



UNIVERSIDADE FEDERAL DO OESTE DA BAHIA
CENTRO DAS CIÊNCIAS EXATAS E DAS TECNOLOGIAS
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL

JEAN LUCAS MONTALVÃO RAMOS RODRIGUES

COMPARATIVO DE CUSTOS ENTRE SISTEMAS DE ALVENARIA
ESTRUTURAL E CONCRETO ARMADO CONVENCIONAL NA
CONSTRUÇÃO DE UM EDIFÍCIO MULTIPAVIMENTOS

BARREIRAS-BA

DEZEMBRO-2021

JEAN LUCAS MONTALVÃO RAMOS RODRIGUES

**COMPARATIVO DE CUSTOS ENTRE SISTEMAS DE ALVENARIA
ESTRUTURAL E CONCRETO ARMADO CONVENCIONAL NA
CONSTRUÇÃO DE UM EDIFÍCIO MULTIPAVIMENTOS**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Engenharia Civil da Universidade Federal do Oeste da Bahia, como requisito à obtenção do grau de Engenheiro Civil.

Orientador: Professor Dr. Elier Pavón de la Fé

BARREIRAS-BA

DEZEMBRO-2021

FICHA CATALOGRÁFICA

R696

Rodrigues, Jean Lucas Montalvão Ramos

Comparativo de custos entre sistemas de alvenaria estrutural e concreto armado convencional na construção de um edifício multipavimentos. / Jean Lucas Montalvão Ramos Rodrigues. – 2021.

91f.: il.

Orientador: Professor Dr. Elier Pavón de la Fé

TCC - Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal do Oeste da Bahia. Centro das Ciências Exatas e das Tecnologias- Barreiras, BA, 2021.

1. Alvenaria estrutural. 2. Concreto armado convencional. 3. Sistemas estruturais I. Elier Pavón de la Fé. II. Universidade Federal do Oeste da Bahia – Centro das Ciências Exatas e das Tecnologias. III. Título.

CDD 624

Biblioteca Universitária de Barreiras – UFOB

JEAN LUCAS MONTALVÃO RAMOS RODRIGUES

**COMPARATIVO DE CUSTOS ENTRE SISTEMAS DE ALVENARIA
ESTRUTURAL E CONCRETO ARMADO CONVENCIONAL NA
CONSTRUÇÃO DE UM EDIFÍCIO MULTIPAVIMENTOS**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao
Curso de Engenharia Civil da Universidade Federal do
Oeste da Bahia, como requisito parcial à obtenção do
grau de Engenheiro Civil.

Aprovada em 09 de dezembro de 2021

Banca Examinadora

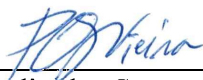
Orientador:



Dr. Elieir Pavón de la Fé
Universidade Federal do Oeste da Bahia



Me. Cláudio Alex de Oliveira Pires
Universidade Federal do Oeste da Bahia



Dr. Pedro Cláudio dos Santos Vieira
Universidade Federal do Oeste da Bahia

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus, que me protegeu e iluminou meu caminho durante esta caminhada.

Agradeço a toda minha família que sempre me apoiou e não mediram esforços para que eu pudesse seguir nesta jornada. Em especial ao meu pai e a minha mãe que são os principais responsáveis por esta conquista.

Agradeço a minha namorada que me apoiou e incentivou nos momentos difíceis e sempre me deu forças para continuar em busca dos meus objetivos.

Agradeço aos amigos que fiz durante este período de curso, sem eles a jornada teria sido muito mais difícil.

Agradeço ao meu orientador, Elier Pavón de la Fé, pela disponibilidade e por toda a orientação dada durante este período, agradeço também ao professor Pedro Paulo Martins de Carvalho que me orientou durante a primeira etapa do trabalho.

Ao Centro das Ciências Exatas e das Tecnologias (CCET) da Universidade Federal do Oeste da Bahia (UFOB), por ter proporcionado condições de desenvolver este trabalho.

RESUMO

A construção civil está em constante desenvolvimento, sempre buscando soluções mais viáveis e econômicas para as diversas situações apresentadas no dia a dia. Conhecer diferentes sistemas estruturais, possibilita tomar as melhores decisões no âmbito da engenharia e da construção. Diante deste cenário, o presente estudo realiza um comparativo de custos entre um sistema estrutural de alvenaria estrutural e um sistema estrutural de concreto armado convencional na construção de um edifício multipavimentos, tendo como referência uma edificação de área igual a 578,38m², construída com o sistema de alvenaria estrutural na cidade de Barreiras-BA. Para o desenvolvimento do estudo, foi elaborado um projeto estrutural em concreto armado convencional, para isto, inicialmente foi realizado o pré-dimensionamento da estrutura e posteriormente o lançamento estrutural no software Eberick, onde foram realizados: o dimensionamento, as análises e a otimização da estrutura no projeto. Para a realização do estudo comparativo de custos dos sistemas estruturais, foram elaborados orçamentos representativos a partir do levantamento quantitativo de materiais da estrutura e da vedação de um pavimento tipo da edificação estudada. Na análise dos resultados, notou-se que o sistema de alvenaria estrutural gerou uma grande economia de aço e de fôrmas em sua estrutura. Como resultado, este sistema se mostrou como a alternativa mais viável economicamente para a edificação, apresentando uma economia de 29,2% em relação a estrutura do sistema de concreto armado convencional.

Palavras chaves: Alvenaria Estrutural; Concreto Armado Convencional; Sistemas Estruturais.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Edificação construída com o sistema de alvenaria estrutural.....	13
Figura 2 - Argamassa aplicada em blocos.....	14
Figura 3 - Elementos da Alvenaria Estrutural	15
Figura 4 – Tipos de Blocos.....	16
Figura 5 – Modulação de uma parede.....	18
Figura 6 – Elementos Estruturais.....	21
Figura 7 – Laje Maciça	22
Figura 8 – Laje Trelaçada	23
Figura 9 – Tipos de Pilares.....	25
Figura 10 - Isopletas da velocidade básica.....	29
Figura 11 – Fundações Superficiais.....	34
Figura 12 – Planta Baixa do Pavimento Térreo.....	42
Figura 13 – Planta Baixa do Pavimento Tipo.....	43
Figura 14 – Fachada Frontal do Edifício.....	43
Figura 15 - Modulação da Primeira Fiada do Pav. Tipo.	45
Figura 16 – Modulação da Parede 3.	46
Figura 17 – Fluxograma do Lançamento Estrutural	50
Figura 18 - Criação dos Pavimentos	50
Figura 19 – Configuração de Materiais e durabilidade.....	51
Figura 20 – Bitolas das armaduras.....	51
Figura 21 – Configurações da classe do concreto	52
Figura 22 - Configuração de Vento	52
Figura 23 - Planta Baixa Arquitetônica.....	53
Figura 24 - Lançamento de Pilares	54
Figura 25 - Lançamento de Vigas.....	54
Figura 26 – Lançamento de Lajes.....	55
Figura 27 - Lançamento da carga de parede.....	56
Figura 28 – Lançamento do Patamar e do Lance da escada.....	56
Figura 29 - Análise da estrutura.....	57
Figura 30 - Resultado do processamento	58
Figura 31 – Relatório de Dimensionamento.....	58
Figura 32 – Pórtico Espacial em 3D	59
Figura 33 – Interface do menu pilares em prumada	60
Figura 34 – Composições Sintéticas.....	61
Figura 35 – Composição Analítica – Código 92763.....	61
Figura 36 – Planta de Fôrmas do Pavimento Tipo do Projeto Estrutural em Concreto Armado	66
Figura 37 – Detalhamento de armaduras de pilares e viga	67
Figura 38- Resumo de materiais do Pavimento Tipo.....	67
Figura 39 – Comparativo Percentual	69
Figura 40 - Comparativo de Custos dos Materiais	70
Figura 41 – Comparativo de Custos de Mão de Obra.....	72

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Características das Paredes Moduladas do Pavimento Tipo.....	46
Tabela 2 – Cobrimento nominal correspondente à classe de agressividade II.....	47
Tabela 3 – Dimensões dos Pilares no Projeto.....	60
Tabela 4 – Dimensões das Vigas do Pavimento Tipo.....	64
Tabela 5 – Resumo dos Orçamentos.....	68
Tabela 6 – Distribuição de custos dos materiais.....	70
Tabela 7 – Distribuição de custo da mão de obra.....	71
Tabela 8 – Orçamento do Projeto Estrutural em Concreto Armado Convencional.....	79
Tabela 9 – Orçamento do Projeto Estrutural em Alvenaria Estrutural.....	82

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	10
1.1 OBJETIVO.....	11
1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	11
1.3 JUSTIFICATIVA.....	11
2. REVISÃO DE LITERATURA	12
2.1 ALVENARIA ESTRUTURAL	12
2.1.1 Componentes e definições da Alvenaria Estrutural.....	13
2.1.1.1 Unidade ou bloco	13
2.1.1.2 Argamassa.....	14
2.1.1.3 Graute	14
2.1.1.4 Armadura	16
2.1.1.5 Definições importantes	16
2.1.2 Modulação	17
2.1.3 Principais aspectos técnicos e econômicos.....	18
2.1.3.1 Principais pontos positivos da alvenaria estrutural	19
2.1.3.2 Principais pontos negativos da alvenaria estrutural	19
2.2 ESTRUTURAS DE CONCRETO ARMADO	20
2.2.1 Componentes e definições de Estruturas de Concreto Armado	21
2.2.1.1 Lajes	21
2.2.1.1.1 Lajes Maciças.....	22
2.2.1.1.2 Lajes Nervuradas com Vigotas Treliçadas	23
2.2.1.2 Pilares	24
2.2.1.3 Vigas.....	25
2.2.2 Principais aspectos técnicos e econômicos.....	26
2.2.2.1 Principais pontos positivos das estruturas de concreto armado	26
2.2.2.2 Principais pontos negativos das estruturas de concreto armado	27
2.2.3 Principais Normas Brasileiras para elaboração de projetos de concreto armado..	27
2.2.4 Concepção Estrutural	29
2.2.5 Pré-Dimensionamento	30
2.3 FUNDAÇÕES.....	33
2.4 ESTABILIDADE GLOBAL	34

2.4.1 Parâmetro de instabilidade α	35
2.4.2 Coeficiente γ_z	37
2.5 SOFTWARES PARA CÁLCULOS ESTRUTURAIS	38
2.5.1 Eberick.....	38
2.6 ORÇAMENTO.....	39
2.6.1 Estimativa de Custos	40
2.7 ESTUDOS SEMELHANTES	40
3. MATERIAL E MÉTODOS	42
3.1 DESCRIÇÃO GERAL DA EDIFICAÇÃO ESTUDADA	42
3.2 PROJETO ESTRUTURAL EM ALVENARIA ESTRUTURAL	44
3.3 PROJETO ESTRUTURAL EM CONCRETO ARMADO	47
3.3.1 Critérios do Projeto.....	47
3.3.2 Ações Verticais	47
3.3.3 Ações Horizontais.....	48
3.3.4 Concepção Estrutural	48
3.3.5 Lançamento Estrutural no software Eberick.....	49
3.4 ESTIMATIVA DE CUSTOS	61
3.4.1 Orçamento do Sistema de Concreto Armado Convencional	62
3.4.2 Orçamento do Sistema de Alvenaria Estrutural	62
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	64
4.1 PROJETO ESTRUTURAL EM CONCRETO ARMADO	64
4.2 ANÁLISE COMPARATIVA DE CUSTOS ENTRE OS SISTEMAS ESTRUTURAIS	68
CONCLUSÃO	74
SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	75
REFERÊNCIAS.....	76
APÊNDICES	79

1. INTRODUÇÃO

As estruturas se caracterizam como a parte mais resistente de qualquer construção. Segundo Souza e Rodrigues (2008), elas são as principais responsáveis pela manutenção da segurança e da solidez de uma edificação. Elas absorvem os esforços das ações aplicadas sobre a edificação e as transmitem para o solo.

