



CENTRO FEDERAL DE EDUCAÇÃO TECNOLÓGICA DE MINAS GERAIS
CAMPUS VARGINHA-MG

**ANÁLISE DE DIFERENTES CONCEPÇÕES ESTRUTURAIS DE UM PROJETO
RESIDENCIAL EM CONCRETO ARMADO**

Aluno: Vinícius Oliveira Lara
Graduação em Engenharia Civil
Orientadora: Luciana Alvarenga Santos

Varginha – MG
Março -2022



CENTRO FEDERAL DE EDUCAÇÃO TECNOLÓGICA DE MINAS GERAIS
CAMPUS VARGINHA-MG

Trabalho apresentado ao curso de
Engenharia Civil do Centro Federal
de Educação Tecnológica de Minas
Gerais como requisito parcial para
aprovação na disciplina de Trabalho
de Conclusão de Curso II.

VINÍCIUS OLIVEIRA LARA

ANÁLISE DE DIFERENTES CONCEPÇÕES ESTRUTURAIS DE UM
PROJETO RESIDENCIAL EM CONCRETO ARMADO

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado ao Centro Federal de Educação
Tecnológica de Minas Gerais como requisito
parcial para obtenção do título de Engenheira
Civil.

Data da aprovação: 09 / 02 /2022

Banca examinadora:

Luciana Alvarenga Santos

Luciana Alvarenga Santos, Dra.

Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais (CEFET-
MG) – Unidade Varginha

Aellington Freire de Araújo

Aellington Freire de Araújo.

Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais (CEFET-
MG) – Unidade Varginha

Guilherme Pala Teixeira

Guilherme Pala Teixeira, MSc.

Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais (CEFET-
MG) – Unidade Varginha

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus.

Agradeço imensamente a meus pais Maria de Fátima Oliveira e Marcos Valério Lara, por me todo apoio e toda ajuda durante minha caminhada no curso.

Agradeço a todos os meus colegas de curso que de alguma maneira me ajudaram a chegar até aqui, seja trocando conhecimentos ou até mesmo apoiando durante os tempos difíceis.

Agradeço a minha namorada e minha parceira Carolina do Norte Lopes Menezes, por todo apoio e compreensão.

Agradeço a todos os professores do CEFET-MG por me guiarem e transmitirem seu conhecimento ao longo do curso. Por fim agradeço a toda a instituição de ensino CEFET, todos que contribuíram de alguma forma.



CENTRO FEDERAL DE EDUCAÇÃO TECNOLÓGICA DE MINAS GERAIS
CAMPUS VARGINHA-MG

RESUMO

Nos últimos anos da construção civil, pode-se observar um grande avanço tecnológico dos softwares voltados para engenharia. Atualmente, é inconcebível imaginar engenharia sem o uso de ferramentas computacionais, porém, situações controversas vêm ocorrendo devido à agilidade com que é possível gerar resultados, ao fato de profissionais terem deixado os conceitos técnicos e teóricos de lado e tornado meros operadores de softwares, alimentando uma visão equivocada em relação à elaboração de projetos visto como uma etapa onerosa e burocrática. Diante do exposto, o presente trabalho apresenta a importância de um projeto bem elaborado e a possibilidade de economia em relação ao quantitativo geral da obra. O trabalho consiste em um estudo de caso de projeto estrutural elaborado por profissionais relacionados ao setor de projetos estruturais considerando três concepções estruturais em concreto armado para o mesmo projeto arquitetônico. Posterior à concepção estrutural, foi utilizado o software Cypecad como ferramenta de auxílio de cálculo para modelar as estruturas concebidas. Foi realizado um comparativo geral do consumo de aço, concreto e formas entre os três projetos. Diante deste comparativo, buscou-se mostrar a importância desta etapa, evidenciando a significância da concepção em um projeto estrutural, destacando a figura do engenheiro projetista.

Palavras-Chave: quantitativo de materiais, lançamento estrutural, projeto estrutural, estrutura de concreto armado.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Fluxo de carregamentos nos elementos estruturais de uma edificação	12
Figura 2: Plantas baixas do subsolo e pavimento térreo.....	17
Figura 3: Imagem do software Cypecad 2017 – Tela de lançamento de dados	23
Figura 4: Imagem do software Cypecad 2017 – Tela de lançamento de dados	24
Figura 5: Imagem do software Cypecad 2017 – Tela de lançamento de dados	24
Figura 6: Imagem do software Cypecad 2017 – Tela de lançamento de dados das ações	25
Figura 7: Imagem do software Cypecad 2017 – Tela de lançamento da “mascara” para inserção dos elementos.....	25
Figura 8: Imagem do software Cypecad 2017 – Tela de lançamento dos elementos estruturais.....	26
Figura 9: Imagem do software Cypecad 2017 – Tela de lançamento das lajes.....	26
Figura 10: Imagem do software Cypecad 2017 – Tela de lançamento das cargas	27
Figura 11: 3D do Projeto Estrutural - Concepção 01.....	28
Figura 12: 3D do Projeto Estrutural - Concepção 02.....	29
Figura 13: 3D do Projeto Estrutural - Concepção 03.....	30
Figura 14: Consumo de concreto em lajes (m ³) para as três concepções avaliadas....	35
Figura 15: Consumo de aço nas lajes (m ³) para as três concepções avaliadas.....	36
Figura 16: Consumo de formas em vigas (m ²).....	36
Figura 17: Consumo de concreto em vigas (m ³)	37
Figura 18: Consumo de aço nas vigas Kg	37
Figura 19: Consumo de formas para pilares (m ²)	38
Figura 20: Consumo de concreto para pilares (m ³).....	38
Figura 21: Consumo de aço para pilares (Kg)	39
Figura 22: Consumo total de formas (m ²)	40
Figura 23: Consumo total de concreto (m ³)	40
Figura 24: Consumo total de Aço (Kg).....	41
Figura 25: Custo total de formas (R\$).....	42
Figura 26: Custo total de Concreto (R\$)	42
Figura 27: Custo total de aço (R\$).....	43
Figura 28: Custo total de materiais da edificação (R\$)	43



CENTRO FEDERAL DE EDUCAÇÃO TECNOLÓGICA DE MINAS GERAIS
CAMPUS VARGINHA-MG

LISTA DE QUADROS E TABELA

Quadro 1: Classe de agressividade ambiental - ABNT NBR 6118:2014	18
Quadro 2: Correspondência entre Classe de agressividade ambiental e qualidade do concreto - ABNT NBR 6118:2014	19
Quadro 3: Correspondência entre Classe de agressividade ambiental e cobertura nominal da armadura - ABNT NBR 6118:2014	19
Quadro 4: Exigência de durabilidade relacionadas à fissuração e combinações de serviço a utilizar – ABNT NBR 6118:2014	20
Quadro 5: Alvenarias ABNT NBR 6120:2019	22
Tabela 1: Flechas excessivas - Projeto 01	33
Tabela 2: Flechas Excessivas - Projeto 02	33
Tabela 3: Flechas Excessivas - Projeto 03	33
Tabela 4: Consumo de materiais- Concepção Estrutural 01 a 03	34

SUMÁRIO

RESUMO.....	3
LISTA DE FIGURAS	4
LISTA DE QUADROS E TABELA	5
1 INTRODUÇÃO.....	9
2 JUSTIFICATIVA.....	10
3 OBJETIVOS.....	11
3.1 OBJETIVO GERAL.....	11
3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	11
4 DELIMITAÇÕES	11
5 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	12
5.1 ESTRUTURA DE CONCRETO ARMADO.....	12
5.2 SUPERESTRUTURA	12
5.3 ESTADO LIMITE ÚLTIMO	13
5.4 ESTADO LIMITE DE SERVIÇO.....	13
5.5 AÇÕES	13
5.5.1 Ações Permanentes.....	14
5.5.2 Ações Variáveis.....	14
5.5.3 Combinação de Ações.....	14
5.6 INFORMÁTICA NA ENGENHARIA DE ESTRUTURAS.....	15
5.7 CONCEPÇÃO ESTRUTURAL	15
5.8 ANÁLISE E VERIFICAÇÃO ESTRUTURAL.....	16
6 METODOLOGIA DA PESQUISA.....	16
6.1 DEFINIÇÕES E CRITÉRIOS DE PROJETO.....	18
6.2 LEVANTAMENTO DOS CARREGAMENTOS ATUANTES.....	21
6.2.1 Sobrecargas de projeto conforme ABNT NBR 6120:2019.....	21

CENTRO FEDERAL DE EDUCAÇÃO TECNOLÓGICA DE MINAS GERAIS
CAMPUS VARGINHA-MG

6.2.2	Carregamento Permanente conforme ABNT NBR 6120:2019.....	21
6.3	CONCEPÇÕES ESTRUTURAIS	23
6.4	DIMENSIONAMENTO AUXILIADO POR SOFTWARE.....	23
7	RESULTADOS E DISCUSSÕES	27
7.1	CONCEPÇÕES ESTRUTURAIS	28
7.1.1	Concepção Estrutural 01.....	28
7.1.2	Concepção Estrutural 02.....	29
7.1.3	Concepção Estrutural 03.....	30
7.2	CONDIÇÕES DE SEGURANÇA - ESTADO LIMITE ULTIMO.....	31
7.2.1	VERIFICAÇÃO DO ELU – CONCEPÇÃO ESTRUTURAL 01	31
7.2.2	VERIFICAÇÃO DO ELU – CONCEPÇÃO ESTRUTURAL 02.....	31
7.2.3	VERIFICAÇÃO DO ELU – CONCEPÇÃO ESTRUTURAL 03.....	31
7.3	COMPARATIVO DE ESTADO LIMITE ULTIMO ENTRE OS PROJETOS.....	32
7.4	CONDIÇÕES DE DURABILIDADE – ESTADO LIMITE DE SERVIÇO	32
7.4.1	VERIFICAÇÃO DO ELS – CONCEPÇÃO ESTRUTURAL 01	32
7.4.2	VERIFICAÇÃO DO ELS – CONCEPÇÃO ESTRUTURAL 02	33
7.4.3	VERIFICAÇÃO DO ELS – CONCEPÇÃO ESTRUTURAL 03.....	33
7.5	COMPARATIVO DE ESTADO LIMITE SERVIÇO ENTRE OS PROJETOS.....	33
7.6	LEVANTAMENTO DE QUANTITATIVO.....	34
7.7	COMPARATIVO DE MATERIAIS UTILIZADOS.....	35
7.7.1	COMPARATIVO DE LAJES	35
7.7.2	COMPARATIVO DE VIGAS	36
7.7.3	COMPARATIVO DE PILARES.....	38
7.7.4	COMPARATIVO TOTAL DE MATERIAIS.....	40
7.8	CUSTO DE MATERIAIS	41
8	CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	44
9	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	46



CENTRO FEDERAL DE EDUCAÇÃO TECNOLÓGICA DE MINAS GERAIS
CAMPUS VARGINHA-MG

APÊNDICE A – Projeto Arquitetônico.....	48
APÊNDICE B – Planta de Forma Conceção Estrutural I	54
APÊNDICE C – Planta de Forma Conceção Estrutural II	59
APÊNDICE D – Planta de Forma Conceção Estrutural III	64

1 INTRODUÇÃO

A utilização de tecnologia na engenharia se tornou uma prática comum no dia a dia. A competição imposta no mercado de trabalho fez com que os profissionais buscassem alternativas para reduzir os custos e aumentar a produtividade nos processos. A utilização da ferramenta computacional como auxílio gera agilidade ao processo e eficiência, desde que utilizada corretamente. Com os conhecimentos técnicos e teóricos apropriados, é possível dedicar-se mais às atividades de solução e elaboração de projetos. No entanto, paralelo a este avanço, controvérsias a engenharia vem ocorrendo. Engenheiros preocupados apenas com os prazos e a busca por novos clientes, por conta do baixo custo praticado, acabam se tornando em meros operados de softwares, produzindo “projetos” em massa (KIMURA, 2007).

Neste contexto, busca-se evidenciar a importância e o protagonismo de um responsável por um projeto estrutural. O projeto estrutural é uma etapa fundamental para um empreendimento, seja ele de pequeno ou grande porte. Em suma, um projeto estrutural é um conjunto de informações a respeito de dimensionamento da estrutura, com intuito de garantir segurança, durabilidade e economia de uma obra. Pode-se dividir este processo em 4 etapas: concepção estrutural, análise estrutural, dimensionamento e detalhamento e emissão de pranchas.

A concepção estrutural é uma das etapas mais importante dentro de um projeto. Totalmente dependente de um engenheiro, consiste no pré-dimensionamento e uma disposição de vigas, lajes e pilares, de modo a assegurar que a estrutura possa atender os aspectos econômicos e de segurança, ou seja, é etapa em que é definida como a estrutura se comportará (PINHEIRO, MUSARDO e SANTOS, 2003).

A estrutura da edificação deve atender a sua finalidade e respeitar sempre que possível as exigências arquitetônicas. Segundo Giongo (2007), a concepção estrutural adequada verifica qual material é melhor empregado segundo os critérios arquitetônico. Devem ser avaliadas a utilização de materiais como: madeira, aço, concreto armado ou protendido, e também a utilização de mais de uma tecnologia construtiva.

Para a idealização do arranjo estrutural é necessário conhecer o comportamento de cada uma das partes da estrutura a ser projetada. Segundo Rebello (2000), conceber uma estrutura é ter consciência da possibilidade da sua existência; é perceber a sua

relação com o espaço gerado; é perceber o sistema ou sistemas capazes de transmitir as cargas ao solo, da forma mais natural, é identificar os materiais que, de maneira mais adequada, se adaptam a esses sistemas.

Além de afetar os aspectos de segurança exigidos por norma, uma concepção mal elaborada pode ocasionar gastos excessivos e até mesmo levar uma estrutura a ruína. Portanto deve-se atentar também a viabilidade e possibilidade de execução da solução adotada. (ALTOQI EBERICK, 2015.)

2 JUSTIFICATIVA

Para compreender a relevância do tema é necessário avaliar o impacto gerado pela tomada de decisões de engenheiros calculistas de estruturas em relação à concepção estrutural adotada.

Com o desenvolvimento de computadores, os softwares vêm ganhando cada vez mais espaço entre engenheiros. Isso pode ser explicado pelo grande aumento de produtividade gerado por eles, bem como uma análise mais real dos esforços desenvolvidos nas estruturas. Entretanto, muitos softwares vêm sendo operados por profissionais que não possuem conhecimento técnico suficiente na área de estruturas. Modelar uma estrutura em um software e apenas gerar os resultados, sem pensar em seu funcionamento, pode impactar diretamente em uma edificação. Porém, é importante salientar que o software apenas calcula o que foi lançado, sem avaliar concepção estrutural adotada. Para Kimura (2007), o papel da informática na engenharia de estruturas é aperfeiçoá-la e não substituir a função de engenheiros.

Sessa (2017), desenvolveu um estudo de edificações em concreto armado que tiveram colapso de construção. Dentre as alternativas analisadas pelo autor pode-se destacar o Edifício Real Class que desabou em 2011 em Belém (PA). A principal causa do colapso foi a incorreta concepção estrutural. O projetista dimensionou cada pavimento de forma isolada, sem considerar os esforços devido ao vento e ao desaprumo da edificação.

Além da segurança, também não se pode deixar de lado o custo da solução proposta, que vai desde a escolha de material até a melhor disposição dos elementos estruturais, que podem ocasionar economia.

Visto que a má concepção estrutural pode ocasionar danos a estrutura, busca-se avaliar

o efeito de diferentes concepções estruturais para um mesmo projeto estrutural em concreto armado.

3 OBJETIVOS

3.1 OBJETIVO GERAL

O trabalho tem por objetivo avaliar três concepções para um projeto estrutural de concreto armado de um mesmo empreendimento, evidenciando o consumo de materiais e o gasto com a superestrutura.

3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Avaliar três diferentes concepções para um projeto estrutural;
- Levantar um quantitativo do consumo de concreto, aço e madeira para os elementos estruturais;
- Avaliar e comparar o consumo dos materiais entre as concepções propostas;
- Levantar o custo da quantidade de concreto, de aço e de madeira para as formas;
- Comparar o custo dos materiais entre as concepções avaliadas;
- Apresentar o melhor projeto estrutural baseado nos dados obtidos.

4 DELIMITAÇÕES

É importante destacar que a partir da concepção desenvolvida e modelada, o levantamento dos materiais e a comparação serão realizados com os itens de maior relevância em uma estrutura de concreto armado: o volume de concreto consumido nas vigas, lajes e pilares, o consumo de aço para cada elemento estrutural, bem como o consumo de formas. Não será mensurada a mão de obra nem a quantidade de homem/hora necessária para execução das propostas.

Ressalta-se também que nas concepções propostas, não serão realizados ajustes, análises estruturais nem melhorias, mantendo a integridade da concepção proposta por cada profissional.

5 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

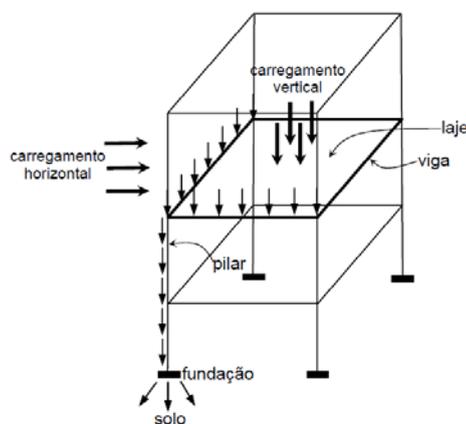
5.1 ESTRUTURA DE CONCRETO ARMADO

Apesar de boa capacidade resistente à compressão, o concreto por si só não é capaz de suportar os esforços de tração. A capacidade resistiva à tração do concreto é aproximadamente apenas 10% de compressão. Logo, é necessário a adição de barras de aço nos elementos estruturais de concreto para conferir o melhor aproveitamento das características dos dois materiais. Esta solução surgiu da necessidade de mesclar a resistência a tração do aço com a durabilidade da pedra, além de proporcionar ao metal a proteção contra a corrosão. Uma das grandes vantagens deste material é assumir grandes variedades de formas e tamanhos, pois o concreto fresco apresenta consistência plástica, favorecendo o fluxo do material. Uma estrutura de forma geral deve ser segura, economicamente viável e durável, portanto, o dimensionamento correto deve garantir de maneira satisfatória, as características de utilização da edificação da maneira mais viável possível (CARVALHO E FIGUEIREDO FILHO, 2007).

5.2 SUPERESTRUTURA

Elementos estruturais são peças que compõem a estrutura e seus arranjos são chamados de sistemas estruturais. Portanto, é importante compreender o comportamento primário de cada elemento estrutural que forma um conjunto estrutural. (ALVA, 2007). A discretização dos elementos pode ser feita conforme figura 01.

Figura 1: Fluxo de carregamentos nos elementos estruturais de uma edificação



De acordo com Bastos (2006), lajes são elementos planos que recebem a maior parte das ações de uma construção, como de pessoas, móveis, pisos, paredes, e os mais variados tipos de carga que podem existir em função da finalidade arquitetônica.

Conforme estabelecido na ABNT NBR 6118: 2014, vigas são classificadas como barras e são normalmente retas e horizontais, destinadas a receber ações das lajes, outras vigas, alvenaria, e eventualmente de pilares. São elementos lineares em que a flexão é preponderante.

Pilares são elementos lineares de eixo reto, usualmente dispostos na vertical, em que as forças normais de compressão são preponderantes (ABNT NBR 6118: 2014).

5.3 ESTADO LIMITE ÚLTIMO

De acordo com a ABNT NBR 6118: 2014, o estado limite ultimo (ELU) é aquele relacionado ao colapso estrutural ou qualquer tipo de ruína que determine ou interrompa o uso da estrutura. As verificações do ELU devem ser: perda do equilíbrio, esgotamento da capacidade resistente da estrutura, quer seja para esforços de primeira ou segunda ordem, estado limite último provocado por solicitações dinâmicas, colapso progressivo com exposição ao fogo, ações sísmicas e outros casos especiais que eventualmente possam ocorrer.

5.4 ESTADO LIMITE DE SERVIÇO

Estado Limite de Serviço (ELS) é aquele relacionado a durabilidade da estrutura, ao conforto do usuário, à aparência e a utilização adequada. A segurança em estruturas de concreto pode exigir verificações de ELS como: formação e abertura de fissuras, deformações excessivas, estado limite de descompressão, vibrações excessivas e em casos especiais verificar outros estados não definidos em norma (CARVALHO E FIGUEIREDO FILHO, 2007.)

