sup>2</sup> do estudo de caso 2 são superiores ao estudo de caso 1 em sua totalidade.

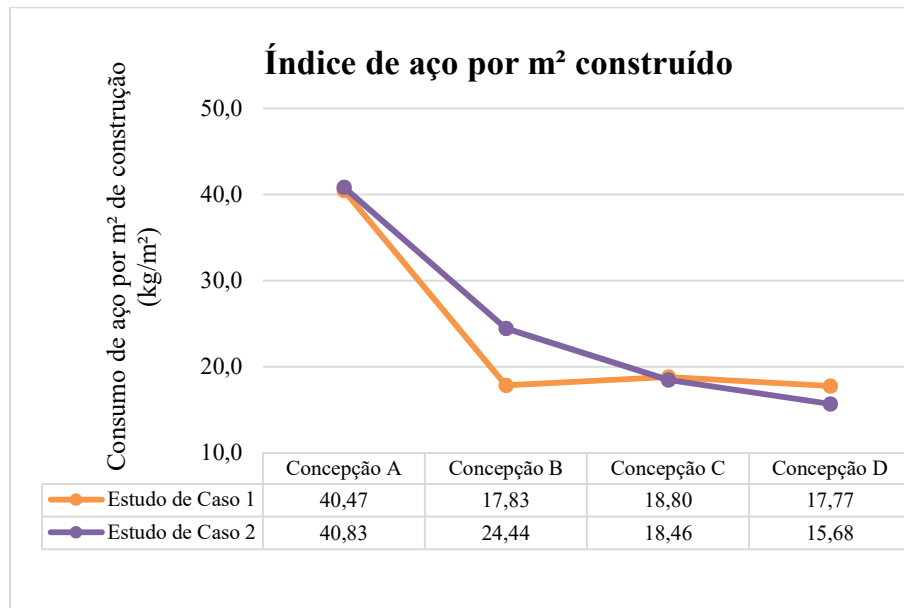


Figura 31 - Índice de concreto por m<sup>2</sup> construído dos estudos de caso 1 e 2

(fonte: Autoria própria)

Enquanto para os índices de formas e concreto por metro quadrado tem-se baixas alterações entre as concepções estruturais, para o índice de aço há uma redução notória de 55,94% e 40,14% – estudo de caso 1 e 2, respectivamente – entre as concepções A e B, como pode ser visto na Figura 32.

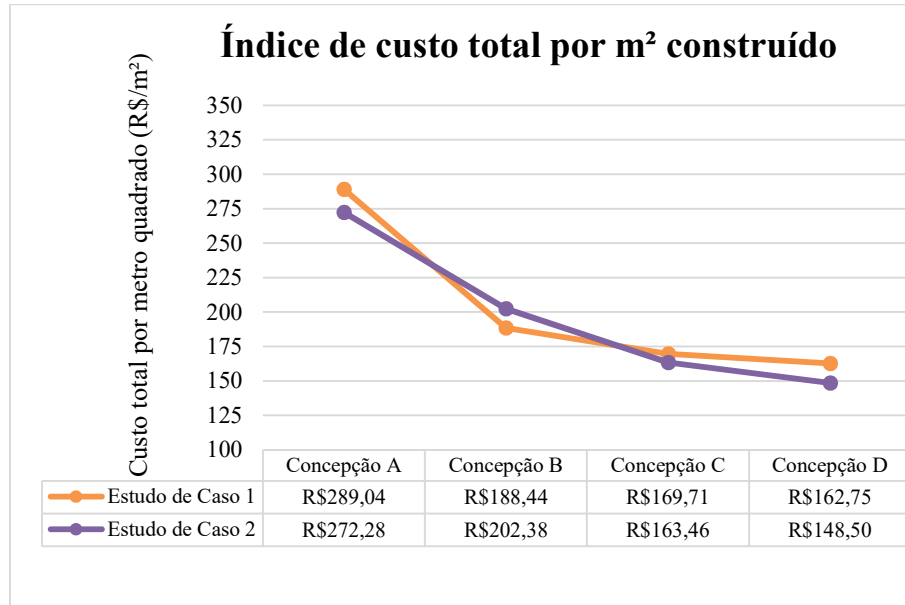
Além disso, nota-se uma constância dos índices entre as concepções B, C e D do estudo de caso 1, enquanto o estudo de caso 2 continua decrescendo, embora seja numa percentagem menor ao citado anteriormente. Observa-se, também, uma maior aproximação dos índices de aço dos estudos de caso 1 e 2 nas concepções A e C.

Figura 32 - Índice de aço por m<sup>2</sup> construído dos estudos de caso 1 e 2

(fonte: Autoria própria)

Realizando a análise de custos por metro quadrado construído dos estudos de caso 1 e 2, observa-se no gráfico da Figura 33 a proximidade destes índices em ambos os casos. No entanto, por mais que as curvas dos dois casos sejam decrescentes, o estudo de caso 1 apresenta maior queda de índice de custos entre as concepções A e B – redução de 34,80% – seguidos de diminuições mais contidas – 9,94% entre B e C; 4,10% entre C e D. Já o estudo de caso 2, apresenta uma queda menor entre as concepções A e B, quando comparados ao estudo de caso 1 – redução de 25,67% – entretanto, nos demais trechos, apresenta uma queda mais significativa do que o caso 1 – 19,23% entre B e C; 9,15% entre C e D.

Pode-se observar, também, um aumento significativo de 77,60% e 83,35% entre os índices mínimos – R\$162,75/m<sup>2</sup> do caso 1 e R\$148,50/m<sup>2</sup> do caso 2, ambos ocorrentes na concepção D – e máximos – encontrados na concepção A para ambos os casos, R\$289,04/m<sup>2</sup> caso 1 e R\$272,28/m<sup>2</sup> caso 2 – dos estudos de caso 1 e 2, respectivamente.

Figura 33 - Custo da superestrutura por m<sup>2</sup> construído dos estudos de caso 1 e 2

(fonte: Autoria própria)

## 5 CONCLUSÕES

Uma vez que a etapa da superestrutura das edificações, no tocante ao aspecto econômico, faz parte do subsistema mais oneroso de uma obra, a etapa da concepção estrutural torna-se uma importante fase na elaboração do projeto estrutural, cuja análise de alternativas, para além das escassas recomendações de literatura, fornece elementos para a decisão de um sistema estrutural com melhor resultante, considerados, dessa forma, economia e desempenho.

Tratando-se do principal objeto de estudo deste trabalho, torna-se pertinente enfatizar que o consumo de materiais é determinado pela concepção estrutural adotada, e, portanto, o aprofundamento de estudo nesta temática é de suma importância e agente agregador para a construção civil.

A partir dos resultados obtidos no trabalho, foi possível observar, de forma geral, significativa redução nos consumos de concreto, aço e formas à medida que foram inseridos mais pilares edificações. Para os consumos de aço, mostrou-se mais notória a redução entre as concepções A e B; também analisados nos estudos 1 e 2.

Uma vez que houve uma queda nos consumos com a inserção de mais pilares nos estudos de caso 1 e 2, o desenvolvimento do presente trabalho apresentou a concepção A como a mais custosa e concepção B com o menor custo de materiais da superestrutura. A redução de custos entre os edifícios 1A e 1D foi de 43,69% e de 45,46% entre os edifícios 2A e 2D. Ou seja, com os resultados obtidos no presente trabalho, é possível notar que a inserção de um maior número de pilares nas edificações reduz os consumos de materiais da superestrutura, uma vez que este elemento estrutural é utilizado como apoio de vigas, e quando em maior quantidade na estrutura, diminui o vão destas, havendo uma redução de seção transversal na etapa de pré-dimensionamento.

Em contrapartida, um número excessivo de pilares não se torna totalmente viável, uma vez que o projeto estrutural deve ser compatibilizado com o projeto arquitetônico e os demais complementares.

Embora os resultados apresentaram uma redução de consumos de materiais ao se apoiarem todas as vigas em pilares, este tipo de concepção estrutural apresenta um número excessivo de

colunas na edificação, o que não é totalmente viável, uma vez que o projeto estrutural deve ser compatibilizado com o projeto arquitetônico e os demais complementares. Com isso, o grande número de pilares num edifício pode trazer problemas para a compatibilização entre os subsistemas e não respeitar as diretrizes do projeto base.

Por fim, é importante enfatizar que a melhor concepção estrutural a ser adotada é única para cada projeto, uma vez que esta deve respeitar limitações impostas pelos projetos arquitetônicos, estar em conformidade com o lançamento dos elementos estruturais sugeridos por autores e o atendimento dos estados limites últimos e de serviço.

## 6 REFERÊNCIAS

ALBUQUERQUE, A. T. (1999). **Análise de Alternativas Estruturais para Edifícios em Concreto Armado**. Dissertação de Mestrado, Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.

ALVA, G. M. S. **Concepção estrutural de edifícios em concreto armado**. 2007, 23p. Departamento de Estruturas e Construção Civil, Universidade de Santa Maria. Santa Maria, 2007.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 14931: Execução de estruturas de concreto – Procedimento**. Rio de Janeiro, 2004.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6118: Projeto de estruturas de concreto – Procedimento**. Rio de Janeiro, 2014.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6120: Cargas para o cálculo de estruturas de edificações**. Rio de Janeiro, 1980.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6123: Forças devidas ao vento em edificações**. Rio de Janeiro, 2013.

BASTOS, P. S. S. **Lajes de Concreto**. Notas de aula, Universidade Estadual Paulista – UNESP, Bauru/SP, Brasil, 2015.

COUTO, J. A. S., et al. O concreto como material de construção. **Cadernos de Graduação – Ciências Exatas e Tecnológicas**. v. 1, n. 17, p49-58 Out 2013.

COORDENAÇÃO DE APERFEIÇOAMENTO DE PESSOAL DE NÍVEL SUPERIOR. **Tabela de áreas de conhecimento**. Disponível em: <[http://www.capes.gov.br/images/documentos/documentos\\_diversos\\_2017/TabelaAreasConhecimento\\_072012\\_atualizada\\_2017\\_v2.pdf](http://www.capes.gov.br/images/documentos/documentos_diversos_2017/TabelaAreasConhecimento_072012_atualizada_2017_v2.pdf)> Acesso em 30 de abril de 2018

GIL, A. C. **Como elaborar projetos de pesquisa**. São Paulo, v. 5, p. 61, 2002.

GIONGO, J. S. **Concreto armado: Projeto estrutural de edifícios**. EESC/SET. São Carlos, 2007.

GONZÁLEZ, M. A. S. **Noções de orçamento e planejamento de obras**. Notas de aula, Universidade do Vale do Rio dos Sinos - UNISINOS, São Leopoldo/RS, Brasil, 2008.

INGENIEROS, CYPE<sup>1</sup>. **Gerador de preços**. Brasil. Disponível em <[http://www.brasil.geradordeprecos.info/espacos\\_urbanos/Estruturas/EN\\_Concretos\\_\\_acos\\_e\\_sistemas\\_de\\_/Acos/Aco\\_para\\_concreto.html](http://www.brasil.geradordeprecos.info/espacos_urbanos/Estruturas/EN_Concretos__acos_e_sistemas_de_/Acos/Aco_para_concreto.html)> Acesso em 01 de outubro de 2018.

INGENIEROS, CYPE<sup>2</sup>. **Gerador de preços**. Brasil. Disponível em <[http://www.brasil.geradordeprecos.info/espacos\\_urbanos/Estruturas/EN\\_Concretos\\_\\_acos\\_e\\_sistemas\\_de\\_/Concretos/Concreto\\_para\\_armar.html](http://www.brasil.geradordeprecos.info/espacos_urbanos/Estruturas/EN_Concretos__acos_e_sistemas_de_/Concretos/Concreto_para_armar.html)> Acesso em 01 de outubro de 2018.

INGENIEROS, CYPE<sup>3</sup>. **Gerador de preços**. Brasil. Disponível em <[http://www.brasil.geradordeprecos.info/obra\\_nova/Estruturas/Concreto\\_armado/Vigas/EHV011\\_Sistema\\_de\\_escoramento\\_e\\_fo\\_rmas\\_par.html](http://www.brasil.geradordeprecos.info/obra_nova/Estruturas/Concreto_armado/Vigas/EHV011_Sistema_de_escoramento_e_fo_rmas_par.html)> Acesso em 01 de outubro de 2018.

KIMURA, A. **Informática aplicada em estruturas de concreto armado: cálculos de edifícios com o uso de sistemas computacionais**. 1ª Ed. São Paulo: Editora PINI LTDA, 2007.

LACERDA, M. M. S.; FLORÊNCIO, A. C.; SILVA, W. A.; DELALIBERA, R. G. Avaliação dos critérios para análise da estabilidade global em edifícios de concreto armado: Estudo de caso. **Revista Eletrônica de Engenharia Civil**, Goiás. v.9 n.2 p24-37 Out 2014. Disponível em <<http://revistas.ufg.br/index.php/reec/index>> Acesso em 25 de abril de 2018.

LORIGGIO, D. D. Reflexões sobre o projeto de estruturas de concreto armado utilizando recursos computacionais. **Revista Estrutura**, São Carlos. v.1 n.1 p62-65 Jul 2016. Disponível em <[http://abece.com.br/Revista\\_estrutura/Edicao1/20160706\\_Estrutura\\_ABECE\\_01\\_Grafica.pdf](http://abece.com.br/Revista_estrutura/Edicao1/20160706_Estrutura_ABECE_01_Grafica.pdf)> Acesso em 15 de abril de 2018.

MULTIPLUS SOFTWARES TÉCNICOS. **CYPECAD – Manual do Usuário**. São Paulo. Disponível em <<http://www.multiplus.com/CYPECAD/Manuais.htm>> Acesso em: 23 de maio de 2018.

OLIVEIRA, H. L. **Modelos numéricos aplicados à análise viscoelástica linear e à otimização topológica probabilística de estruturas bidimensionais: uma abordagem pelo Método dos Elementos de Contorno**. 2017. 199 f. Tese (Doutorado em Engenharia de Estruturas) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2017.

PINHEIRO, L. M. **Tabela de Lajes**. São Carlos, 2007.

PINHEIRO, L. M.; MUZARDO, C. D.; SANTOS, S. P. **Fundamentos do concreto e projetos de edifícios**. São Carlos, 2007.

PRODANOV, C. C.; DE FREITAS, E. C. **Metodologia do Trabalho Científico: Métodos e Técnicas da Pesquisa e do Trabalho Acadêmico-2ª Edição**. Editora Feevale, 2013.

SANTOS, E. S. **A armação do concreto no Brasil: História da difusão da tecnologia do concreto armado e da construção de sua hegemonia**. 2008. 338 f. Tese (Doutorado em Conhecimento e Inclusão Social) – Faculdade de Educação, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2008.

SIAS, F. M.; ALVES, E. C. Dimensionamento ótimo de pilares de concreto armado. **Revista Eletrônica de Engenharia Civil**, Goiás. v.9 n.3 p16-31 Nov 2014. Disponível em <<http://revistas.ufg.br/index.php/reec/index>> Acesso em 25 de abril de 2018.

SILVA, E. L.; MENEZES, E. M. **Metodologia da pesquisa e elaboração de dissertação**. UFSC, Florianópolis, 4a. edição, 2005.

SILVA, F.T. Concepção interativa e parametrizada de edifícios de múltiplos pavimentos em concreto armado. **Gestão & Tecnologia de Projetos**, São Carlos. v.12 n.1 p9-27 Jan/Abr 2017. Disponível em <<http://dx.doi.org/10.11606/gtp.v12i1.99212>> Acesso em 22 de abril de 2018.

SILVA, G. A. P.; FILHO, M. A. L. **Análise comparativa entre softwares de cálculo estrutural: estudo de caso**. 2015. 72 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação de Engenharia Civil), Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2017. Disponível em: <[https://docgo.net/philosophy-of-money.html?utm\\_source=tfc-lia-2015-pdf](https://docgo.net/philosophy-of-money.html?utm_source=tfc-lia-2015-pdf)>. Acesso em: 23 de abril de 2018.

SOUZA, E. F. **Concepção estrutural e ação nas estruturas**. Notas de aula da disciplina Concreto Armado I, Universidade Tecnológica Federal do Paraná – UTFPR, Guarapuava/PR, Brasil, 2017.

TAPAJÓS, L. S., et al. Efeito do vento no dimensionamento de edifícios de concreto armado. **Revista Ibracon de Estruturas e Materiais**. v. 9 n. 6 p883-910 Dez 2016. Disponível em <[http://www.ibracon.org.br/publicacoes/revistas\\_ibracon/Riem/vol9\\_n6/files/assets/common/downloads/publication.pdf](http://www.ibracon.org.br/publicacoes/revistas_ibracon/Riem/vol9_n6/files/assets/common/downloads/publication.pdf)> Acesso em 27 de maio de 2018.

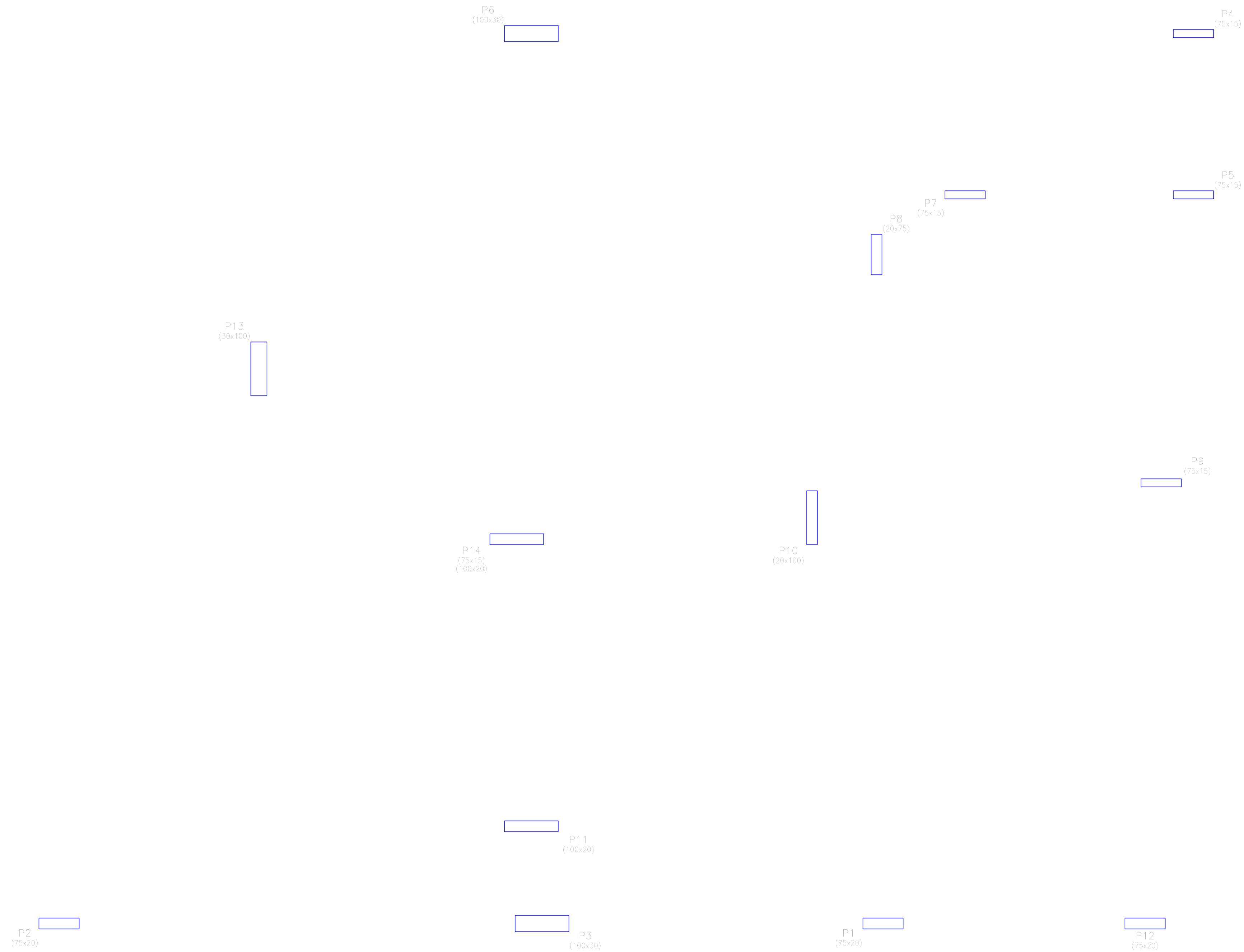
VARGAS, L. S., et al. **Custos médios dos serviços em edificações baseados em série histórica de orçamentos reais**. Encontro de engenharia e tecnologia dos Campos Gerais. 5ª edição. 2010. 6 f. Disponível em: <[http://www.5eetcg.uepg.br/Anais/artigospdf/50003\\_vf1.pdf](http://www.5eetcg.uepg.br/Anais/artigospdf/50003_vf1.pdf)> Acesso em 15 de abril de 2018.