A combinação de elementos estruturais dá origem aos sistemas estruturais, os quais possibilitam a formação de uma estrutura. Pilares, vigas, lajes, blocos e treliças são os elementos estruturais mais utilizados no Brasil, eles podem compor diferentes sistemas estruturais, a depender da combinação dos elementos e dos materiais utilizados.

Atualmente no Brasil, diferentes sistemas são utilizados para a construção de estruturas. Alvenaria estrutural e sistema convencional de concreto armado são dois dos principais sistemas estruturais utilizados no país e serão os objetos de estudo deste trabalho.

Antes de se iniciar o processo construtivo, é necessário realizar um bom estudo prévio, pois, o mesmo tende a garantir que o projeto esteja apto para execução, atendendo todos os requisitos de conforto e segurança da norma brasileira. Outro fator que deve ser considerado nesse estudo prévio, são os custos da construção, pois é nesta etapa que se estima os gastos. As escolhas corretas podem gerar uma grande economia ao final do processo de construção.

Empresas sempre buscam meios de associar preço e qualidade na realização de suas atividades, na engenharia não é diferente. As construtoras estão cada dia mais atentas a gestão de suas obras. Diversas técnicas e métodos construtivos são utilizados e podem representar uma grande economia para o empreendimento. A engenharia sempre está buscando aprimorar-se em relação ao crescimento e desenvolvimento exigidos pelo mercado imobiliário, como é o caso da alvenaria estrutural, que vem sendo empregada por diversas empresas, visto como, uma evolução significativa na redução de custos e nas soluções para o desperdício de materiais em obra (FERNANDES; SILVA FILHO, 2010).

Partindo dessas premissas, este trabalho realiza um estudo de dois sistemas estruturais para uma edificação modelo, apresentando aspectos relacionados a: custo das edificações, métodos construtivos, projetos, segurança e principais diferenças entre os sistemas.

1.1 OBJETIVO

O presente trabalho tem como objetivo geral realizar uma análise comparativa de custos entre as superestruturas de diferentes sistemas construtivos para uma edificação residencial multipavimentos.

1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Desenvolver o projeto estrutural da edificação modelo em concreto armado através do software Eberick e com base nas normas vigentes;
- Comparar os custos dos sistemas de alvenaria estrutural e concreto armado convencional para um pavimento tipo.

1.3 JUSTIFICATIVA

O sistema estrutural de concreto armado convencional está amplamente difundido no território nacional. É um sistema que atende as necessidades de conforto e segurança exigidas para maioria das edificações nacionais e possui uma grande aceitabilidade da população, fatores que contribuem para ser o sistema estrutural mais utilizado no país atualmente.

Apesar da grande aceitação da população, nem sempre o sistema estrutural de concreto armado convencional será o mais adequado economicamente para uma construção. Atualmente existem outros sistemas estruturais capazes de atender as exigências de conforto e segurança de uma edificação. Um deles é o sistema estrutural de alvenaria estrutural, que em comparação ao método de concreto armado convencional, apresenta uma redução no desperdício de materiais e também na mão de obra empregada.

A construção civil está em constante desenvolvimento, sempre buscando soluções mais viáveis e econômicas para as diversas situações apresentadas no dia a dia. Conhecer diferentes sistemas estruturais, possibilita tomar as melhores decisões no âmbito da engenharia e da construção.

O presente trabalho se justifica na necessidade de conhecer o sistema estrutural de alvenaria estrutural e verificar sua viabilidade técnica e econômica em comparação ao sistema de concreto armado convencional.

2. REVISÃO DE LITERATURA

Os sistemas estruturais podem ser definidos como conjuntos estáveis de elementos projetados e construídos para agir como um todo no suporte e na transmissão segura de cargas aplicadas ao solo (CHING, 2000).

De acordo com Ching (2000), a arquitetura engloba qualidades estéticas inefáveis, porém sensíveis, que resultam da união do espaço, da forma e da estrutura. Ao fornecer a sustentação para outros sistemas da edificação e para nossas atividades, um sistema estrutural viabiliza o formato e a forma de uma edificação e de seus espaços. Se trata do esqueleto da edificação, por isso, é necessária uma compreensão da estrutura como um sistema de partes interconectadas e inter-relacionadas e um entendimento dos tipos genéricos de sistemas estruturais, pois a estrutura é aquilo que mantém a edificação segura e em correto funcionamento.

2.1 ALVENARIA ESTRUTURAL

A alvenaria estrutural é um sistema construtivo muito tradicional, tendo sido muito utilizado desde o início da atividade humana de executar estruturas para os mais variados fins. Com a utilização de blocos de diversos materiais, como argila, pedra e outros, foram produzidas obras que desafiaram o tempo, atravessando séculos ou mesmo milênios e chegando até nossos dias como verdadeiros monumentos de grande importância histórica. (RAMALHO; CORRÊA, 2003).

A Figura 1 apresenta a edificação modelo do projeto, na qual se é utilizado o sistema de alvenaria estrutural. Prado Neto, Peluso e Carvalho (2015), descrevem o funcionamento do sistema de alvenaria estrutural:

O sistema de alvenaria estrutural é um processo construtivo, no qual as paredes têm função estrutural, ou seja, são autoportantes. Dessa maneira, ficam encarregadas da transmissão das cargas até a fundação. Diferentemente da alvenaria convencional, na qual esta é utilizada como elemento de vedação. Na alvenaria estrutural, a resistência depende unicamente das unidades de alvenaria argamassadas. Que podem ser compostas por: blocos de concreto, blocos cerâmicos ou, ainda, de tijolos cerâmicos maciços. Todos com grande capacidade resistente à compressão. Essas unidades devem agir como uma combinação íntegra para resistir aos esforços de compressão e, de acordo com a conveniência do projeto, podem ser usadas barras de aço. Estas se ligam à alvenaria por meio de grauteamento, para resistir a esforços de tração e propiciar maior homogeneidade ao conjunto monolítico. (PRADO NETO; PELUSO; CARVALHO, 2015).

Figura 1 - Edificação construída com o sistema de alvenaria estrutural.



Fonte: Autor (2021).

2.1.1 Componentes e definições da Alvenaria Estrutural

Neste tópico serão apresentados os principais componentes da alvenaria estrutural para um entendimento mais amplo a respeito do assunto, assim como também serão apresentadas algumas definições contidas nas normas brasileiras.

2.1.1.1 Unidade ou bloco

As unidades ou blocos são os principais responsáveis pela definição das características resistentes da estrutura, estes podem ser maciços ou vazados. Maciços são aqueles que apresentam um índice de vazios máximo de 25% da área total, se os vazios forem maiores que esse limite, são considerados vazados (RAMALHO; CORRÊA, 2003).

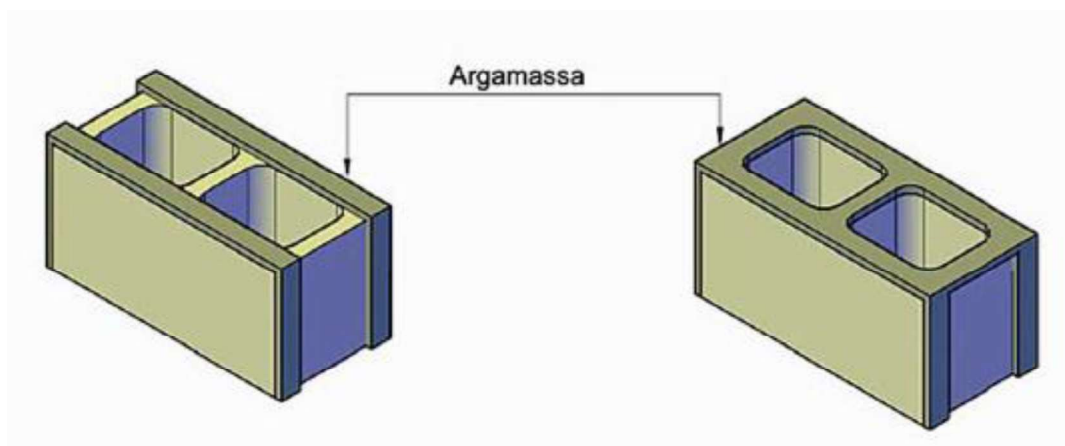
Segundo Richter (2007), estruturalmente, as unidades são essenciais para que a parede desenvolva as características mecânicas adequadas à sua segurança. Além da resistência à compressão compatível ao carregamento a que a parede estará submetida, a unidade de alvenaria estrutural também deverá apresentar baixa absorção de água, durabilidade e estabilidade dimensional.

As unidades podem ser classificadas como: de vedação e estruturais. No presente trabalho, o foco está na unidade estrutural. A NBR 6136 - Blocos vazados de concreto simples para alvenaria - Requisitos (ABNT, 2014) especifica que a resistência característica do bloco à compressão, medida em relação à área bruta, possui limites mínimos de resistência, para paredes internas e externas com revestimento é de 4,5 MPa e para paredes externas sem revestimento o mínimo é de 6 MPa.

2.1.1.2 Argamassa

Richter (2007) define a argamassa como um material composto por um ou mais aglomerantes, por um agregado miúdo e água suficiente para produzir uma mistura plástica de boa trabalhabilidade.

Figura 2 - Argamassa aplicada em blocos



Fonte: Nesse; Tauil (2010).

A principal função estrutural da argamassa é transmitir uniformemente as tensões entre as unidades de alvenaria. Também tem a função de absorver pequenas deformações e prevenir a entrada de água e de vento nas edificações. Usualmente composta de areia, cimento, cal e água, a argamassa deve reunir boas características de trabalhabilidade, resistência, plasticidade e durabilidade para o desempenho de suas funções (RAMALHO; CORRÊA, 2003).