5.5 AÇÕES

As ações classificam-se, conforme a ABNT NBR 8681:2003, como ações permanentes, variáveis e excepcionais. Cada construção tem suas peculiaridades, e as ações

consideradas devem estar previstas conforme sua especificidade e sugeridas pelas normativas vigentes.

5.5.1 Ações Permanentes

Estão associadas ao peso da estrutura e elementos que geram carregamentos permanentes, como pisos, paredes, telhado. Podem ocorrer também ações permanentes indiretas constituídas pelas deformações por fluência do concreto, deslocamentos de apoio, imperfeições geométricas (globais e locais) e protensão. (CARVALHO e FIGUEIREDO FILHO, 2007).

5.5.2 Ações Variáveis

Conforme a ABNT NBR 6118:2014, as ações variáveis podem ser classificadas em diretas e indiretas. Ações variáveis diretas são constituídas por carregamentos que podem ou não atuar sobre a estrutura. Também chamadas de sobrecargas, elas incluem o peso de máquinas, mobília, pessoas e outras, a depender da utilização da edificação. As ações variáveis indiretas são provenientes de vibrações e variações de temperatura.

5.5.3 Combinação de Ações

É necessário fazer combinações de ações, pois ações permanentes e variáveis não atuam de forma independente em uma estrutura. Essas combinações levam em conta a probabilidade de atuarem simultaneamente durante um período preestabelecido (ABNT NBR 8681:2003). Podem ser combinadas das seguintes maneiras:

Combinações quase permanentes: são decorrentes das ações que podem atuar sobre a estrutura em mais da metade de sua vida útil;

Combinações frequentes: combinações que se repetem em torno de 10^5 vezes em 50 anos ou que tenham duração total igual a uma parte não desprezível desse período, na ordem de 5%; e,

Combinações raras: combinações que podem atuar no máximo algumas vezes durante o período de vida da estrutura.

5.6 INFORMÁTICA NA ENGENHARIA DE ESTRUTURAS

O avanço tecnológico tem um papel imprescindível na engenharia de estruturas e influência de forma direta e significativa a elaboração de projetos estruturais. Atualmente, todas as etapas de um projeto, de alguma forma, são influenciadas pelos benefícios que a informática proporciona, desde o lançamento, passando pela análise, dimensionamento e detalhamento dos elementos, até a impressão de desenhos. A informática, na sua essência, veio para aperfeiçoar e jamais substituir a engenharia. Porém, muitas vezes, os conceitos fundamentais são colocados de lado. É fundamental ter em mente que um sistema computacional, por mais sofisticado que seja, é apenas uma ferramenta auxiliar. Possuí-lo sem saber realizar os cálculos que estão por trás da ferramenta, não adianta de nada, é como ter uma calculadora de mão e não saber as operações matemáticas (KIMURA, 2007).

5.7 CONCEPÇÃO ESTRUTURAL

Concepção é o ato ou efeito de gerar e estrutura é tudo aquilo que sustenta, tal qual o esqueleto humano (REBELLO, 2000).

Ao conceber uma estrutura deve-se ter em mente vários aspectos básicos: estética, economia, funcionalidade e resistência. A concepção estrutural exige um conhecimento fundamental das propriedades dos materiais bem como a resposta dos materiais, que seguem etapas de aproximação dos comportamentos na qual posteriormente necessitará de uma análise estrutural (HIBBELER, 2010).

Portanto, cabe ao engenheiro conceber a estrutura. Definir as dimensões e as posições dos elementos estruturais não é uma tarefa automática, deve-se imaginar uma solução adequada e prever seu respectivo comportamento (KIMURA, 2007).

Pilares mal posicionados em uma edificação impedem a formação de pórticos adequados, tornando-a muito flexível (DIAS, 2004). Inércias principais maiores distribuídas adequadamente enrijecem o edifício de maneira global e as dimensões dos elementos variam de acordo com as cargas, vãos, materiais, etc. (SOARES e DEBS, 1997).

Para poder dimensionar corretamente uma estrutura é importante definir as ações que atuam sob a estrutura. Segundo Carvalho e Figueiredo Filho (2014), ação é qualquer

influência, ou combinação de influências, capaz de produzir estados de tensão e/ou deformação em uma estrutura.

Como a estrutura interfere diretamente na arquitetura, sendo muitas vezes questões causadoras de conflito, conforme aumenta a complexidade do empreendimento, cresce a necessidade da integração entre as atividades técnicas de projeto. Esta integração permite a troca de informações entre os projetistas afim de otimizar soluções técnicas e econômica. Há casos onde o posicionamento inadequado dos pilares chega até a inviabilizar o uso para o qual foi projetada determinada edificação (DIAS, 2004).

Para Koerich AltoQi Eberick (2018), a concepção estrutural deve ser bem elaborada, para obter um melhor desempenho da estrutura. Projetos que são mal elaborados em sua concepção estrutural, eleva os custos da construção, e alto custo pode inviabilizar a execução da edificação.

5.8 ANÁLISE E VERIFICAÇÃO ESTRUTURAL

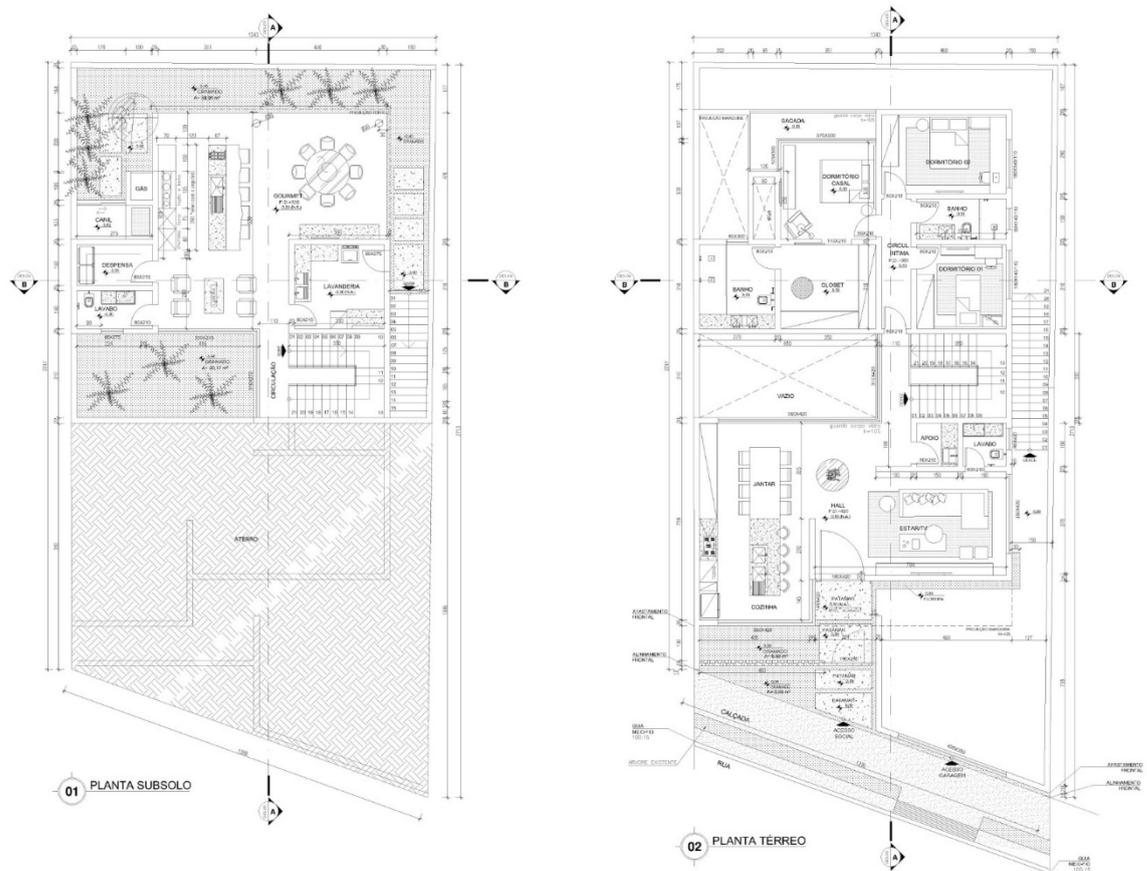
A análise estrutural tem o objetivo de avaliar o comportamento e resposta da estrutura, perante as ações aplicadas, efetuando os cálculos e verificações dos elementos estruturais, pilares, vigas e lajes nos estados-limites últimos e de serviço. A partir da análise estrutural, são realizados os dimensionamentos e detalhamentos.

Na etapa de análise estrutural é feito a validação e melhoria da concepção, onde verifica-se o que foi proposto está atendendo de forma satisfatória, não estando é feito alterações para que a estrutura trabalhe em condições mais favoráveis (TQS Docs).

6 METODOLOGIA DA PESQUISA

O presente trabalho refere-se a um projeto residencial de padrão médio, com 312 m² de área construída, sendo 104m² no pavimento inferior, composto por área gourmet e lavanderia da casa e pavimento superior de 208m², composto de 3 dormitórios, sendo um deles suíte, sala de estar e cozinha conjugada com sala de jantar. As plantas baixa do subsolo e pavimento estão ilustradas na Figura 02 e o projeto arquitetônico, com plantas, cortes e fachada encontra-se no apêndice A.

Figura 2: Plantas baixas do subsolo e pavimento térreo



Para a análise foram realizadas três concepções estruturais, por três profissionais da área. Foram consideradas as mesmas restrições e a edificação concebida em concreto armado, com pilares, vigas e lajes maciças, respeitando as imposições arquitetônicas. No projeto original, pode-se observar a existência de um muro de arrimo, portanto para esta situação em particular, este dimensionamento não foi considerado.

A modelagem e o dimensionamento estrutural da superestrutura foi realizado com o auxílio do software CypeCad 2017, software este que utiliza o método dos elementos finitos para análise estrutural. As restrições impostas e todas as cargas utilizadas em projeto, foram padronizadas para as três situações.

Com a superestrutura dimensionada, procedeu-se com a análise comparativa do consumo dos materiais para cada situação, ressaltando que após o cálculo da estrutura, não foram feitos ajustes nas seções para melhorar a condição de projeto.

CENTRO FEDERAL DE EDUCAÇÃO TECNOLÓGICA DE MINAS GERAIS
CAMPUS VARGINHA-MG

Para essa análise comparativa foi utilizado o quantitativo extraído do próprio software de dimensionamento, permitindo assim evidenciar a influência da concepção estrutural no consumo de materiais em um projeto estrutural, bem como o custo de aço, concreto e madeira da edificação.

6.1 DEFINIÇÕES E CRITÉRIOS DE PROJETO

A definição dos critérios dos projetos foram feitas conforme estabelecido na ABNT NBR6118:2014 – Projeto de Estruturas de Concreto. Para um ambiente urbano adota-se uma classe de agressividade ambiental moderada II, conforme Quadro 01 da ABNT NBR6118:2014.

Após a definição da classe de agressividade, foram definidos a resistência característica do concreto utilizado e o cobrimento dos elementos estruturais. Nos Quadros 02 e 03 são apresentadas, respectivamente, as correspondências entre agressividade e qualidade do concreto e cobrimento nominal da armadura conforme estabelecido pela ABNT NBR 6118:2014.

Quadro 1: Classe de agressividade ambiental - ABNT NBR 6118:2014

Classe de agressividade ambiental	Agressividade	Classe geral para o tipo de ambiente para efeito de projeto	Risco de deterioração da estrutura
I	Fraca	Rural	Insignificante
		Submersa	
II	Moderada	Urbana ^{a, b}	Pequeno
III	Forte	Marinha ^a	Grande
		Industrial ^{a, b}	
IV	Muito forte	Industrial ^{a, c}	Elevado
		Respingos de Maré	

a. Pode-se admitir um microclima com uma classe de agressividade mais branda (uma classe acima) para ambientes internos secos (salas, dormitórios, banheiros, cozinhas e áreas de serviço de apartamentos residenciais e conjuntos comerciais ou ambientes com concreto revestido com argamassa e pintura)

b. Pode-se admitir uma classe de agressividade mais branda (uma classe acima) em obras em regiões de clima seco, com umidade média relativa do ar menor ou igual a 65%, partes da estrutura protegidas de chuva em ambientes predominantemente secos ou regiões onde raramente chove.

c. Ambientes quimicamente agressivos, tanques industriais, galvanoplastia, branqueamento em indústrias de celulose e papel, armazéns de fertilizantes, indústrias químicas.

CENTRO FEDERAL DE EDUCAÇÃO TECNOLÓGICA DE MINAS GERAIS
CAMPUS VARGINHA-MG

Quadro 2: Correspondência entre Classe de agressividade ambiental e qualidade do concreto - ABNT NBR 6118:2014

Concreto ^a	Tipo ^{b,c}	Classe de agressividade (Tabela 6.1)			
		I	II	III	IV
Relação água/cimento em massa	CA	≤0,65	≤0,60	≤0,55	≤0,45
	CP	≤0,60	≤0,55	≤0,50	≤0,45
Classe de concreto (ABNT NBR 8953)	CA	≥C20	≥C25	≥C30	≥C40
	CP	≥C25	≥C30	≥C35	≥C40
a. O concreto empregado na execução das estruturas deve cumprir com os requisitos estabelecidos na ABNT NBR 12655					
b. CA corresponde a componentes e elementos estruturais de concreto armado.					
c. CP corresponde a componentes e elementos estruturais de concreto protendido.					

Quadro 3: Correspondência entre Classe de agressividade ambiental e cobertura nominal da armadura - ABNT NBR 6118:2014

Tipo de Estrutura	Componente ou elemento	Classe de agressividade ambiental (Tabela 6.1)			
		I	II	III	IV ^c
		Cobertura nominal mm			
Concreto Armado	Laje ^b	20	25	35	45
	Viga/pilar	25	30	40	50
	Elementos estruturais em contato com o solo ^d	30		40	50
Concreto Protendido ^a	Laje	25	30	40	50
	Viga/pilar	30	35	45	55
a Cobertura nominal da bainha dos fios, cabos e cordoalhas. O cobrimento da armadura passiva deve respeitar os cobrimentos para concreto armado.					
b Para a face superior de lajes e vigas que serão revestidas com argamassa de contrapiso, com revestimentos finais secos tipo carpete e madeira, com argamassa de revestimento e acabamento, como pisos de elevado desempenho, pisos cerâmicos, pisos asfálticos e outros, as exigências desta tabela podem ser substituídas pelas de 7.4.7.5, respeitando um cobrimento nominal ≥ 15mm.					
c Nas superfícies expostas a ambientes agressivos, como reservatórios, estações de tratamento de água e esgoto, condutores de esgoto, canaletas de efluentes e outras obras em ambientes química e intensamente agressivos, deve ser atendidos os cobrimentos de classe de agressividade IV.					
d No trecho dos pilares em contato com o solo junto aos elementos de fundação, a armadura deve ter um cobrimento nominal ≥ 45mm.					

CENTRO FEDERAL DE EDUCAÇÃO TECNOLÓGICA DE MINAS GERAIS
CAMPUS VARGINHA-MG

No Quadro 04 são apresentadas as exigências de durabilidade relacionadas à fissuração e à proteção da armadura, em função das classes de agressividade ambiental, bem como as combinações de ações em serviço a utilizar, conforme estabelecido na ABNT NBR 6118:2014.

Quadro 4: Exigência de durabilidade relacionadas à fissuração e combinações de serviço a utilizar – ABNT NBR 6118:2014

Tipo de concreto estrutural	Classe de agressividade ambiental (CAA) e tipo de protensão	Exigências relativas à fissuração	Combinação de ações em serviço a utilizar
Concreto Simples	CAA I a CAA IV	Não há	-
Concreto Armado	CAA I	ELS-W $W_K \leq 0,4 \text{ mm}$	Combinação frequente
	CAAII e CAA III	ELS-W $W_K \leq 0,3 \text{ mm}$	
	CAA IV	ELS-W $W_K \leq 0,2 \text{ mm}$	
Concreto protendido nível 1 (protensão parcial)	Pré-tração com CAA I ou Pós-Tração com CAA I e II	ELS-W $W_K \leq 0,2 \text{ mm}$	Combinação frequente
Concreto protendido nível 2 (protensão limitada)	Pré-tração com CAA II ou Pós-Tração com CAA III e IV	Verificar as duas condições abaixo	
		ELS-F	Combinação frequente
		ELS-D ^a	Combinação quase permanente
Concreto protendido nível 3 (protensão completa)	Pré-tração com CAA III e IV	Verificar as duas condições abaixo	
		ELS-F	Combinação rara
		ELS-D ^a	Combinação frequente
<p>a. A critério do projetista, o ELS-D pode ser substituído pelo ELS-DP COM $a_p=50 \text{ mm}$ (Figura 3.1). NOTAS</p> <p>1. As definições de ELS-W, ELS-F e ELS-D encontram-se em 3.2.</p> <p>2. Para as classes de agressividade ambiental CAA-III e IV, exige-se que as cordoalhas não aderentes tenham protensão especial na região de suas ancoragens.</p> <p>3. No projeto de lajes lisas e cogumelos protendidas, basta ser atendido o ELS-F, para a combinação frequente das ações, em todas as classes de agressividade ambiental</p>			

Para atender os requisitos estabelecidos pela ABNT NBR 6118:2014 citados acima, adotou-se 25 MPa para a resistência característica do concreto, módulo de elasticidade de 24GPa, com o cobrimento para pilares e vigas de 30 mm e lajes de 25 mm, considerando a classe de agressividade II e sendo respeitado o limite de abertura de fissuras de 0,3 mm. O aço utilizado no dimensionamento foi CA50 para as armaduras

longitudinais e transversais e CA60 apenas para as armaduras transversais.

6.2 LEVANTAMENTO DOS CARREGAMENTOS ATUANTES

O carregamento em uma estrutura se faz presente pelas cargas permanentes e acidentais. A ABNT NBR 6120:2019 estabelece as ações mínimas a serem consideradas em um projeto estrutural.

6.2.1 Sobrecargas de projeto conforme ABNT NBR 6120:2019

As cargas acidentais de sobrecarga variam de acordo com a utilização da edificação e para a edificação residencial em questão as cargas utilizadas foram as seguintes:

- Dormitórios, salas, copas, cozinha e sanitários: 1,5 kN/m²
- Despensas, área de serviço e lavanderias: 2,0 kN/m²
- Sacadas, varandas e terraços: 2,5kN/m²
- Escadas: 2,5 kN/m²
- Coberturas: 1kN/m²

6.2.2 Carregamento Permanente conforme ABNT NBR 6120:2019

As cargas permanentes são constituídas daquelas que permanecem inalteradas em toda a vida útil da edificação, sendo elas:

- Peso próprio dos elementos - peso considerado automaticamente pelo software, a depender a seção;
- Carregamento de alvenaria de vedação.

O peso da alvenaria varia de acordo com a tipologia de vedação utilizada. Para a situação avaliada foi adotado bloco cerâmico de 14 cm com argamassa de revestimento de 2 cm em cada face.

Conforme apresentado no Quadro 05 – Alvenaria, estabelecido conforme ABNT NBR 6120:2019, o peso para a vedação utilizada foi de 1,9kN/m² que, multiplicado pela altura da parede, resultou em um carregamento uniformemente distribuído na viga ou laje de 5,7kN/m.

CENTRO FEDERAL DE EDUCAÇÃO TECNOLÓGICA DE MINAS GERAIS
CAMPUS VARGINHA-MG

Quadro 5: Alvenarias ABNT NBR 6120:2019

ALVENARIA DE VEDAÇÃO				
Alvenaria	Espessura Nominal do elemento (cm)	Peso (tf/m ²)		
		Espessura do Revestimento por face (cm)		
		0cm	1cm	2cm
Bloco de Concreto Vazado (Classe C - ABNT NBR 6136)	6,5	1,0	1,4	1,8
	9	1,1	1,5	1,9
	11,5	1,3	1,7	2,1
	14	1,4	1,8	2,2
	19	1,8	2,2	2,6
Bloco cerâmico vazado (Furo horizontal - ABNT NBR 15270-1)	9	0,7	1,1	1,6
	11,5	0,9	1,3	1,7
	14	1,1	1,5	1,9
	19	1,4	1,8	2,3
Bloco de Concreto Celular Autoclavado (Classe C25 - ABNT NBR 13438)	7,5	0,5	0,9	1,3
	10	0,6	1	1,4
	12,5	0,8	1,2	1,6
	15	0,9	1,3	1,7
	17,5	1,1	1,5	1,9
	20	1,2	1,6	2
Bloco Vidro (decorativo, sem resistência ao fogo)	8	0,8	-	-

- Revestimento de Pisos

Para considerar o revestimento de pisos de 5 cm de espessura da edificação, foi usado o esforço de 1,0 kN/m², conforme estabelecido na ABNT NBR 6120:2019.