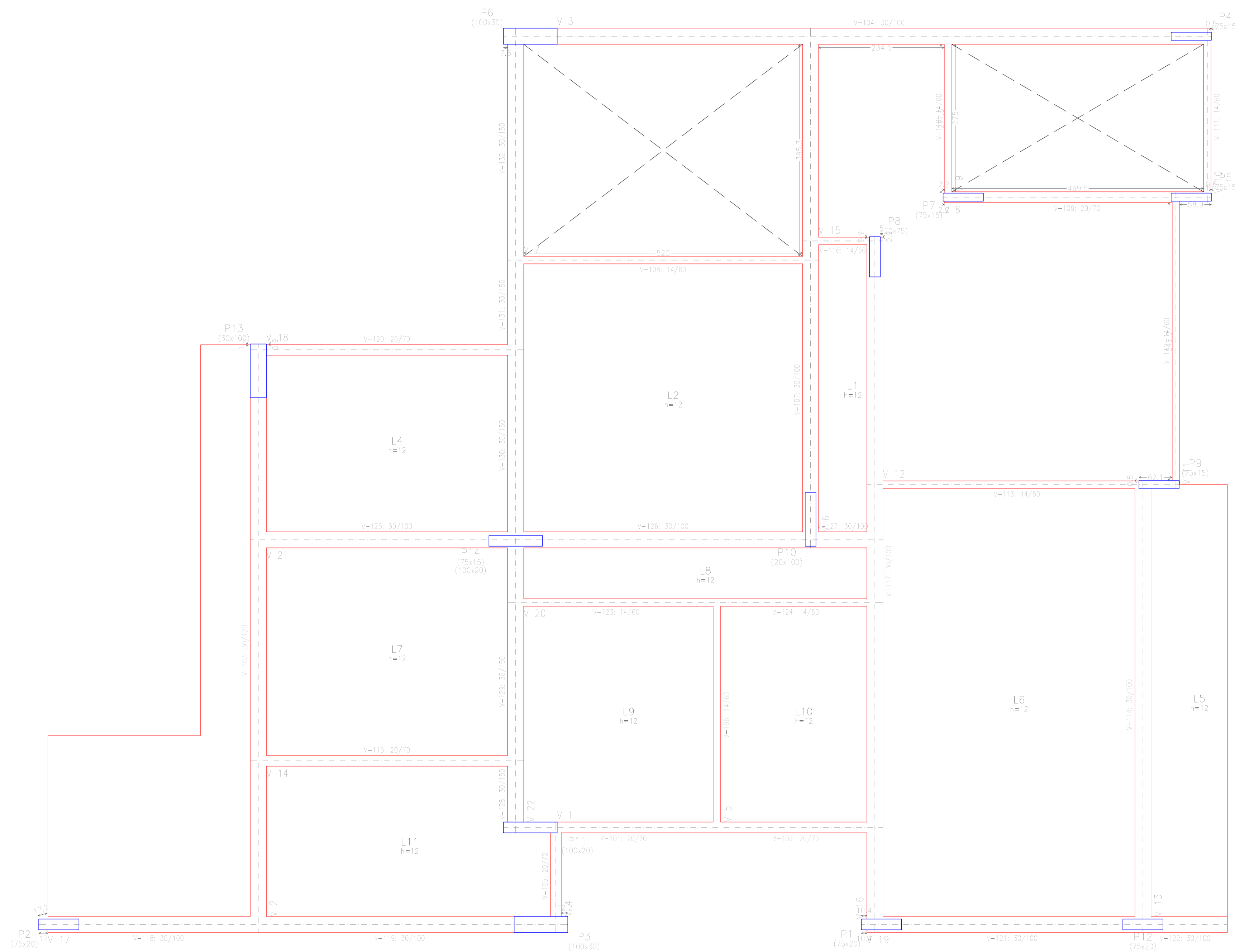
CUSTÓDIO, R; VERGUTZ, J. A. **Análise comparativa de resultados obtidos de softwares de dimensionamento de estruturas de concreto**. 2010. 261 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação de Engenharia Civil), Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2010.

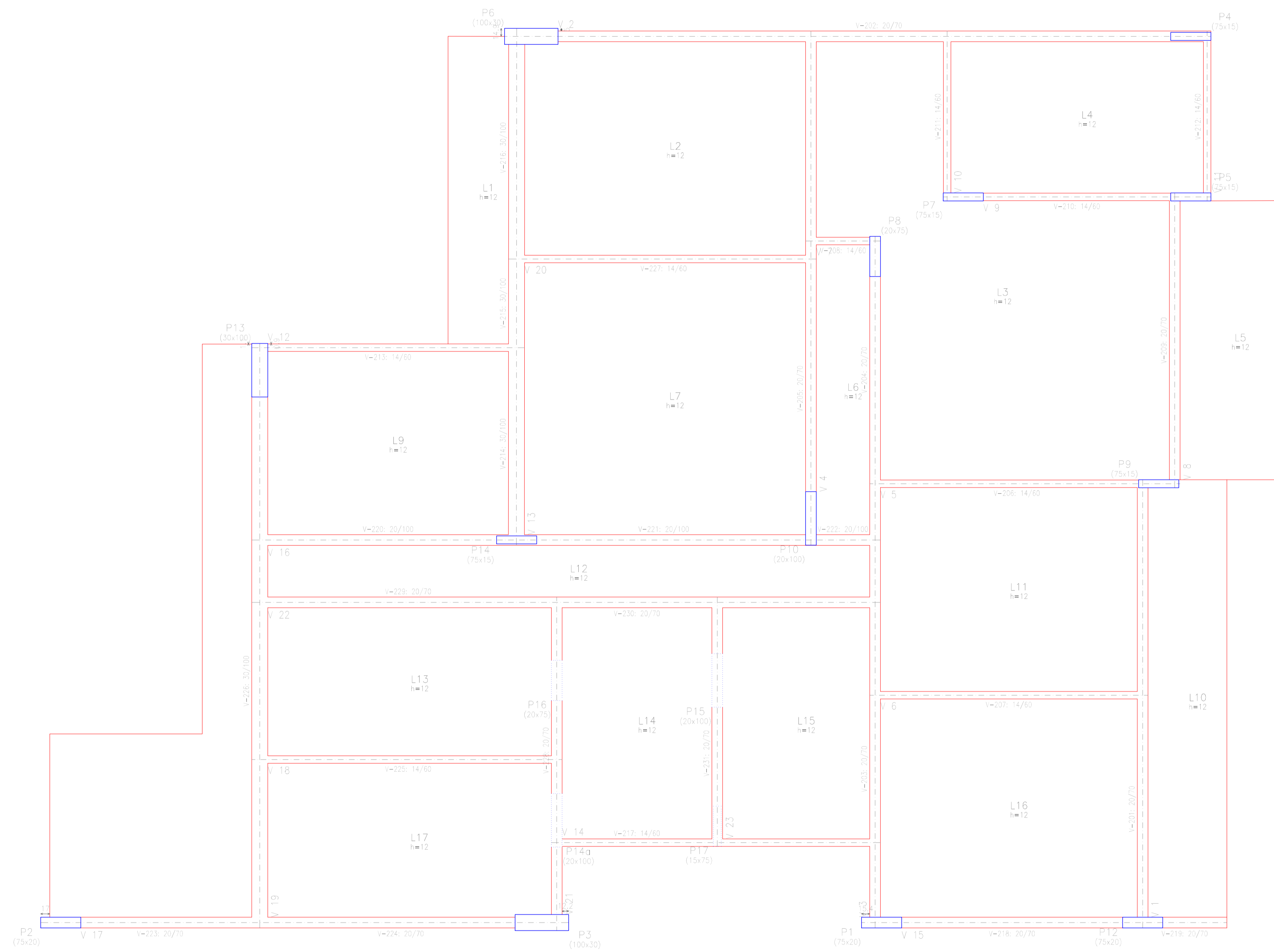
VIANNA, L. C. C. **Otimização de seções transversais de concreto armado: aplicação a pórticos**. 2003. 127p. Dissertação de Mestrado – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos.

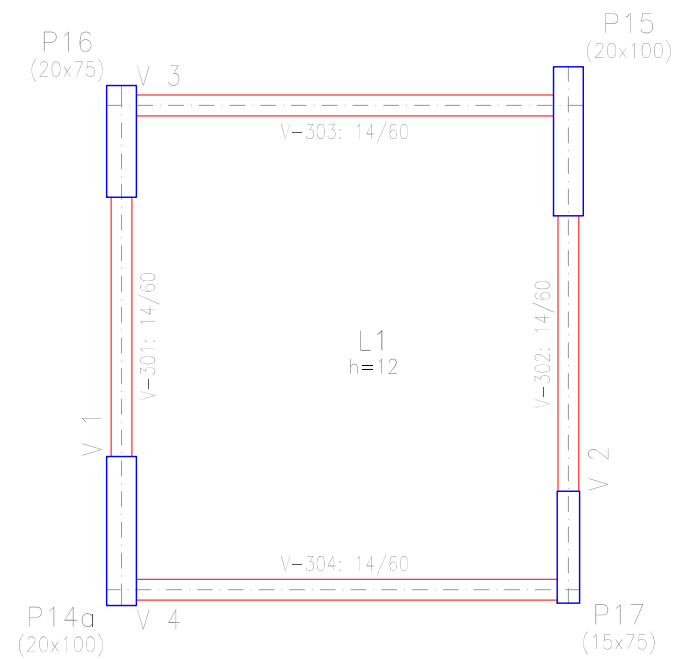


## **APÊNDICE A - PLANTA DE FORMAS EDIFÍCIO 1A**









UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL  
DO PARANÁ - CÂMPUS GUARAPUAVA

**TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO**

ALUNA: ALINE MONTANHER POLIZEL

ORIENTADOR: PROF. MSC. EDSON FLORENTINO DE SOUZA

PLANTA DE FORMAS - COBERTURA DO RESERVATÓRIO

FOLHA:

69

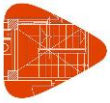
REFERÊNCIA: EDIFÍCIO 1A

LOCAL DA OBRA: MARINGÁ - PR

DATA: 16/11/2018

ESCALA: 1:50

## **APÊNDICE B - RELATÓRIO DE QUANTITATIVOS EDIFÍCIO 1A**



## Quantidades da obra

Piso 1 - Superfície total: 214.28 m<sup>2</sup>

Elemento	Formas (m <sup>2</sup> )	Volume (m <sup>3</sup> )	Barras (kg)
LAJES	176.54	21.18	3535
Vigas: fundo	35.19	37.84	4777
Forma lateral	247.84		
Pilares (Sup. Formas)	60.95	5.15	2597
Escadas	13.45	2.44	168
<b>Total</b>	<b>533.97</b>	<b>66.61</b>	<b>11077</b>
Índices (por m <sup>2</sup> )	2.492	0.311	51.69

Cobertura - Superfície total: 300.03 m<sup>2</sup>

Elemento	Formas (m <sup>2</sup> )	Volume (m <sup>3</sup> )	Barras (kg)
LAJES	268.30	32.20	3442
Vigas: fundo	28.80	24.17	4059
Forma lateral	188.81		
Pilares (Sup. Formas)	61.68	5.17	1840
<b>Total</b>	<b>547.59</b>	<b>61.54</b>	<b>9341</b>
Índices (por m <sup>2</sup> )	1.825	0.205	31.13

Cobertura casa das máquinas - Superfície total: 10.78 m<sup>2</sup>

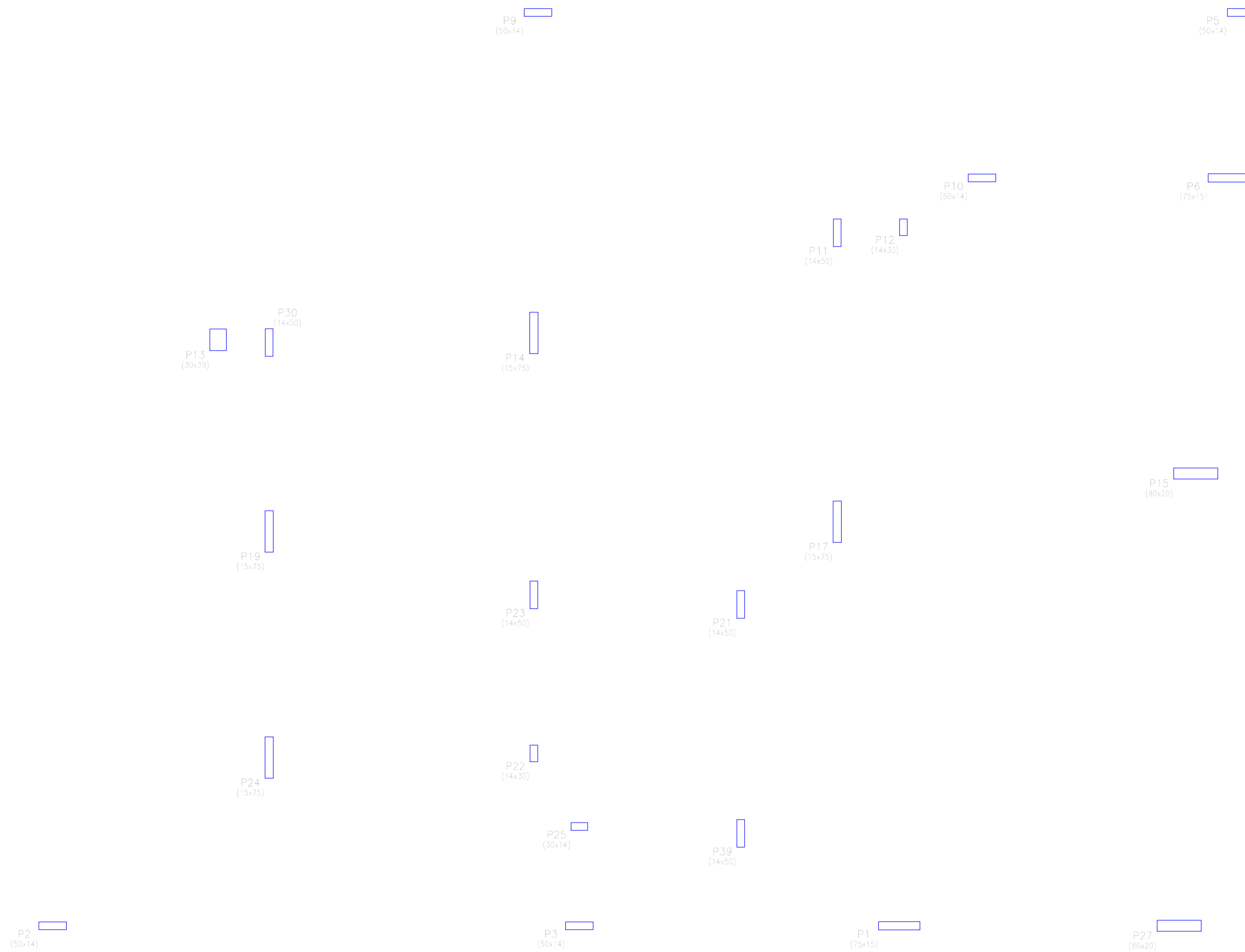
Elemento	Formas (m <sup>2</sup> )	Volume (m <sup>3</sup> )	Barras (kg)
LAJES	8.83	1.06	45
Vigas: fundo	1.29	1.13	84
Forma lateral	9.95		
Pilares (Sup. Formas)	17.00	1.33	874
<b>Total</b>	<b>37.07</b>	<b>3.52</b>	<b>1003</b>
Índices (por m <sup>2</sup> )	3.439	0.327	93.04

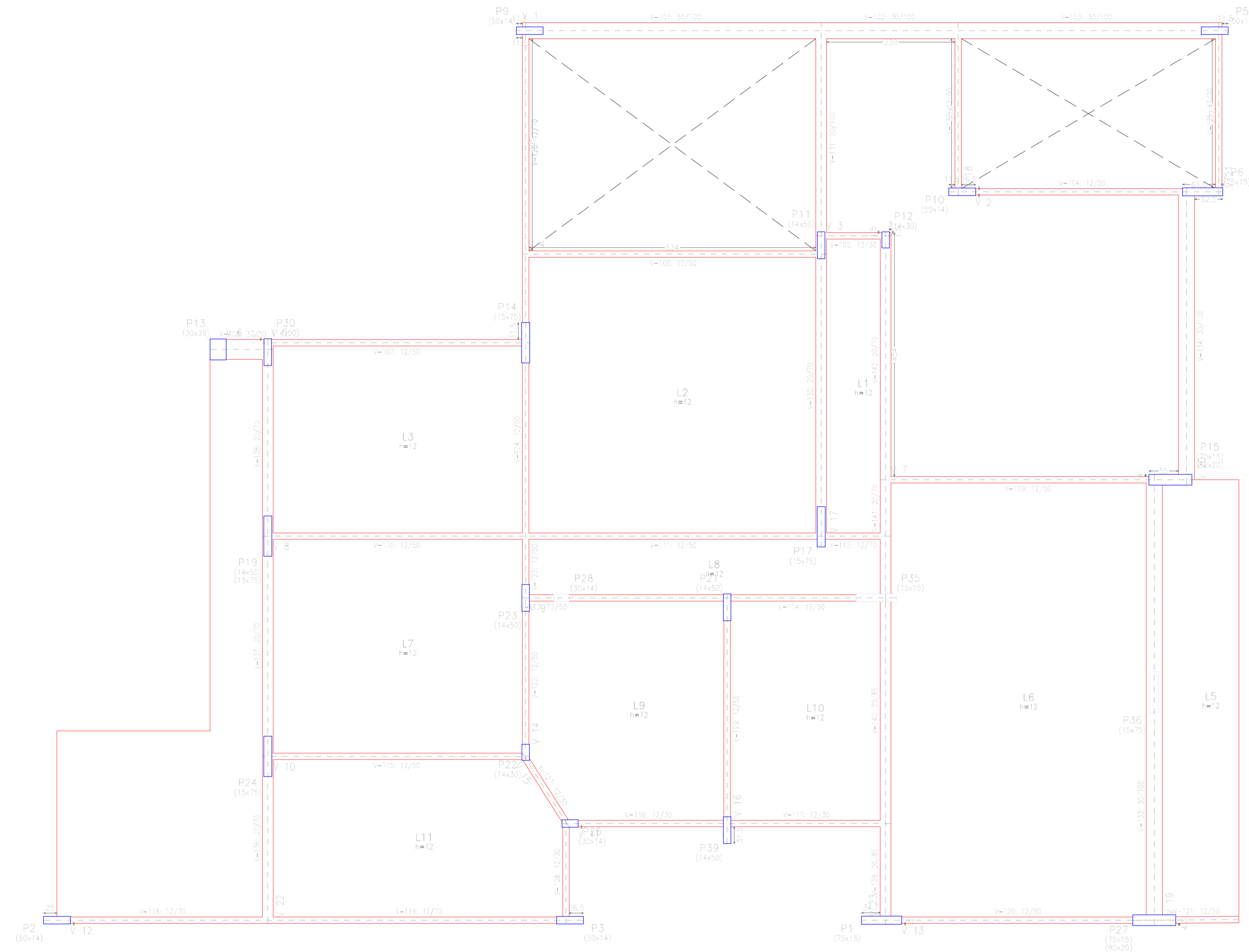
Total obra - Superfície total: 525.09 m<sup>2</sup>

Elemento	Formas (m <sup>2</sup> )	Volume (m <sup>3</sup> )	Barras (kg)
LAJES	453.67	54.44	7022
Vigas: fundo	65.28	63.14	8920
Forma lateral	446.60		
Pilares (Sup. Formas)	139.63	11.65	5311
Escadas	13.45	2.44	168
<b>Total</b>	<b>1118.63</b>	<b>131.67</b>	<b>21421</b>
Índices (por m <sup>2</sup> )	2.130	0.251	40.79