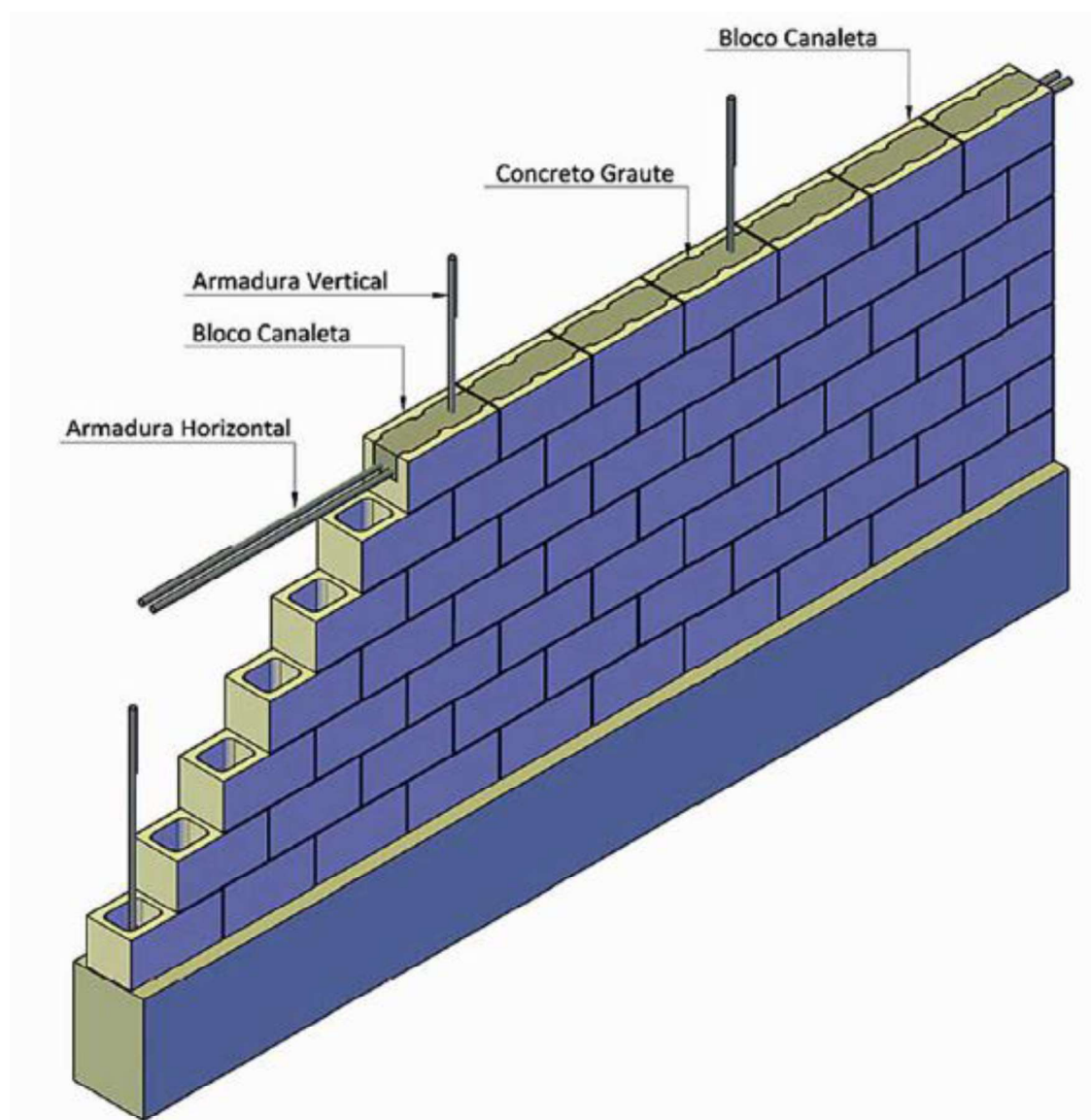
2.1.1.3 Graute

O graute é um concreto fino, composto por cimento, água, agregado miúdo e agregados graúdos de pequena dimensão (até 9,5mm), deve apresentar como característica alta fluidez de modo que preencha adequadamente os vazios dos blocos onde serão lançados (CAMACHO, 2006).

Possui a função de propiciar o aumento da área da seção transversal das unidades ou promover a solidarização dos blocos com eventuais armaduras posicionadas nos seus vazios. Contribuindo para o aumento da capacidade resistente da alvenaria à compressão, como também permite que as armaduras colocadas combatam tensões de tração que a alvenaria por si só não teria condições de resistir (RAMALHO; CORRÊA, 2003).

A Figura 3 nos apresenta alguns dos principais elementos do sistema construtivo de Alvenaria Estrutural.

Figura 3 - Elementos da Alvenaria Estrutural



Fonte: Nesse; Tauil (2010).

De acordo com a NBR 16868-1 - Alvenaria estrutural - Parte 1: Projeto (ABNT, 2020), o graute deve ter sua resistência característica maior ou igual a duas vezes a resistência característica do bloco. Essa resistência melhora o desempenho estrutural da parede, uma vez

que a resistência estrutural do bloco se refere a área bruta e no geral seu índice de vazios é de 50%.

2.1.1.4 Armadura

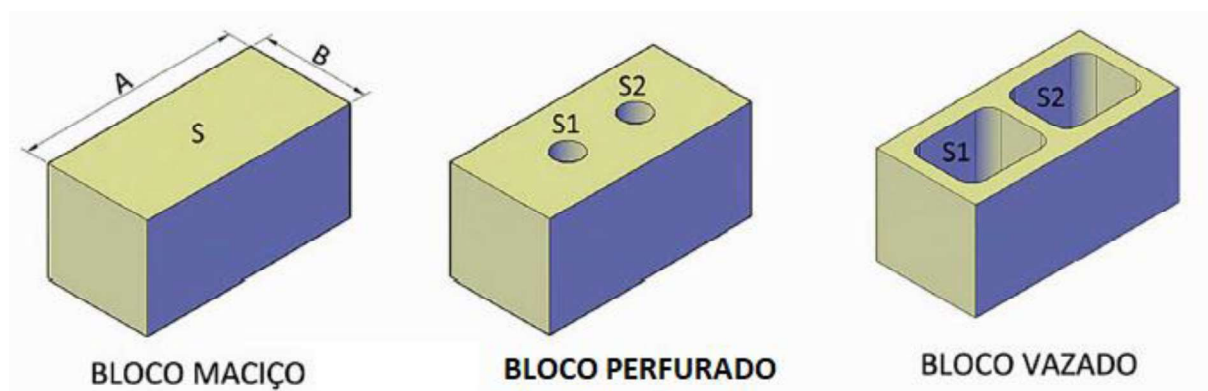
As barras de aço utilizadas nas construções em alvenaria estrutural são as mesmas utilizadas nas estruturas de concreto armado, têm a função de combater os esforços de tração, devem ser utilizadas juntamente com o graute para garantir o trabalho conjunto com o restante dos componentes da alvenaria estrutural (RAMALHO; CORRÊA, 2003).

Segundo Camacho (2006), outro exemplo de armaduras na alvenaria estrutural está na sua utilização nas juntas das argamassas de assentamento. Trazendo como benefício uma boa aderência mecânica ao elemento.

2.1.1.5 Definições importantes

A NBR 14974-1 Bloco sílico-calcário para alvenaria - Parte 1: Requisitos, dimensões e métodos de ensaio (ABNT, 2003) nos fornece as seguintes definições que poderão ajudar no entendimento do assunto. A figura 4 nos apresenta alguns tipos de blocos.

Figura 4 – Tipos de Blocos



Fonte: Nesse; Tauil (2010).

- a. Bloco maciço: elemento de alvenaria de dimensões prismáticas, cuja seção transversal é maciça, ou seja, não possui furos ($\text{Área Líquida} = \text{Área Bruta}$);
- b. Bloco furado ou perfurado: elemento de alvenaria cuja seção transversal possui furos que, somados às suas áreas, não ultrapassem a 30% da área total da seção ($\text{Área Líquida} \leq \text{Área Bruta} \times 70\%$);
- c. Bloco furado: bloco cujos furos são passantes, ou seja, a perfuração atravessa por completo a seção total do bloco;

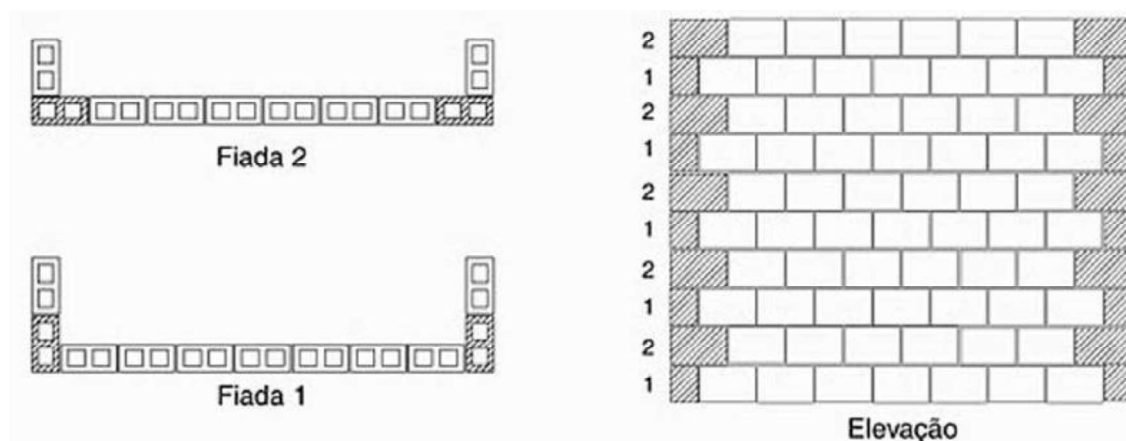
- d. Bloco perfurado: bloco cujos furos são não passantes, ou seja, a perfuração não atravessa por completo a seção total do bloco;
- e. Bloco vazado: elemento de alvenaria cuja seção transversal possui furos que, somados às suas áreas, sejam maiores que 30% da área total da seção;
- f. Bloco modular: bloco com dimensões coordenadas para a execução de alvenaria modular, isto é, alvenaria com dimensões múltiplas do módulo $M = 12,5 \text{ cm}$ (1/8 do metro) ou $M = 20 \text{ cm}$;
- g. Bloco complementar: elemento complementar de alvenaria, baseado no seccionamento do bloco (meio bloco, bloco-canaleta etc.);
- h. Alvenaria da vedação: alvenaria de blocos ou tijolos que tem a função simples de fechar os vãos da estrutura da edificação, ou seja, suportam apenas seu próprio peso e, eventualmente, o dos revestimentos;
- i. Alvenaria estrutural: alvenaria de blocos ou tijolos que tem a função de suportar cargas além do seu peso próprio, fazendo assim parte integrante da estrutura da edificação;
- j. Alvenaria estrutural armada: alvenaria estrutural de blocos ou tijolos que permitem preenchê-los com graute e armadura que completam estruturalmente a parede;
- k. Alvenaria estrutural não armada: alvenaria estrutural de blocos ou tijolos que não necessitam de armadura auxiliar nem de graute dentro de seus furos para serem considerados elementos portantes. Usualmente este tipo de alvenaria é chamado “autoportante”.

2.1.2 Modulação

A unidade é o componente básico da alvenaria estrutural. Uma unidade é definida por três dimensões principais: comprimento, largura e altura. O comprimento e a largura definem o módulo horizontal, ou módulo em planta. Enquanto a altura define o módulo vertical a ser adotado nas elevações. (RAMALHO; CORRÊA, 2003)

A modulação ou coordenação modular, baseia-se no ajuste de todas as dimensões horizontais e verticais da obra como múltiplas da dimensão básica da unidade. O seu principal objetivo é evitar cortes e desperdícios na fase de execução. Nesta etapa devem ser previstos todos os encontros de paredes, aberturas, pontos de graute e ferragem, ligação laje/parede, caixas de passagem, colocação de pré-moldados e instalações em geral (CAMACHO, 2006).

Figura 5 – Modulação de uma parede.



Fonte: Ramalho; Correa (2003).

A coordenação modular chega a apresentar acréscimos de produtividade na obra. Pode-se evitar cortes e outros trabalhos de ajuste no canteiro que representariam perda de tempo, material e mão de obra. Contudo, os projetos arquitetônicos, estruturais e de instalações devem ser compatibilizados e também deve-se ter um adequado controle da execução de juntas (RAMALHO; CORRÊA, 2003).

Segundo Camacho (2006), um projeto bem estudado e bem definido em termos de modulação resulta no aproveitamento das vantagens do sistema Alvenaria Estrutural, promovendo facilidade e redução de tempo durante a execução, minimização ou eliminação de desperdícios, gerando economia e maior qualidade no produto final.

2.1.3 Principais aspectos técnicos e econômicos.

A utilização da alvenaria estrutural, para os edifícios residenciais, parte de uma concepção bastante interessante que é a de transformar a alvenaria, originalmente com função exclusiva de vedação, na própria estrutura. Assim, a alvenaria passa a ter a dupla função de servir de vedação e suporte para a edificação, o que é, em princípio, muito bom para a economia (RAMALHO; CORRÊA, 2003).