- Telhado

De acordo com o projeto arquitetônico o telhado da edificação foi embutido (tipo caixote). Foi considerado um telhado em estrutura de madeira com telhas de fibrocimento na espessura de 8 mm, resultando em uma carga de 0,35 kN/m².

- Forro de Gesso

Foi considerado o uso de forro de gesso acartonado para os dois pavimentos, o que resultou em um carregamento de 0,25kN/m².

- Reservatório de Água

Na laje de cobertura, foram consideradas duas caixas d'água, de 1000 litros cada uma, apoiadas em um suporte de madeira de 1m x 1m, distribuindo assim um carregamento de 10 kN/m² na laje de apoio.

6.3 CONCEPÇÕES ESTRUTURAIS

Para gerar três concepções estruturais distintas, não tendenciosas e coerentes, obteve-se a ajuda de três profissionais que trabalham com projetos estruturais. Cada profissional elaborou uma concepção estrutural com o pré-dimensionamento dos elementos, a partir das condições e características impostas pela arquitetura. Com o intuito de preservar a integridade da concepção estrutural, não foram feitas melhorias e ajustes.

6.4 DIMENSIONAMENTO AUXILIADO POR SOFTWARE

O lançamento dos elementos estruturais no software foi feito de acordo com as particularidades de cada concepção estrutural, já os carregamentos e as condições de contorno, mantiveram-se as mesmas para as três modelagens.

A versão 2017 do software Cypecad utilizada como ferramenta de dimensionamento estrutural necessita das informações dos dados do projeto, a norma utilizada, tipologia de aço, concreto utilizado, cobrimento da armadura, conforme apresentado nas Figuras 03, 04 e 05.

Figura 3: Imagem do software Cypecad 2017 – Tela de lançamento de dados

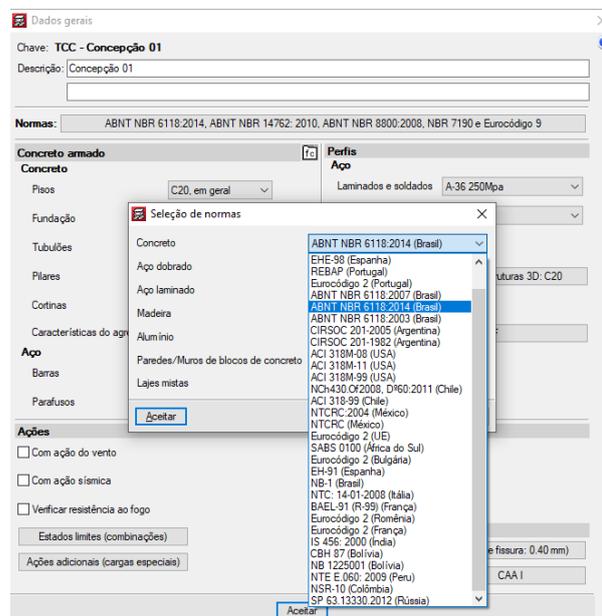


Figura 4: Imagem do software Cypecad 2017 – Tela de lançamento de dados

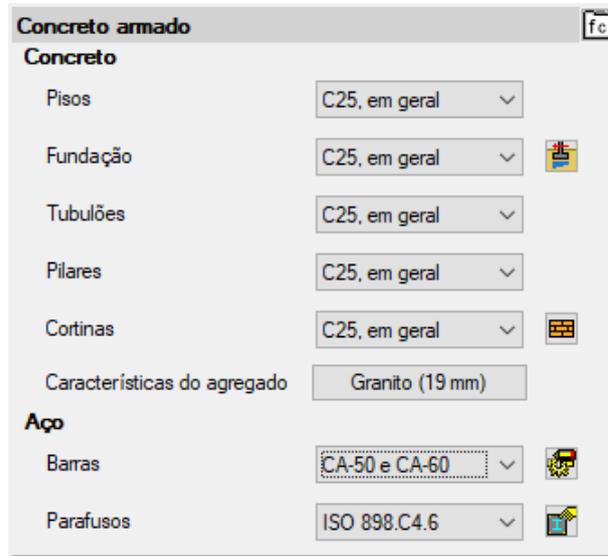
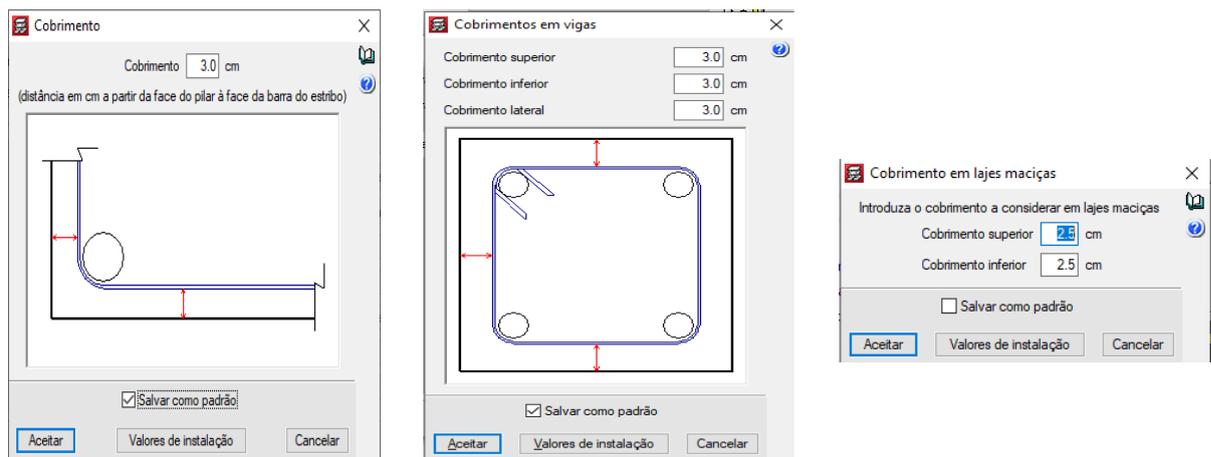
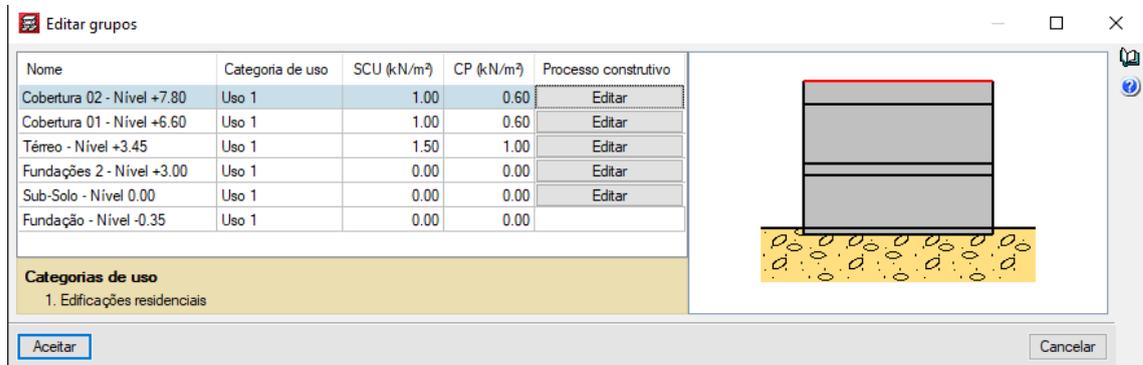


Figura 5: Imagem do software Cypecad 2017 – Tela de lançamento de dados



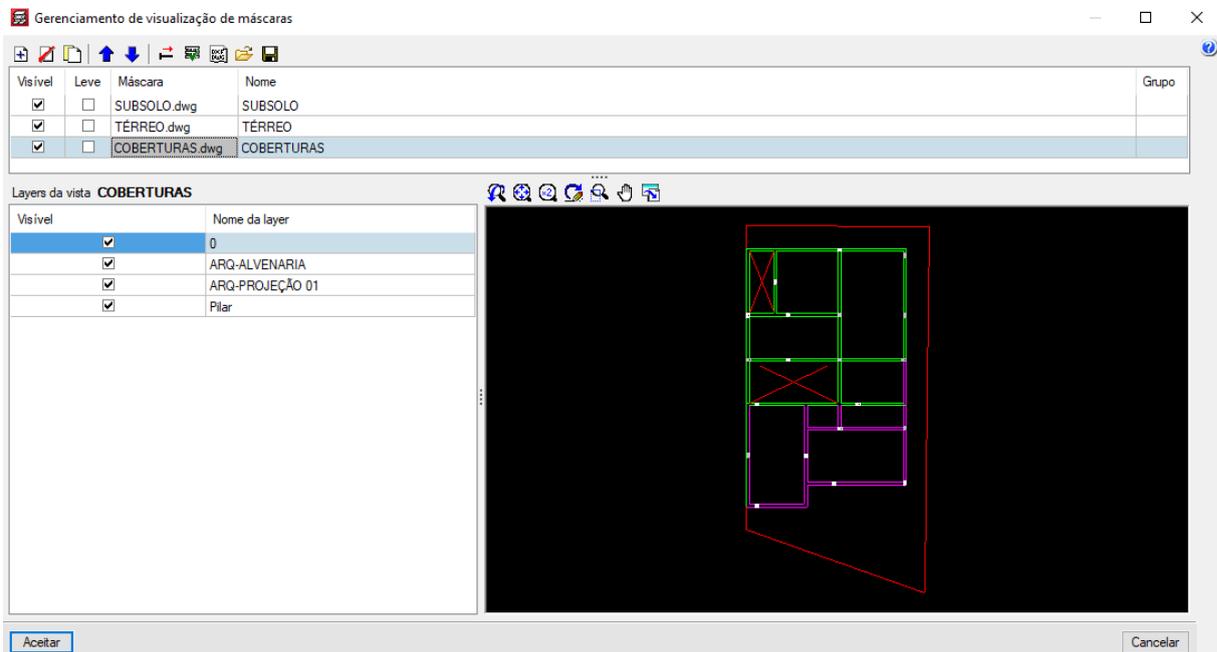
Inserido os dados de entrada do projeto, foi necessário fazer a discriminação dos pisos da edificação. Neste tópico, foram inseridas também as ações permanentes e variáveis da laje. Na opção de sobrecarga foi considerado $1,5\text{kN/m}^2$ para toda a laje de piso e na região da sacada fez o acréscimo de maneira manual de $1,0\text{kN/m}^2$, conforme apresentado na Figura 06.

Figura 6: Imagem do software Cypecad 2017 – Tela de lançamento de dados das ações



Para orientação de maneira precisa e adequada, utilizou-se as concepções estruturais como “máscaras” para a inserção dos elementos estruturais, conforme apresentado na Figura 07.

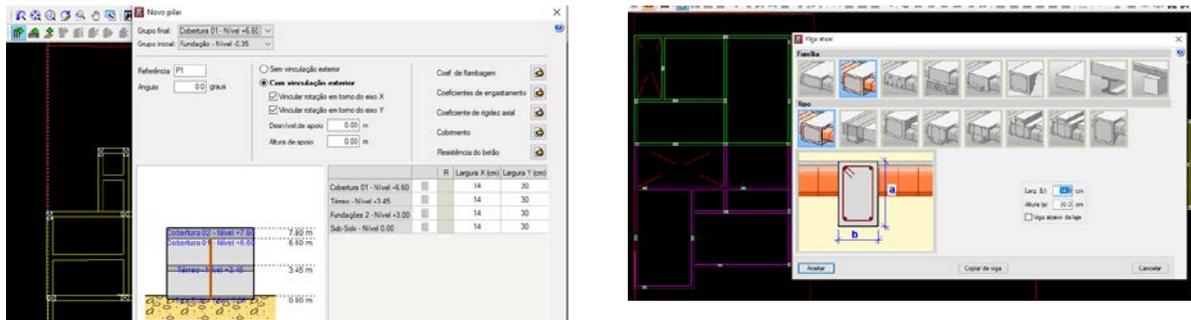
Figura 7: Imagem do software Cypecad 2017 – Tela de lançamento da “mascara” para inserção dos elementos



CENTRO FEDERAL DE EDUCAÇÃO TECNOLÓGICA DE MINAS GERAIS
CAMPUS VARGINHA-MG

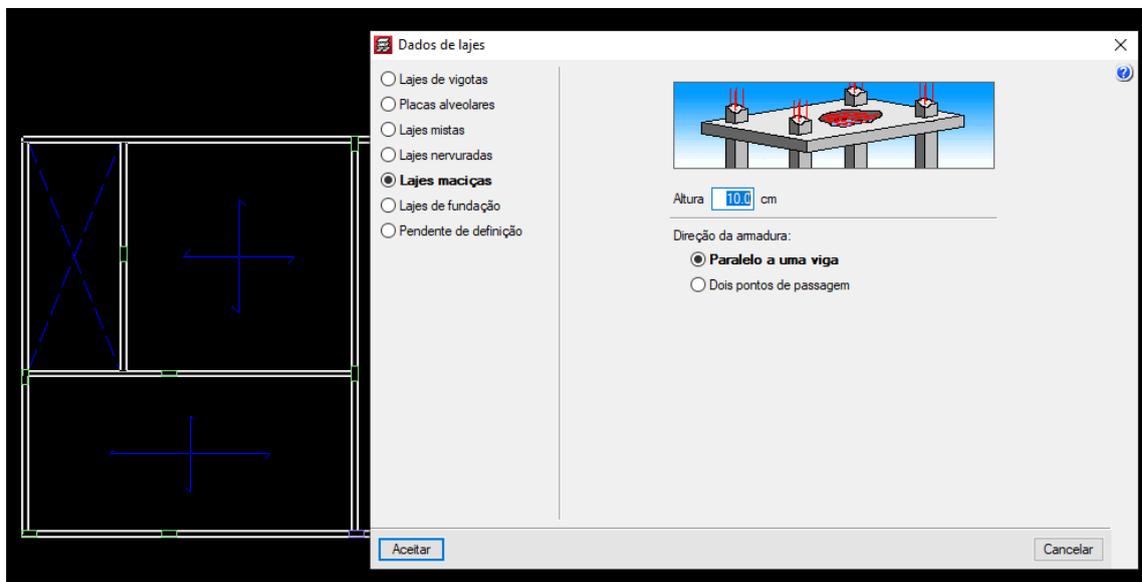
Após a inserção da “máscara” e de todos os dados, foi possível introduzir os pilares e as vigas conforme as concepções estabelecidas. Na Figura 08 é apresentada a tela do software onde os elementos de pilares e vigas são inseridos.

Figura 8: Imagem do software Cypecad 2017 – Tela de lançamento dos elementos estruturais



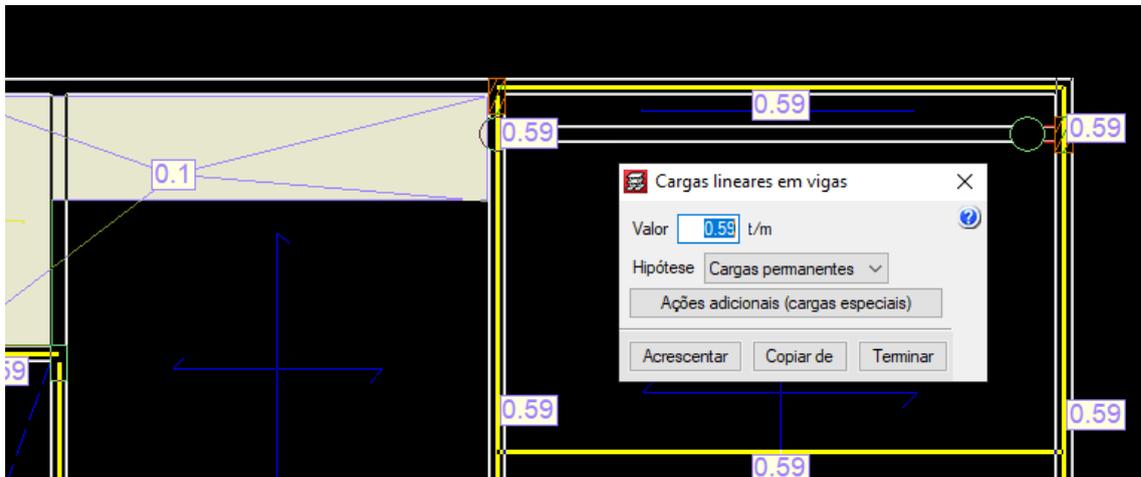
Após definido os planos das lajes, foi feita a inserção das lajes conforme definido na concepção estrutural (Figura 09).

Figura 9: Imagem do software Cypecad 2017 – Tela de lançamento das lajes



Com todos os elementos definidos no projeto, foram inseridos os carregamentos lineares, conforme Figura 10.

Figura 10: Imagem do software Cypecad 2017 – Tela de lançamento das cargas



Inseridos todos os elementos e carregamentos, foi feito o cálculo estrutural e informações desejadas foram coletadas.

7 RESULTADOS E DISCUSSÕES

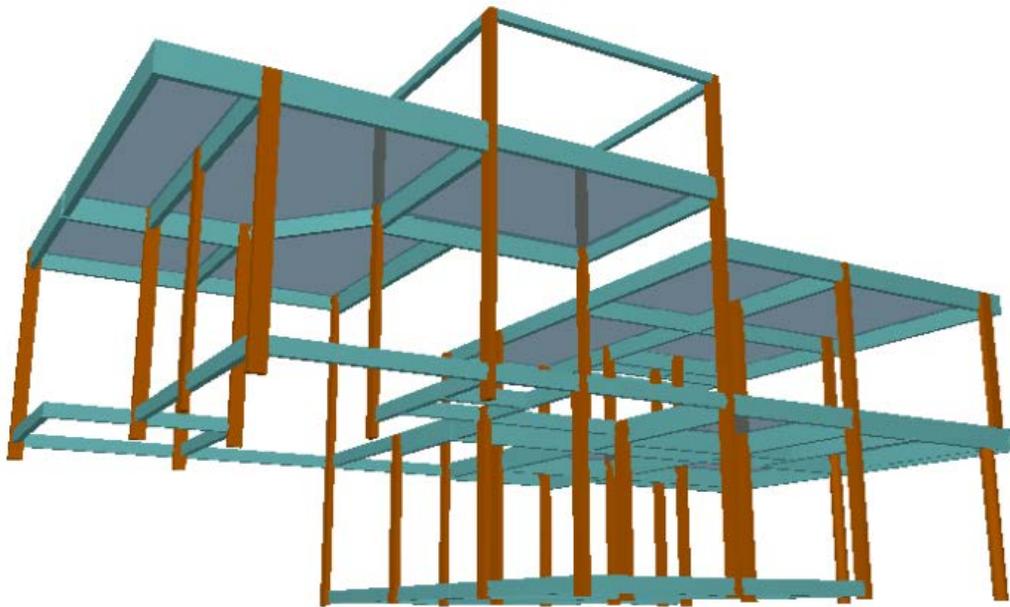
Um bom projeto estrutural baseia-se deve proporcionar, segurança, durabilidade e economia. Portanto a eficiência e qualidade de projetos é avaliada a partir destes princípios. De nada adianta ter um projeto seguro, durável e nada econômico, pois pode se tornar inviável sua execução, uma construção segura e econômica, que não é durável, com o passar dos anos certamente se tornará insegura e sua reconstituição será onerosa. Ao passo que um projeto, apenas “econômico”, não pode se quer ser uma hipótese, pois estará colocando em risco toda a edificação.

7.1 CONCEPÇÕES ESTRUTURAIS

7.1.1 Concepção Estrutural 01

Na Figura 11 é apresentado, o projeto estrutural 3d e em suas plantas de forma são apresentadas a posição e dimensão dos elementos estruturais propostos no apêndice B.