**APÊNDICE C - PLANTA DE FORMAS EDIFÍCIO 1B**

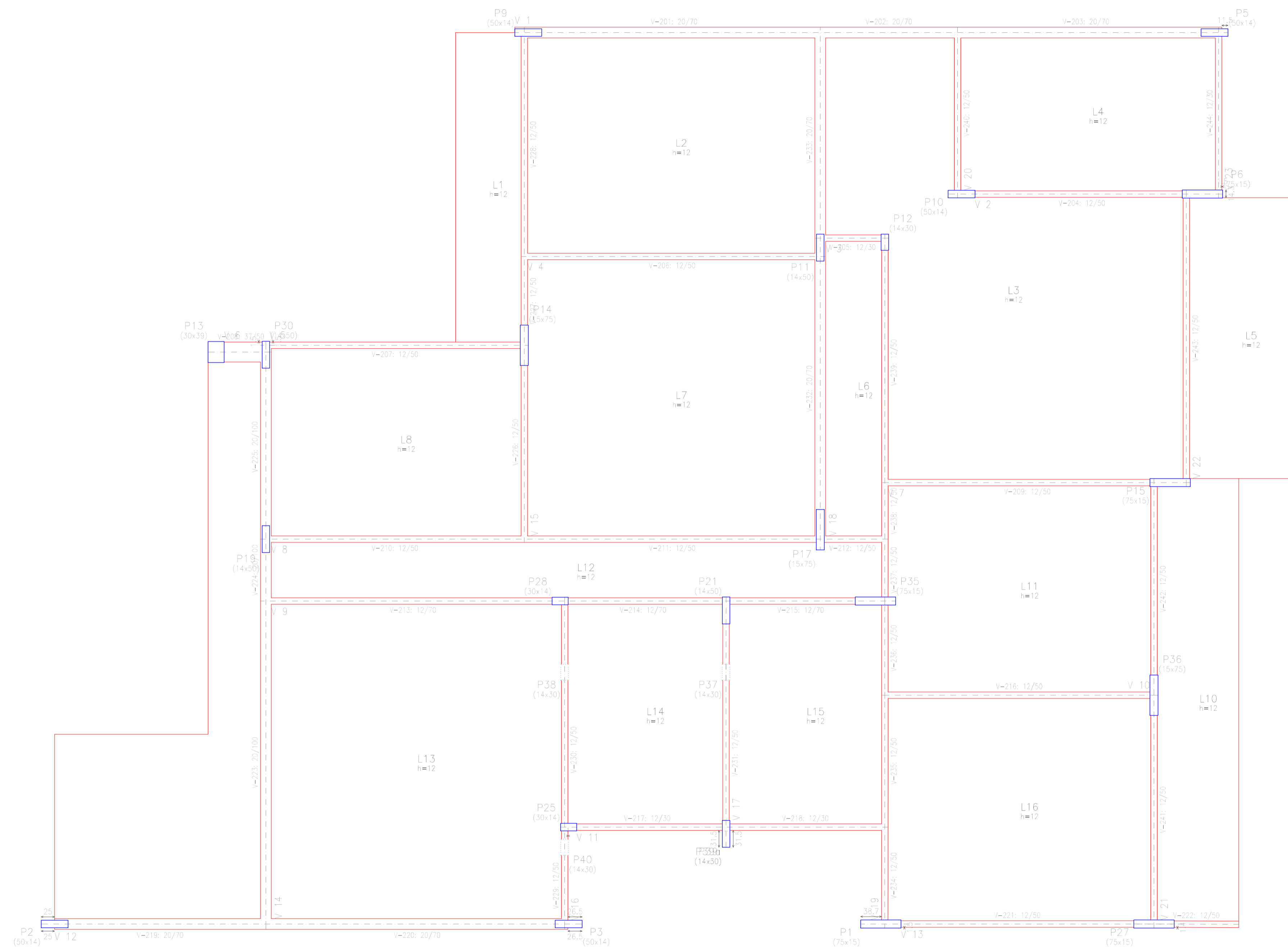


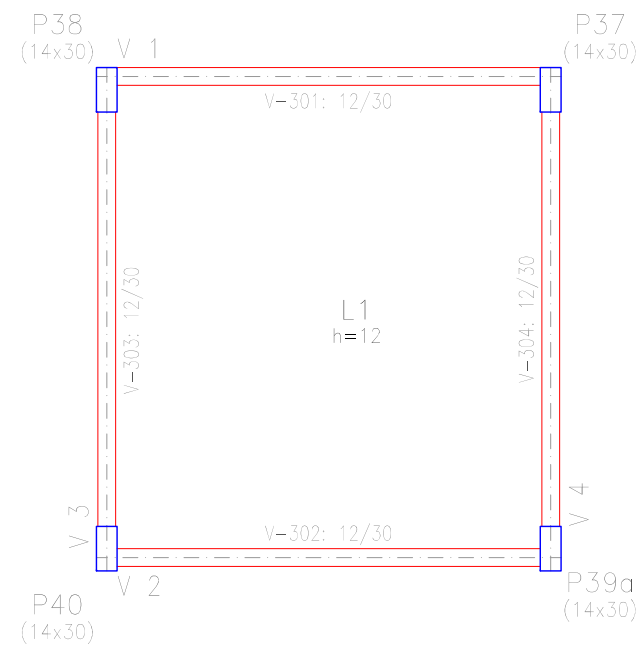




PRODUCED BY AN AUTODESK STUDENT VERSION

PRODUCED BY AN AUTODESK STUDENT VERSION





UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ - CÂMPUS GUARAPUAVA

**TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO**

ALUNA: ALINE MONTANHER POLIZEL

ORIENTADOR: PROF. MSC. EDSON FLORENTINO DE SOUZA

PLANTA DE FORMAS - COBERTURA DO RESERVATÓRIO

FOLHA: **76**

REFERÊNCIA: EDIFÍCIO 1B

LOCAL DA OBRA: MARINGÁ - PR

DATA: 16/11/2018

ESCALA: 1:50

## **APÊNDICE D - RELATÓRIO DE QUANTITATIVOS EDIFÍCIO 1B**



## Quantidades da obra

Piso 1 - Superfície total: 211.46 m<sup>2</sup>

Elemento	Formas (m <sup>2</sup> )	Volume (m <sup>3</sup> )	Barras (kg)
LAJES	185.11	22.21	2302
Vigas: fundo	24.15	19.14	2168
Forma lateral	169.83		
Pilares (Sup. Formas)	76.14	4.66	1262
Escadas	11.26	1.13	145
<b>Total</b>	<b>466.49</b>	<b>47.14</b>	<b>5877</b>
Índices (por m <sup>2</sup> )	2.206	0.223	27.79

Cobertura - Superfície total: 297.78 m<sup>2</sup>

Elemento	Formas (m <sup>2</sup> )	Volume (m <sup>3</sup> )	Barras (kg)
LAJES	274.90	32.99	2433
Vigas: fundo	20.87	13.84	2016
Forma lateral	144.36		
Pilares (Sup. Formas)	77.46	4.58	1149
<b>Total</b>	<b>517.59</b>	<b>51.41</b>	<b>5598</b>
Índices (por m <sup>2</sup> )	1.738	0.173	18.80

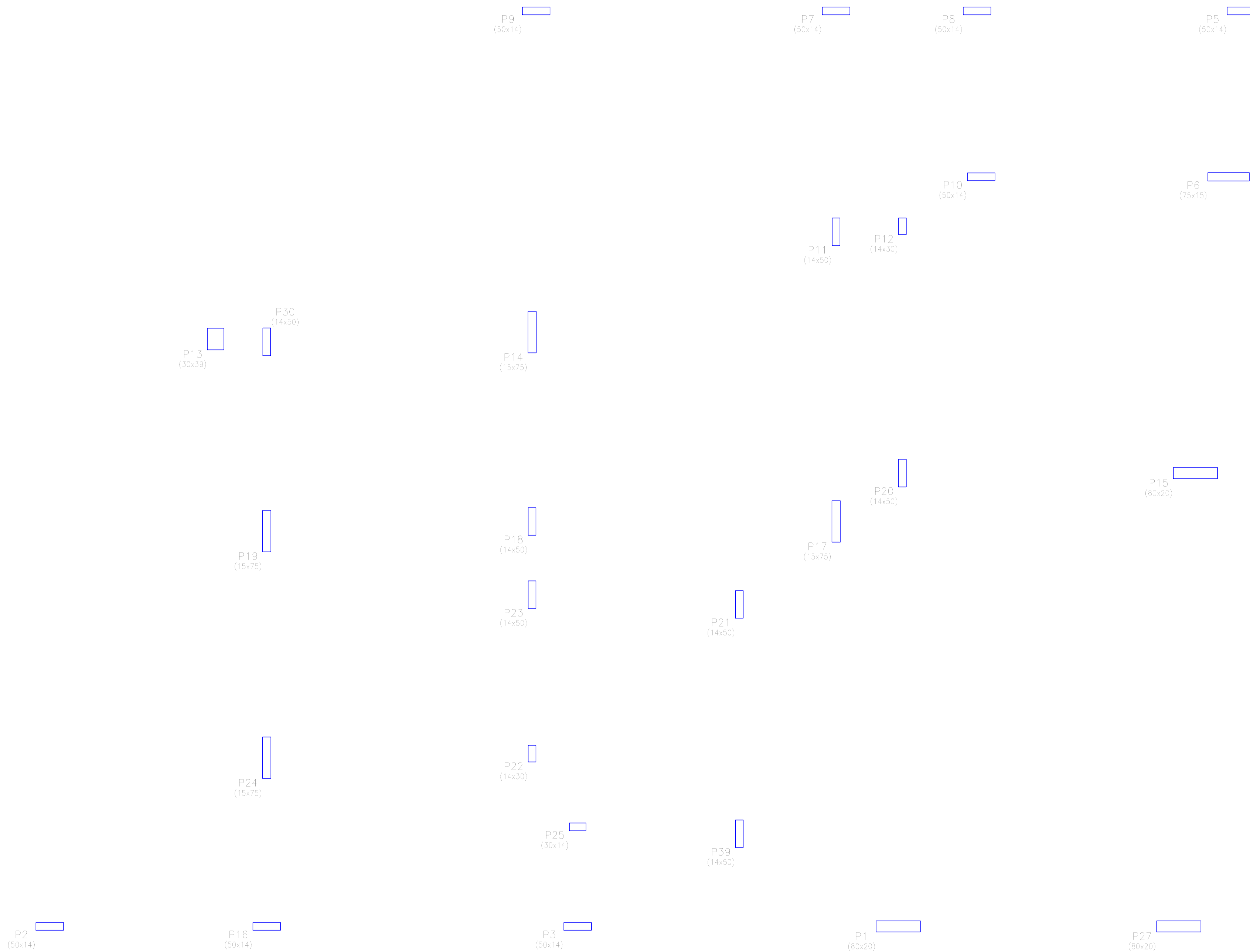
Cobertura casa das máquinas - Superfície total: 10.55 m<sup>2</sup>

Elemento	Formas (m <sup>2</sup> )	Volume (m <sup>3</sup> )	Barras (kg)
LAJES	9.01	1.08	44
Vigas: fundo	1.37	0.48	35
Forma lateral	5.51		
Pilares (Sup. Formas)	8.08	0.40	83
<b>Total</b>	<b>23.97</b>	<b>1.96</b>	<b>162</b>
Índices (por m <sup>2</sup> )	2.272	0.186	15.36

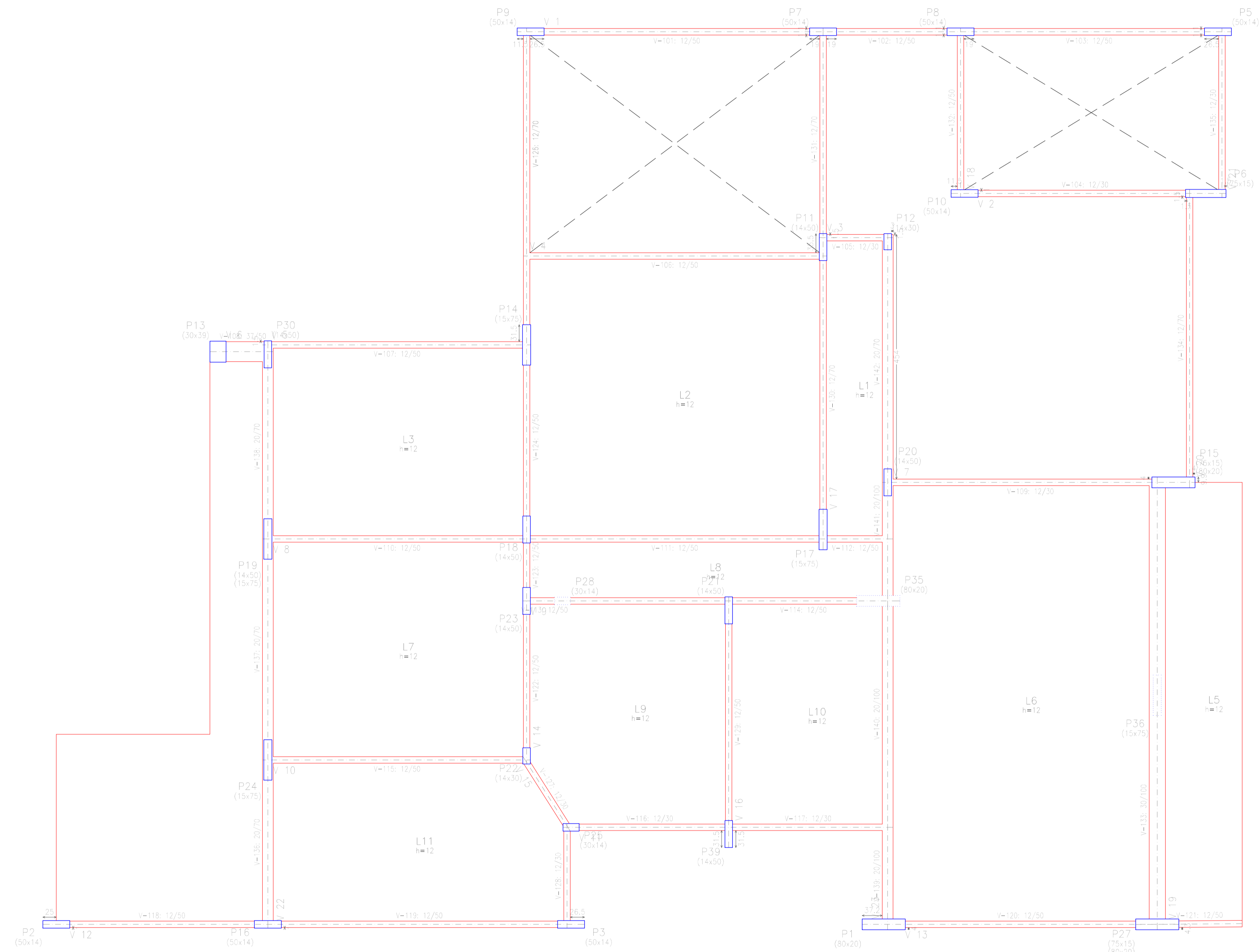
Total obra - Superfície total: 519.79 m<sup>2</sup>

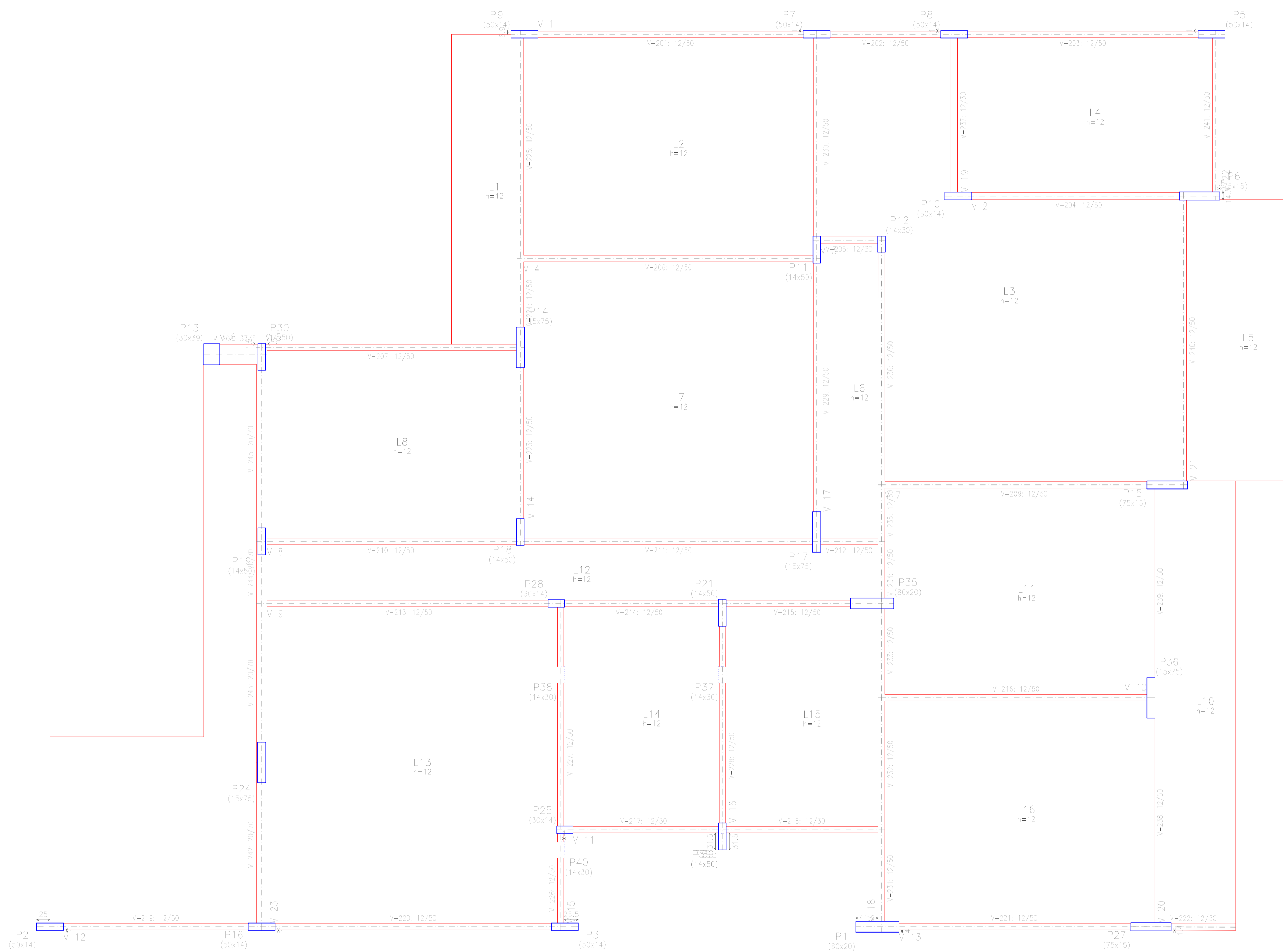
Elemento	Formas (m <sup>2</sup> )	Volume (m <sup>3</sup> )	Barras (kg)
LAJES	469.02	56.28	4779
Vigas: fundo	46.39	33.46	4219
Forma lateral	319.70		
Pilares (Sup. Formas)	161.68	9.64	2494
Escadas	11.26	1.13	145
<b>Total</b>	<b>1008.05</b>	<b>100.51</b>	<b>11637</b>
Índices (por m <sup>2</sup> )	1.939	0.193	22.39

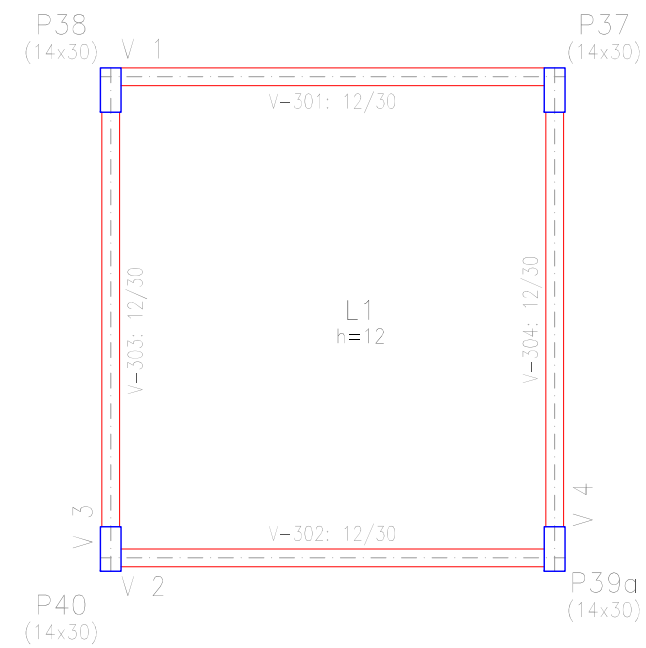
**APÊNDICE E - PLANTA DE FORMAS EDIFÍCIO 1C**











UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ - CÂMPUS GUARAPUAVA

**TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO**

ALUNA: ALINE MONTANHER POLIZEL

ORIENTADOR: PROF. MSC. EDSON FLORENTINO DE SOUZA

PLANTA DE FORMAS - COBERTURA DO RESERVATÓRIO

FOLHA:

**83**

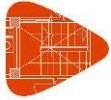
REFERÊNCIA: EDIFÍCIO 1C

LOCAL DA OBRA: MARINGÁ - PR

DATA: 16/11/2018

ESCALA: 1:50

**APÊNDICE F - RELATÓRIO DE QUANTITATIVOS EDIFÍCIO 1C**



## Quantidades da obra

Piso 1 - Superfície total: 207.99 m<sup>2</sup>

Elemento	Formas (m <sup>2</sup> )	Volume (m <sup>3</sup> )	Barras (kg)
LAJES	185.47	22.26	2273
Vigas: fundo	19.87	13.96	1514
Forma lateral	143.70		
Pilares (Sup. Formas)	95.56	5.84	1319
Escadas	11.26	1.13	145
<b>Total</b>	<b>455.86</b>	<b>43.19</b>	<b>5251</b>
Índices (por m <sup>2</sup> )	2.192	0.208	25.25

Cobertura - Superfície total: 296.93 m<sup>2</sup>

Elemento	Formas (m <sup>2</sup> )	Volume (m <sup>3</sup> )	Barras (kg)
LAJES	276.40	33.17	2365
Vigas: fundo	18.03	10.36	892
Forma lateral	117.20		
Pilares (Sup. Formas)	99.10	5.97	1164
<b>Total</b>	<b>510.73</b>	<b>49.50</b>	<b>4421</b>
Índices (por m <sup>2</sup> )	1.720	0.167	14.89

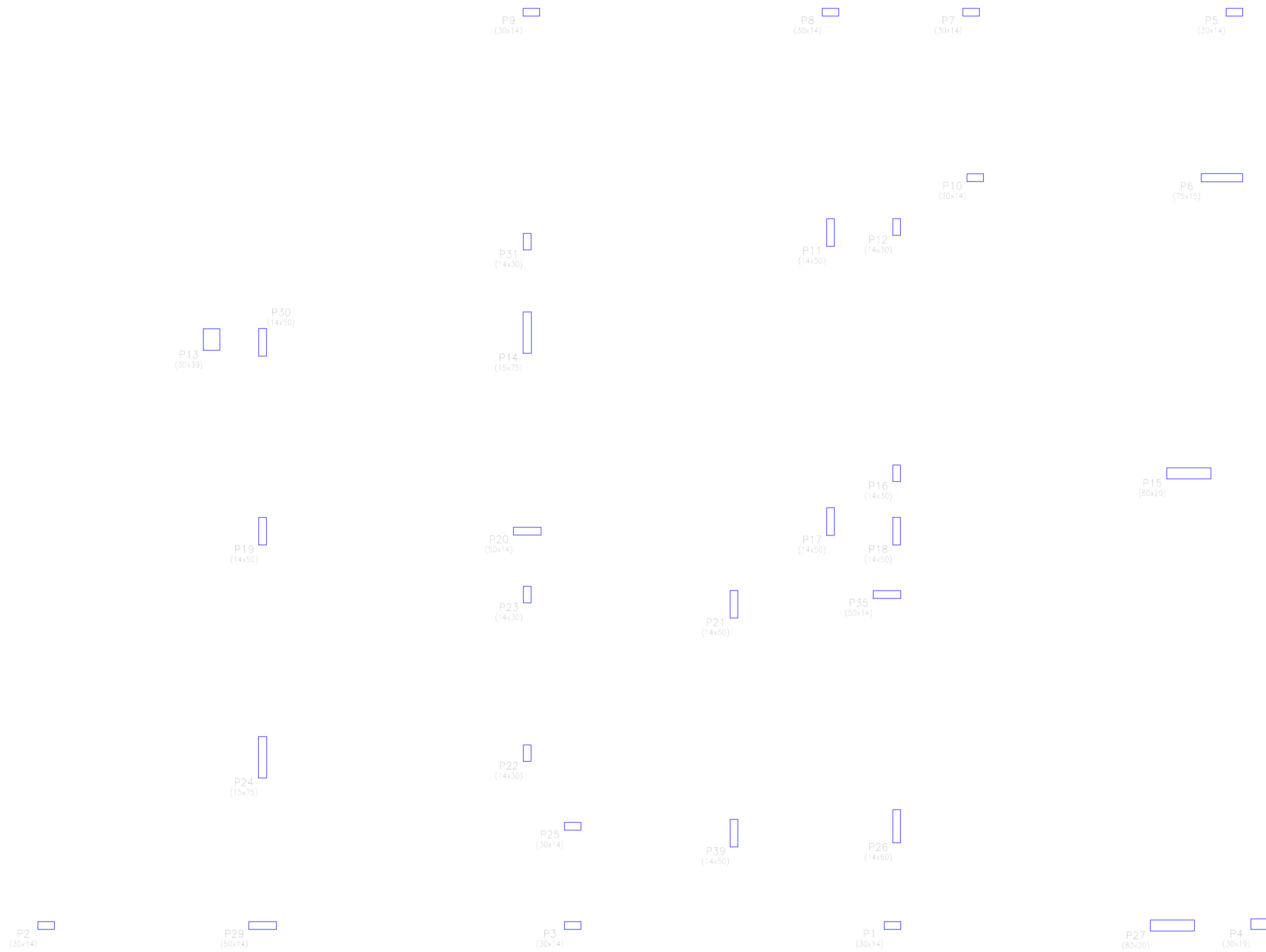
Cobertura casa das máquinas - Superfície total: 10.55 m<sup>2</sup>