Partindo desse conceito de dupla função, a adoção do sistema de alvenaria estrutural dispensa a utilização de pilares e vigas, que são a base do sistema estrutural de concreto armado convencional. Entretanto, são necessários diversos cuidados nas etapas de produção de alvenaria, assim como na execução da mesma, de forma que sejam garantidas a qualidade e a segurança da edificação (CAMACHO, 2006).

2.1.3.1 Principais pontos positivos da alvenaria estrutural

As principais vantagens da utilização da alvenaria estrutural se encontram nas economias adquiridas no sistema executivo, quando em comparação as obras de concreto armado convencional. Camacho (2006) e Ramalho e Corrêa (2003) nos apresentam as principais vantagens do sistema:

- a. Economia de fôrmas: Devido ao sistema de alvenaria estrutural não possuir pilares e vigas, se têm uma grande economia nas fôrmas, sendo necessárias apenas para concretagens de lajes;
- b. Redução significativa nos revestimentos: Como o sistema utiliza blocos planejados e com qualidade controlada, se tem uma economia na aplicação dos revestimentos, podendo reduzir a espessura dos mesmos e alguns deles podem ser aplicados diretamente sobre a superfície dos blocos, como é o caso do gesso;
- c. Redução nos desperdícios de material e mão-de-obra: Como se trata de um sistema totalmente planejado, onde os blocos já são produzidos com as dimensões corretas para cada elemento e também já contém os espaçamentos para instalações hidráulicas e elétricas se tem uma redução muito grande de desperdícios de materiais, como também de atividades que iriam exigir tempo de mão de obra, no caso, a abertura desses espaçamentos para a colocação das instalações;
- d. Flexibilidade no ritmo de execução da obra: Se as lajes forem pré-moldadas, o ritmo da obra estará desvinculado do tempo de cura que deve ser respeitado no caso das peças de concreto armado.

2.1.3.2 Principais pontos negativos da alvenaria estrutural

Segundo Ramalho e Corrêa (2003), essas são algumas das desvantagens do sistema de alvenaria estrutural:

- a. Dificuldade de se adaptar arquitetura para um novo uso: Fazendo as paredes parte da estrutura, obviamente não existe a possibilidade de adaptações significativas no arranjo arquitetônico. Em algumas situações isso se torna um problema bastante sério. Estudos realizados demonstram que ao longo de sua vida útil uma edificação tende a sofrer mudanças para se adaptar a novas necessidades de seus usuários. No caso da alvenaria estrutural isso não só é inconveniente como tecnicamente impossível na grande maioria dos casos.

- b. Interferência entre projetos de arquitetura/estruturas/instalações: A interferência entre os projetos é muito grande quando se trata de uma obra em alvenaria estrutural. A manutenção do módulo afeta de forma direta o projeto arquitetônico e a impossibilidade de se furar paredes, sem um controle cuidadoso desses furos, condiciona de forma marcante os projetos de instalações elétricas e hidráulicas.
- c. Necessidade de uma mão-de-obra bem qualificada: A alvenaria estrutural exige uma mão-de-obra qualificada e apta a fazer uso de instrumentos adequados para sua execução. Isso significa um treinamento prévio da equipe contratada para sua execução. Caso contrário, os riscos de falhas que comprometam a segurança da edificação crescem sensivelmente.

Em relação às desvantagens apresentadas por Ramalho e Corrêa (2003), é possível destacar a impossibilidade de se realizar modificações na disposição arquitetônica original. Essa limitação pode influenciar diretamente nas vendas, por não aceitar modificações futuras ou até mesmo comprometer a segurança de uma edificação durante a sua vida útil.

2.2 ESTRUTURAS DE CONCRETO ARMADO

Pinheiro (2007), nos mostra como o sistema estrutural de concreto armado recebe, distribui e suporta as cargas provenientes da edificação:

Nas estruturas usuais, compostas por lajes, vigas e pilares, o caminho das cargas começa nas lajes, que delas vão para as vigas e, em seguida, para os pilares, que as conduzem até a fundação.

As lajes recebem as cargas permanentes (peso próprio, revestimentos etc.) e as variáveis (pessoas, máquinas, equipamentos etc.) e as transmitem para as vigas de apoio.

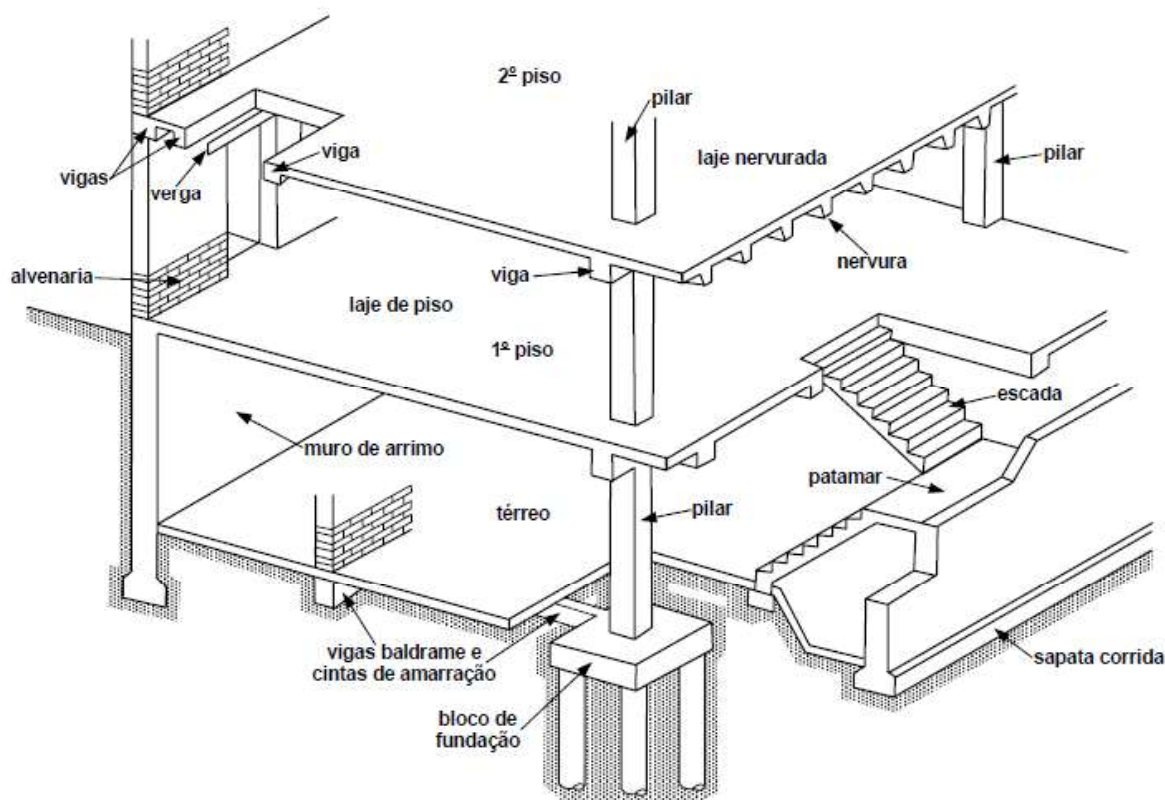
As vigas, por sua vez, além do peso próprio e das cargas das lajes, recebem também cargas de paredes dispostas sobre elas, além de cargas concentradas provenientes de outras vigas, levando todas essas cargas para os pilares em que estão apoiadas.

Os pilares são responsáveis por receber as cargas dos andares superiores, acumular as reações das vigas em cada andar e conduzir esses esforços até as fundações.

Nos edifícios de vários andares, para cada pilar e no nível de cada andar, obtém-se o subtotal de carga atuante, desde a cobertura até os andares inferiores. Essas cargas, no nível de cada andar, são utilizadas para dimensionamento dos tramos do pilar. A carga total é usada no projeto da fundação. (PINHEIRO, 2007, p.219)

A figura 6 nos apresenta alguns elementos estruturais.

Figura 6 – Elementos Estruturais.



Fonte: Alva (2007)

2.2.1 Componentes e definições de Estruturas de Concreto Armado

Neste tópico serão apresentados os principais componentes das estruturas de concreto armado para um entendimento mais amplo a respeito do assunto, assim como também serão apresentadas algumas definições contidas nas normas brasileiras.

2.2.1.1 Lajes

Segundo Bastos (2019), lajes são elementos planos, bidimensionais, das quais tem como principal função servir de piso ou cobertura nas construções, elas normalmente se dispõem a receber as ações verticais provenientes da utilização da laje em função de sua finalidade arquitetônica, como de pessoas, móveis, pisos, paredes, e de demais tipos de carga que possam ser aplicadas.

Pinheiro (2007), nos diz que além das cargas permanentes, as lajes recebem as ações de uso e as transmitem para os apoios, contribuem também para o travamento dos pilares e distribuem os esforços horizontais entre os elementos de contraventamento.

De acordo com Giongo (2007), as lajes consomem aproximadamente metade do volume total de concreto utilizado para a construção dos edifícios com estruturas de concreto armado.

Isso demonstra a importância desse elemento na construção, podendo o mesmo, se bem dimensionado e executado, gerar uma redução de custos na obra.

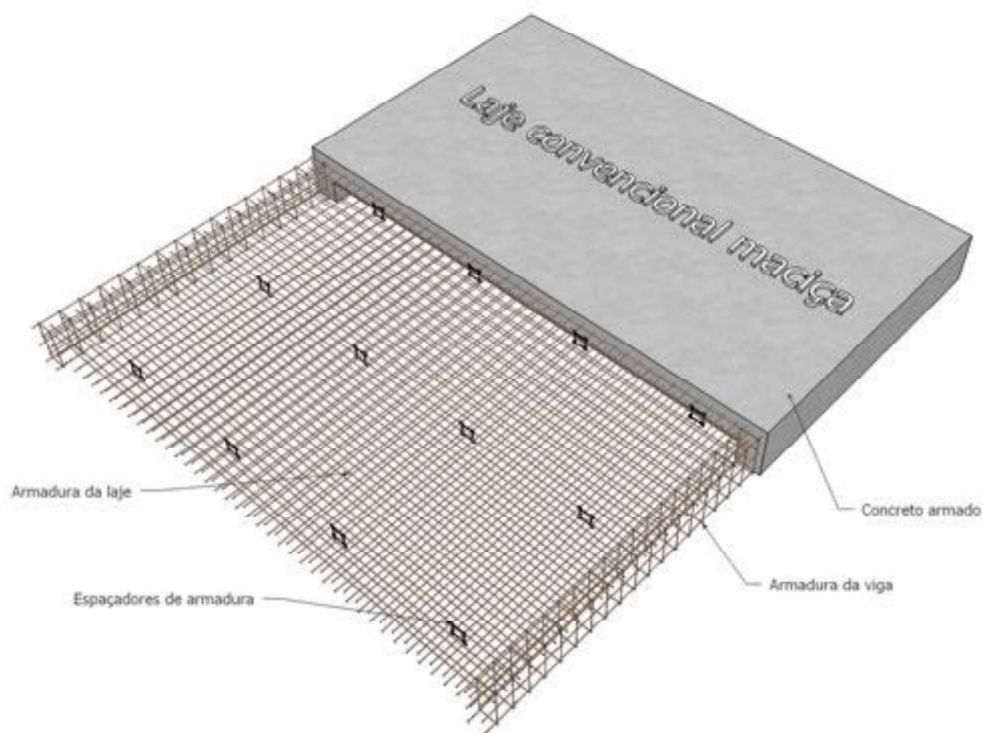
2.2.1.1.1 Lajes Maciças

De acordo com Bastos (2019), lajes maciças são aquelas com a espessura totalmente preenchida por concreto, contendo armadura de flexão e, se necessário, armaduras transversais. Elas são muito utilizadas em edifícios de múltiplos pavimentos e construções de grande porte, como escolas, indústrias, hospitais, pontes de grandes vãos, etc.