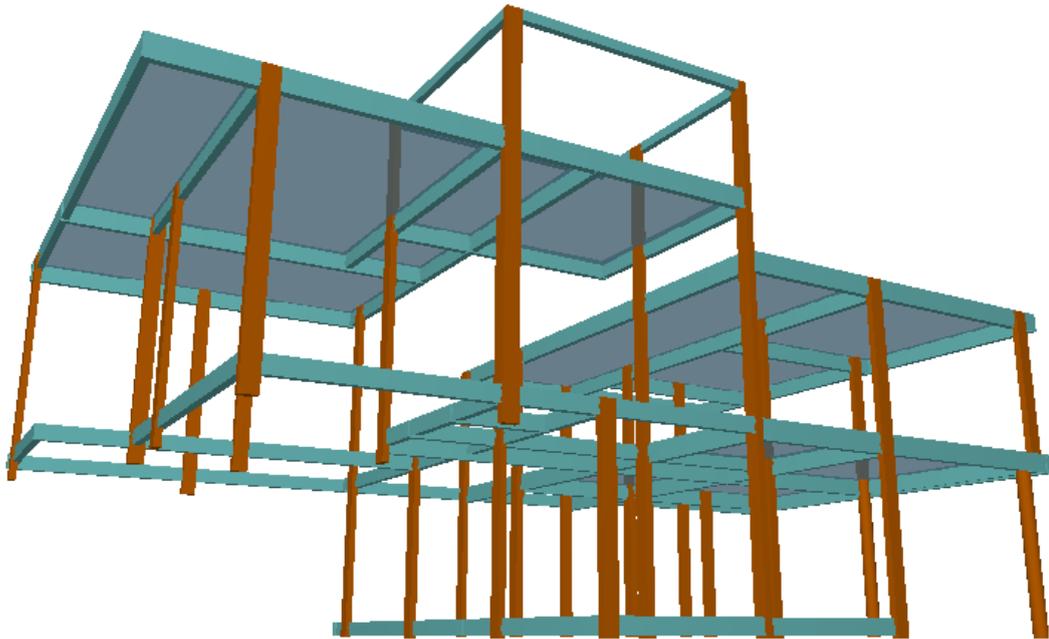
Figura 11: 3D do Projeto Estrutural - Concepção 01



7.1.2 Concepção Estrutural 02

Na Figura 12 a modelagem 3d do projeto estrutural da concepção 02 é apresentada bem como sua planta de forma do subsolo, planta de forma do pavimento térreo, planta de forma da cobertura 01 e 02 no apêndice C.

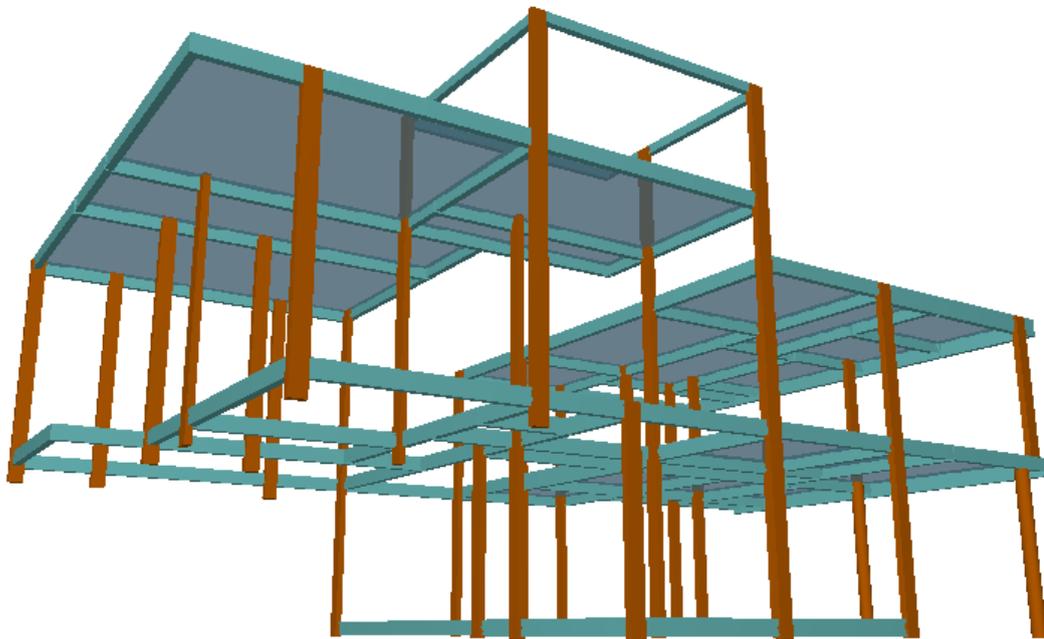
Figura 12: 3D do Projeto Estrutural - Concepção 02



7.1.3 Concepção Estrutural 03

Na Figuras 13 o 3d do projeto estrutural é apresentado, a planta de forma do subsolo, planta de forma do pavimento térreo, planta de forma das coberturas 01 e 02, é possível visualizar no apêndice D.

Figura 13: 3D do Projeto Estrutural - Concepção 03



7.2 CONDIÇÕES DE SEGURANÇA - ESTADO LIMITE ULTIMO

Um dos princípios fundamentais de um projeto estrutural é a segurança, para tanto, toda estrutura é dimensionada no estado limite último, a segurança estrutural em um projeto é indiscutível, o mínimo que todo e qualquer projeto deve respeitar.

7.2.1 VERIFICAÇÃO DO ELU – CONCEPÇÃO ESTRUTURAL 01

Dentre os 26 pilares da edificação, sendo 2 deles pilares que nascem em vigas. 25 possuem boas condições de dimensionamento, alguns até mesmo com armaduras mínimas, porém o pilar P17 de seção 30x14 não apresenta condições de segurança, o momento elevado causado em torno do seu eixo de menor inercia, pode levar o pilar a ruptura. (ocasiona uma excentricidade elevada, devido ao deslocamento).

Já em lajes e vigas, todas passaram no quesito de segurança, se tratando do estado limite último.

7.2.2 VERIFICAÇÃO DO ELU – CONCEPÇÃO ESTRUTURAL 02

Na proposta 02, temos 25 pilares, com um deles nascendo em uma viga de transição, mesmo com uma quantidade menor de pilares que os demais projetos, todos os elementos estruturais, pilares, vigas e lajes atendem os critérios de estado limite último.

7.2.3 VERIFICAÇÃO DO ELU – CONCEPÇÃO ESTRUTURAL 03

A concepção 03, também tem em sua proposta 26 pilares em toda a edificação, porém apenas 1 pilar em viga de transição. Dois dos pilares apresentam estado de ruptura no dimensionamento, sendo eles o P7 e o P18. O P7, mesmo sendo o mais carregado da obra, resiste muito bem aos esforços de compressão, porém assim como o pilar na concepção 01, ele tem uma solicitação elevada de momento fletor em torno do seu eixo de menor inercia, fazendo com que o pilar não resista aos esforços, atingindo assim o estado limite de ruptura.

Os demais elementos, vigas e lajes, não apresentaram situações inseguras e estão bem dimensionados, em relação a quesito de estado limite último.

7.3 COMPARATIVO DE ESTADO LIMITE ULTIMO ENTRE OS PROJETOS

Analisando os lançamentos estruturais, nota-se que os pilares que apresentaram problemas em relação ao estado limite último, P17 na proposta 01 e P07 na proposta 03 estão sendo bastante solicitados no nível de pavimento térreo, apesar dos demais pilares na concepção serem de mesma dimensão, nestes pilares, além de centrais da edificação, vigas principais com alto carregamento chegam no pilar na direção de menor inercia (14cm), não tendo robustez necessária para absorver o momento solicitante. Alternativas interessantes em avaliar, para que seja solucionado o problema de ruptura destes pilares, seria; aumentar a seção do pilar, na direção em que é mais solicitado; reposicionar o pilar, invertendo seu posicionamento (desde que não prejudique drasticamente a arquitetura); ou também substituí-lo por um pilar de seção em L, que aumentaria consideravelmente a inercia na direção solicitada. Aumentar a taxa de armadura do pilar não é uma alternativa interessante, e não possível de realizar, pois mesmo com a taxa de armadura máxima estes pilares indicam ruptura.

Já no projeto 02, onde não teve problemas de ruptura em nenhum pilar, os pilares centrais, que tiveram problema nas demais propostas, estão com seções maiores (19x30), tornando-os mais robustos, resistindo as solicitações.

7.4 CONDIÇÕES DE DURABILIDADE – ESTADO LIMITE DE SERVIÇO

Além da segurança, para o estado limite, em um empreendimento deve ser durável, para isso, em critérios de projeto deve-se respeitar o estado limite de serviço, tanto para fissuração, quanto para flechas. Quando o estado limite de serviço não é atendido, a estrutura deteriora-se com o passar dos anos, fazendo com que mude seu comportamento, e pode se torna insegura.

7.4.1 VERIFICAÇÃO DO ELS – CONCEPÇÃO ESTRUTURAL 01

Em sua maioria, todo o projeto 01, atende aos quesitos do ELS, exceto na viga V302, da segunda cobertura, essa viga apresenta uma flecha excessiva de 10,03mm na combinação de flecha ativa, onde o a flecha limite para este caso seria de 10,00mm, pode ser verificado na tabela 01.

CENTRO FEDERAL DE EDUCAÇÃO TECNOLÓGICA DE MINAS GERAIS
CAMPUS VARGINHA-MG

Tabela 1: Flechas excessivas - Projeto 01

Pavimento	Viga	Flecha Calculada	Flecha Limite
Cobertura 02	V302	10,03 mm	10,00 mm

7.4.2 VERIFICAÇÃO DO ELS – CONCEPÇÃO ESTRUTURAL 02

Já na segunda proposta de projeto, todas atendem as verificações de fissuração, porém 5 vigas apresentam flechas excessivas, 2 no pavimento térreo, 1 no primeiro nível de cobertura e 2 no segundo nível de cobertura. Nas quais são apresentadas na tabela 02:

Tabela 2: Flechas Excessivas - Projeto 02

Pavimento	Viga	Flecha Calculada	Flecha Limite
Térreo	V104	11,30 mm	9,73 mm
Térreo	V105	9,85 mm	9,73 mm
Cobertura 01	V205	9,08 mm	8,70 mm
Cobertura 02	V302	12,73 mm	10,00 mm
Cobertura 02	V304	10,66 mm	9,94 mm

7.4.3 VERIFICAÇÃO DO ELS – CONCEPÇÃO ESTRUTURAL 03

A concepção estrutural 03, temos 7 situações onde as vigas não atenderam ao estado limite de serviço, quando se verifica o limite de flecha, 4 delas em um mesmo pavimento, térreo, e ao menos 1 viga nos demais pavimento, subsolo, cobertura 01 e 02, sendo eles listadas na tabela 03:

Tabela 3: Flechas Excessivas - Projeto 03

Pavimento	Viga	Flecha Calculada	Flecha Limite
Subsolo	V007	20,08 mm	10,00 mm
Térreo	V104	7,53 mm	7,14 mm
Térreo	v106	11,33 mm	9,73 mm
Térreo	V112	9,15 mm	8,64 mm
Térreo	V119	10,11 mm	9,32 mm
Cobertura 01	V207	12,97 mm	8,70 mm
Cobertura 02	V302	33,20 mm	10,00 mm

7.5 COMPARATIVO DE ESTADO LIMITE SERVIÇO ENTRE OS PROJETOS

O primeiro item que chama atenção, foi o fato de uma mesma viga, apresentar problema no estado limite de serviço nos três projetos, viga da cobertura 02, onde há um vão mais

elevado que os demais. Na concepção estrutural 01, a viga proposta, com a seção de 14x55, se comportou muito bem, excedendo o limite da flecha em apenas 0,03mm, algo ínfimo e passível de se desconsiderar. No projeto 02, essa flecha foi ligeiramente maior, da ordem de 2,73mm acima do limite. Já proposta 03, a flecha foi extremamente excessiva e inaceitável, na casa de 23,20 mm acima do permitido.

No lançamento 01, não tivemos nenhum outro problema de flecha excessiva nos demais elementos, ao passo que no lançamento estrutural 02, tivemos 5 vigas com flechas que passam do limite. Entretanto, essas, não são tão elevadas, e considerada fáceis de se corrigir, pois excedem de 0,12mm a 2,73mm, onde podem ser corrigidas com um acréscimo de ferragem, ou aumentando levemente a seção do elemento.

Ao contrário do apresentado no projeto 02, para a opção 03, teve-se 2 vigas com flechas bastante excessivas e outras 5 da ordem de 0,39mm há 4,27mm. As vigas onde as flechas excederam 10,08mm e 23,20mm, necessitam de uma avaliação criteriosa, para afim de solucionar o problema de maneira adequada. As demais, assim como na concepção 02, são mais fáceis de serem corrigidas.

7.6 LEVANTAMENTO DE QUANTITATIVO

Apesar de semelhantes, as concepções propostas tiveram resultados bem distintos. Após a modelagem finalizada, foi possível gerar a tabela de quantitativo geral de cada solução estrutural.

Na Tabela 04 são apresentados os consumos de formas, concreto e aço para cada elemento estrutural da edificação, bem como o valor total de cada um deles para a às concepções 01 a 03 avaliadas.

Tabela 4:Consumo de materiais- Concepção Estrutural 01 a 03

Quantitativo de Obra - Concepção 01			
Elemento Estrutural	Formas (m²)	Concreto (m³)	Aço (Kg)
Lajes	250,13	27,05	1554
Vigas	298,54	20,93	1151
Pilares	116,66	5,82	1021
Total	665,33	53,8	3726

Quantitativo de Obra - Concepção 02

Elemento Estrutural	Formas (m ²)	Concreto (m ³)	Aço (Kg)
Lajes	251,74	25,92	1505
Vigas	257,73	17,64	1049
Pilares	118,94	6,12	824
Total	628,41	49,68	3378

Quantitativo de Obra - Concepção 03

Elemento Estrutural	Formas (m ²)	Concreto (m ³)	Aço (Kg)
Lajes	248,64	29,84	1766
Vigas	235,75	16,41	1119
Pilares	126,9	6,31	1097
Total	611,29	52,56	3982

7.7 COMPARATIVO DE MATERIAIS UTILIZADOS

Foi feita a análise do consumo de materiais para cada elemento estrutural (lajes, vigas e pilares) e também do consumo global de toda a edificação.

7.7.1 COMPARATIVO DE LAJES

Considerando o consumo de materiais para as lajes, nas três concepções avaliadas, o consumo de formas foi o mesmo, pois a edificação estudada foi a mesma. Já no consumo de concreto e aço conforme gráficos apresentados nas Figuras 14 e 15, pode-se observar diferenças significativas entre os projetos.

Figura 14: Consumo de concreto em lajes (m³) para as três concepções avaliadas

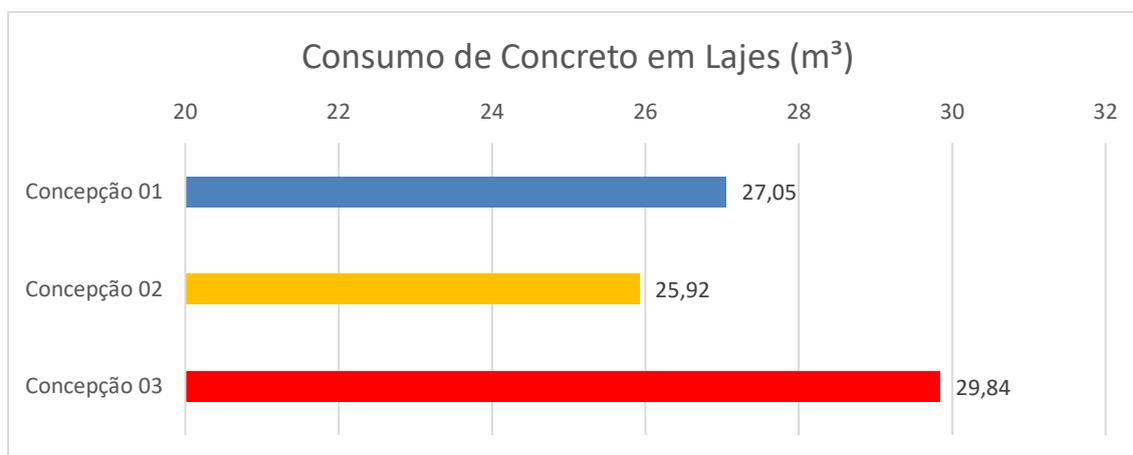
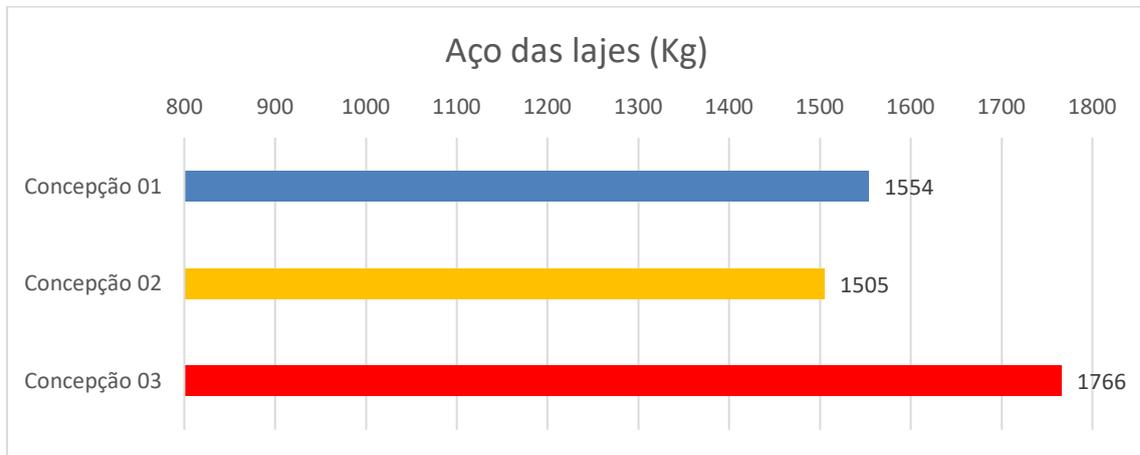


Figura 15: Consumo de aço nas lajes (m³) para as três concepções avaliadas

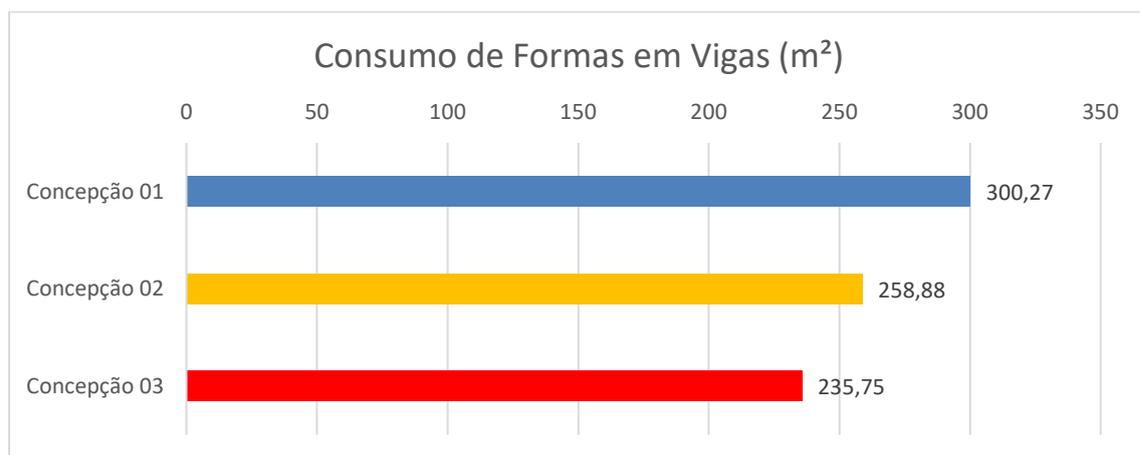


O aumento da seção de concreto não necessariamente resulta em menor área de aço, fato acontecido no lançamento 03, onde não foi efetivo, o aumento da seção do elemento, outro ponto a chamar atenção, é o fato do pilar P2 na concepção 02 morrer diretamente na laje, sendo necessário armar a região da laje para resistir aos esforços de punção.