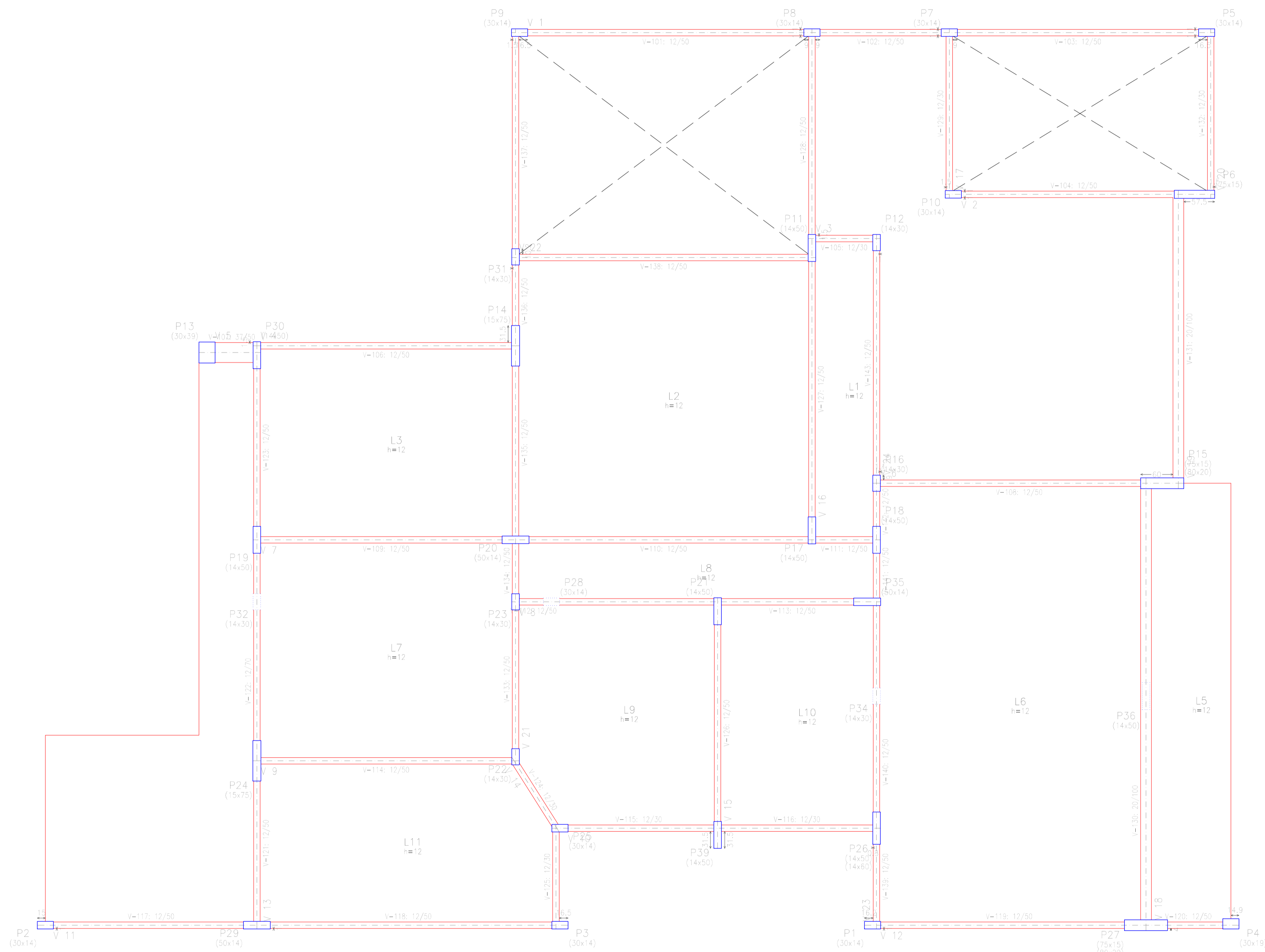
Elemento	Formas (m <sup>2</sup> )	Volume (m <sup>3</sup> )	Barras (kg)
LAJES	9.01	1.08	44
Vigas: fundo	1.37	0.48	35
Forma lateral	5.51		
Pilares (Sup. Formas)	8.08	0.40	82
<b>Total</b>	<b>23.97</b>	<b>1.96</b>	<b>161</b>
Índices (por m <sup>2</sup> )	2.272	0.186	15.26

Total obra - Superfície total: 515.47 m<sup>2</sup>

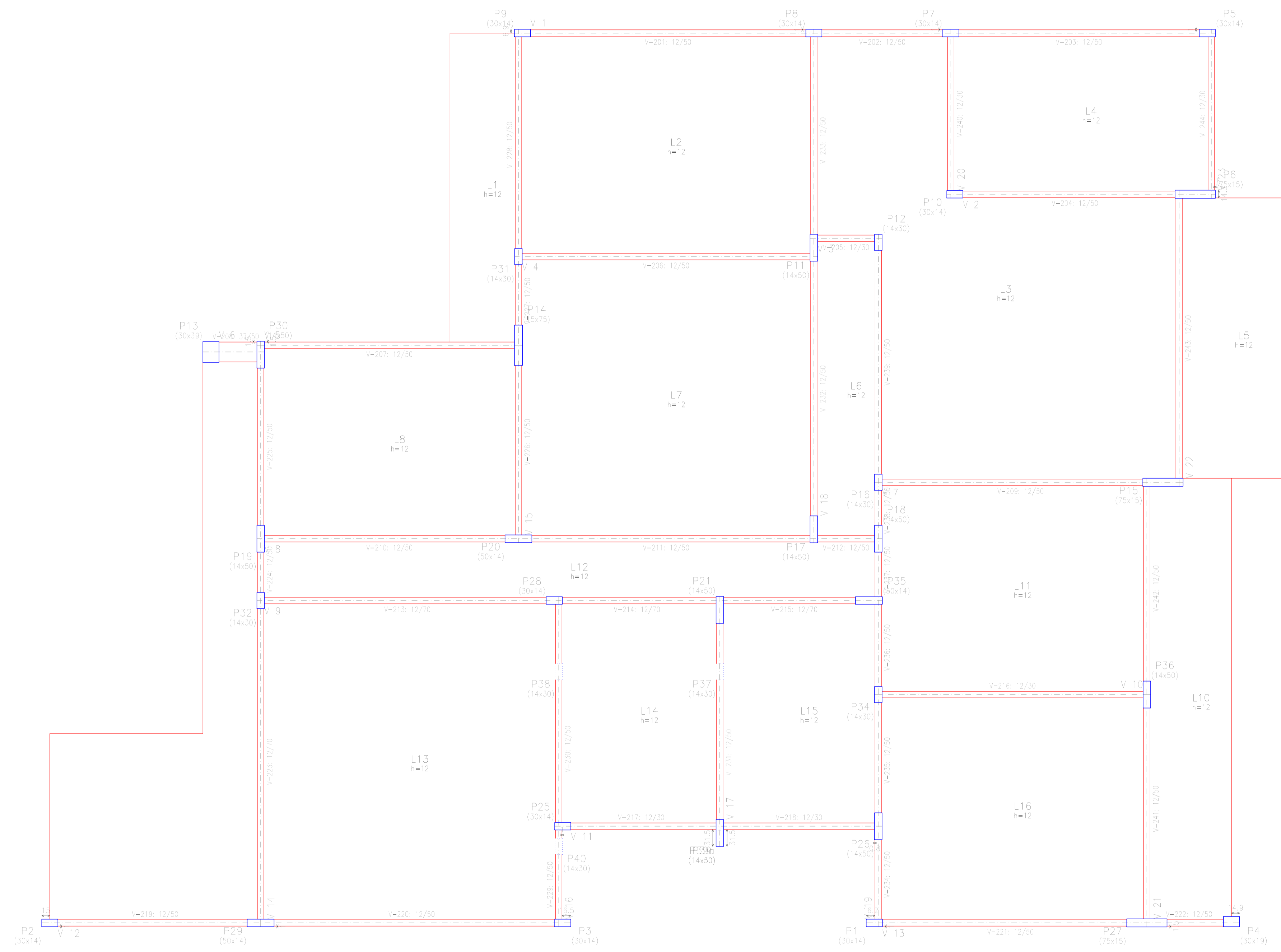
Elemento	Formas (m <sup>2</sup> )	Volume (m <sup>3</sup> )	Barras (kg)
LAJES	470.88	56.51	4682
Vigas: fundo	39.27	24.80	2441
Forma lateral	266.41		
Pilares (Sup. Formas)	202.74	12.21	2565
Escadas	11.26	1.13	145
<b>Total</b>	<b>990.56</b>	<b>94.65</b>	<b>9833</b>
Índices (por m <sup>2</sup> )	1.922	0.184	19.08

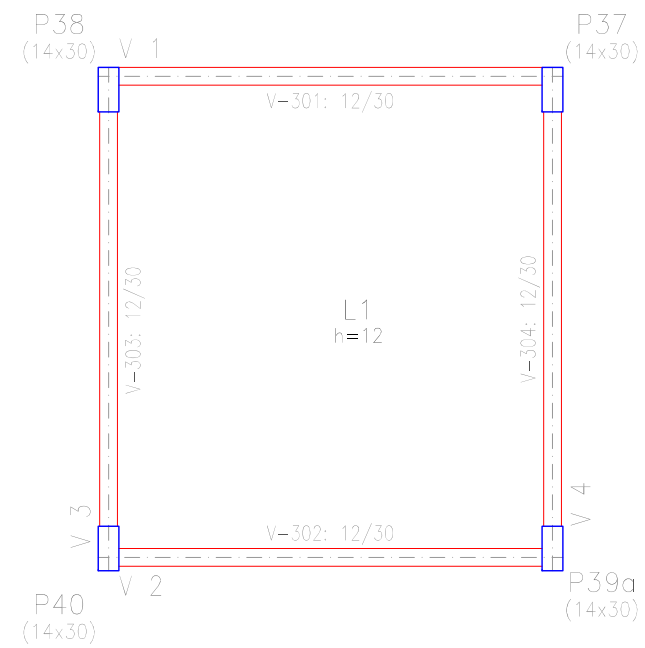
**APÊNDICE G - PLANTA DE FORMAS EDIFÍCIO 1D**











UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL  
DO PARANÁ - CÂMPUS GUARAPUAVA

**TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO**

ALUNA: ALINE MONTANHER POLIZEL

ORIENTADOR: PROF. MSC. EDSON FLORENTINO DE SOUZA

PLANTA DE FORMAS - COBERTURA DO RESERVATÓRIO

FOLHA:

**90**

REFERÊNCIA: EDIFÍCIO 1D

LOCAL DA OBRA: MARINGÁ - PR

DATA: 16/11/2018

ESCALA: 1:50

**APÊNDICE H - RELATÓRIO DE QUANTITATIVOS EDIFÍCIO 1D**



## Quantidades da obra

Piso 1 - Superfície total: 207.98 m<sup>2</sup>

Elemento	Formas (m <sup>2</sup> )	Volume (m <sup>3</sup> )	Barras (kg)
LAJES	187.80	22.54	2191
Vigas: fundo	17.78	11.31	1669
Forma lateral	129.82		
Pilares (Sup. Formas)	98.28	5.61	1193
Escadas	11.26	1.13	145
Total	444.94	40.59	5198
Índices (por m <sup>2</sup> )	2.139	0.195	24.99

Cobertura - Superfície total: 296.83 m<sup>2</sup>

Elemento	Formas (m <sup>2</sup> )	Volume (m <sup>3</sup> )	Barras (kg)
LAJES	277.31	33.28	2146
Vigas: fundo	17.26	9.84	899
Forma lateral	117.07		
Pilares (Sup. Formas)	98.03	5.37	900
Total	509.67	48.49	3945
Índices (por m <sup>2</sup> )	1.717	0.163	13.29

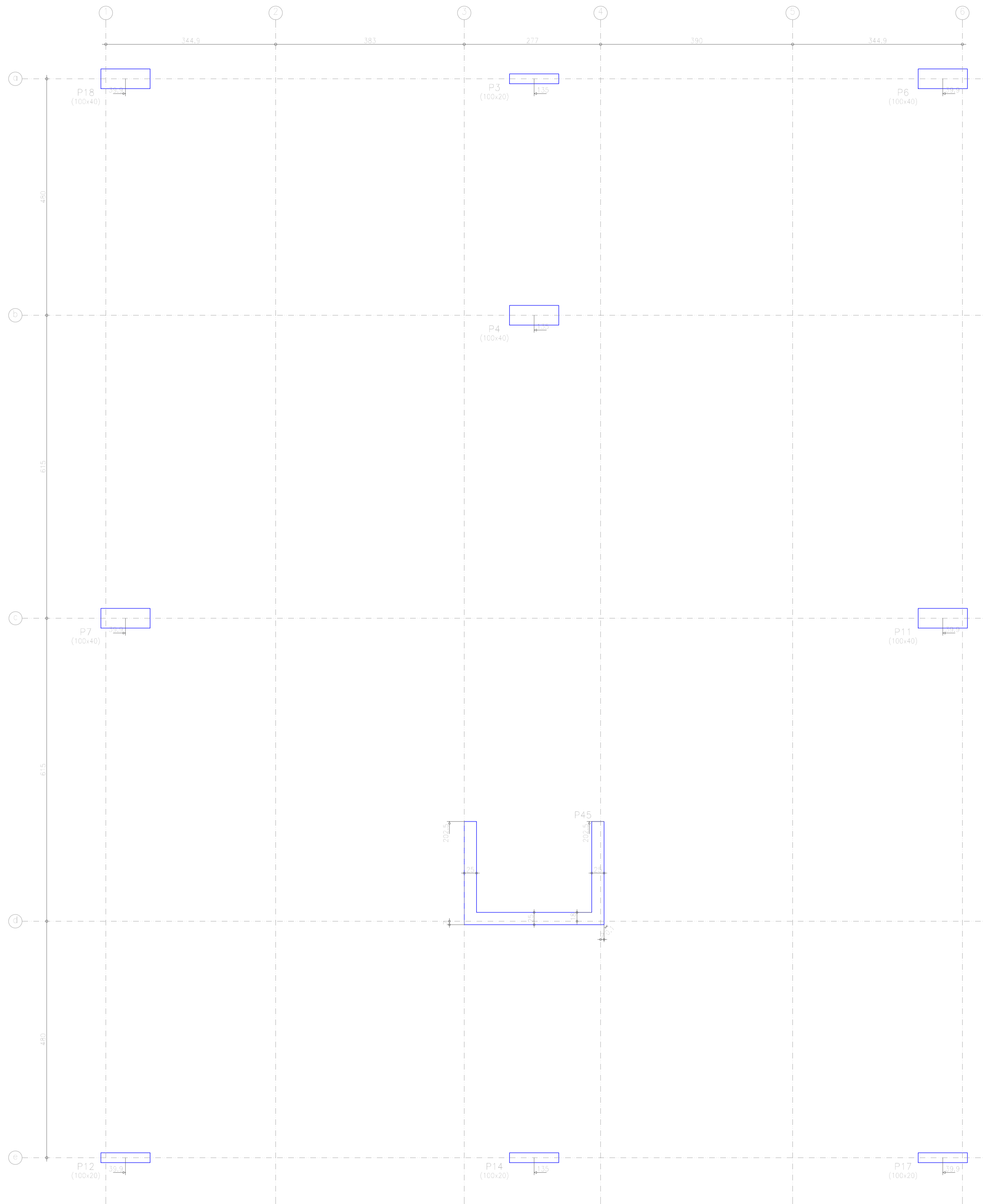
Cobertura casa das máquinas - Superfície total: 10.55 m<sup>2</sup>

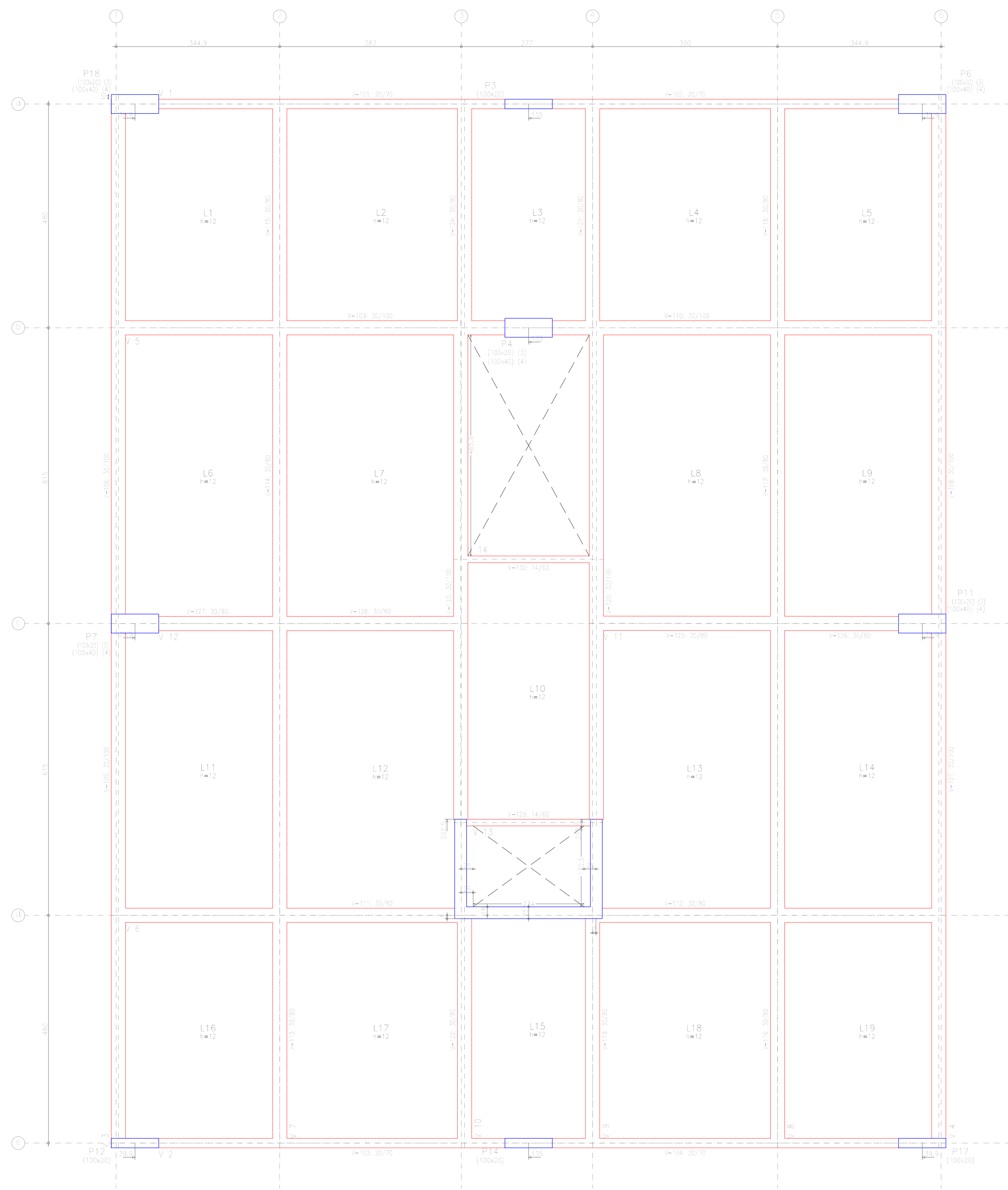
Elemento	Formas (m <sup>2</sup> )	Volume (m <sup>3</sup> )	Barras (kg)
LAJES	9.01	1.08	44
Vigas: fundo	1.37	0.48	34
Forma lateral	5.51		
Pilares (Sup. Formas)	8.08	0.40	83
Total	23.97	1.96	161
Índices (por m <sup>2</sup> )	2.272	0.186	15.26

Total obra - Superfície total: 515.36 m<sup>2</sup>

Elemento	Formas (m <sup>2</sup> )	Volume (m <sup>3</sup> )	Barras (kg)
LAJES	474.12	56.90	4381
Vigas: fundo	36.41	21.63	2602
Forma lateral	252.40		
Pilares (Sup. Formas)	204.39	11.38	2176
Escadas	11.26	1.13	145
Total	978.58	91.04	9304
Índices (por m <sup>2</sup> )	1.899	0.177	18.05