Araújo (2014) define as lajes maciças como placas de espessura uniforme, apoiadas ao longo do seu contorno, onde os apoios podem ser formados por vigas ou alvenarias, a depender do sistema estrutural utilizado. Quanto às características geométricas das lajes maciças, Pinheiro (2007) diz que são elementos planos, normalmente horizontais, com duas dimensões muito maiores que a terceira.

A Figura 7 nos apresenta um modelo 3D de laje maciça.

Figura 7 – Laje Maciça



Fonte: <https://cddcarqfeevale.wordpress.com/2012/04/03/lajes-macicas-de-concreto-armado/>

A NBR 6118 - Projeto de estruturas de concreto — Procedimento (ABNT, 2014) especifica que nas lajes maciças devem ser respeitadas os seguintes parâmetros mínimos para as espessuras das lajes maciças:

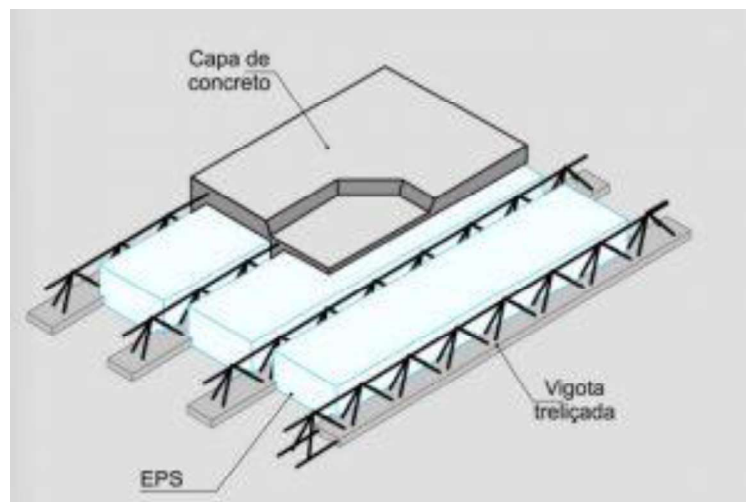
- 7 cm para cobertura não em balanço;
- 8 cm para lajes de piso não em balanço;
- 10 cm para lajes em balanço;
- 10 cm para lajes que suportem veículos de peso total menor ou igual a 30 KN.

2.2.1.1.2 Lajes Nervuradas com Vigotas Treliçadas

De acordo com Chaves (2012), as lajes treliçadas são constituídas por vigotas pré-fabricadas de concreto armado, sobre as quais se apoiam elementos de material leve. Esses elementos podem ser lajotas de concreto, de cerâmica ou de Poliestireno Expansível (EPS). Sobre as vigas pré-fabricadas e os elementos de material leve, é aplicada uma camada de concreto, de modo a cobri-los completamente.

A Figura 8 apresenta componentes de uma laje treliçada.

Figura 8 – Laje Treliçada



Fonte: <https://axialengenharia.eng.br/2017/04/27/lajes-trelicadas-com-epsisopor-preco-vantagens-e-desvantagens/>

Segundo a NBR 14859-1 - Laje pré-fabricada – Requisitos Parte 1: Lajes unidirecionais (ABNT, 2016), as vigotas pré-fabricadas são constituídas por concreto estrutural, executadas industrialmente fora do local de utilização definitivo da estrutura ou mesmo em canteiros de obra, sob rigorosas condições de controle de qualidade, além disso englobam total ou parcialmente a armadura inferior de tração, integrando parcialmente a seção de concreto da nervura longitudinal.

“O sistema de lajes pré-fabricadas apresenta baixa perda de materiais durante a fase de montagem devido os elementos industrializados utilizados. O sistema ainda apresenta uma grande versatilidade nas suas aplicações, usuais em pavimentos de

diversos fins. Em edificações residenciais e comerciais (casas térreas, sobrados, pequenos edifícios, galpões etc.), onde os vãos são pequenos ou médios, estas lajes resultam em arranjos considerados simples, sendo soluções econômicas, seguras, de simples construção e cujo desempenho estrutural é satisfatório.” (SILVA, 2012, P.18).

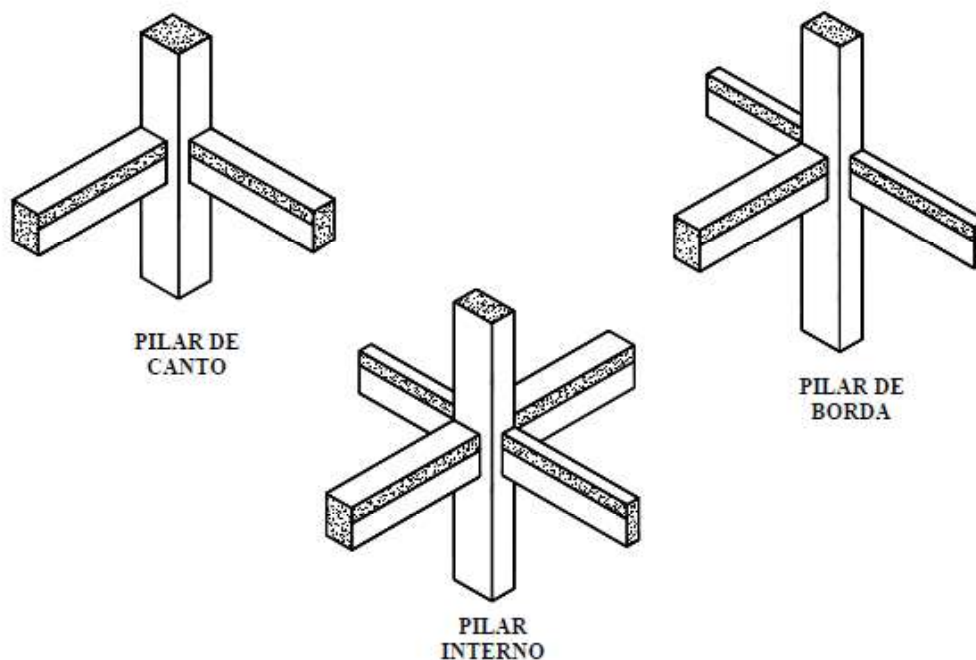
De acordo com Silva (2012), o sistema de lajes nervuradas com vigotas pré-moldadas dispensa a utilização de fôrmas para concretagem da capa e de parte da nervura, uma vez que as vigotas e os elementos de enchimento cumprem essa função. Os elementos pré-fabricados utilizados nesse tipo de laje possibilitam uma redução no tempo de execução em comparação a outros sistemas construtivos, por exemplo, ao sistema com laje maciça.

2.2.1.2 Pilares

Pinheiro (2007), define pilares como: elementos estruturais lineares de eixo reto, normalmente dispostos na vertical, onde as forças normais de compressão são predominantes e cuja a principal função é receber as ações atuantes nos diversos níveis e conduzi-las até as fundações.

Segundo Giongo (2007), os pilares são identificados, segundo as suas posições no desenho de forma do pavimento tipo sendo de canto, submetidos à flexão composta oblíqua, de extremidade ou borda, submetidos, simplificadaamente a flexão normal composta, e intermediário ou interno, submetidos, à compressão centrada. A Figura 9 nos apresenta esses tipos de pilares.

Figura 9 – Tipos de Pilares



Fonte: Pinheiro 2007

Junto com as vigas, os pilares formam os pórticos, que na maior parte dos edifícios são os responsáveis por resistir às ações verticais e horizontais e garantir a estabilidade global da estrutura (PINHEIRO, 2007).

Para Bastos (2019), os pilares são os elementos estruturais mais importantes das estruturas, tanto do ponto de vista da capacidade resistente dos edifícios quanto no aspecto de segurança. Como elementos verticais, são os principais responsáveis na estabilidade global dos edifícios, compondo o sistema de contraventamento juntamente com as vigas e lajes.

2.2.1.3 Vigas

Segundo Engel (2006), vigas são elementos estruturais lineares retos, capazes de resistir a flexão, é um componente que em conjunto com pilares e lajes dão suporte estrutural e promovem a segurança do edifício. Elas são capazes de resistir às forças que atuam na direção de seu eixo e também podem resistir aos esforços seccionais. As vigas são elementos básicos dos sistemas estruturais de seção ativa.

Bastos (2019) diz que as vigas tem a função de vencer vãos e transmitir as cargas para os apoios, geralmente pilares. Os carregamentos aplicados sobre as vigas são originados de diferentes elementos, dentre os quais se podem citar, lajes, pilares e paredes. Que atuam

normalmente perpendiculares ao eixo longitudinal da mesma. Em casos específicos, é possível que se tenha momentos de torção e forças normais na direção do eixo longitudinal.

Por causa de sua capacidade de transferir as cargas lateralmente e ainda manter-se no espaço horizontal, a viga é o elemento estrutural mais usado na construção de edifícios (ENGEL, 2006).

2.2.2 Principais aspectos técnicos e econômicos

Neste tópico serão abordados aspectos técnicos e econômicos de estruturas de concreto armado, onde serão apresentadas vantagens e desvantagens da utilização deste sistema.

Segundo Bastos (2019), o sistema estrutural de concreto armado convencional é o mais utilizado no Brasil. Os componentes do concreto podem ser encontrados em todo o país e uma das principais características do sistema é a sua grande resistência a compressão.

Pinheiro (2007), Clímaco (2008) e Bastos (2019), nos apresentam os principais pontos positivos e negativos do sistema estrutural de concreto armado convencional. Os mesmos estão representados nos próximos subitens.

2.2.2.1 Principais pontos positivos das estruturas de concreto armado

- Apresenta boa resistência à maioria dos tipos de solicitação: É capaz de resistir a altas temperaturas, tem massa e rigidez que minimizam vibrações e oscilações, provocadas pelas ações de utilização e o vento, possui grande resistência a compressão, a mesma aumenta com a idade e é resistente a desgastes mecânicos;
- Adaptabilidade: o concreto no estado fresco pode ser moldado com relativa facilidade, permitindo grande variabilidade de formas e de concepções arquitetônicas;
- Economia nas construções: água e agregados graúdos e miúdos possuem baixo custo e podem ser obtidos nas proximidades da obra. Também possui baixo custo de mão de obra, porque no geral não exige profissionais com alto nível de qualificação;
- Processos construtivos conhecidos e bem difundidos em quase todo o país;
- Facilidade e rapidez de execução: Se forem utilizadas peças pré-moldadas e tecnologias avançadas para a execução de fôrmas e escoramentos;
- Durabilidade: o concreto é durável e protege a armação contra a corrosão, os custos de manutenção das estruturas de concreto são reduzidos, desde que os requisitos das normas técnicas sejam atendidos. Normalmente, os fatores mais importantes são a

resistência do concreto e o correto posicionamento das armaduras, obedecendo os cobrimentos mínimos exigidos.