7.7.2 COMPARATIVO DE VIGAS

No comparativo de vigas, pode-se observar que os três projetos apresentam situações distintas, conforme Figuras 16 a 18.

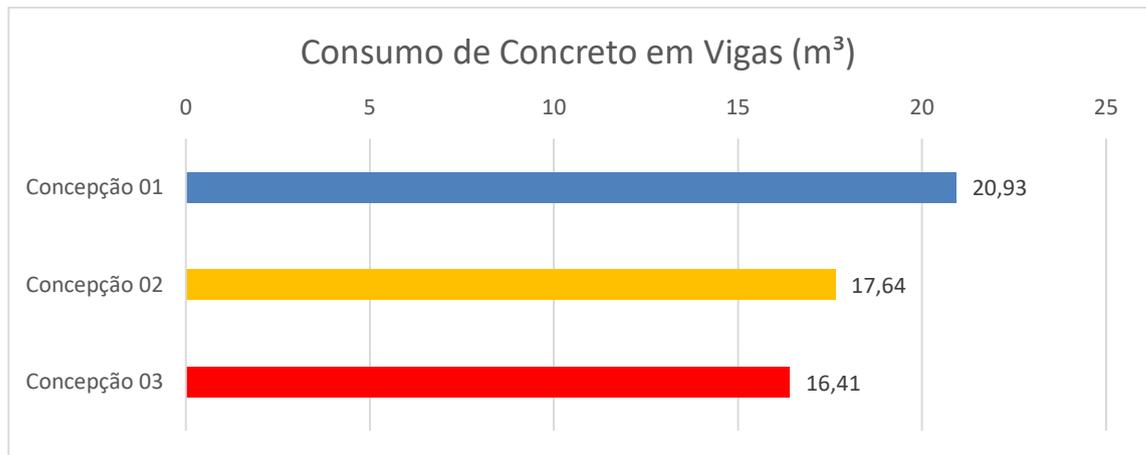
Figura 16: Consumo de formas em vigas (m²)



CENTRO FEDERAL DE EDUCAÇÃO TECNOLÓGICA DE MINAS GERAIS
CAMPUS VARGINHA-MG

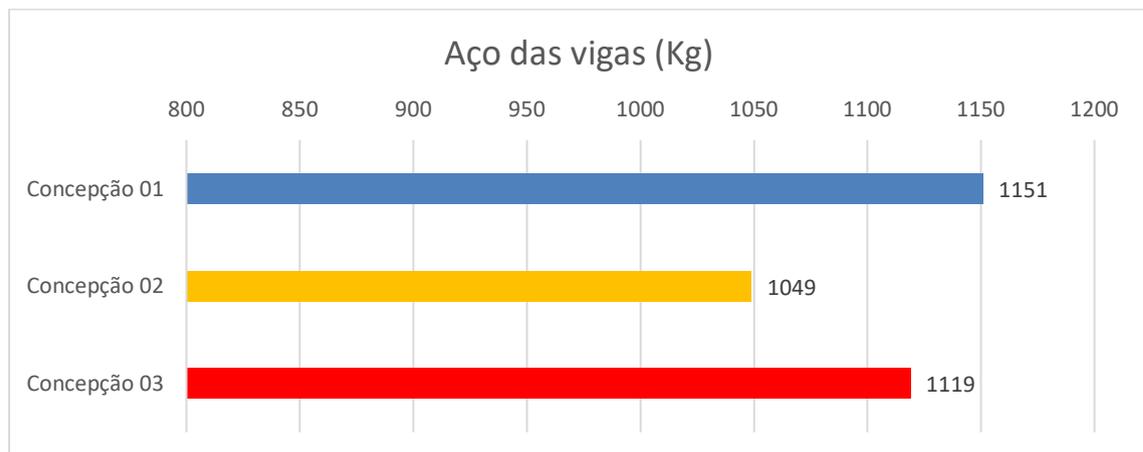
Dentre as concepções, observa-se que a Concepção 03, apresenta um consumo menor de formas, quando se comparada às demais em cerca de 21,5% a menos que a concepção 01 e 8,9% a menos que a concepção 02.

Figura 17: Consumo de concreto em vigas (m³)



Sabe-se que o consumo de concreto nas vigas é proporcional ao consumo de formas para as mesmas. Portanto, observa-se um menor consumo de concreto nas vigas da concepção 03 para as demais propostas.

Figura 18: Consumo de aço nas vigas Kg

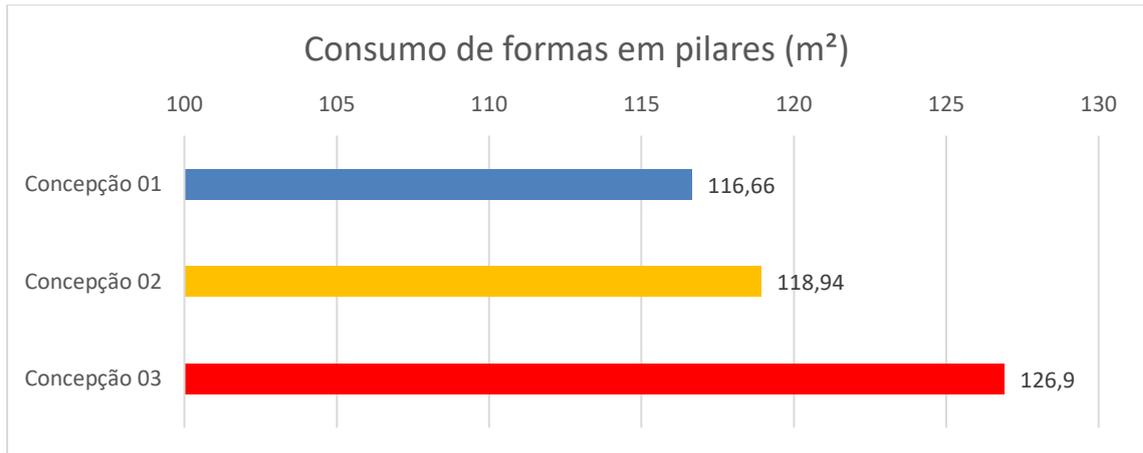


Ao contrário do apresentado no quesito de formas e concreto, a concepção 03 utilizou 6,68% a mais de aço que a concepção 02. O fato da proposta 03 mostrar um consumo de aço menor que a 01, não implica que a mesma é a melhor alternativa, pois a mesma tem problemas graves em algumas vigas na verificação do estado limite de serviço.

7.7.3 COMPARATIVO DE PILARES

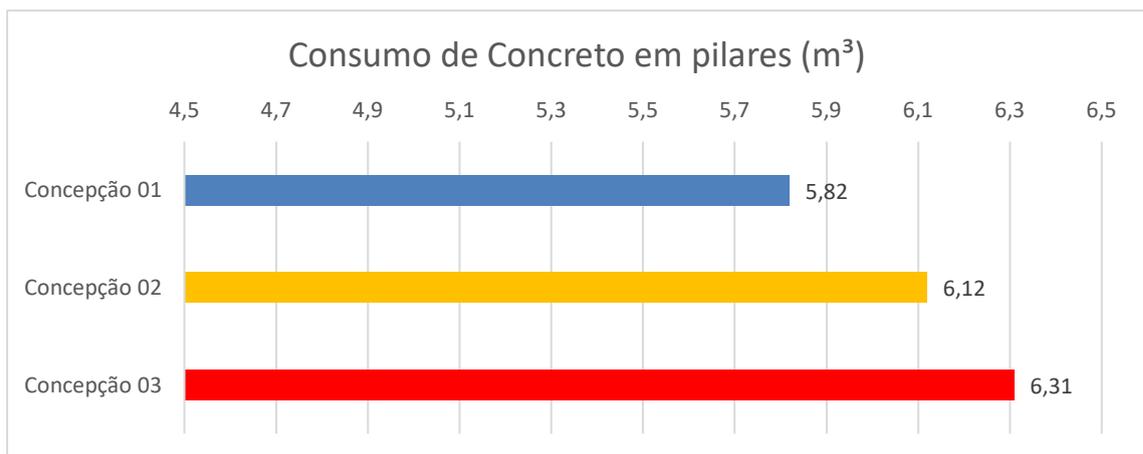
Assim como em vigas e lajes, cada projeto teve sua particularidade no consumo de formas, concreto e aço para pilares, conforme apresentado nas Figuras 19 a 21.

Figura 19: Consumo de formas para pilares (m²)



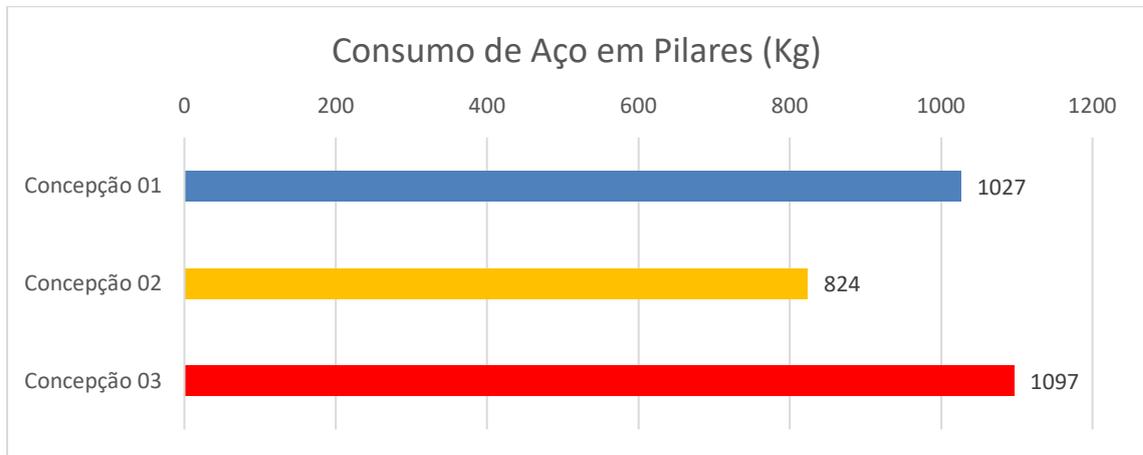
Para os pilares, pode-se observar que o consumo de forma para a concepção 01 e a 02 foram bem próximas, ao passo que o consumo na concepção 03 foi 8,8% superior que na concepção 01.

Figura 20: Consumo de concreto para pilares (m³)



Assim como nas vigas, o consumo de concreto é proporcional ao consumo de formas, portanto, observa-se da mesma forma que a concepção 3, apresentou uma relação de concreto superior as demais.

Figura 21: Consumo de aço para pilares (Kg)



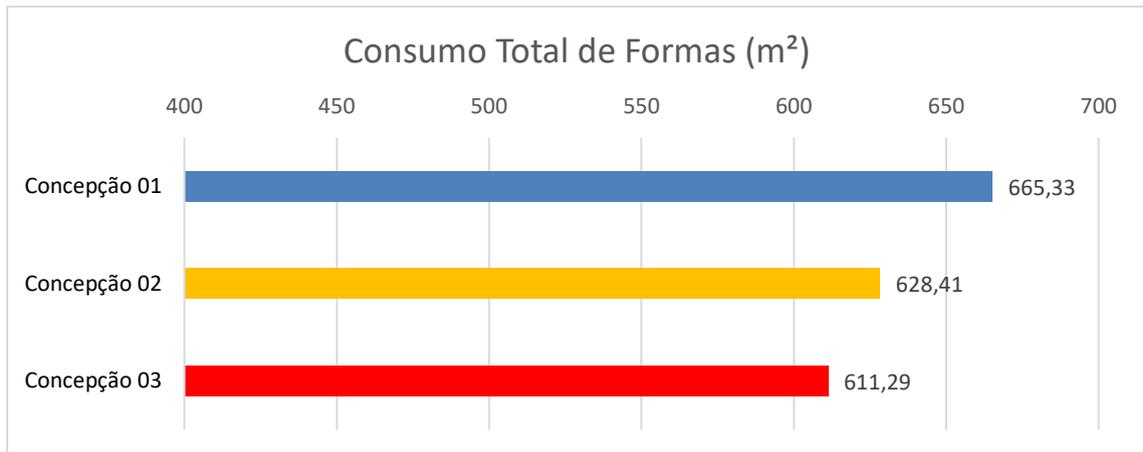
Para o consumo de aço, a concepção 02 apresentou diferenças significativas em relação as demais, com uma utilização de aço de 19,8% e 24,9% menor para as concepções 01 e 03, respectivamente.

A seção dos pilares é peça fundamental no quesito do consumo de aço, a proposta 02, que apresentou a melhor taxa, utilizou pilares centrais com seções maiores, solução bem assertiva, que impactou no menor consumo de aço do mesmo.

7.7.4 COMPARATIVO TOTAL DE MATERIAIS

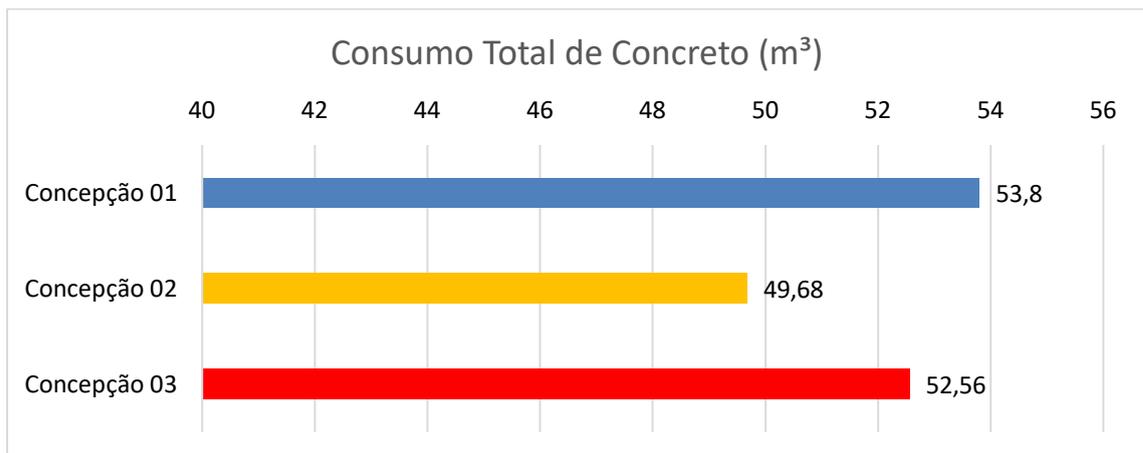
Nas Figuras 22 a 24 são apresentadas, respectivamente, o consumo total de formas (m^2), o consumo total de concreto (m^3) e o consumo total de aço (kg), considerando os elementos estruturais lajes, vigas e pilares.

Figura 22: Consumo total de formas (m^2)



Pode-se observar que na concepção 03 foi utilizado 8,84% a menos de formas, quando se comparado com a proposta 01 e 2,80% a menos que a proposta 02. Este consumo menor de formas, se não principalmente pelo fato das vigas de menores seção, vigas essas que por conta dos vãos, ocasionaram situações onde a ELS é excedido.

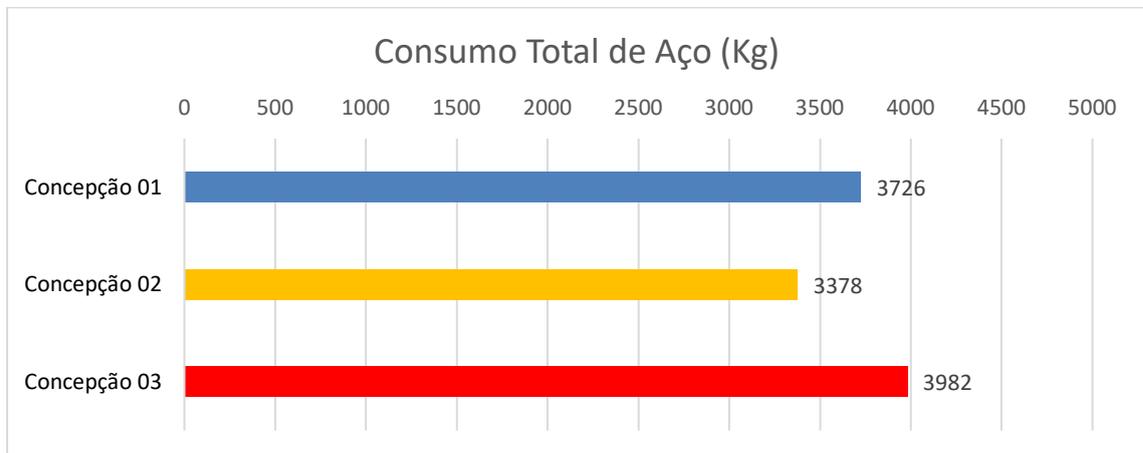
Figura 23: Consumo total de concreto (m^3)



Apesar do consumo de formas ser menor na concepção 03, o gasto excessivo de concreto com as lajes, fez com que esta gastasse mais concreto que a concepção 02,

que foi a proposta com o menor consumo de concreto para toda a obra.

Figura 24: Consumo total de Aço (Kg)



Pode-se observar que a concepção 02, apresentou um melhor consumo de aço, já a concepção 03 por sua vez, gerou o maior gasto com ferragem, cerca de 17,88 % superior à concepção 02 e 6,87% a mais que a concepção 01.

O principal ponto que culminou a concepção 02, utilizar menos aço, foi a utilização de pilares centrais mais robustos.

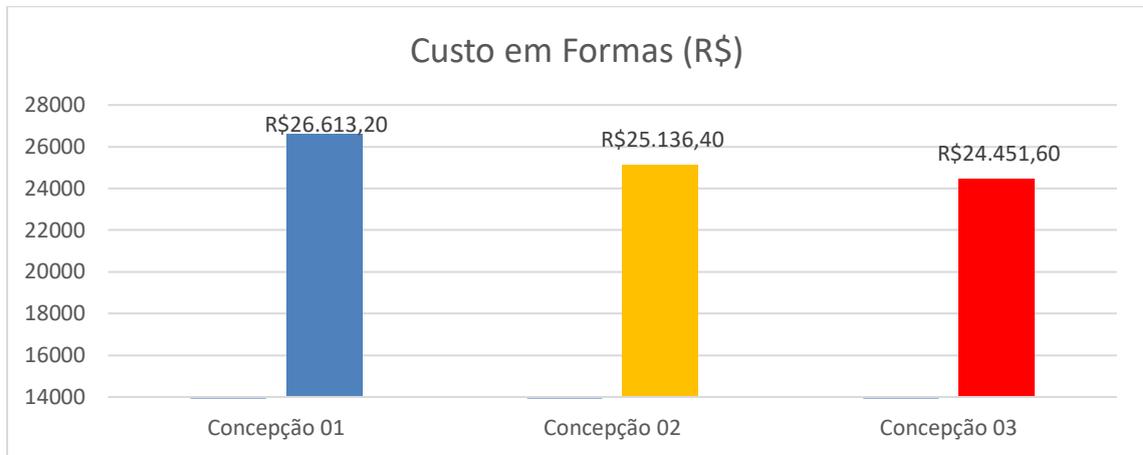
7.8 CUSTO DE MATERIAIS

O consumo dos materiais interfere diretamente no custo de uma obra. Para avaliar melhor o impacto da concepção estrutural em um empreendimento, foram utilizados valores vigentes de mercado em novembro de 2021 para cada item: forma, concreto e aço.

O custo do m² de forma para reutilização em 3 vezes é em torno de R\$40,00. O valor do m³ de concreto foi obtido no mercado a R\$300,00. O quilo da barra de aço ficou em R\$ 9,00. Na Figura 25 pode-se verificar o valor total gasto em forma considerando apenas o material utilizado, para as três concepções avaliadas.