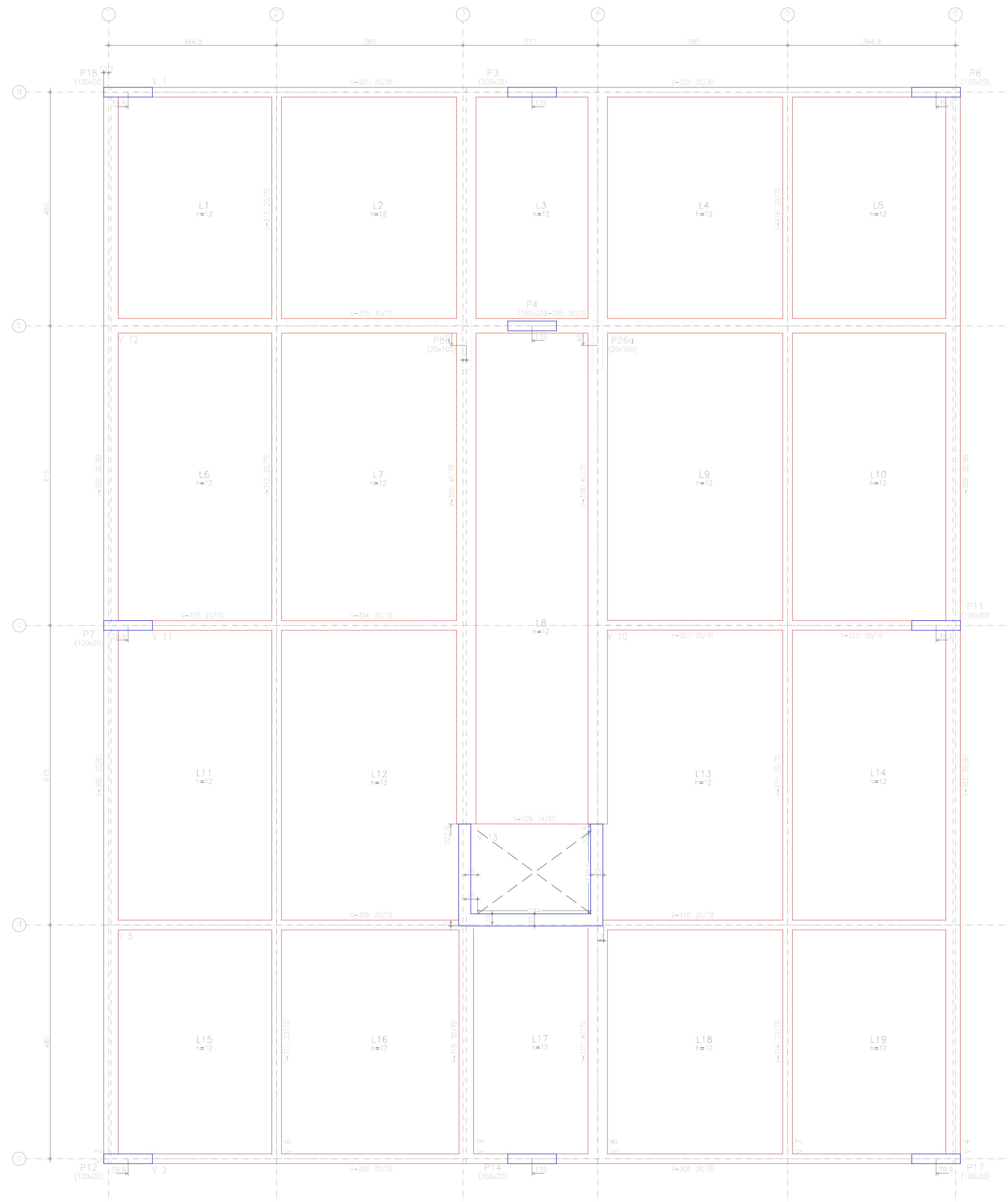
**APÊNDICE I - PLANTA DE FORMAS EDIFÍCIO 2A**



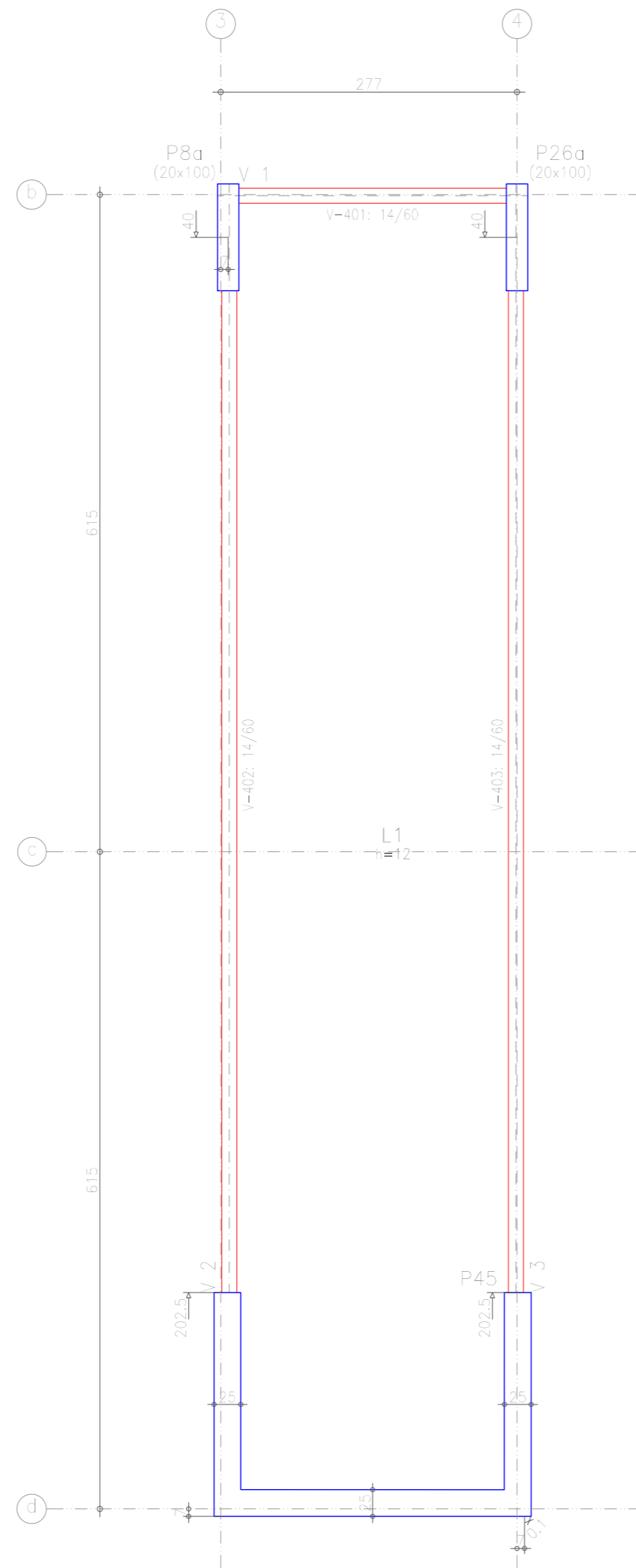


PRODUCED BY AN AUTODESK STUDENT VERSION

PRODUCED BY AN AUTODESK STUDENT VERSION







**TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO**

ALUNA: ALINE MONTANHER POLIZEL

ORIENTADOR: PROF. MSC. EDSON FLORENTINO DE SOUZA

PLANTA DE FORMAS - COBERTURA DA CASA DE MÁQUINAS

FOLHA:

**97**

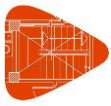
REFERÊNCIA: EDIFÍCIO 2A

LOCAL DA OBRA: ARAÇATUBA - SP

DATA: 16/11/2018

ESCALA: 1:50

## **APÊNDICE J - RELATÓRIO DE QUANTITATIVOS EDIFÍCIO 2A**



## Quantidades da obra

Edifício 2A

Pisos 1 até 4 - Superfície total: 373.38 m<sup>2</sup> x 4

Elemento	Formas (m <sup>2</sup> )	Volume (m <sup>3</sup> )	Barras (kg)
LAJES	4 x 312.83	4 x 37.54	4 x 3216
Vigas: fundo	4 x 56.12	4 x 52.96	4 x 9658
Forma lateral	4 x 300.12		
Pilares (Sup. Formas)			
Piso 4	91.50	10.92	3136
Piso 3	91.50	10.92	3165
Piso 2	91.50	10.92	3423
Piso 1	91.50	10.92	3717
Total	3042.28	405.68	64937
Índices (por m <sup>2</sup> )	2.037	0.272	43.48

Pisos 5 até 7 - Superfície total: 373.08 m<sup>2</sup> x 3

Elemento	Formas (m <sup>2</sup> )	Volume (m <sup>3</sup> )	Barras (kg)
LAJES	3 x 313.11	3 x 37.57	3 x 3199
Vigas: fundo	3 x 56.54	3 x 52.90	3 x 8080
Forma lateral	3 x 302.68		
Pilares (Sup. Formas)			
Piso 7	87.16	8.75	2974
Piso 6	87.16	8.75	3333
Piso 5	88.06	9.20	3395
Total	2279.37	298.11	43539
Índices (por m <sup>2</sup> )	2.037	0.266	38.90

Cobertura - Superfície total: 388.96 m<sup>2</sup>

Elemento	Formas (m <sup>2</sup> )	Volume (m <sup>3</sup> )	Barras (kg)
LAJES	333.18	39.98	2569
Vigas: fundo	51.95	41.15	8027
Forma lateral	241.83		
Pilares (Sup. Formas)	87.16	8.75	2337
Total	714.12	89.88	12933
Índices (por m <sup>2</sup> )	1.836	0.231	33.25

Cobertura casa das máquinas - Superfície total: 35.19 m<sup>2</sup>

Elemento	Formas (m <sup>2</sup> )	Volume (m <sup>3</sup> )	Barras (kg)
LAJES	30.18	3.62	171
Vigas: fundo	2.98	2.09	318
Forma lateral	22.95		
Pilares (Sup. Formas)	51.28	5.76	2085
Total	107.39	11.47	2574
Índices (por m <sup>2</sup> )	3.052	0.326	73.15



Edifício 2A

## Quantidades da obra

Total obra - Superfície total: 3036.91 m<sup>2</sup>

Elemento	Formas (m <sup>2</sup> )	Volume (m <sup>3</sup> )	Barras (kg)
LAJES	2554.01	306.47	25201
Vigas: fundo	449.03	413.78	71217
Forma lateral	2373.30		
Pilares (Sup. Formas)	766.82	84.89	27565
Total	6143.16	805.14	123983
Índices (por m <sup>2</sup> )	2.023	0.265	40.83

Página 2

**APÊNDICE K - PLANTA DE FORMAS EDIFÍCIO 2B**

P15  
(75x20)

P1  
(100x20)

P2  
(75x20)

P11  
(100x30)

P4  
(100x30)

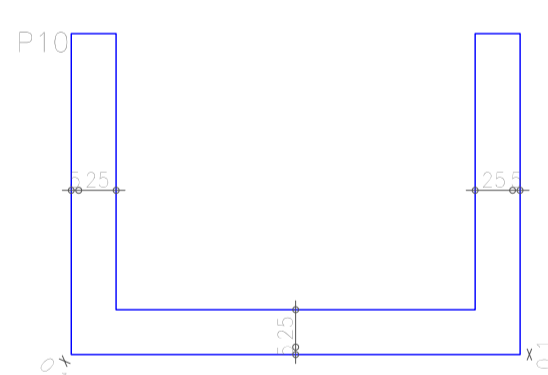
P5  
(100x30)

P3  
(100x30)

P13  
(20x100)

P18  
(20x100)

P6  
(100x30)



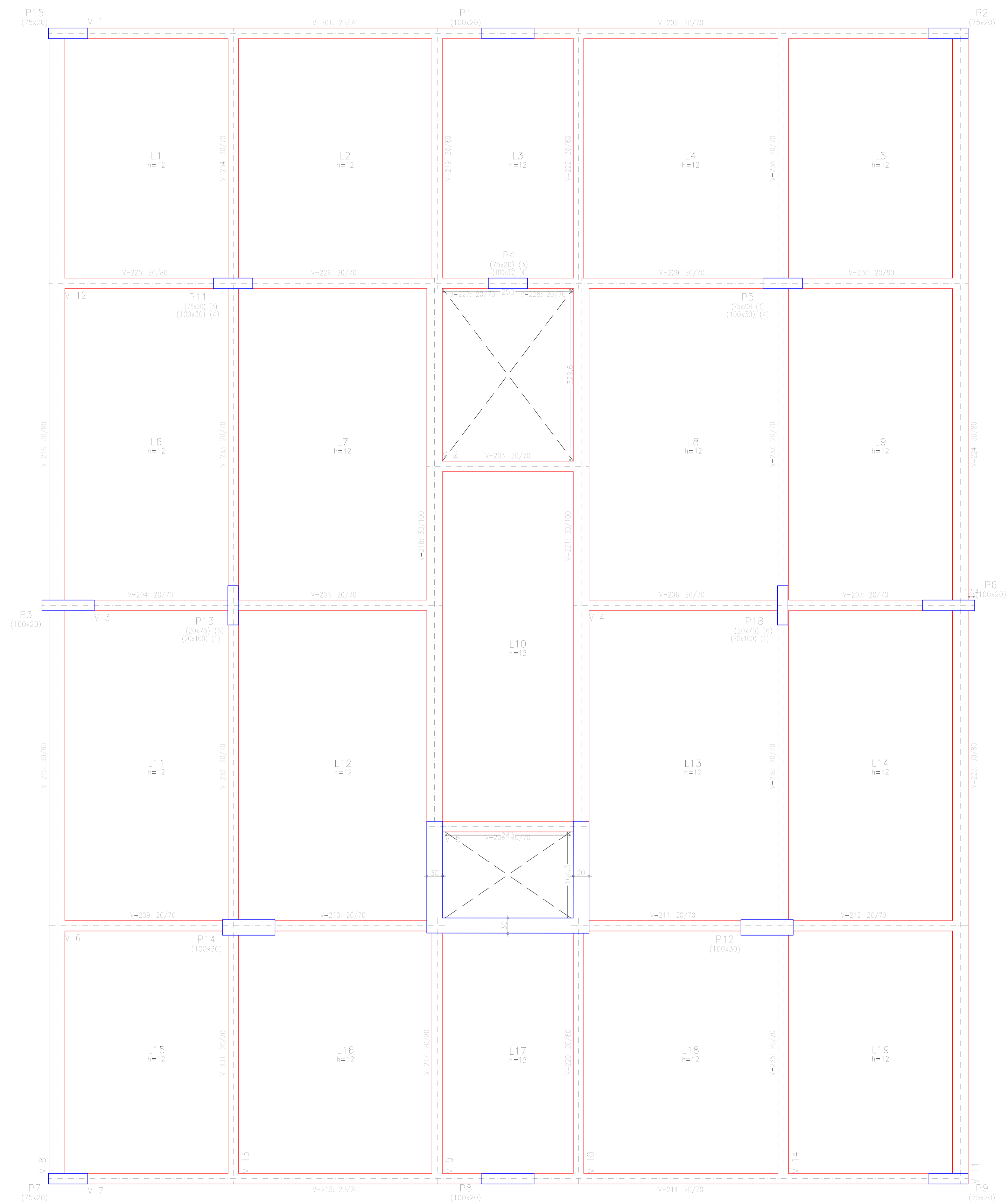
P12  
(100x30)

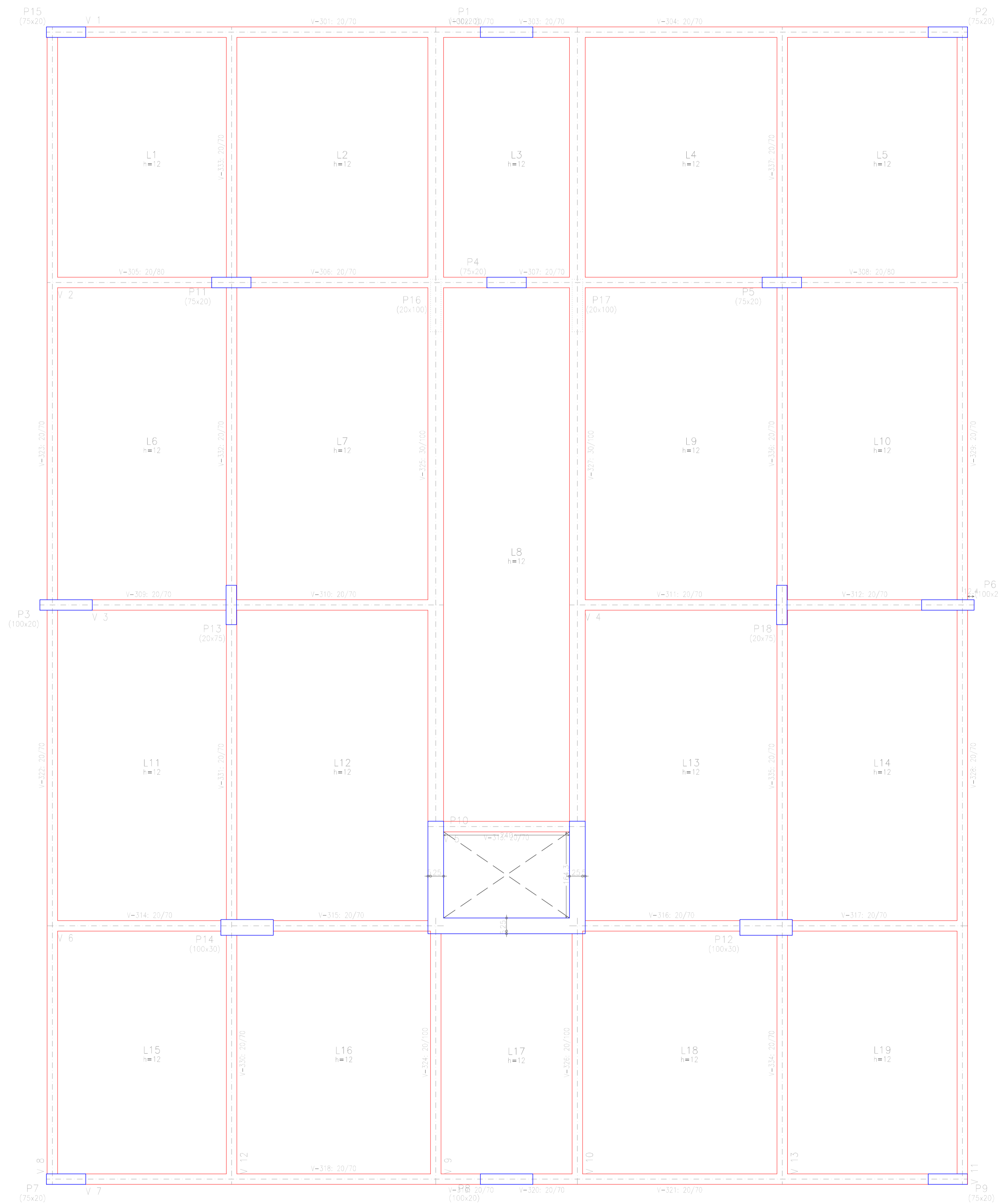
P14  
(100x30)

P7  
(75x20)

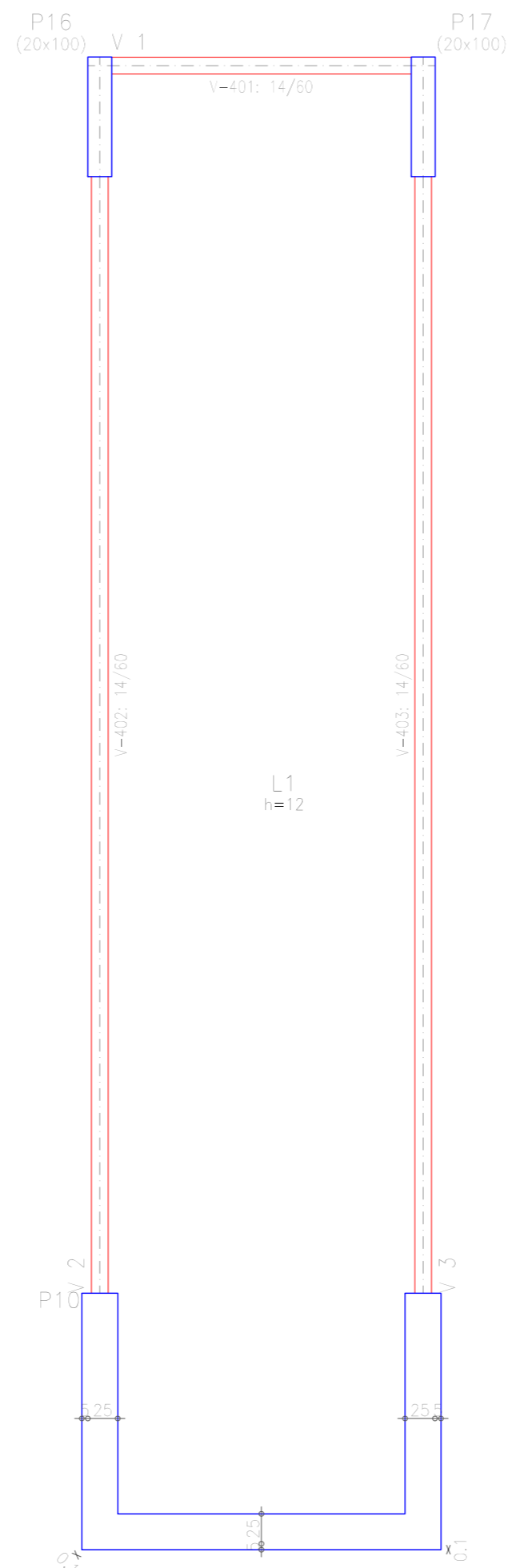
P8  
(100x20)