2.2.2.2 Principais pontos negativos das estruturas de concreto armado

- **Peso próprio elevado:** o concreto apresenta elevada massa específica (2.500 kg/m^3), devido a isso são necessárias estruturas com elevados volumes e consequentemente pesos próprios muito elevados. É possível produzir concretos mais leves para fim estrutural com a substituição da brita comum por agregados leves, com isso, a massa específica pode chegar a valores em torno de 1600 kg/m^3 . Porém, isso resultaria num aumento dos custos e redução da durabilidade;
- **Fôrmas e escoramentos:** na construção da estrutura de concreto (moldado no local), se faz necessário a utilização de fôrmas e escoramentos, isso gera um aumento de custos de materiais e de mão de obra. Além disso, as normas técnicas determinam prazos mínimos para a retirada das fôrmas e dos respectivos escoramentos, portanto, a sua utilização torna a execução da obra mais lenta;
- **Fissuração inerente à baixa resistência à tração:** a resistência do concreto à tração é baixa quando comparada à sua resistência à compressão, cerca de apenas 10 %, o que o sujeita à fissuração. A tendência à fissuração se inicia na moldagem das peças, pela retração do concreto, característica intrínseca à sua composição, e persiste durante toda a vida útil da estrutura, pelas condições ambientais e de utilização, movimentação térmica, etc. A armadura de aço, quando projetada adequadamente, minimiza esse problema.
- **O concreto:** como não é um material inerte e interage com o ambiente, quando exposto, pode sofrer com ações de agentes externos, ocasionando a corrosão da armadura. As condições de agressividade ambiental vão determinar, em cada caso, a espessura da camada de concreto de cobrimento e proteção das armaduras.

2.2.3 Principais Normas Brasileiras para elaboração de projetos de concreto armado.

A NBR 6118 (ABNT, 2014) apresenta as principais diretrizes para os projetos em estruturas de concreto.

Segundo a NBR 6118 (ABNT, 2014), os aços destinados as armaduras das estruturas de concreto armado devem possuir valores característicos de resistência de escoamento: CA-25, CA-50 e CA-60, sendo que os diâmetros e seções transversais nominais devem atender ao que

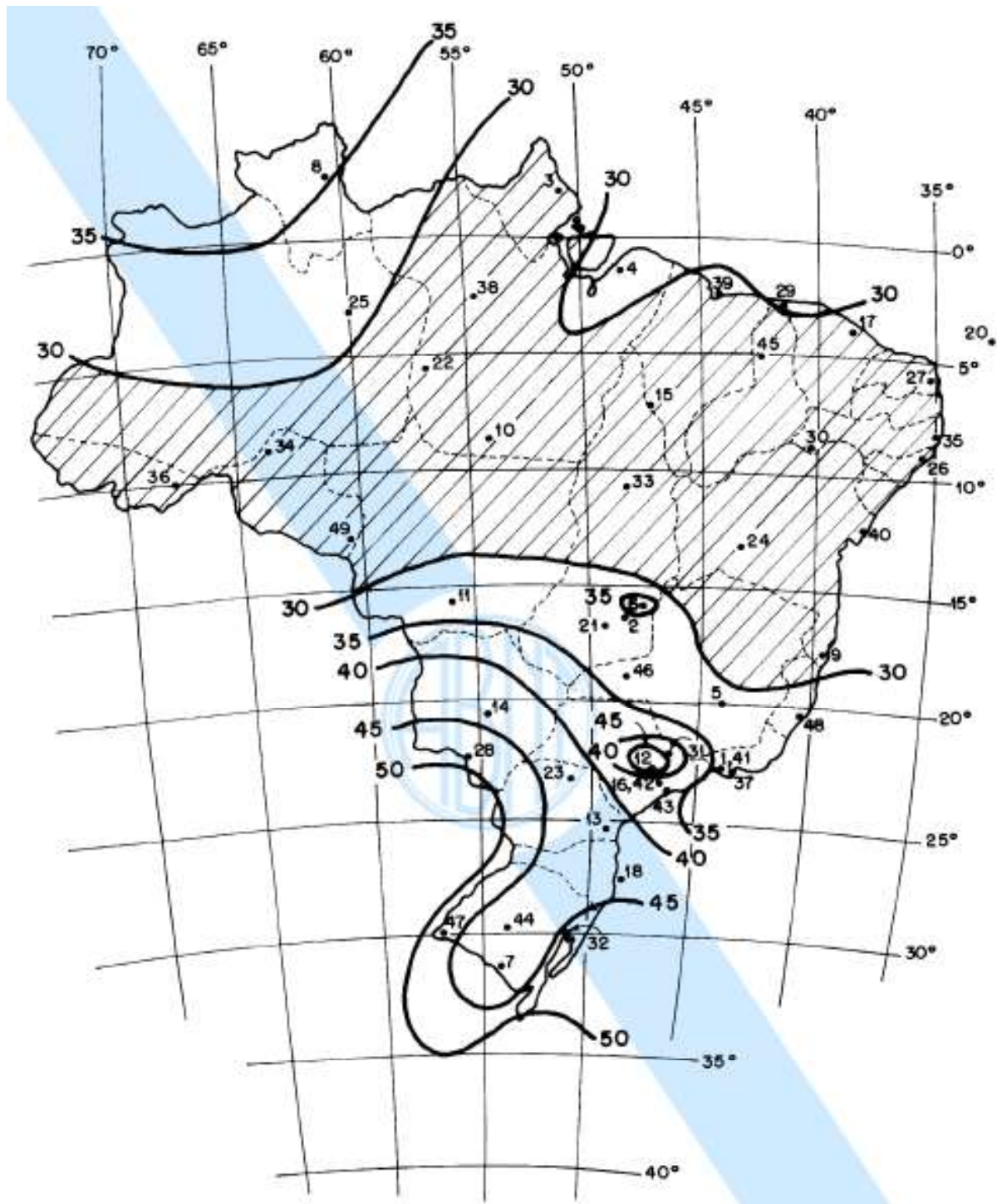
está determinado na NBR 7480 - Aço destinado a armaduras para estruturas de concreto armado - Especificação (ABNT, 2007).

Conforme a NBR 8681 - Ações e segurança nas estruturas - Procedimento (ABNT, 2003), as ações são classificadas como: permanentes, variáveis e excepcionais. As ações excepcionais têm baixa probabilidade de ocorrer, portanto não serão consideradas para este estudo.

De acordo com a NBR 8681 (ABNT, 2003), as ações variáveis, também chamadas de acidentais, são ações com uma grande probabilidade de ocorrência e são obrigatoriamente consideradas no projeto das estruturas de um dado tipo de construção. A NBR 6120 (ABNT, 2019), especifica as principais cargas acidentais utilizadas nos projetos de edifícios residenciais.

As ações horizontais aplicadas sobre a estrutura se originam da carga do vento. A NBR 6123 (ABNT, 1988), determina as condições exigíveis das forças devidas à ação do vento, para o cálculo de edificações. A Figura 10 apresenta as isopletras de velocidade básica.

Figura 10 - Isopletas da velocidade básica.



Fonte: NBR 6123 (1988)

2.2.4 Concepção Estrutural

Pinheiro (2007) define a concepção estrutural, também chamada de lançamento da estrutura, como uma das etapas mais importantes de um projeto estrutural. Esta etapa consiste em determinar os elementos a serem utilizados, definindo suas posições, de uma forma que se

construa um sistema estrutural eficiente, que seja capaz de absorver os esforços das ações atuantes sobre a estruturas e transmiti-los ao solo por meio das fundações.

Giongo (2007) diz que os elementos estruturais devem ser arranjados de tal modo que gerem condições de resistência às ações verticais e horizontais e devem ser posicionados de forma que não provoquem interferências no arranjo arquitetônico e garantam que a capacidade da estrutura quanto à estabilidade global. O autor também faz observações a respeito do posicionamento dos elementos, onde os pilares devem ser posicionados de modo que a distância entre pilares consecutivos não acarrete na necessidade de alturas excessivas das vigas devido aos carregamentos e de modo semelhante, as vigas devem ser posicionadas de modo a evitar grandes vãos efetivos nas lajes.

Segundo Alva (2007), A concepção estrutural deve levar em conta diversos aspectos básicos, dentre os quais se destacam:

- Estética: Deve-se atender as condições estéticas definidas no projeto arquitetônico. Este geralmente requer que se esconda a estrutura dentro das paredes. Portanto, na medida do possível, busca-se embutir pilares e vigas nas alvenarias.
- Economia: Deve-se lançar a estrutura pensando em minimizar os custos. A economia pode vir da observação de vários itens:
 - a. Uniformização da estrutura, gerando fôrmas mais simples e permitindo maior reaproveitamento das fôrmas de madeira, ocasionando uma redução de custos e possibilitando uma maior velocidade de execução;
 - b. Compatibilidade entre vãos, materiais e métodos utilizados;
 - c. Caminhamento o mais uniforme possível das cargas para as fundações.
 - d. Apoios indiretos, de vigas sobre vigas e transições devem ser evitadas ao máximo, pois acarretam um maior consumo de material.
- Funcionalidade: os elementos devem ser posicionados de forma que se tenha um maior aproveitamento da área total da edificação.

Sempre é importante enfatizar que a solução estrutural definida no projeto deve atender aos requisitos de qualidade estabelecidos nas normas técnicas, relativos à capacidade resistente, ao desempenho e à durabilidade da estrutura (BASTOS, 2019).

2.2.5 Pré-Dimensionamento

Segundo Alva (2007), pré-dimensionar uma estrutura é determinar, de forma aproximada, as dimensões das seções transversais dos elementos estruturais que serão utilizados numa

análise preliminar. Após a predefinição das dimensões dos elementos estruturais, verifica-se, por meio de cálculos, se as seções adotadas são apropriadas, caso contrário, devem ser determinadas novas dimensões.

De acordo com Giongo (2007), é conveniente analisar lajes, vigas e pilares separadamente para efeitos de análise econômica. Em relação as lajes, quanto menor for a sua espessura, mais econômica será, porém, as mesmas devem atender as verificações dos estados limites. É possível construir lajes com pequena espessura e que atendam a essas verificações, no entanto, podem causar desconforto acústico e vibrações das mesmas, para edificações é recomendado que se adote lajes com espessuras maiores que 10 centímetros.

Vale ressaltar que a compatibilidade com os demais projetos do edifício é feita nesta fase do projeto, Pinheiro (2007) nos apresenta alguns métodos de cálculos para o pré-dimensionamento de lajes, vigas e pilares:

a. Pré dimensionamento das Lajes:

Para lajes com bordas apoiadas ou engastadas, a altura útil pode ser estimada por meio da seguinte expressão:

$$dest = (2,5 - 0,1n) \cdot li / 100 \quad (1)$$

Onde:

$dest \rightarrow$ altura útil das lajes

$li \leq \{lx \text{ ou } ly\}$

$n \rightarrow$ número de bordas engastadas

$lx \rightarrow$ menor vão

$ly \rightarrow$ maior vão.

A espessura das lajes pode ser obtida com a expressão:

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

onde:

$d \rightarrow$ altura útil da laje

$\emptyset \rightarrow$ diâmetro das barras

$c \rightarrow$ cobrimento nominal da armadura

b. Pré-dimensionamento das vigas:

Num tabuleiro de edifício, não é recomendável utilizar muitos valores diferentes para altura das vigas, de modo a facilitar e otimizar os trabalhos de cimbramento. Usualmente, adotam-se, no máximo, duas alturas diferentes.

Uma estimativa grosseira para a altura das vigas é dada por:

- Vigas internas:

$$h_{est} = l_o / 12 \quad (3)$$

- Vigas externas ou vigas bi apoiadas:

$$h_{est} = l_o / 10 \quad (4)$$

- Vigas em balanço:

$$h_{est} = l_o / 5 \quad (5)$$

onde:

h_{est} é a altura da viga

l_o é o comprimento da viga.

c. Pré-Dimensionamento dos Pilares:

Inicia-se o pré-dimensionamento dos pilares estimando-se sua carga, por exemplo, através do processo das áreas de influência.

Este processo consiste em dividir a área total do pavimento em áreas de influência, relativas a cada pilar e, a partir daí, estimar a carga que eles irão absorver.

A área de influência de cada pilar pode ser obtida dividindo-se as distâncias entre seus eixos em intervalos que variam entre 0,45L e 0,55L, dependendo da posição do pilar na estrutura, conforme o seguinte critério:

- 0,45L: pilar de extremidade e de canto, na direção da sua menor dimensão;
- 0,55L: complementos dos vãos do caso anterior;
- 0,50L: pilar de extremidade e de canto, na direção da sua maior dimensão.