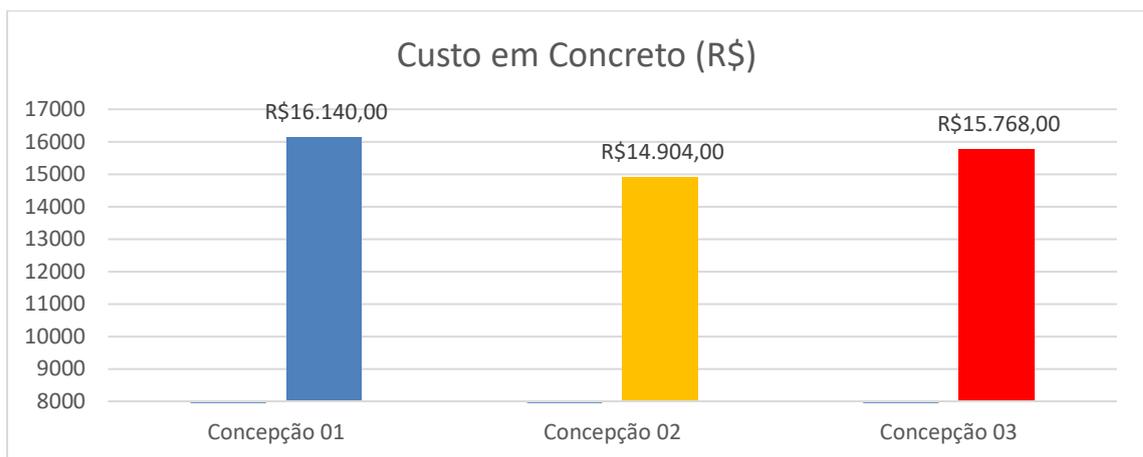
CENTRO FEDERAL DE EDUCAÇÃO TECNOLÓGICA DE MINAS GERAIS
CAMPUS VARGINHA-MG

Figura 25: Custo total de formas (R\$)



O custo total em concreto para cada situação pode ser observado na Figura 26.

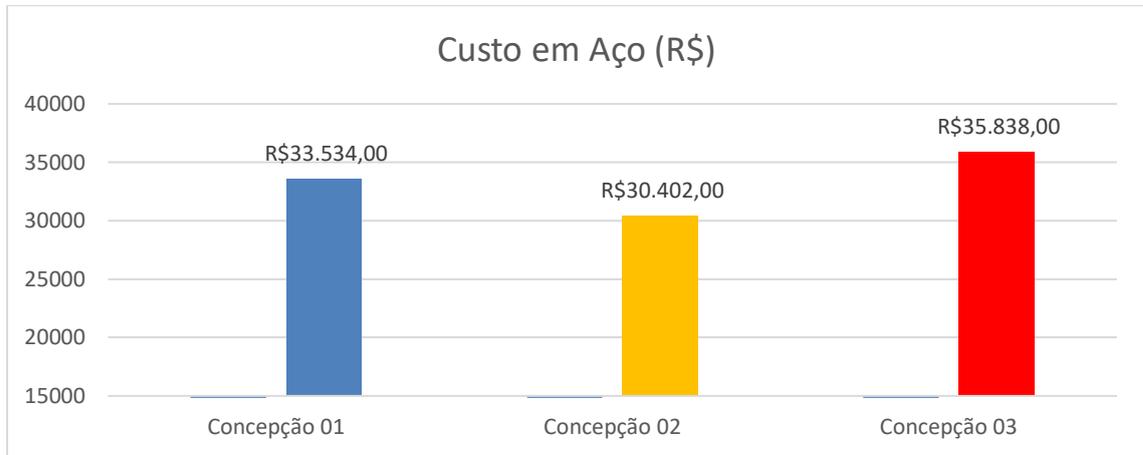
Figura 26: Custo total de Concreto (R\$)



Dentre os materiais, o aço é o mais oneroso. Na Figura 27 pode-se verificar o custo total do aço para cada concepção proposta.

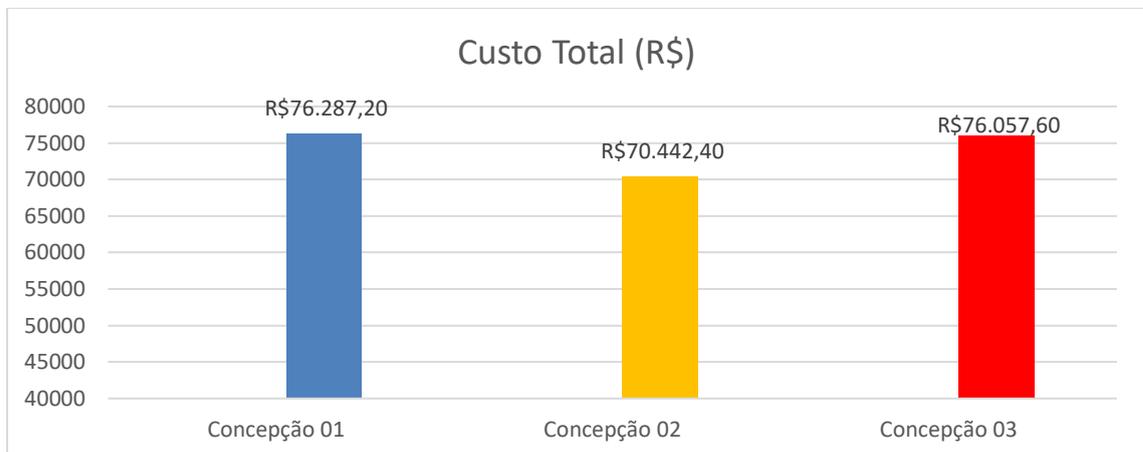
CENTRO FEDERAL DE EDUCAÇÃO TECNOLÓGICA DE MINAS GERAIS
CAMPUS VARGINHA-MG

Figura 27: Custo total de aço (R\$)



Pode-se observar que a concepção 02 foi a que gerou uma solução mais econômica e otimizada dentre as três analisadas. Apesar de não ter obtido o melhor consumo de forma, a concepção 02 gerou um consumo de concreto e aço inferior às demais. Entretanto, o menor custo de materiais para a edificação, ela 7,97% mais econômica que a concepção 03 e 8,30% mais econômica que a concepção 01, conforme figura 28.

Figura 28: Custo total de materiais da edificação (R\$)



8 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A escolha na etapa de concepção de uma estrutura é um fator importante e pode levar o profissional a uma tomada de decisão com geração de prejuízos tanto em materiais quanto em serviços mal realizados.

Sabe-se que os softwares computacionais são de enorme importância para a engenharia e melhoram consideravelmente o processo quando bem empregado, contudo, os conhecimentos técnicos e teóricos devem ser empregados para proporcionar soluções seguras e custo menor.

Entre as alternativas foi possível verificar a discrepância nos consumos de materiais para superestrutura nas propostas de concepções analisadas para um mesmo projeto arquitetônico. Tais diferenças podem ocasionar um déficit ou até mesmo inviabilizar um empreendimento. Porém para dizermos que uma estrutura é mais eficiente que a outra, devemos avaliar todo o contexto, não só a economia.

Dentre as alternativas, podemos dizer que a proposta 03 não teve um resultado satisfatório, apresentou problemas em relação ao ELU em pilares, suas vigas foram subdimensionadas, gerando flechas excessiva em duas situações, flechas essas que certamente ocasionaram problemas futuros.

A concepção estrutural 01 e 02, se saíram muito bem, em relação ao pré-dimensionamento e lançamento dos elementos, mas ambas tem pontos a serem ajustados para que sejam projetos mais eficientes, a proposta 02, mostrou uma melhor otimização na utilização das peças, apesar de algumas vigas apresentarem flechas ligeiramente excessivas, essas são situações fáceis de solução, ao passo que o projeto 01, propôs vigas mais altas e generalizou a altura destas, caso seja feita uma racionalização dessas vigas, certamente conseguiríamos uma relação melhor. Também para que seja um projeto seguro ao executar, deve-se ter uma atenção com o pilar que apresentou problemas em relação ao estado limite último.

Contudo, de acordo com o apresentado, pode-se dizer que o projeto 02 foi o que teve o melhor desempenho, mesmo com alguns pontos a serem corrigidos, em relação a durabilidade da estrutura, este apresentou uma melhor otimização tanto de posicionamento quanto de seção dos elementos e ainda apresentou a solução mais econômica.



CENTRO FEDERAL DE EDUCAÇÃO TECNOLÓGICA DE MINAS GERAIS
CAMPUS VARGINHA-MG

Logo, parte totalmente dependente do engenheiro, e de extrema importância, não pode ser deixada de lado e feita de qualquer forma, para realizar o concebimento e lançamento estrutural, não há softwares ou planilhas, que realizará esta etapa do projeto estrutural, é onde entra o protagonismo do calculista, suas experiências, conhecimentos técnicos, teóricos e práticos. É o princípio do projeto, que quando bem feito, faz com que a estrutura trabalhe em sincronia com a segurança, durabilidade e economia.

Deixa como sugestões futuras, o aperfeiçoamento dos projetos apresentados, afim de verificar a importância da revisão e verificação estrutural.

9 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

KIMURA, Alio. **Informática aplicada em estruturas de concreto armado: cálculo de edifícios com o uso de sistemas computacionais**. São Paulo: Pini, 2007.

PINHEIRO, Libânio M., MUSARDO, Cassiane D., SANTOS, Sandro P.. **Estruturas de concreto – parte 4**. Universidade de São Paulo – USP – São Paulo/SP. Departamento de Engenharia e estruturas EESC. 2003.

GIONGO, José Samuel. **Concreto Armado – Projeto estrutural de edifícios**. Universidade de São Paulo – Escola de Engenharia de São Carlos/SP – Departamento de Engenharia e estruturas EESC. 2007.

REBELLO, Yopanan Conrado Pereira. **A Concepção estrutural e a Arquitetura – Volume 1**. São Paulo. Editora Zigurate, 1. ed., 2000.

ALTOQI Eberick. Disponível em <<https://comunidade.altoqi.com.br/concepcao-estrutural-principais-erros-de-concepcao-que-tornam-uma-estrutura-cara/>>. Acesso em junho de 2021.

SESSA, Thiago da Cruz. **Colapso progressivo de edificações de concreto armado em construção**. Dissertação (mestrado em Engenharia Civil) –COPPE, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2017.

CARVALHO, Roberto Chust; FIGUEIREDO FILHO, Jasson Rodrigues. **Calculo e Detalhamento de Estruturas Usais de Concreto Armado**. 3.ed. São Carlos: EdUSCar,2007.

ALVA, Gerson Moacyr Sisniegas. **Concepção Estrutural de Edifícios em Concreto Armado**. Universidade Federal de Santa Marias – UFSM – Santa Maria/RS. Centro de Tecnologia, Departamento de Estruturas e Construção Civil. Disciplina ECC 1008 – Estruturas de Concreto, 2007.

BASTOS, Paulo Sérgio dos Santos. **Fundamentos do Concreto Armado**. Universidade



CENTRO FEDERAL DE EDUCAÇÃO TECNOLÓGICA DE MINAS GERAIS
CAMPUS VARGINHA-MG

Estadual Paulista – UNESP – Bauru/SP. Faculdade de Engenharia, Departamento de Engenharia Civil. Disciplina 1288 – Estruturas de Concreto I – Notas de aula, 2006.

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

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 8681**: Ações e segurança nas estruturas - Procedimento. Rio de Janeiro: ABNT, 2003.

HIBBELER, R. C. **Resistência dos Materiais. 7. ed.** São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2010.

SOARES, R. C. ; DEBS, A. L. H. C. **Otimização de seções transversais de concreto armado sujeitas à flexão: aplicação a pavimentos.** 1997 Dissertação de Mestrado. (Mestre em Engenharia Civil) – Escola de Engenharia de São Carlos – Universidade de São Paulo, USP, São Carlos/SP, 1997.

DIAS, R. H. **Importância e interferências da concepção dos subsistemas verticais em edifícios altos na arquitetura.** Texto Especial 270, Portal Vitruvius, 2004. Disponível em <http://www.vitruvius.com.br/arquitextos/arq000/esp270.asp>. Acessado em julho de 2021.

TQS Store, Concreto Armado, Análise Estrutural. Disponível em <<https://docs.tqs.com.br/Docs/Details?id=3145&language=pt-br>>. Acesso em julho de 2021.

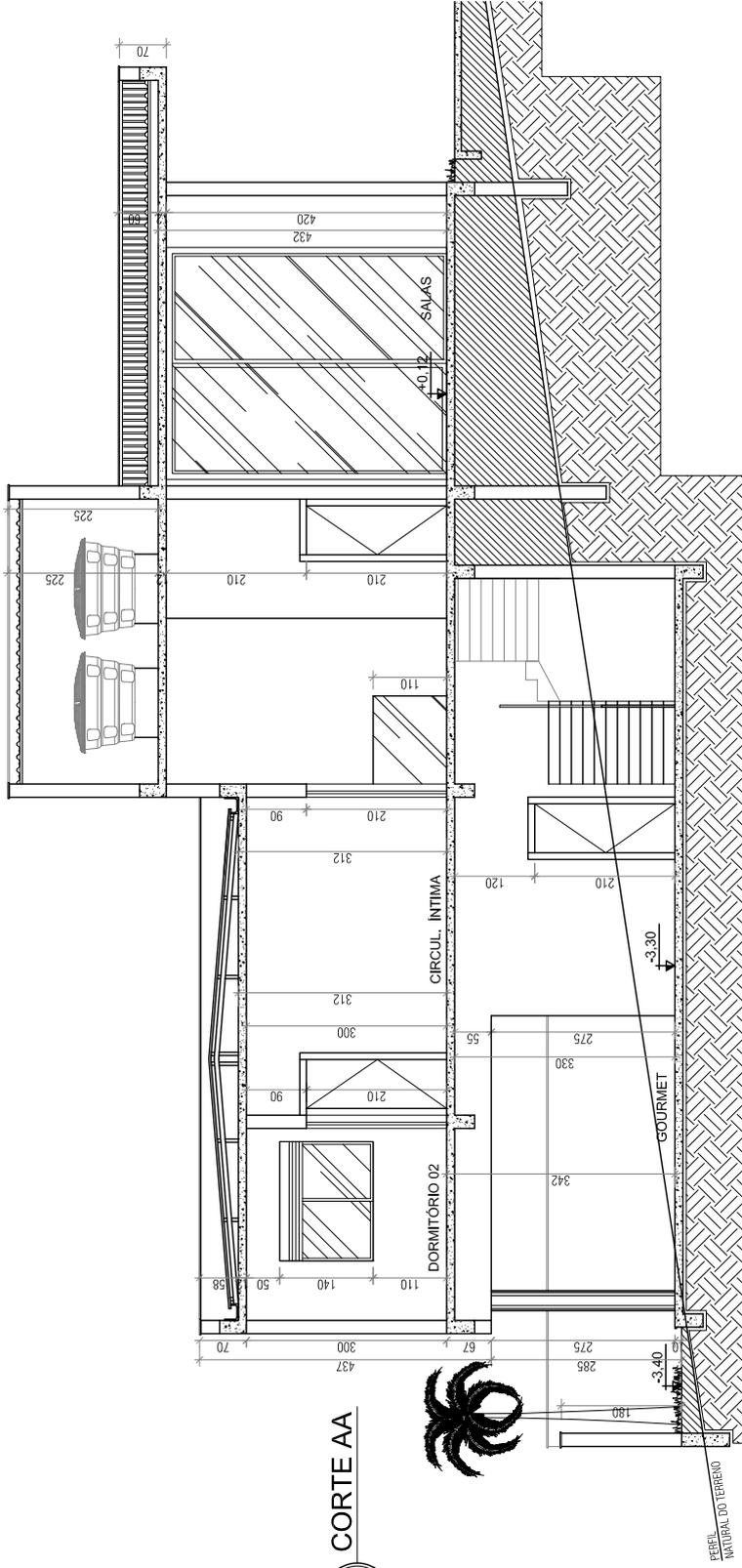
ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6120**: Ações para o cálculo de estruturas de edificações. Rio de Janeiro: ABNT, 2019.