P9  
(75x20)









**TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO**

ALUNA: ALINE MONTANHER POLIZEL

ORIENTADOR: PROF. MSC. EDSON FLORENTINO DE SOUZA

PLANTA DE FORMAS - COBERTURA DA CASA DE MÁQUINAS

REFERÊNCIA: EDIFÍCIO 2B

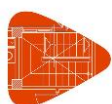
LOCAL DA OBRA: ARAÇATUBA - SP

DATA: 16/11/2018

FOLHA: **105**

ESCALA: 1:50

**APÊNDICE L - RELATÓRIO DE QUANTITATIVOS EDIFÍCIO 2B**



Edifício 2B

## Quantidades da obra

Pisos 1 até 4 - Superfície total: 375.41 m<sup>2</sup> x 4

Elemento	Formas (m <sup>2</sup> )	Volume (m <sup>3</sup> )	Barras (kg)
LAJES	4 x 324.77	4 x 38.97	4 x 2530
Vigas: fundo	4 x 45.43	4 x 39.26	4 x 4957
Forma lateral	4 x 261.03		
Pilares (Sup. Formas)			
Piso 4	115.97	12.98	1522
Piso 3	115.97	12.98	1715
Piso 2	115.97	12.98	2063
Piso 1	119.07	13.64	2235
<b>Total</b>	<b>2991.90</b>	<b>365.50</b>	<b>37483</b>
Índices (por m <sup>2</sup> )	1.992	0.243	24.96

Pisos 5 até 7 - Superfície total: 375.36 m<sup>2</sup> x 3

Elemento	Formas (m <sup>2</sup> )	Volume (m <sup>3</sup> )	Barras (kg)
LAJES	3 x 324.98	3 x 39.00	3 x 2425
Vigas: fundo	3 x 45.62	3 x 39.23	3 x 5690
Forma lateral	3 x 262.21		
Pilares (Sup. Formas)			
Piso 7	111.40	11.98	1234
Piso 6	111.40	11.98	1318
Piso 5	112.97	12.32	1417
<b>Total</b>	<b>2234.20</b>	<b>270.97</b>	<b>28314</b>
Índices (por m <sup>2</sup> )	1.984	0.241	25.14

Cobertura - Superfície total: 383.60 m<sup>2</sup>

Elemento	Formas (m <sup>2</sup> )	Volume (m <sup>3</sup> )	Barras (kg)
LAJES	336.99	40.44	2117
Vigas: fundo	41.45	36.34	4197
Forma lateral	257.50		
Pilares (Sup. Formas)	112.64	12.10	1065
<b>Total</b>	<b>748.58</b>	<b>88.88</b>	<b>7379</b>
Índices (por m <sup>2</sup> )	1.951	0.232	19.24

Cobertura casa das máquinas - Superfície total: 35.86 m<sup>2</sup>

Elemento	Formas (m <sup>2</sup> )	Volume (m <sup>3</sup> )	Barras (kg)
LAJES	30.49	3.66	165
Vigas: fundo	2.96	2.08	327
Forma lateral	22.86		
Pilares (Sup. Formas)	52.48	6.86	813
<b>Total</b>	<b>108.79</b>	<b>12.60</b>	<b>1305</b>
Índices (por m <sup>2</sup> )	3.034	0.351	36.39



Edifício 2B

## Quantidades da obra

Total obra - Superfície total: 3047.18 m<sup>2</sup>

Elemento	Formas (m <sup>2</sup> )	Volume (m <sup>3</sup> )	Barras (kg)
LAJES	2641.50	316.98	19677
Vigas: fundo	362.99	313.15	41422
Forma lateral	2111.11		
Pilares (Sup. Formas)	967.87	107.82	13382
Total	6083.47	737.95	74481
Índices (por m <sup>2</sup> )	1.996	0.242	24.44

**APÊNDICE M - PLANTA DE FORMAS EDIFÍCIO 2C**

P1  
(75x20)

P2  
(75x20)

P3  
(75x20)

P4  
(75x20)

P5  
(20x75)

P6  
(100x30)

P7  
(20x100)

P8  
(20x100)

P9  
(100x30)

P10  
(20x75)

P11  
(20x100)

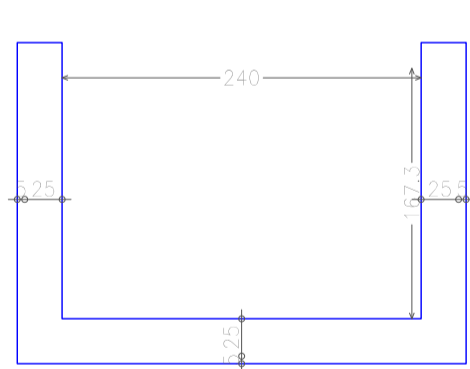
P12  
(20x75)

P13  
(20x75)

P14  
(20x100)

P16  
(20x75)

P17  
(75x20)



P19  
(75x20)

P20  
(20x75)

P21  
(75x20)

P22  
(75x20)

P23  
(75x20)

P24  
(75x20)

**UTFPR** UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ - CÂMPUS GUARAPUAVA

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ

**TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO**

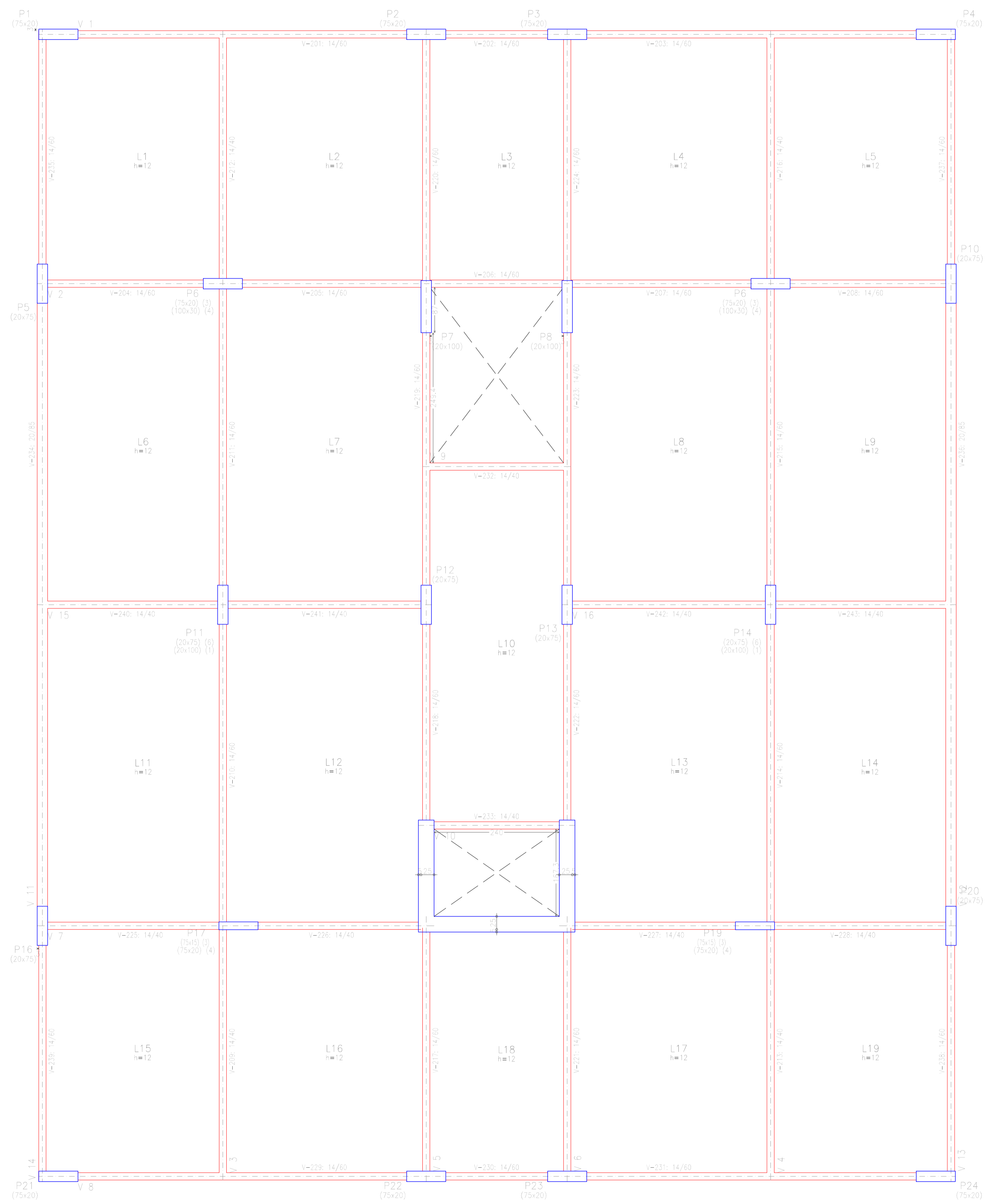
ALUNA: ALINE MONTANHER POLIZEL

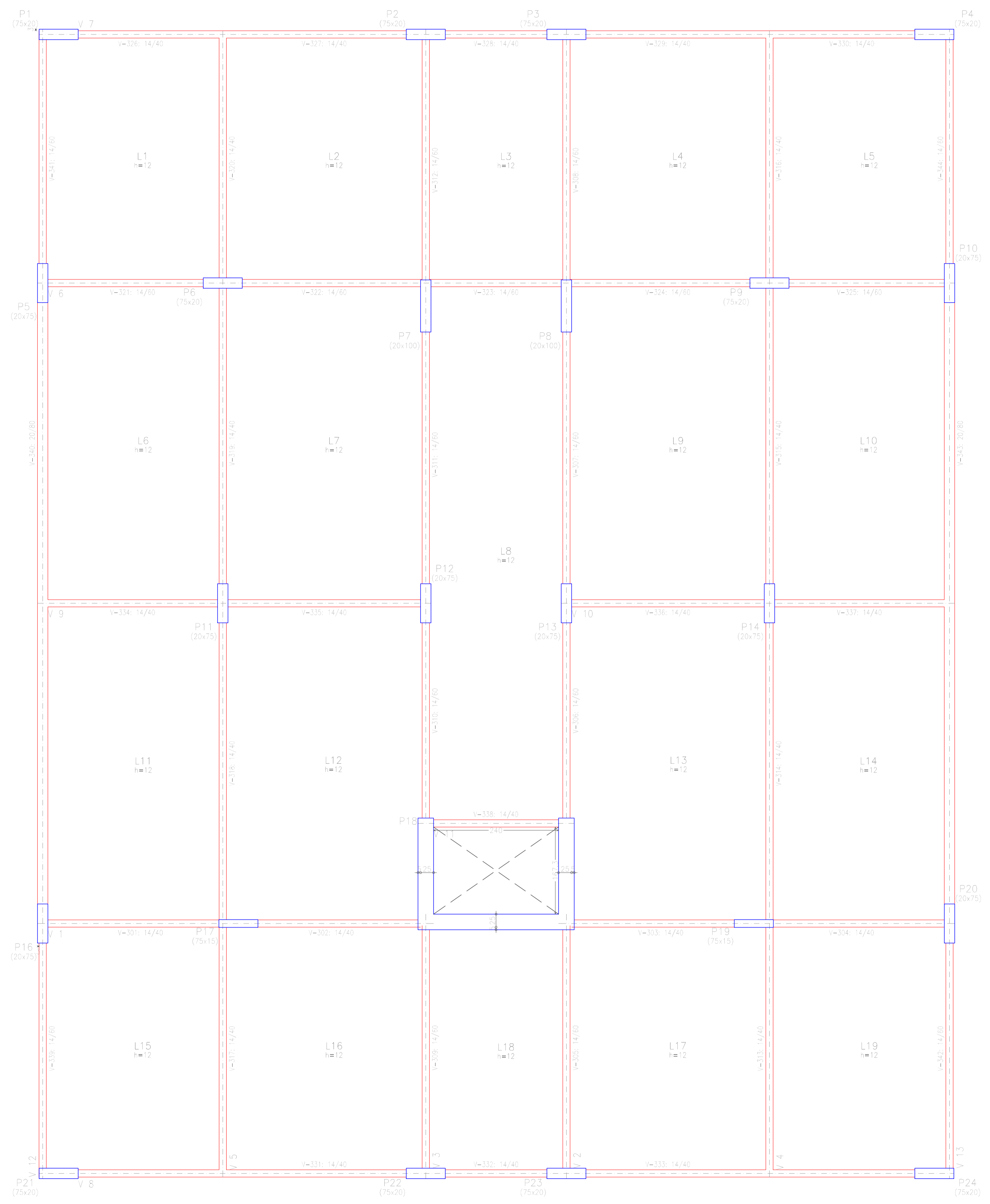
ORIENTADOR: PROF. MSC. EDSON FLORENTINO DE SOUZA

PLANTA DE FORMAS - TÉRREO FOLHA: **110**

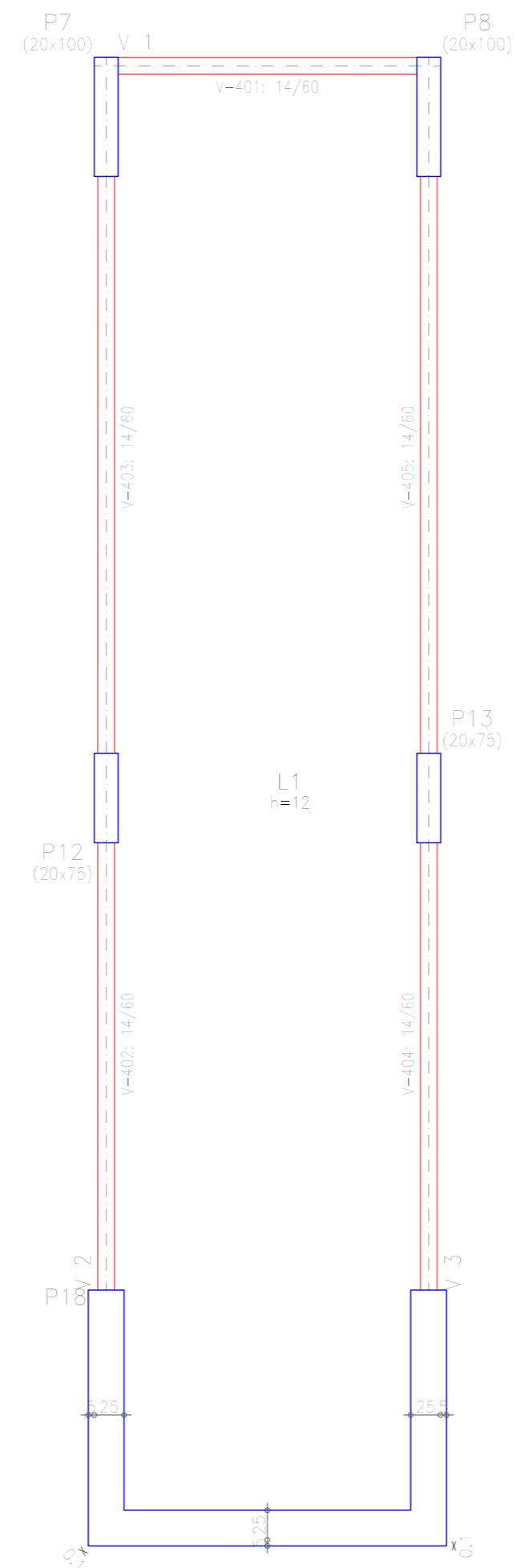
REFERÊNCIA: EDIFÍCIO 2C

LOCAL DA OBRA: ARAÇATUBA - SP DATA: 16/11/2018 ESCALA: 1:50









**TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO**

ALUNA: ALINE MONTANHER POLIZEL

ORIENTADOR: PROF. MSC. EDSON FLORENTINO DE SOUZA

PLANTA DE FORMAS - COBERTURA DA CASA DE MÁQUINAS

REFERÊNCIA: EDIFÍCIO 2C

LOCAL DA OBRA: ARAÇATUBA - SP

DATA: 16/11/2018

ESCALA: 1:50

**APÊNDICE N - RELATÓRIO DE QUANTITATIVOS EDIFÍCIO 2C**



Edifício 2C

## Quantidades da obra

Pisos 1 até 4 - Superfície total: 374.81 m<sup>2</sup> x 4

Elemento	Formas (m <sup>2</sup> )	Volume (m <sup>3</sup> )	Barras (kg)
LAJES	4 x 340.79	4 x 40.89	4 x 2528
Vigas: fundo	4 x 28.31	4 x 19.40	4 x 2821
Forma lateral	4 x 185.85		
Pilares (Sup. Formas)			
Piso 4	143.24	14.46	1695
Piso 3	143.24	14.46	1820
Piso 2	143.24	14.46	2088
Piso 1	145.58	14.70	2484
Total	2795.10	299.24	29483
Índices (por m <sup>2</sup> )	1.864	0.200	19.67

Pisos 5 até 7 - Superfície total: 374.81 m<sup>2</sup> x 3

Elemento	Formas (m <sup>2</sup> )	Volume (m <sup>3</sup> )	Barras (kg)
LAJES	3 x 341.05	3 x 40.93	3 x 2528
Vigas: fundo	3 x 28.43	3 x 19.40	3 x 2968
Forma lateral	3 x 186.56		
Pilares (Sup. Formas)			
Piso 7	139.48	13.56	1404
Piso 6	139.48	13.56	1431
Piso 5	139.48	13.56	1599
Total	2086.56	221.67	20922
Índices (por m <sup>2</sup> )	1.856	0.197	18.61

Cobertura - Superfície total: 383.38 m<sup>2</sup>

Elemento	Formas (m <sup>2</sup> )	Volume (m <sup>3</sup> )	Barras (kg)
LAJES	349.97	42.00	2129
Vigas: fundo	28.08	17.13	1511
Forma lateral	161.12		
Pilares (Sup. Formas)	141.36	13.68	1308
Total	680.53	72.81	4948
Índices (por m <sup>2</sup> )	1.775	0.190	12.91

Cobertura casa das máquinas - Superfície total: 35.90 m<sup>2</sup>

Elemento	Formas (m <sup>2</sup> )	Volume (m <sup>3</sup> )	Barras (kg)
LAJES	30.44	3.65	165
Vigas: fundo	2.75	2.08	87
Forma lateral	21.24		
Pilares (Sup. Formas)	61.42	7.56	575
Total	115.85	13.29	827
Índices (por m <sup>2</sup> )	3.227	0.370	23.04



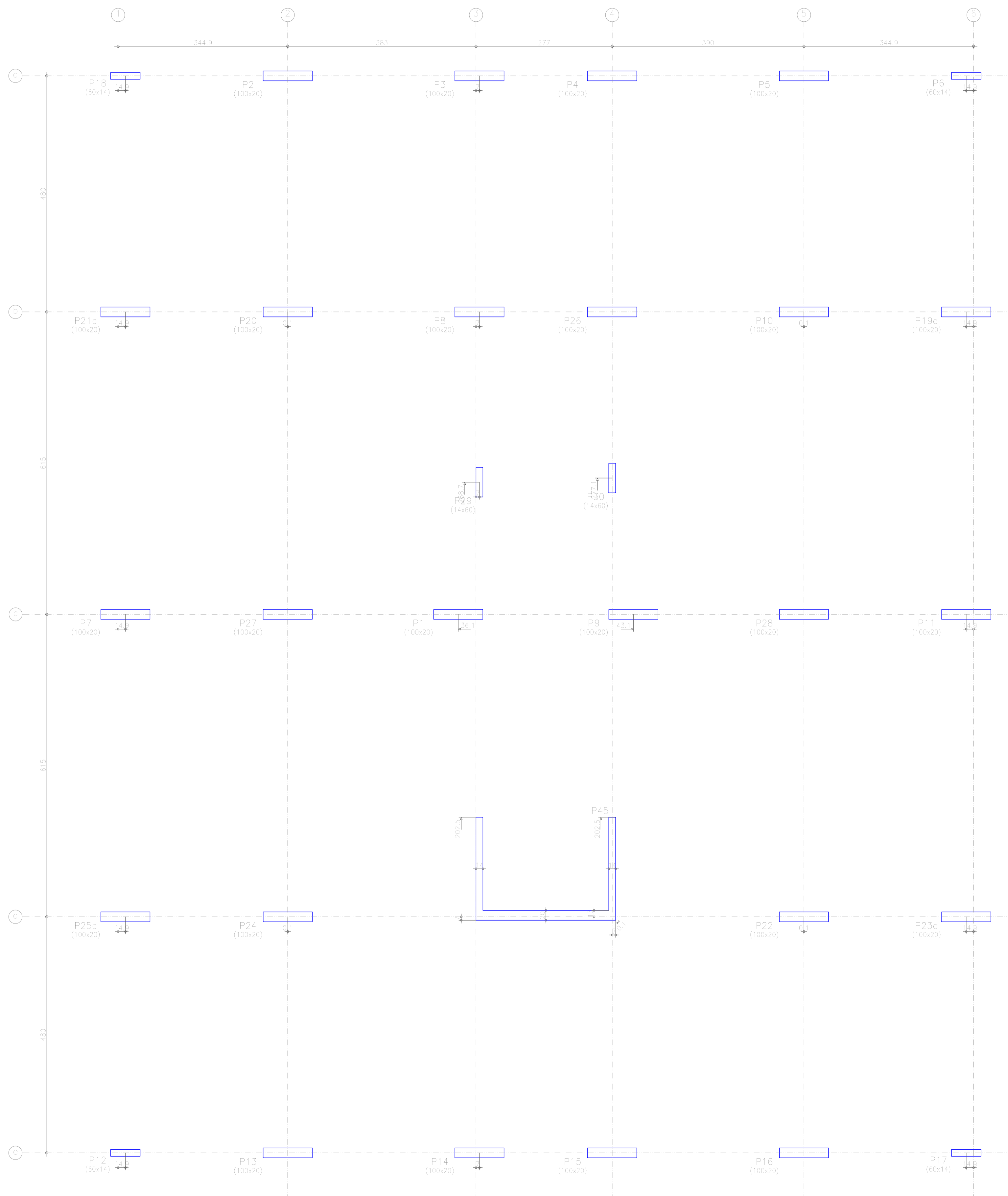
Edifício 2C

## Quantidades da obra

Total obra - Superfície total: 3042.95 m<sup>2</sup>

Elemento	Formas (m <sup>2</sup> )	Volume (m <sup>3</sup> )	Barras (kg)
LAJES	2766.72	332.00	19990
Vigas: fundo	229.36	155.01	21786
Forma lateral	1485.44		
Pilares (Sup. Formas)	1196.52	120.00	14404
Total	5678.04	607.01	56180
Índices (por m <sup>2</sup> )	1.866	0.199	18.46