Após avaliar a força nos pilares pelo processo das áreas de influência, é determinado o coeficiente de majoração da força normal (α) que leva em conta as excentricidades da carga, sendo considerados os valores:

$\alpha = 1,3 \rightarrow$ pilares internos ou de extremidade, na direção da maior dimensão;

$\alpha = 1,5 \rightarrow$ pilares de extremidade, na direção da menor dimensão;

$\alpha = 1,8 \rightarrow$ pilares de canto.

A seção abaixo do primeiro andar-tipo é estimada, então, considerando-se compressão simples com carga majorada pelo coeficiente α , utilizando-se a seguinte expressão:

$$Ac = \frac{30\alpha A(n + 0,7)}{fck + 0,01(69,2 - fck)} \quad (6)$$

Onde:

$Ac = b \times h \rightarrow$ área da seção de concreto (cm^2)

$\alpha \rightarrow$ coeficiente que leva em conta as excentricidades da carga

$A \rightarrow$ área de influência do pilar (m^2)

$n \rightarrow$ número de pavimentos – tipo

$(n + 0,7) \rightarrow$ número que considera a cobertura, com carga estimada em 70% da relativa ao pavimento – tipo.

$fck \rightarrow$ resistência característica do concreto (kN/cm^2)

2.3 FUNDAÇÕES

Alva (2007) define fundações como elementos estruturais cuja função é transmitir as ações atuantes na estrutura à camada resistente do solo. As fundações devem apresentar resistência adequada para suportar as tensões geradas pelos esforços solicitantes. Além disso, uma fundação deve transferir e distribuir seguramente as ações da superestrutura ao solo e o mesmo necessita de resistência e rigidez apropriadas para não sofrer ruptura e não apresentar deformações exageradas ou diferenciais.

A NBR 6122 - Projeto e execução de fundações (ABNT, 2019), classifica as fundações em dois tipos, em função da profundidade da cota de apoio.

Fundação Superficial (ou rasa ou direta): Elementos de fundação em que a carga é transmitida ao terreno, predominantemente pelas pressões distribuídas sob a base da fundação, e em que a profundidade de assentamento em relação ao terreno adjacente é inferior a duas vezes a menor dimensão da fundação. Incluem-se neste tipo de fundação as sapatas, os blocos, os radier, as sapatas associadas, as vigas de fundação e as sapatas corridas.

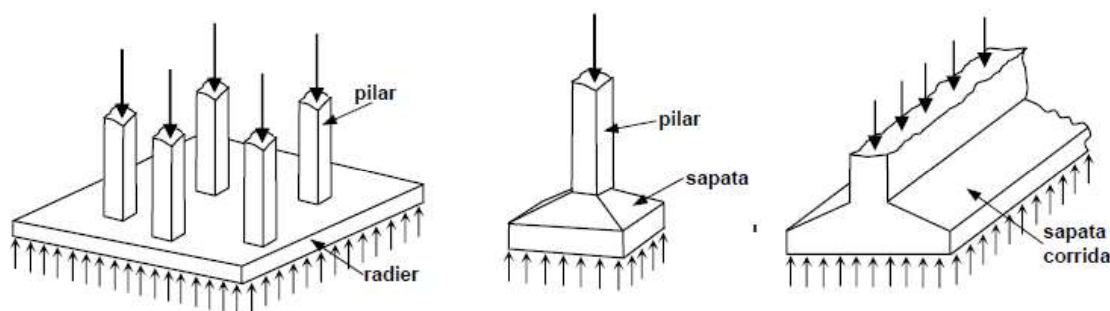
Fundação Profunda: Elemento de fundação que transmite a carga ao terreno pela base (resistência de ponta), por sua superfície lateral (resistência de fuste) ou por

uma combinação das duas, e que está assente em profundidade superior ao dobro de sua menor dimensão em planta, e no mínimo 3 m, salvo justificativa. Neste tipo de fundação incluem-se as estacas, os tubulões e os caixões. (NBR 6122, 2019).

A NBR 6122 (ABNT, 2019) define sapata como um elemento de fundação direta, de concreto armado, que têm a finalidade de resistir as tensões de tração através das armaduras dimensionadas para este fim. Elas podem ser classificadas em isoladas, associadas, corridas, excêntricas, de divisa, etc.

A Figura 11 nos apresenta alguns tipos de fundações superficiais.

Figura 11 – Fundações Superficiais.



Fonte: Alva 2007

Segundo Bastos (2019), as sapatas isoladas transmitem ações de apenas um pilar, as associadas transmitem as ações de carregamento de dois ou mais pilares simultâneos e as sapatas corridas são utilizadas para transmitir as ações de elementos com cargas lineares, como exemplo, paredes e edificações de alvenaria estrutural.

De acordo com Velloso e Lopes (2010), quando a área das sapatas ocupa mais de 50% da área da construção, se torna viável a utilização da fundação do tipo radier, que é um tipo de fundação rasa que se assemelha a lajes de concreto armado. A NBR 6122 (ABNT, 2019) define radier como um elemento de fundação superficial que abrange parte ou todos os pilares de uma estrutura, distribuindo os carregamentos.

2.4 ESTABILIDADE GLOBAL

De acordo com Moncayo (2011), a verificação da estabilidade global é um importante requisito na elaboração de projetos de edifícios de concreto armado, pois tem como objetivo garantir a segurança e estabilidade da estrutura diante o estado limite último de instabilidade, situação que representa a perda da capacidade resistente da estrutura, causada pelo aumento das deformações.

Segundo Giongo (2007), a atuação conjunta das ações verticais e horizontais nos edifícios de concreto armado provocam deslocamentos laterais dos nós da estrutura. Esse efeito denomina-se não-linearidade geométrica e implica um equilíbrio na posição deslocada, o que provoca o aparecimento de esforços solicitantes adicionais (ou de 2ª ordem global) em vigas e pilares.

De acordo com o estado de deformação da estrutura, têm-se dois tipos de efeitos: os de 1ª ordem, onde os esforços são avaliados considerando a geometria sem deformação e os de 2ª ordem, provenientes da configuração deformada da estrutura, onde as forças existentes interagem com os deslocamentos, gerando esforços extras (CARVALHO; PINHEIRO, 2013).

A NBR 6118 (ABNT, 2014) classifica as estruturas como de nós fixos (quando os efeitos de segunda ordem podem ser desprezados) e nós móveis (quando os efeitos de segunda ordem são importantes):

As estruturas são consideradas, para efeito de cálculo, de nós fixos, quando os deslocamentos horizontais dos nós são pequenos e, por decorrência, os efeitos globais de 2ª ordem são desprezíveis (inferiores a 10 % dos respectivos esforços de 1ª ordem). Nessas estruturas, basta considerar os efeitos locais e localizados de 2ª ordem.

As estruturas de nós móveis são aquelas onde os deslocamentos horizontais não são pequenos e, em decorrência, os efeitos globais de 2ª ordem são importantes (superiores a 10 % dos respectivos esforços de 1ª ordem). Nessas estruturas devem ser considerados tanto os esforços de 2ª ordem globais como os locais e localizados. (ABNT, NBR 6118/2014, p. 103).

A análise de estabilidade global da estrutura pode ser realizada a partir dos cálculos dos parâmetros de estabilidade. Geralmente, dois índices aproximados são utilizados para classificar as estruturas de edifícios como sendo de nós fixos ou de nós móveis. Um deles é o parâmetro de instabilidade α e o outro é o coeficiente γ_z . (GIONGO, 2007).

2.4.1 Parâmetro de instabilidade α

O parâmetro α é um meio para avaliar a estabilidade global de estruturas de concreto, porém não é capaz de estimar os efeitos de segunda ordem. Ele foi deduzido em 1967 por Beck e König, baseado na teoria de Euler, e foi definido como parâmetro de instabilidade por Franco em 1985. (MONCAYO, 2011).

A ABNT NBR 6118 (ABNT, 2014) descreve o processo de cálculo para parâmetro de instabilidade α :

Uma estrutura reticulada simétrica pode ser considerada como sendo de nós fixos se seu parâmetro de instabilidade α for menor que o valor α_1 , conforme a expressão:

$$\alpha = H_{tot} \sqrt{\frac{Nk}{(Ecs.Ic)}} \quad (7)$$

Onde:

$$a1 = 0,2 + 0,1n \text{ se: } n \leq 3 \quad (8)$$

$$a1 = 0,6 \text{ se: } n \geq 4 \quad (9)$$

Onde:

n é o número de níveis de barras horizontais (andares) acima da fundação ou de um nível pouco deslocável do subsolo;

H_{tot} é a altura total da estrutura, medida a partir do topo da fundação ou de um nível pouco deslocável do subsolo;

Nk é o somatório de todas as cargas verticais atuantes na estrutura (a partir do nível considerado para o cálculo de H_{tot}), com seu valor característico;

$EcsIc$ representa o somatório dos valores de rigidez de todos os pilares na direção considerada. No caso de estruturas de pórticos, de treliças ou mistas, ou com pilares de rigidez variável ao longo da altura, pode ser considerado o valor da expressão $EcsIc$ de um pilar equivalente de seção constante.

O valor de Ic deve ser calculado considerando as seções brutas dos pilares.

A rigidez do pilar equivalente deve ser determinada da seguinte forma:

- calcular o deslocamento do topo da estrutura de contraventamento, sob a ação do carregamento horizontal na direção considerada;
- calcular a rigidez de um pilar equivalente de seção constante, engastado na base e livre no topo, de mesma altura H_{tot} , tal que, sob a ação do mesmo carregamento, sofra o mesmo deslocamento no topo. (ABNT, NBR 6118/2014, p. 104).

De acordo com a NBR 6118 (2014), o módulo de elasticidade secante pode ser calculado a partir da seguinte equação:

$$Ecs = \alpha i . Eci \quad (10)$$

Sendo:

$$Eci = 5600 \sqrt{fck} \quad (11)$$

$$\alpha_i = 0,8 + 0,2 \cdot \frac{f_{ck}}{80} \leq 1,0 \quad (12)$$

Onde:

E_{ci} é o módulo de elasticidade;

f_{ck} é a resistência característica a compressão do concreto em MPa.

Segundo Moncayo (2011), o parâmetro α não se aplica a estruturas consideravelmente assimétricas, ou que apresentem deslocamentos horizontais apreciáveis sob ação das cargas verticais. O autor também diz que na prática ele é menos utilizado que o coeficiente γ_z , pois com este coeficiente, é possível se avaliar a estabilidade global e estimar os esforços de segunda ordem, obtendo assim os esforços globais finais, o que não é possível com o parâmetro α , pois não é capaz de estimar os efeitos de segunda ordem.

2.4.2 Coeficiente γ_z

O coeficiente γ_z foi criado por Franco e Vasconcelos no ano de 1991. É um parâmetro que avalia, de forma simples e eficiente, a estabilidade global de um edifício com estrutura de concreto armado. Ele nos fornece uma estimativa dos esforços de segunda ordem através da majoração dos esforços de primeira ordem atuantes na estrutura. (MONCAYO, 2011).

Segundo a ABNT NBR 6118 (2014), o coeficiente γ_z de avaliação da importância dos esforços de segunda ordem globais é válido para estruturas reticuladas de no mínimo quatro andares. Ele pode ser calculado pela expressão:

$$\gamma_z = \frac{1}{1 - \frac{\Delta M_{tot,d}}{M_{1,tot,d}}} \quad (13)$$

Onde:

$M_{1,tot,d}$ é o momento de tombamento, ou seja, a soma dos momentos de todas as forças horizontais da combinação considerada, com seus valores de cálculo, em relação à base da estrutura;

$\Delta M_{tot,d}$ é a soma dos produtos de todas as forças verticais atuantes na estrutura, na combinação considerada, com seus valores de cálculo, pelos deslocamentos horizontais de seus respectivos pontos de aplicação, obtidos da análise de 1ª ordem.