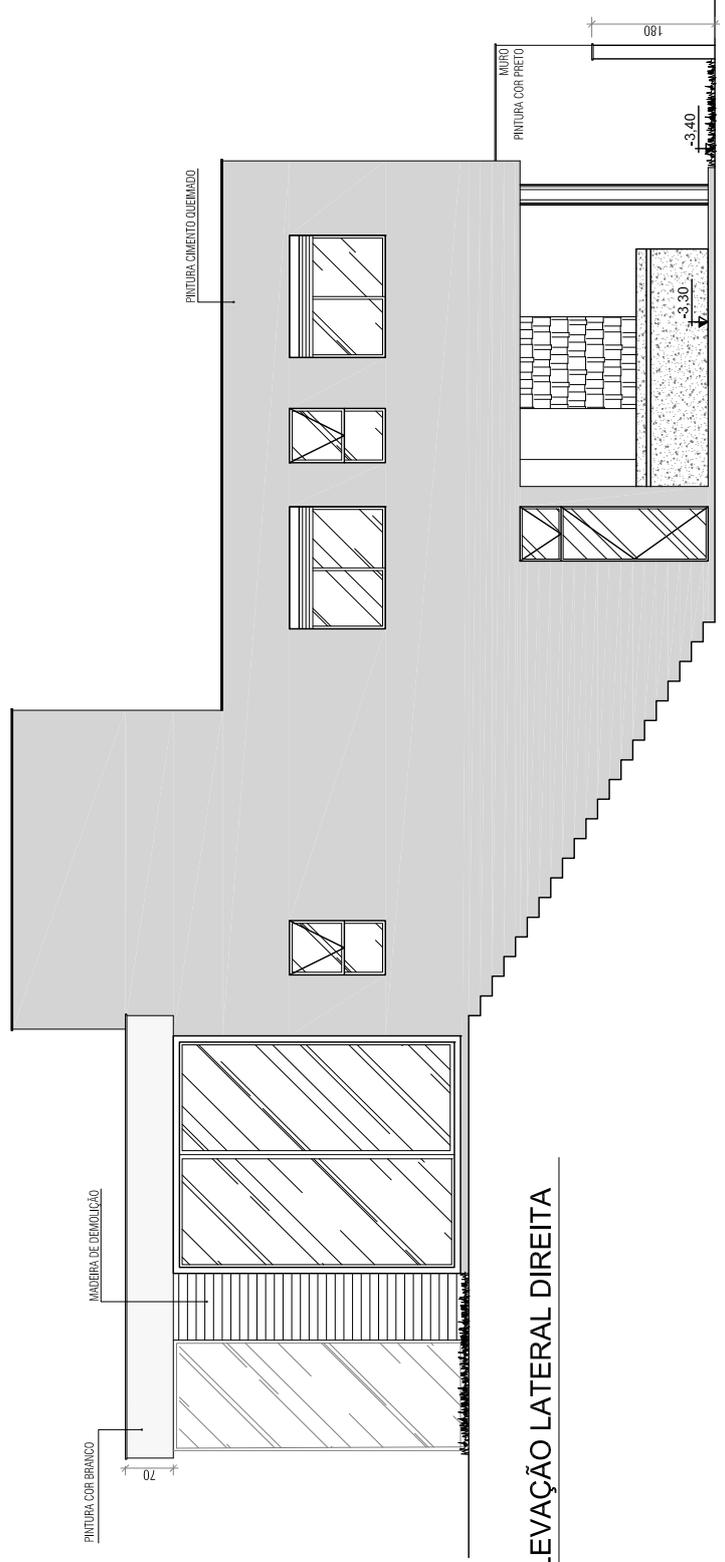
CENTRO FEDERAL DE EDUCAÇÃO TECNOLÓGICA DE MINAS GERAIS
CAMPUS VARGINHA-MG

APÊNDICE A – Projeto Arquitetônico

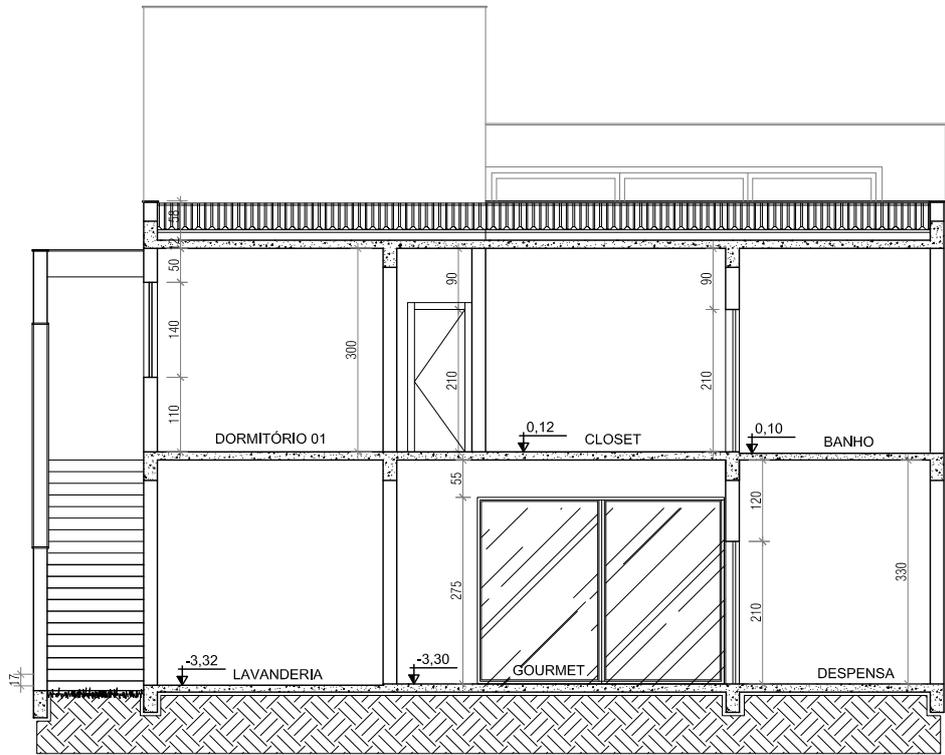




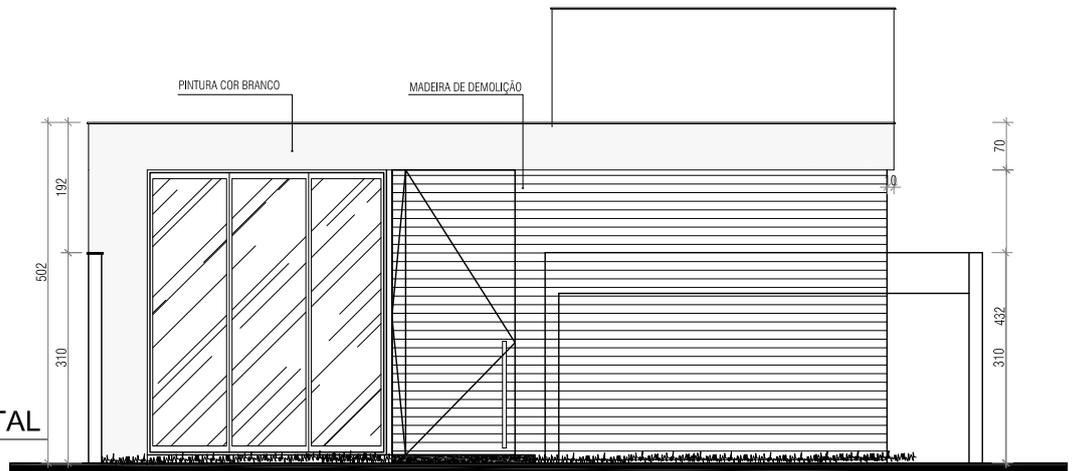
05 CORTE AA



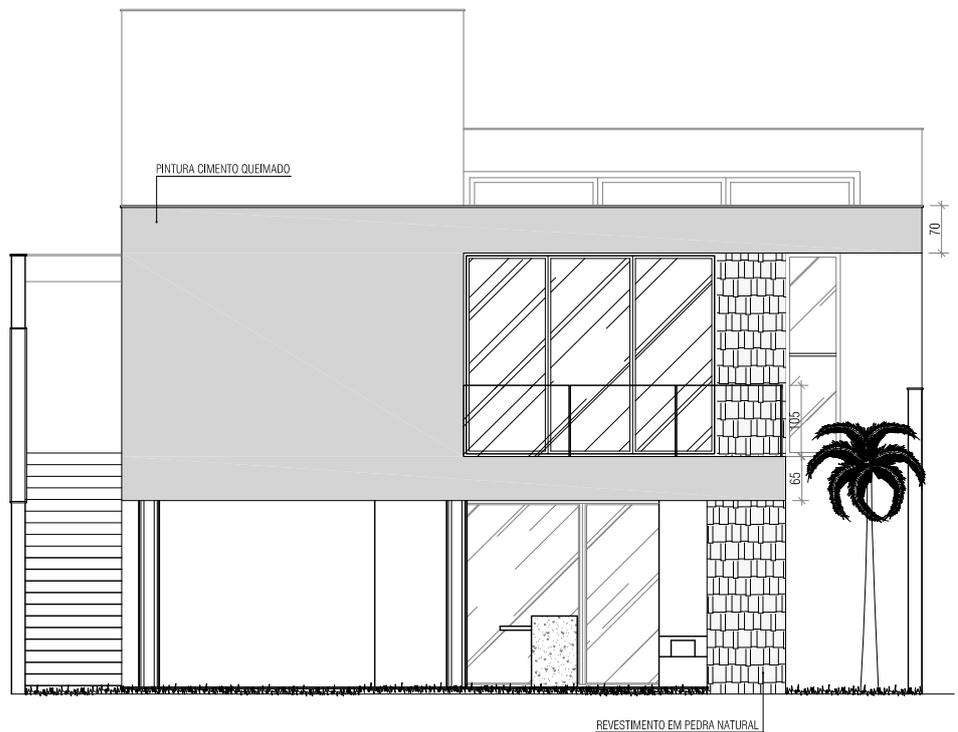
08 ELEVÇÃO LATERAL DIREITA



04 CORTE BB



06 ELEVAÇÃO FRONTAL



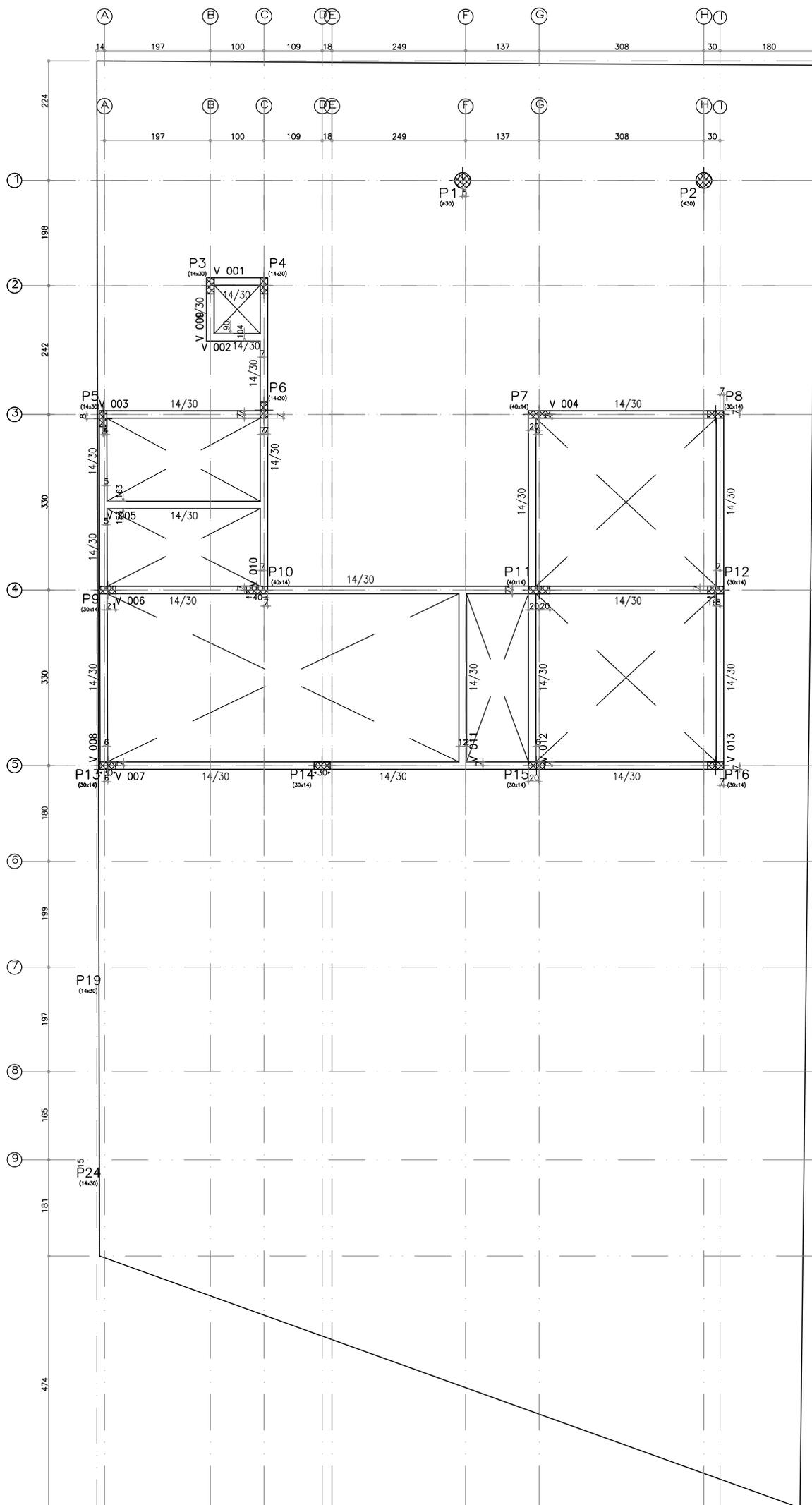
10 ELEVAÇÃO POSTERIOR



CENTRO FEDERAL DE EDUCAÇÃO TECNOLÓGICA DE MINAS GERAIS
CAMPUS VARGINHA-MG

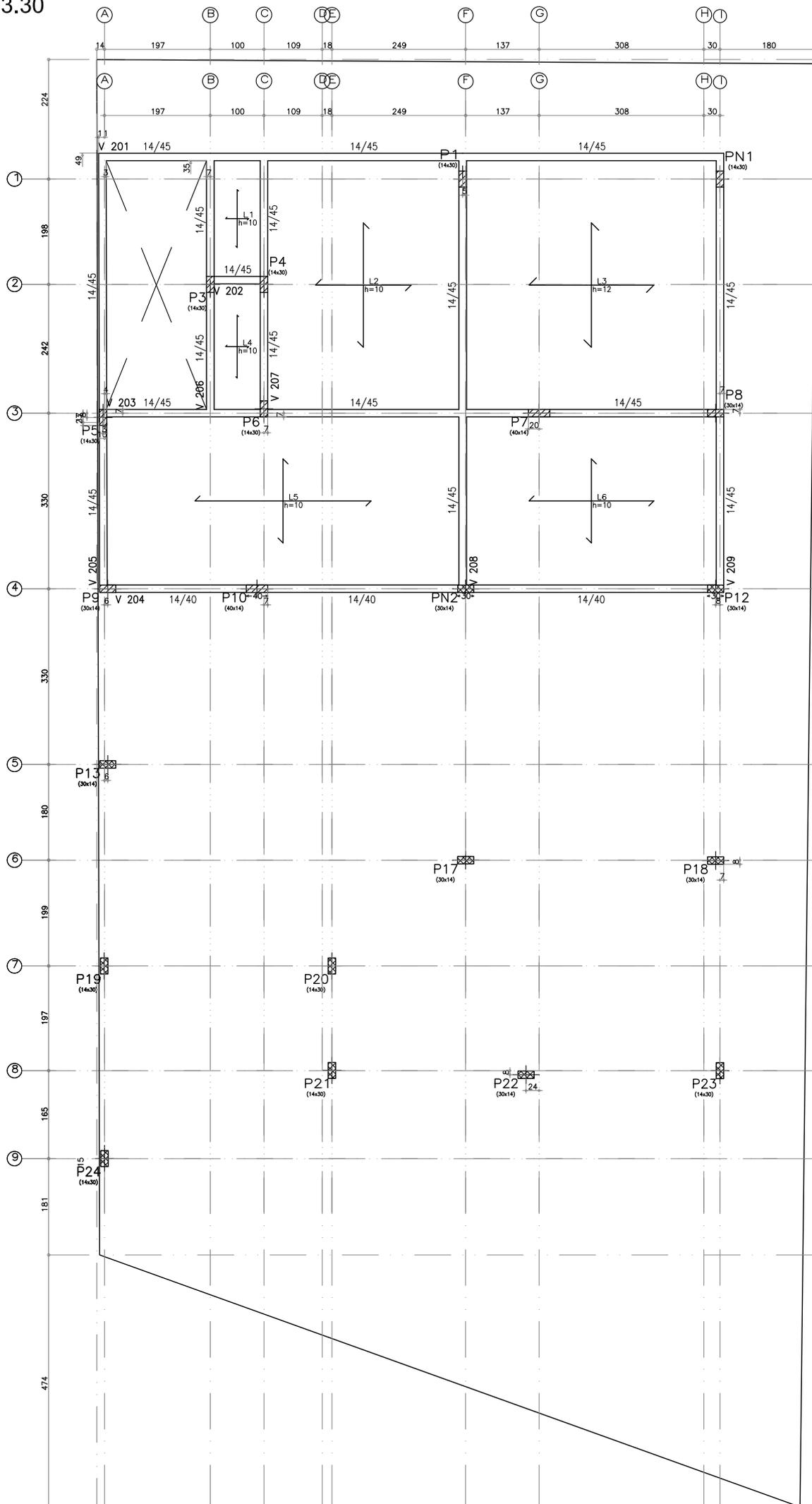
APÊNDICE B – Planta de Forma Concepção Estrutural I