**APÊNDICE O - PLANTA DE FORMAS EDIFÍCIO 2D**



PRODUCED BY AN AUTODESK STUDENT VERSION

PRODUCED BY AN AUTODESK STUDENT VERSION

**UTFPR** UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ - CÂMPUS GUARAPUAVA

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ

**TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO**

ALUNA: ALINE MONTANHER POLIZEL

ORIENTADOR: PROF. MSC. EDSON FLORENTINO DE SOUZA

PLANTA DE FORMAS - TÉRREO

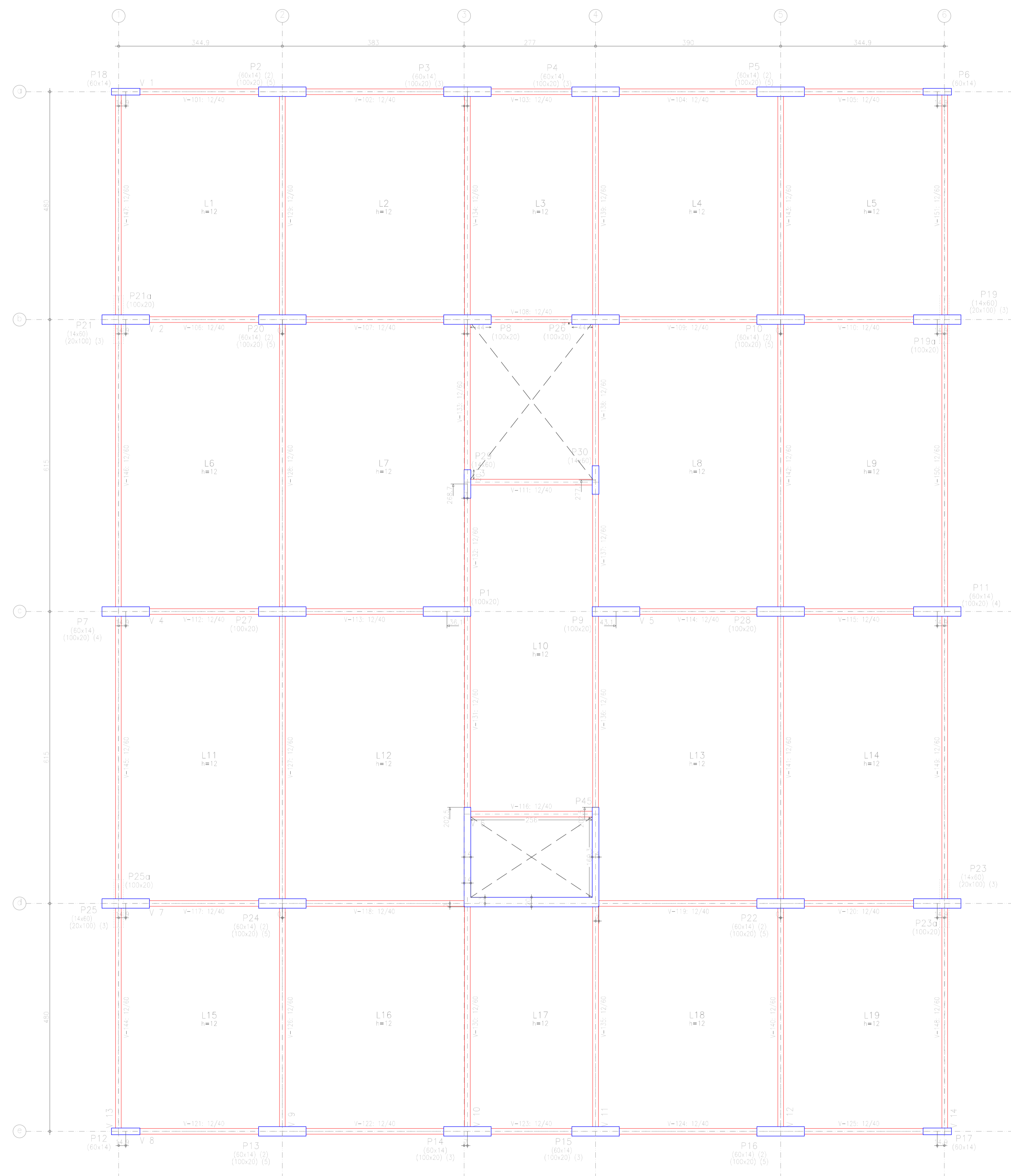
REFERÊNCIA: EDIFÍCIO 2D

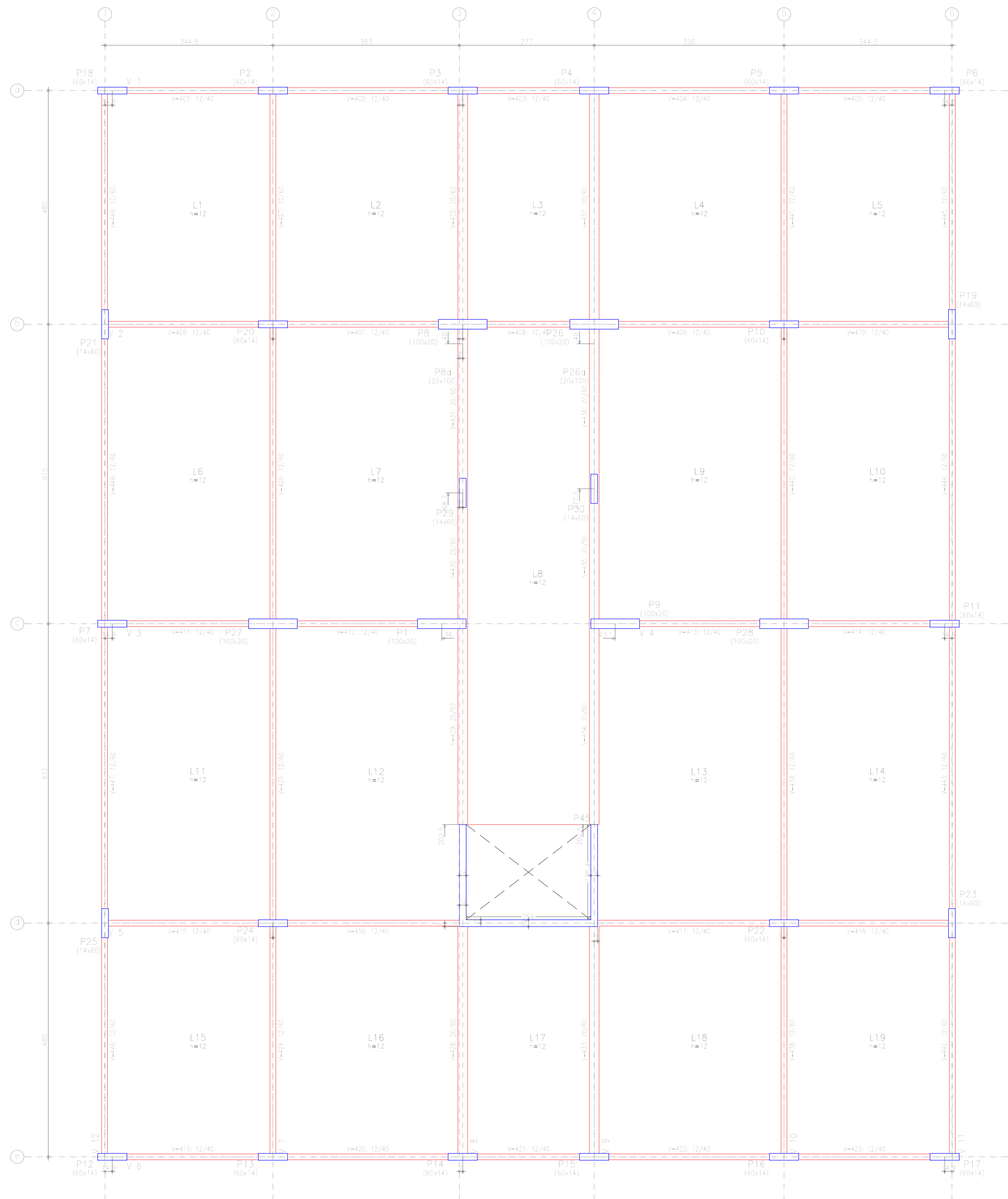
LOCAL DA OBRA: ARAÇATUBA - SP

DATA: 16/11/2018

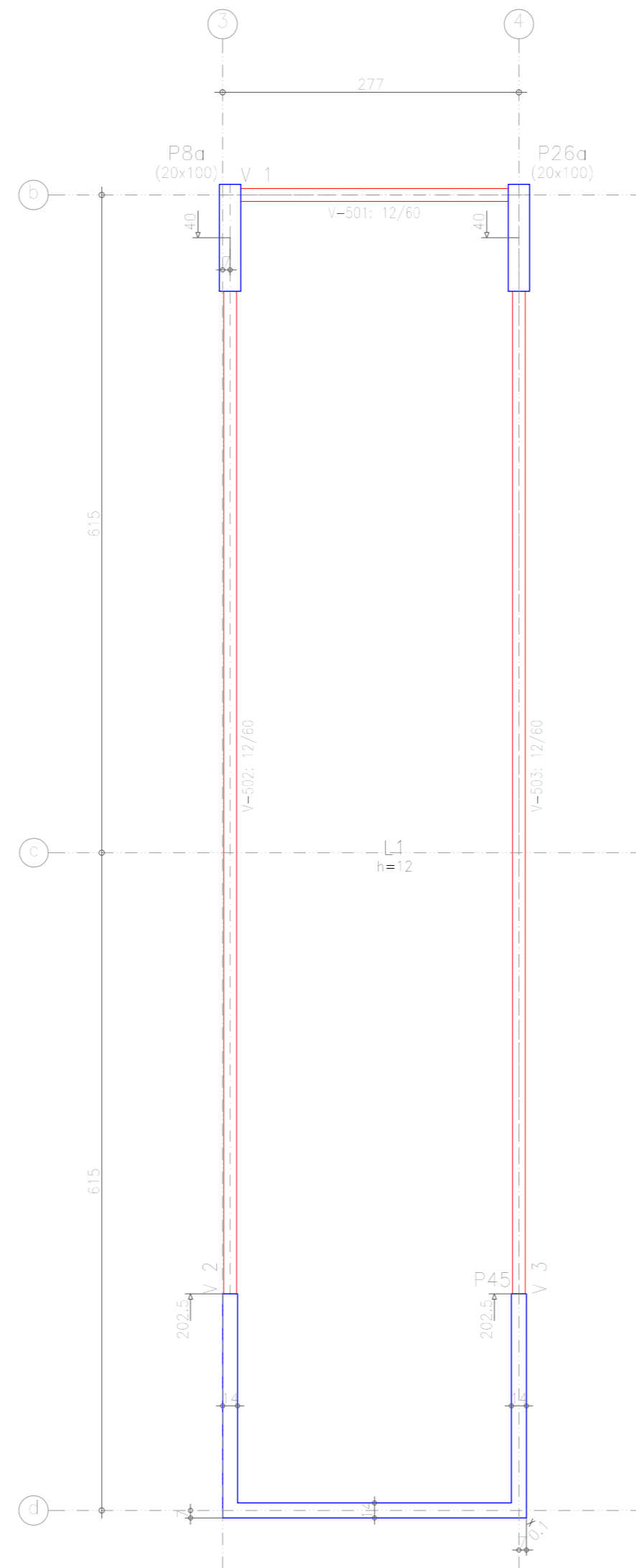
FOLHA: **118**

ESCALA: 1:50









**TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO**

ALUNA: ALINE MONTANHER POLIZEL

ORIENTADOR: PROF. MSC. EDSON FLORENTINO DE SOUZA

PLANTA DE FORMAS - COBERTURA DA CASA DE MÁQUINAS

REFERÊNCIA: EDIFÍCIO 2D

LOCAL DA OBRA: ARAÇATUBA - SP

DATA: 16/11/2018

ESCALA: 1:50

**APÊNDICE P - RELATÓRIO DE QUANTITATIVOS EDIFÍCIO 2D**



## Quantidades da obra

Piso 1 - Superfície total: 374.76 m<sup>2</sup>

Elemento	Formas (m <sup>2</sup> )	Volume (m <sup>3</sup> )	Barras (kg)
LAJES	345.39	41.45	2341
Vigas: fundo	22.17	14.00	1125
Forma lateral	161.79		
Pilares (Sup. Formas)	196.54	15.72	2260
Total	725.89	71.17	5726
Índices (por m <sup>2</sup> )	1.937	0.190	15.28

Pisos 2 até 4 - Superfície total: 373.70 m<sup>2</sup> x 3

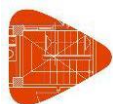
Elemento	Formas (m <sup>2</sup> )	Volume (m <sup>3</sup> )	Barras (kg)
LAJES	3 x 345.67	3 x 41.48	3 x 2400
Vigas: fundo	3 x 22.24	3 x 13.94	3 x 1427
Forma lateral	3 x 161.36		
Pilares (Sup. Formas)			
Piso 4	188.30	14.19	2520
Piso 3	196.94	15.27	2728
Piso 2	196.94	15.27	3078
Total	2169.99	210.99	19807
Índices (por m <sup>2</sup> )	1.936	0.188	17.67

Pisos 5 até 7 - Superfície total: 373.34 m<sup>2</sup> x 3

Elemento	Formas (m <sup>2</sup> )	Volume (m <sup>3</sup> )	Barras (kg)
LAJES	3 x 346.23	3 x 41.55	3 x 2417
Vigas: fundo	3 x 22.95	3 x 13.91	3 x 1221
Forma lateral	3 x 165.24		
Pilares (Sup. Formas)			
Piso 7	158.06	10.41	1680
Piso 6	175.34	12.57	1985
Piso 5	175.34	12.57	2284
Total	2112.00	201.93	16863
Índices (por m <sup>2</sup> )	1.886	0.180	15.06

Cobertura - Superfície total: 381.71 m<sup>2</sup>

Elemento	Formas (m <sup>2</sup> )	Volume (m <sup>3</sup> )	Barras (kg)
LAJES	351.74	42.21	1986
Vigas: fundo	25.41	15.75	791
Forma lateral	162.48		
Pilares (Sup. Formas)	158.06	10.41	1340
Total	697.69	68.37	4117
Índices (por m <sup>2</sup> )	1.828	0.179	10.79



## Quantidades da obra

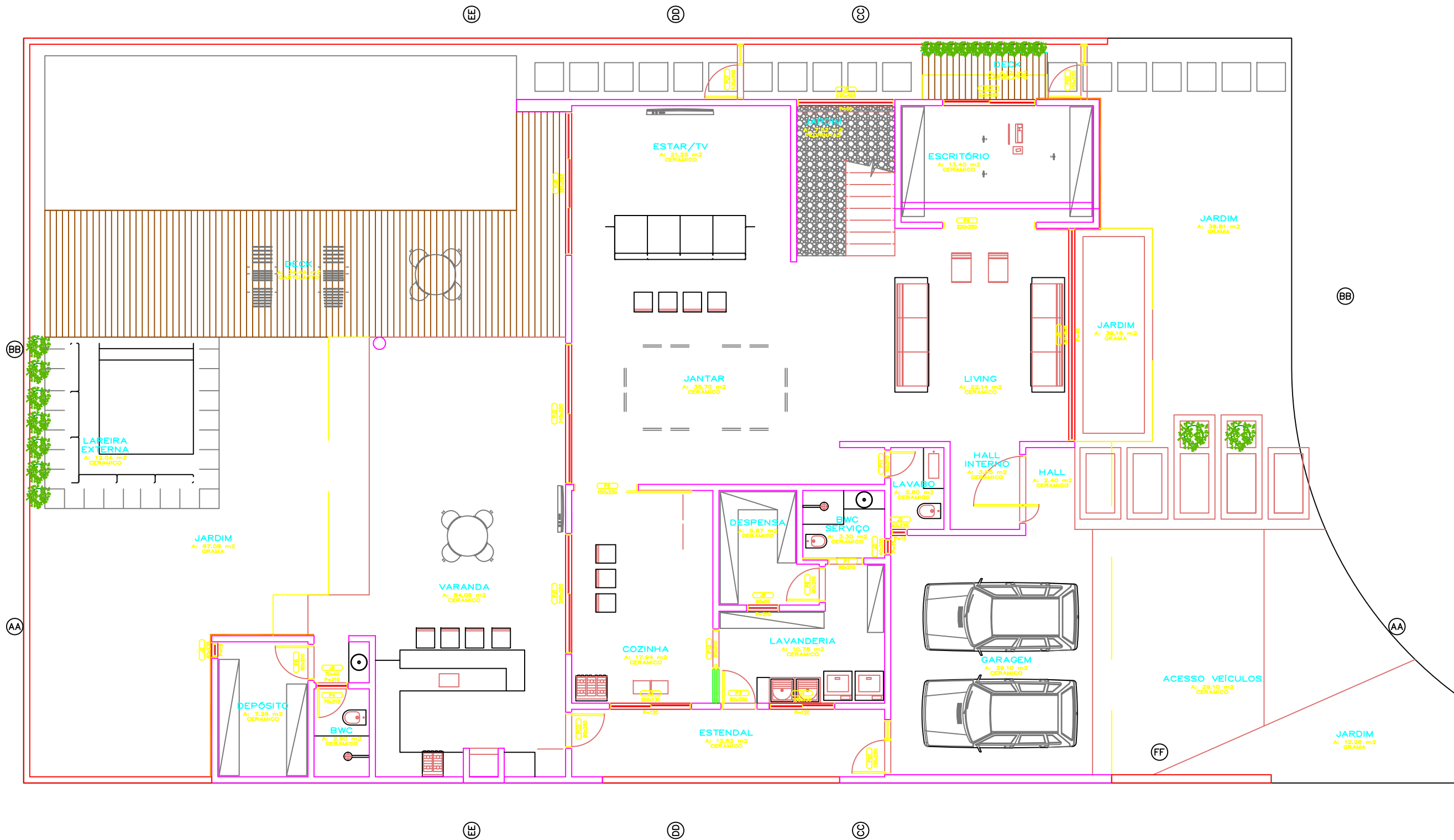
Cobertura casa das máquinas - Superfície total: 35.19 m<sup>2</sup>

Elemento	Formas (m <sup>2</sup> )	Volume (m <sup>3</sup> )	Barras (kg)
LAJES	31.29	3.76	173
Vigas: fundo	2.55	1.79	344
Forma lateral	22.95		
Pilares (Sup. Formas)	51.98	3.73	522
Total	108.77	9.28	1039
Índices (por m <sup>2</sup> )	3.091	0.264	29.53

Total obra - Superfície total: 3032.78 m<sup>2</sup>

Elemento	Formas (m <sup>2</sup> )	Volume (m <sup>3</sup> )	Barras (kg)
LAJES	2804.12	336.51	18951
Vigas: fundo	185.70	115.09	10204
Forma lateral	1327.02		
Pilares (Sup. Formas)	1497.50	110.14	18397
Total	5814.34	561.74	47552
Índices (por m <sup>2</sup> )	1.917	0.185	15.68