Planta de Forma
Subsolo -3.30

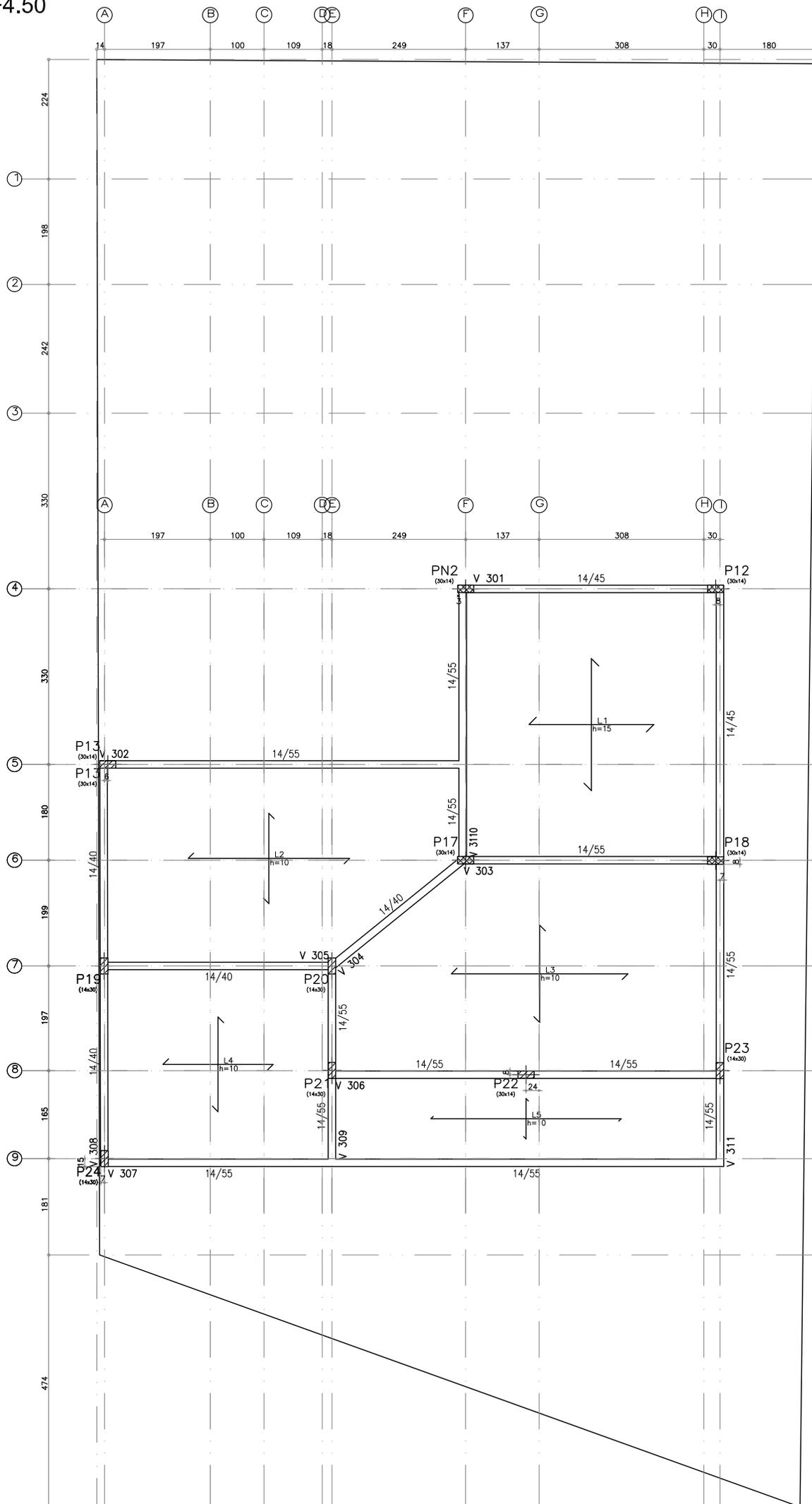


Planta de Forma

1ª Cobertura +3.30



Planta de Forma
2ª Cobertura +4.50

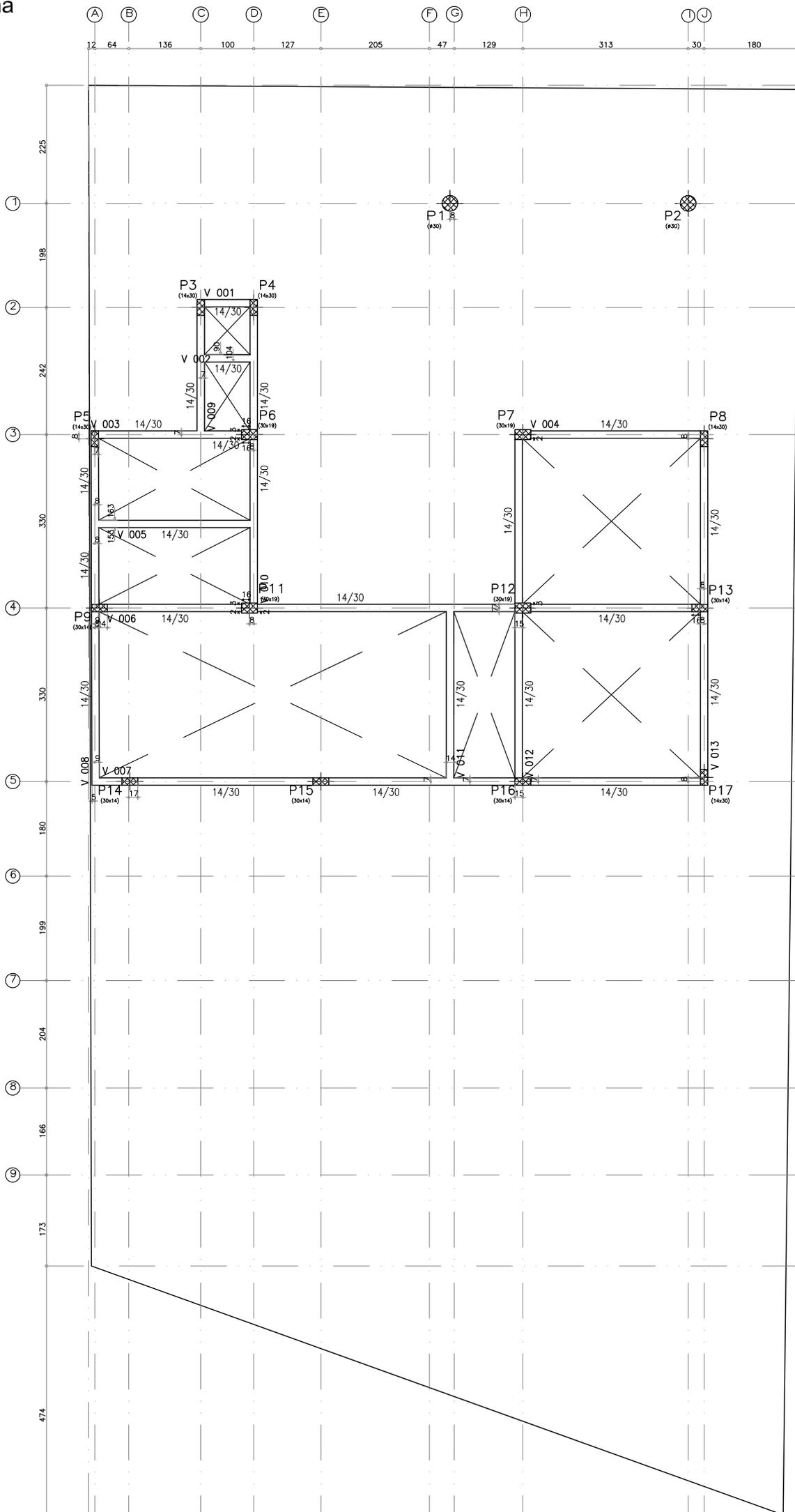




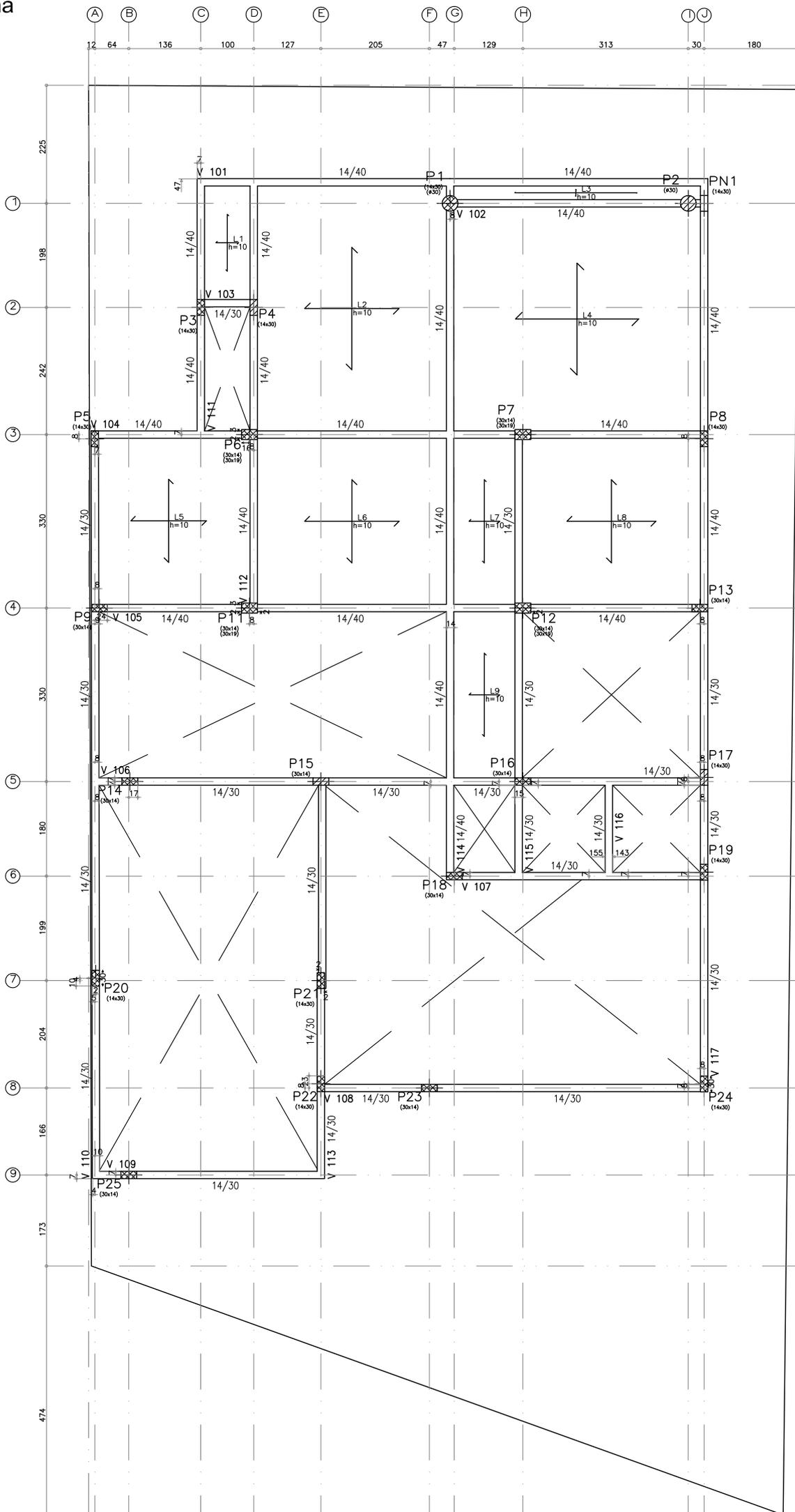
CENTRO FEDERAL DE EDUCAÇÃO TECNOLÓGICA DE MINAS GERAIS
CAMPUS VARGINHA-MG

APÊNDICE D – Planta de Forma Conceção Estrutural III

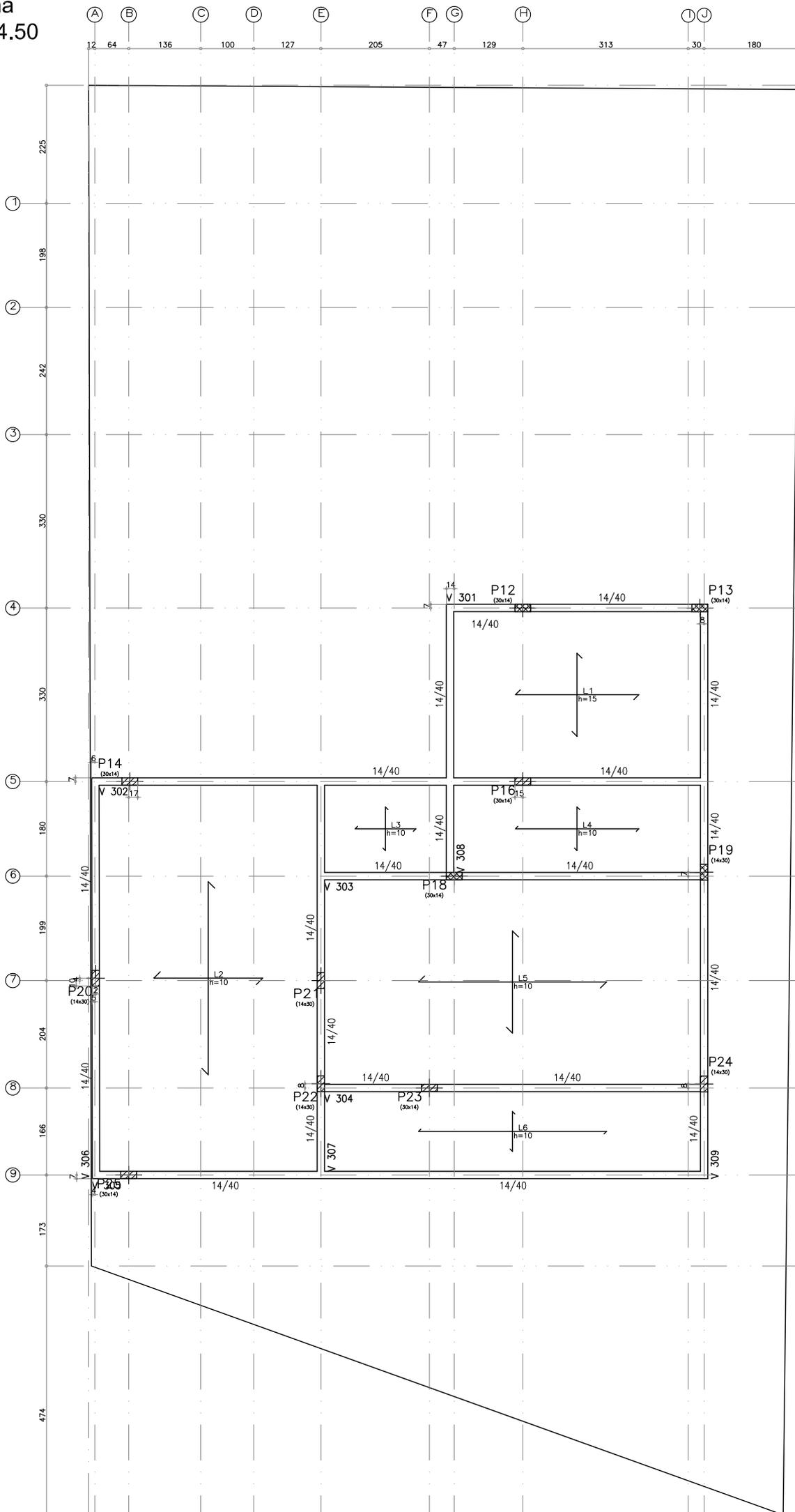
Planta de Forma
Subsolo -3.30



Planta de Forma
Térreo +0.15



Planta de Forma
2ª Cobertura +4.50

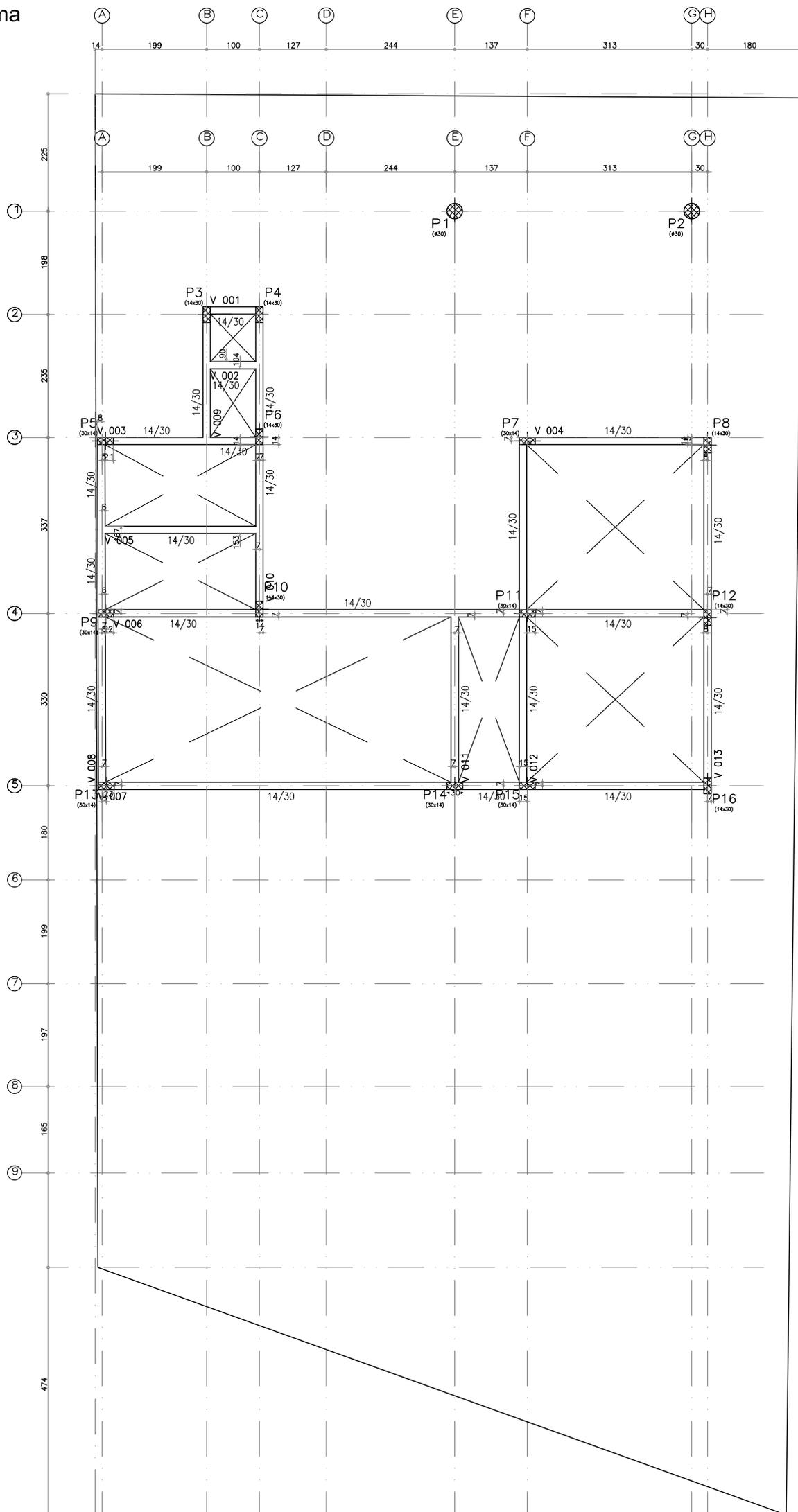




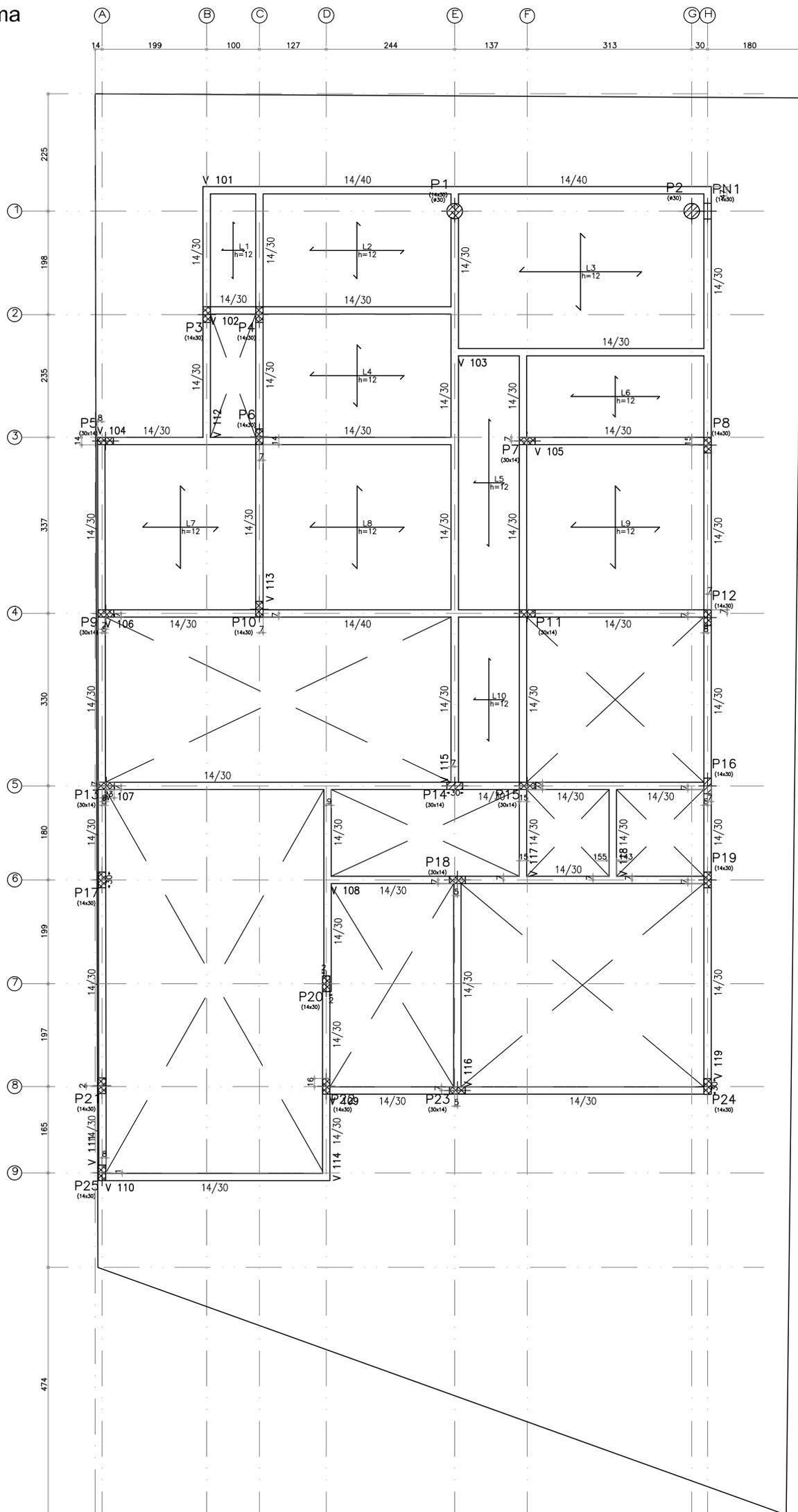
CENTRO FEDERAL DE EDUCAÇÃO TECNOLÓGICA DE MINAS GERAIS
CAMPUS VARGINHA-MG

APÊNDICE D – Planta de Forma Conceção Estrutural III

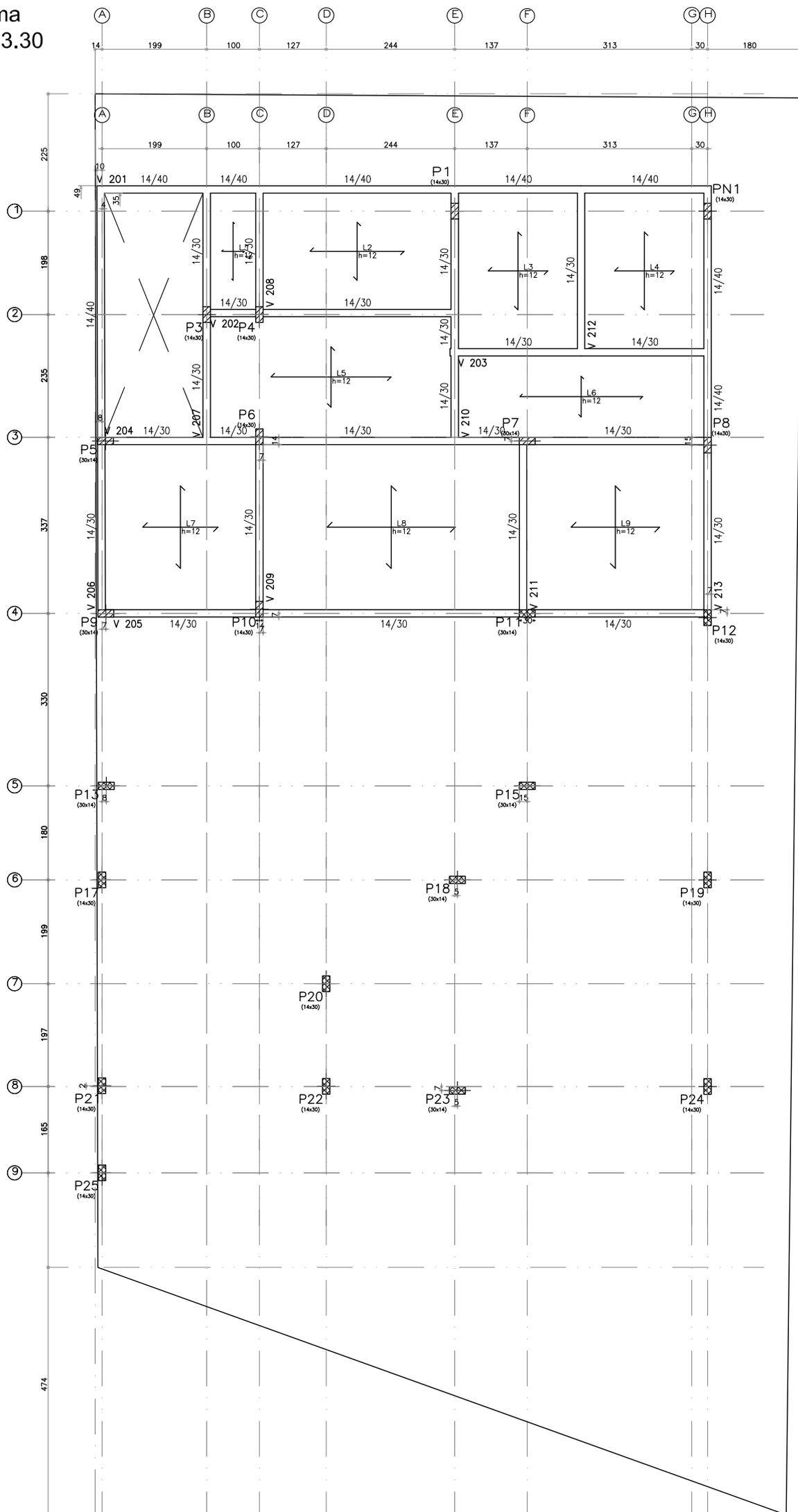
Planta de Forma
Subsolo -3.30



Planta de Forma
Térreo +0.15



Planta de Forma
1ª Cobertura +3.30



Planta de Forma
2ª Cobertura +4.50