**ANEXO A - PROJETO ARQUITETÔNICO ESTUDO DE CASO 1**



UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ - CÂMPUS GUARAPUAVA

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

ALUNA: ALINE MONTANHER POLIZEL

ORIENTADOR: PROF. MSC. EDSON FLORENTINO DE SOUZA

PLANTA BAIXA - TÉRREO

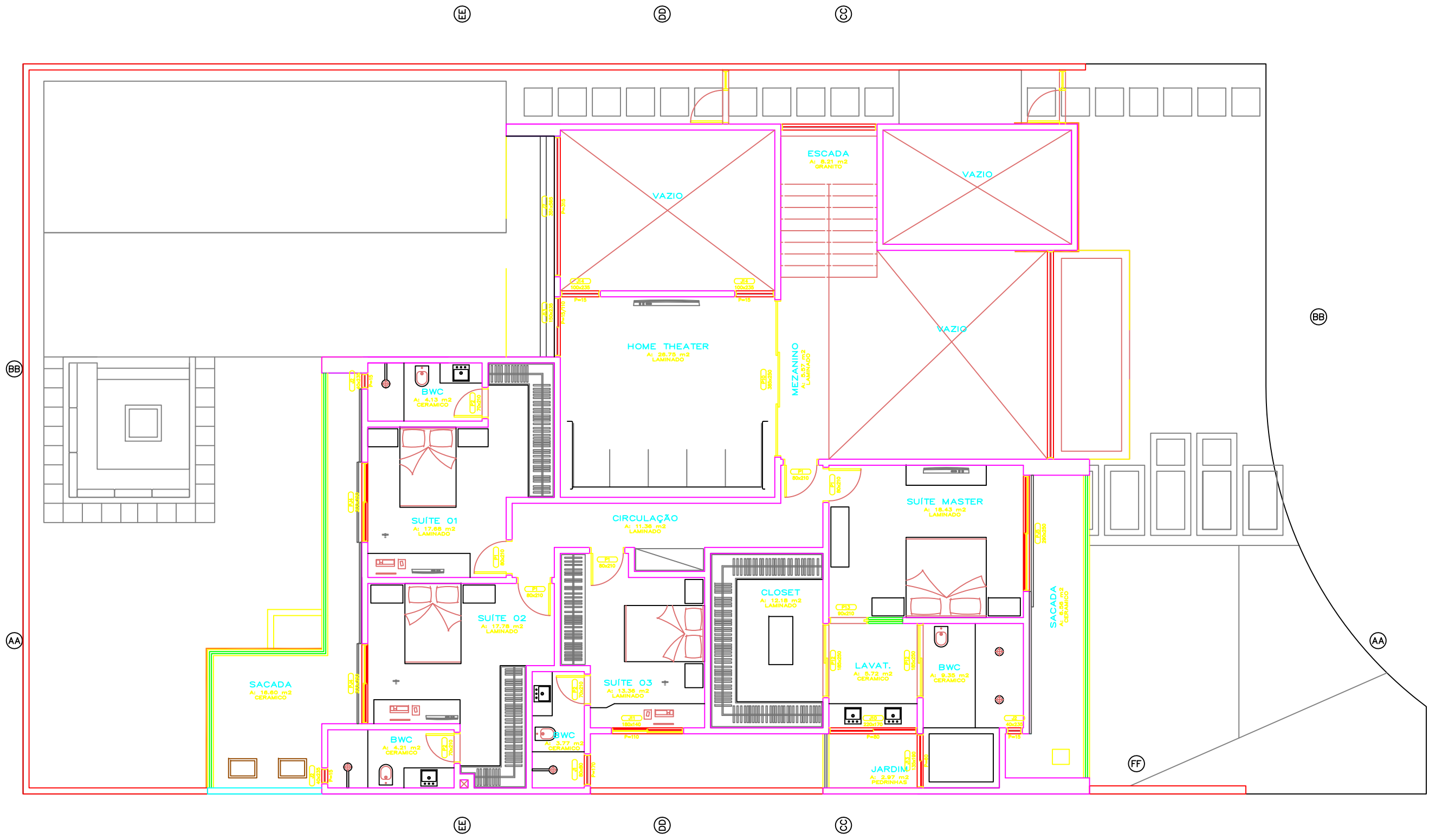
REFERÊNCIA: ESTUDO DE CASO 1

LOCAL DA OBRA: MARINGÁ - PR

DATA: 16/11/2018

FOLHA: 126

ESCALA: 1:100



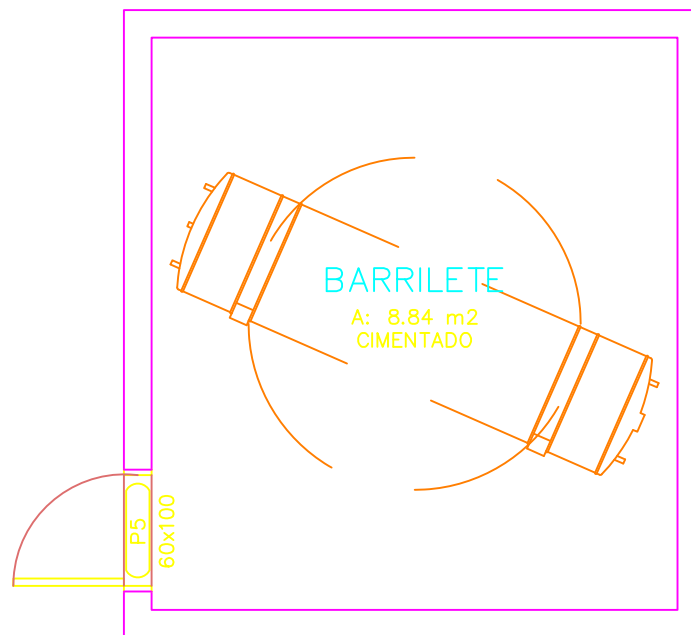
PRODUCED BY AN AUTODESK STUDENT VERSION

PRODUCED BY AN AUTODESK STUDENT VERSION

**UTFPR** UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ - CÂMPUS GUARAPUAVA  
UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ

**TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO**

ALUNA: ALINE MONTANHER POLIZEL	
ORIENTADOR: PROF. MSC. EDSON FLORENTINO DE SOUZA	
PLANTA BAIXA - PRIMEIRO PAVIMENTO	FOLHA: 127
REFERÊNCIA: ESTUDO DE CASO 1	
LOCAL DA OBRA: MARINGÁ - PR	DATA: 16/11/2018
	ESCALA: 1:100



UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL  
DO PARANÁ - CÂMPUS GUARAPUAVA

**TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO**

ALUNA: ALINE MONTANHER POLIZEL

ORIENTADOR: PROF. MSC. EDSON FLORENTINO DE SOUZA

PLANTA BAIXA - BARRILETE

REFERÊNCIA: ESTUDO DE CASO 1

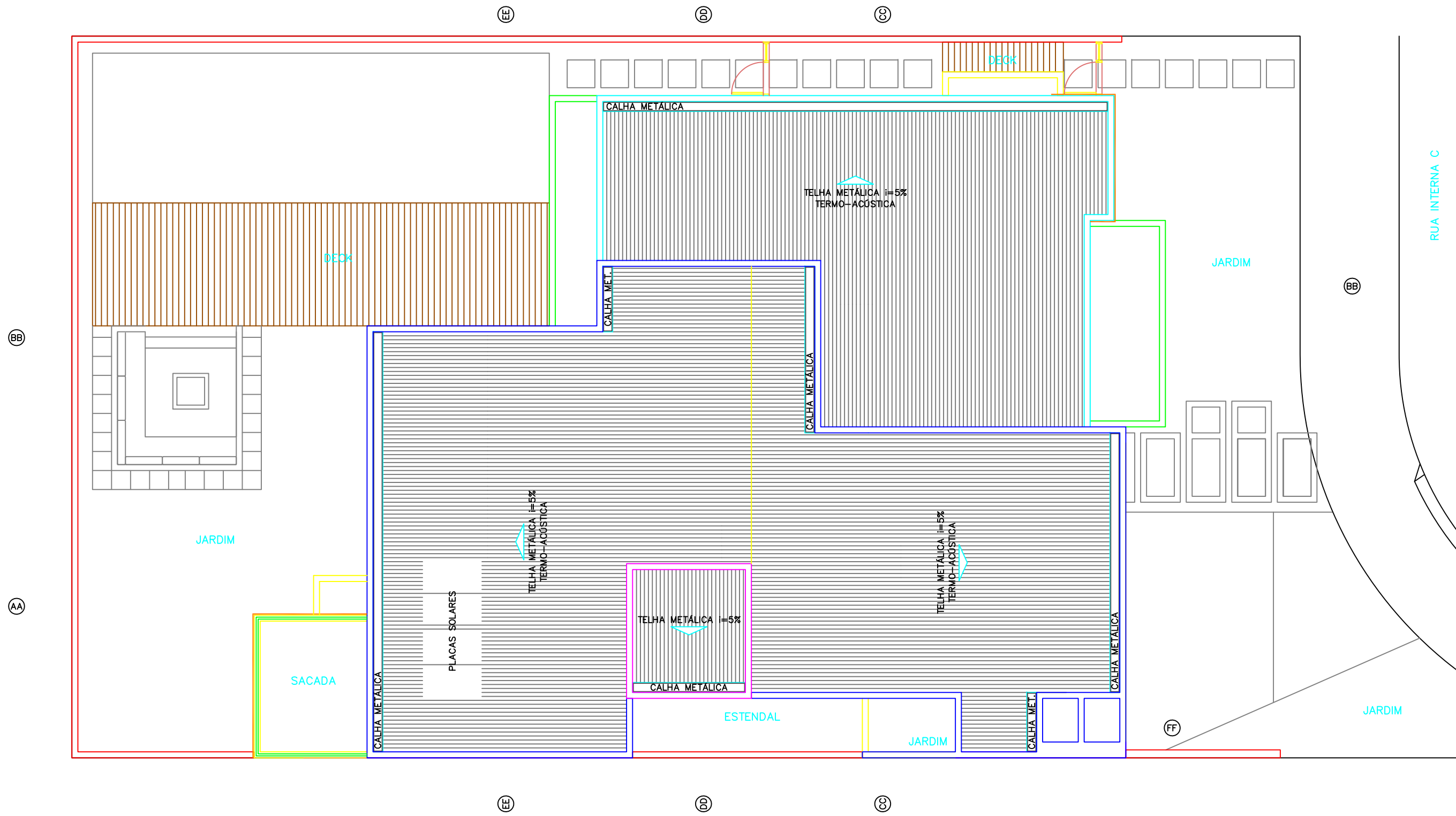
LOCAL DA OBRA: MARINGÁ - PR

DATA: 16/11/2018

FOLHA: 128

ESCALA: 1:100





UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ - CÂMPUS GUARAPUAVA

**TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO**

ALUNA: ALINE MONTANHER POLIZEL

ORIENTADOR: PROF. MSC. EDSON FLORENTINO DE SOUZA

PLANTA DE COBERTURA

REFERÊNCIA: ESTUDO DE CASO 1

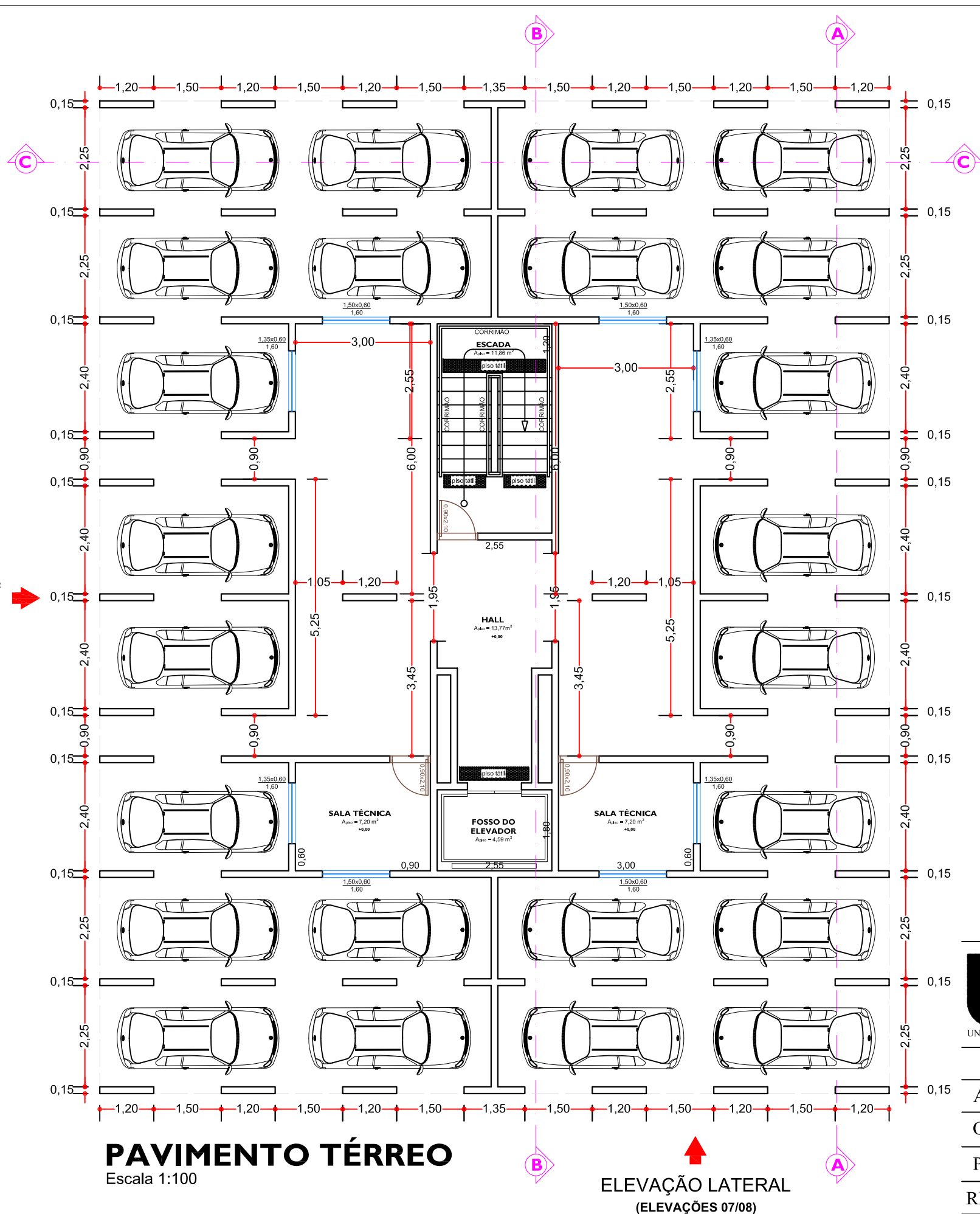
LOCAL DA OBRA: MARINGÁ - PR

DATA: 16/11/2018

FOLHA: 129

ESCALA: 1:100

**ANEXO A - PROJETO ARQUITETÔNICO ESTUDO DE CASO 2**



UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ - CÂMPUS GUARAPUAVA

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

ALUNA: ALINE MONTANHER POLIZEL

ORIENTADOR: PROF. MSC. EDSON FLORENTINO DE SOUZA

PLANTA BAIXA - GARAGEM

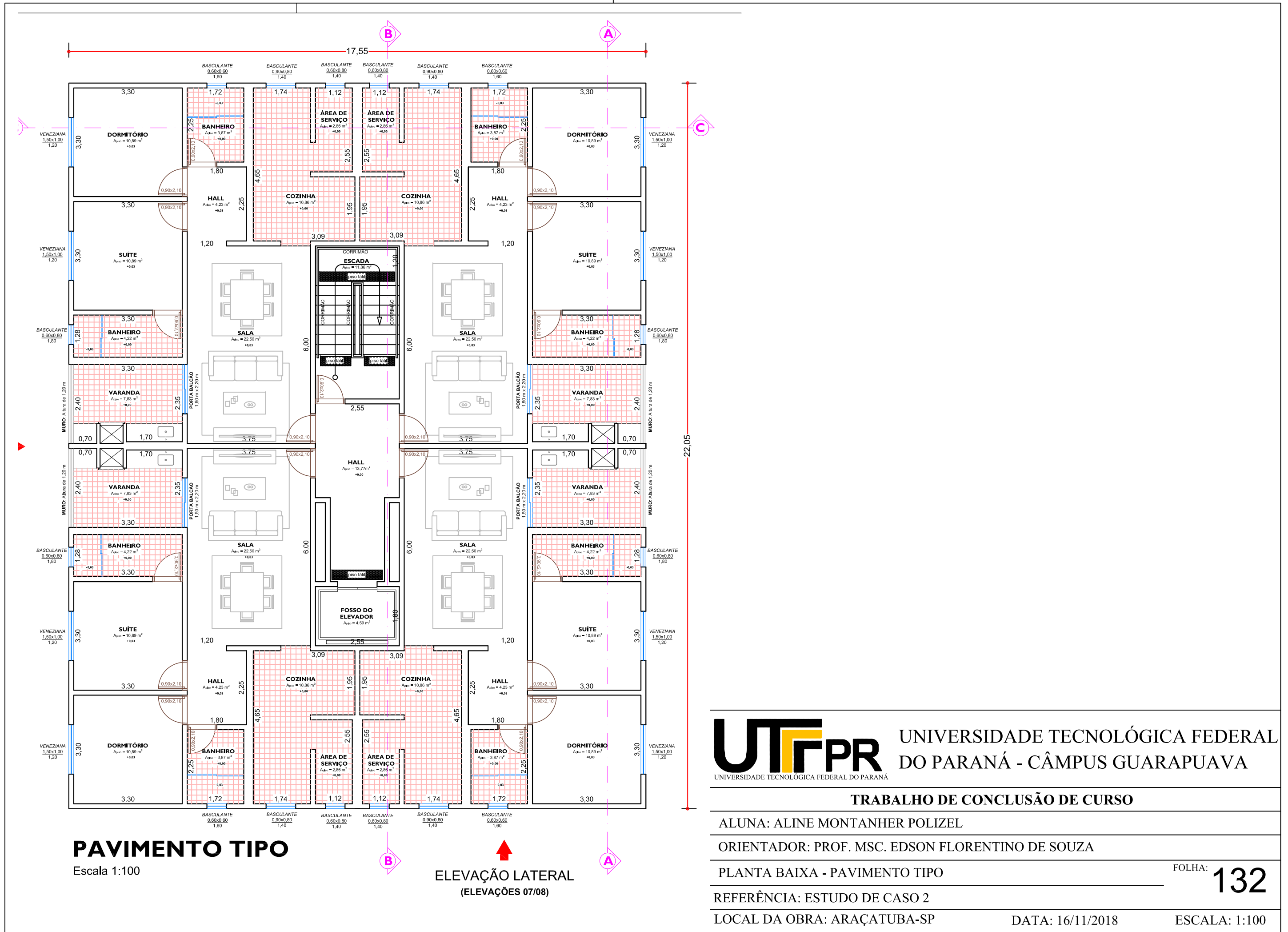
REFERÊNCIA: ESTUDO DE CASO 2

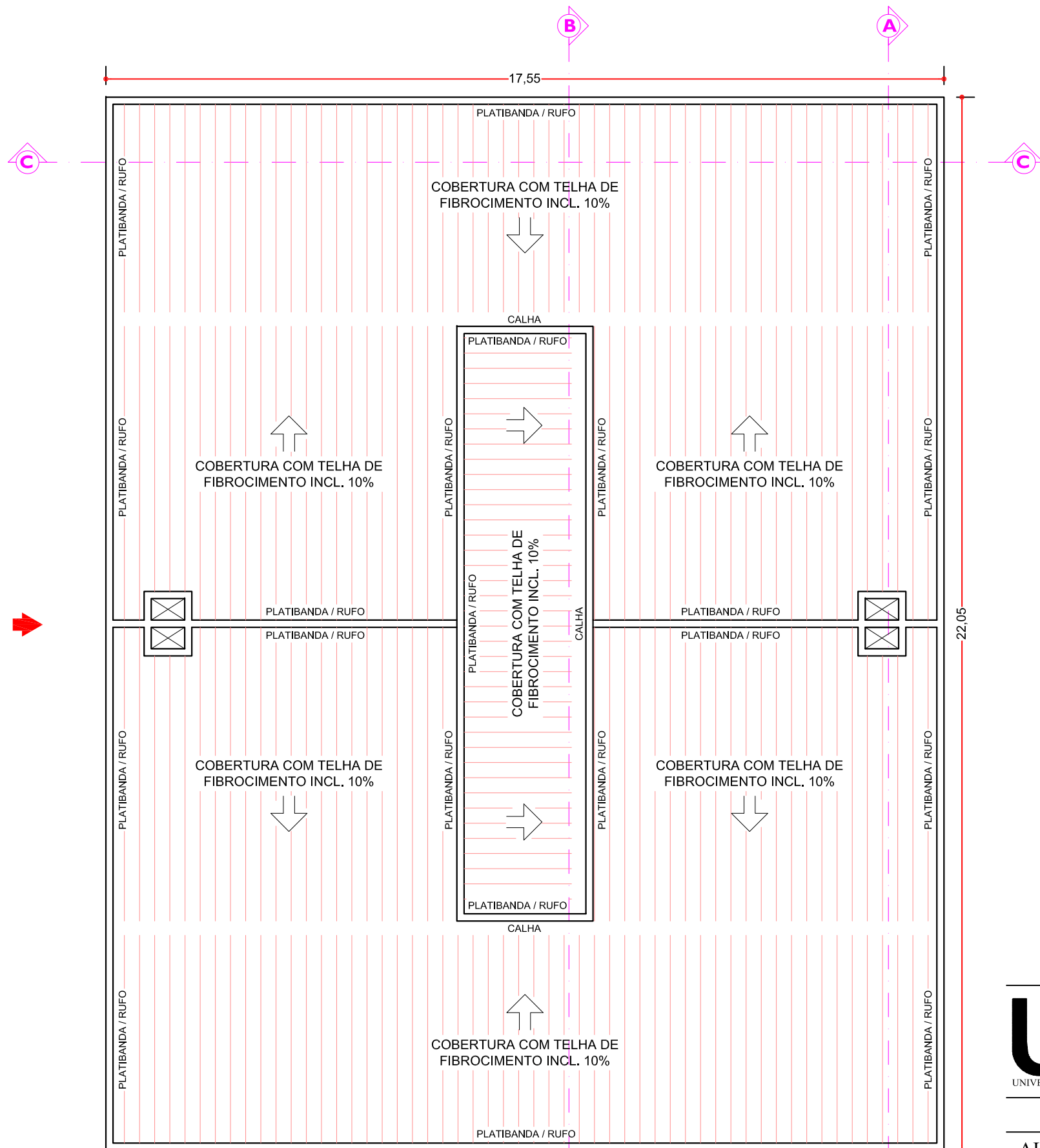
LOCAL DA OBRA: ARAÇATUBA-SP

DATA: 16/11/2018

FOLHA: 131

ESCALA: 1:100





### COBERTURA

Escala 1:100

ELEVAÇÃO LATERAL  
(ELEVAÇÕES 07/08)



UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ - CÂMPUS GUARAPUAVA

#### TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

ALUNA: ALINE MONTANHER POLIZEL

ORIENTADOR: PROF. MSC. EDSON FLORENTINO DE SOUZA

PLANTA DE COBERTURA

FOLHA: 133

REFERÊNCIA: ESTUDO DE CASO 2

LOCAL DA OBRA: ARAÇATUBA-SP

DATA: 16/11/2018

ESCALA: 1:100