Considera-se que a estrutura é de nós fixos se for obedecida a condição $\gamma_z \leq 1,1$.

2.5 SOFTWARES PARA CÁLCULOS ESTRUTURAIS

De acordo com Kimura (2007), O desenvolvimento da tecnologia e da informática têm possibilitado mais rapidez e precisão nas etapas de um projeto de uma edificação. Softwares de cálculos permitem uma economia de tempo em um projeto, desde a etapa de lançamento dos dados, análise estrutural e dimensionamento dos elementos, até o detalhamento e impressão do projeto.

O autor também enfatiza que atualmente, é possível fazer diversas simulações de um mesmo projeto, evitando possíveis erros e otimizando a estrutura, algo que era muito oneroso antigamente, pois os processos eram bastante lentos e exigiam algumas simplificações.

Atualmente podem ser encontrados diversos softwares para cálculos e projetos estruturais no mercado, estes softwares possibilitam avaliar diversas concepções de projetos através de simulações realistas por meio de um computador. Dentre os principais softwares do mercado, destacam-se: CypeCAD, SAP2000, TQS e finalmente o Eberick, que será o software utilizado na elaboração do projeto estrutural do presente trabalho.

2.5.1 Eberick

As informações apresentadas neste tópico foram retiradas do Manual do Eberick (AltoQi, 2021).

O Eberick é um software para projetos estruturais desenvolvido pela AltoQi, uma empresa nacional que desenvolve e comercializa softwares para a engenharia. Possui um poderoso sistema gráfico e permite a análise e o detalhamento de estruturas, atualmente é um dos programas mais utilizados pelos escritórios de engenharia no Brasil.

O software está adequado as normas brasileiras e permite realizar configurações para o processo de análise, propriedades de materiais e durabilidade, ações e combinações, detalhamentos, dimensionamento e cargas de vento. O sistema realiza diversas análises normativas, como exemplo, a verificação dos elementos para o Estado Limite Último e de Serviço (ELU e ELS), de acordo com as normas brasileiras.

O modelo de cálculo padrão do programa é o modelo de pórtico espacial, em que a estrutura é calculada espacialmente, considerando os efeitos horizontais e efetuando as verificações de estabilidade global, considerando ainda uma análise de segunda ordem da estrutura através do processo P-Delta. Para este modelo de cálculo o Eberick utiliza a analogia de grelha para realizar o cálculo das lajes do projeto.

Na etapa de cálculo e dimensionamento do programa, são verificados alguns parâmetros de estabilidade, dentre eles, o Gama-Z, que verifica se a estrutura será considerada de nós fixos ou de nós deslocáveis. Os esforços solicitantes (forças normais, momentos fletores e esforços cortantes), calculados com a estrutura indeformada, produzem esforços de 1ª ordem. Os efeitos de 2ª ordem são aqueles que se somam aos obtidos numa análise de 1ª ordem, em que a estrutura é calculada na configuração geométrica inicial (indeformada), quando a análise do equilíbrio passa a ser efetuada, considerando a configuração deformada.

Uma vez dimensionados os elementos da estrutura, e verificada a estabilidade global da mesma, pode-se gerar, finalmente, os detalhamentos gráficos finais. No Eberick é possível gerar plantas de fôrmas, planta de locação, os detalhamentos da estrutura e cortes do projeto. O programa também permite gerar relatórios, memoriais de cálculo e quantitativos de materiais. Possibilitando ao usuário a realização de uma boa análise de todo o projeto.

2.6 ORÇAMENTO

De acordo com Livramento (2017), o orçamento tem o objetivo de estimar precisamente o custo final de uma obra, pois é um fator de grande importância para as construtoras. Para a realização de um bom orçamento é indispensável o uso de ferramentas e métodos que auxiliem no processo de orçamentação, pois possibilitam uma melhor avaliação, resultando em orçamentos mais precisos.

O Sistema Nacional de Pesquisas de Custos e Índices da Construção Civil (SINAPI) (2020), que é de fundamental importância para elaboração de orçamentos em todo o país, principalmente em relação a obras públicas, define orçamento como a identificação, descrição, quantificação, análise e valoração de mão de obra, equipamentos, materiais, custos financeiros, custos administrativos, impostos, riscos e margem de lucro desejada para adequada previsão do preço final de um empreendimento.

O SINAPI é um sistema de pesquisa que contém referências de preços em insumos e custos em composições estabelecidas pelo Governo Federal e desenvolvidas e mantidas pela Caixa e pelo IBGE. São pesquisas que apresentam mensalmente custos de serviços, materiais e de equipamentos de construção em todos os estados Brasileiros.

Atualmente o SINAPI é uma das principais referências de custos para obras urbanas no Brasil. De acordo com o SINAPI (2020), o sistema fornece tabelas de composições de custos que permitem pesquisar, importar ou até mesmo manipular preços, códigos, composições e insumos de diferentes serviços da construção civil. Para cada estado são fornecidos

mensalmente relatórios de insumos e composições que permitem elaborar orçamentos detalhados e precisos em todas as regiões do país.

2.6.1 Estimativa de Custos

Segundo González (2008), o orçamento detalhado de uma obra é a relação dos serviços a serem executados, com as respectivas quantidades e com seus preços. São realizados a partir de uma composição por meio de listagem dos serviços necessários para a execução de uma obra ou de um serviço específico. Dessa forma, ele só pode ser elaborado após a conclusão do projeto, a partir das discriminações técnicas, memoriais, projetos gráficos e detalhamentos.

González (2008) diz também que as medições dos itens que se referem a cada serviço a ser executado devem assumir os critérios estabelecidos pelas fontes orçamentárias de preços existentes, onde os preços unitários das composições e insumos são obtidos em publicações de revistas, sites especializados e através de softwares de orçamento de obras.

2.7 ESTUDOS SEMELHANTES

Estudos como este são de fundamental importância para a engenharia e construção civil no país, pois possibilitam uma análise dos dois sistemas estruturais envolvidos, por meio de comparações de custos e apresentação das principais diferenças dos métodos construtivos analisados.

Dellatorre (2014), comparou os custos de um edifício de oito andares e área construída de 4.274,7m² executado em alvenaria estrutural com uma edificação equivalente projetada no sistema de concreto armado no município de Alegrete-RS. Em seu trabalho, o autor concluiu que a edificação executada em alvenaria estrutural apresentou uma economia de custos de 36,37% em relação a mesma edificação projetada em concreto armado.

Outro estudo semelhante foi feito por Klein (2015), onde o autor realizou um estudo de caso comparando os custos dos sistemas construtivos de alvenaria estrutural e concreto armado para uma edificação de até 12 pavimentos na cidade de Passo Fundo-RS, para o seu estudo o autor considerou uma edificação com 291,50m² por pavimento mais um pavimento de reservatórios com área igual a 34,80m². O autor concluiu que a edificação executada em alvenaria estrutural apresentou uma economia média de 19,11% em relação a edificação executada em concreto armado.

O presente trabalho se justifica na necessidade de realizar um estudo mais aprofundado sobre os sistemas estruturais analisados. A partir da revisão literária, é possível perceber que os

sistemas construtivos de alvenaria estrutural e de concreto armado convencional possuem características distintas entre si e que, apesar das diferenças, ambos cumprem bem a função estrutural exigida e são utilizados no Brasil.

3. MATERIAL E MÉTODOS

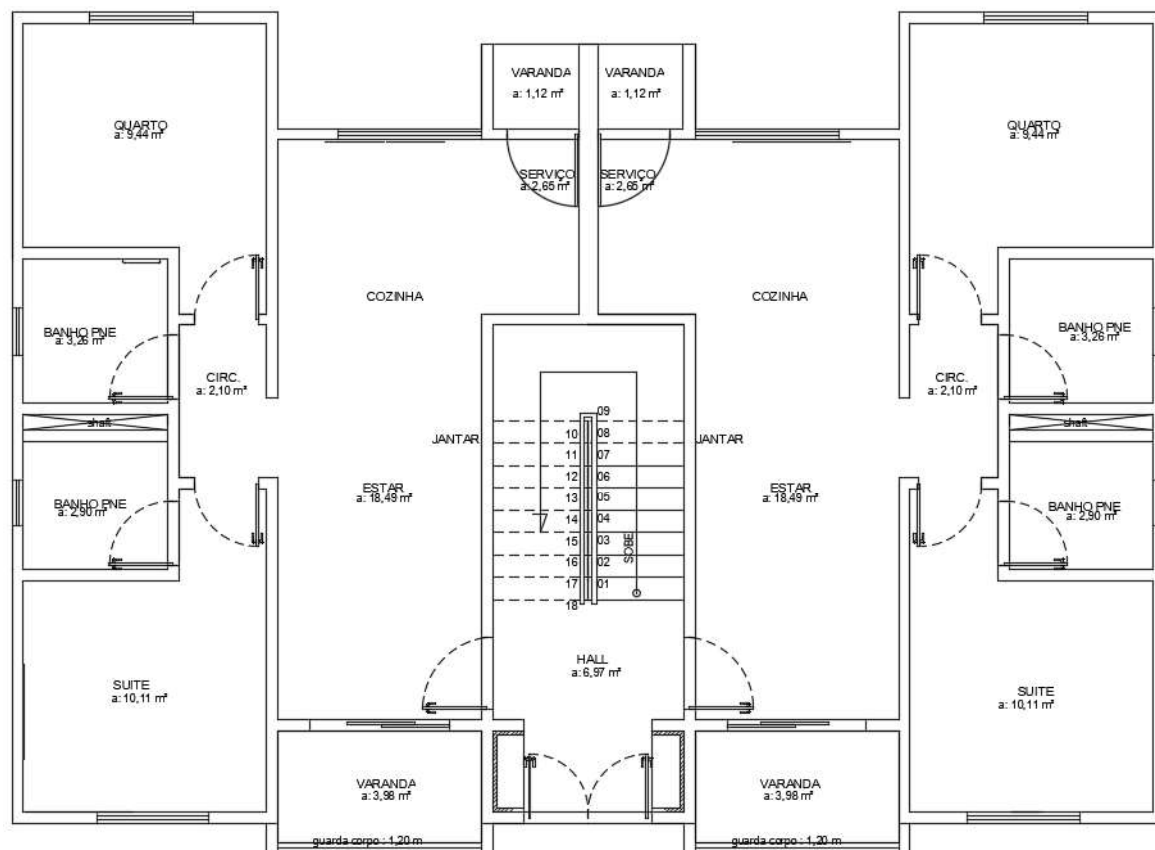
3.1 DESCRIÇÃO GERAL DA EDIFICAÇÃO ESTUDADA

O ponto de referência para o desenvolvimento do presente trabalho foi uma edificação existente na cidade de Barreiras - Bahia, na qual se utilizou o sistema construtivo de alvenaria estrutural com blocos vazados de concreto.

A edificação faz parte de um condomínio residencial e possui uma área construída de 578,38m², é composta por 4 pavimentos, sendo eles, 3 pavimentos tipo e o pavimento térreo. A fundação é do tipo radier e possui lajes de concreto armado que se apoiam diretamente sobre as paredes de alvenaria estrutural, as quais são fixadas por meio de cintas de amarração. Cada pavimento é composto de dois apartamentos e cada apartamento é composto de quarto, suíte, sala de estar, sala de jantar, cozinha, área de serviço, banheiro e varanda.

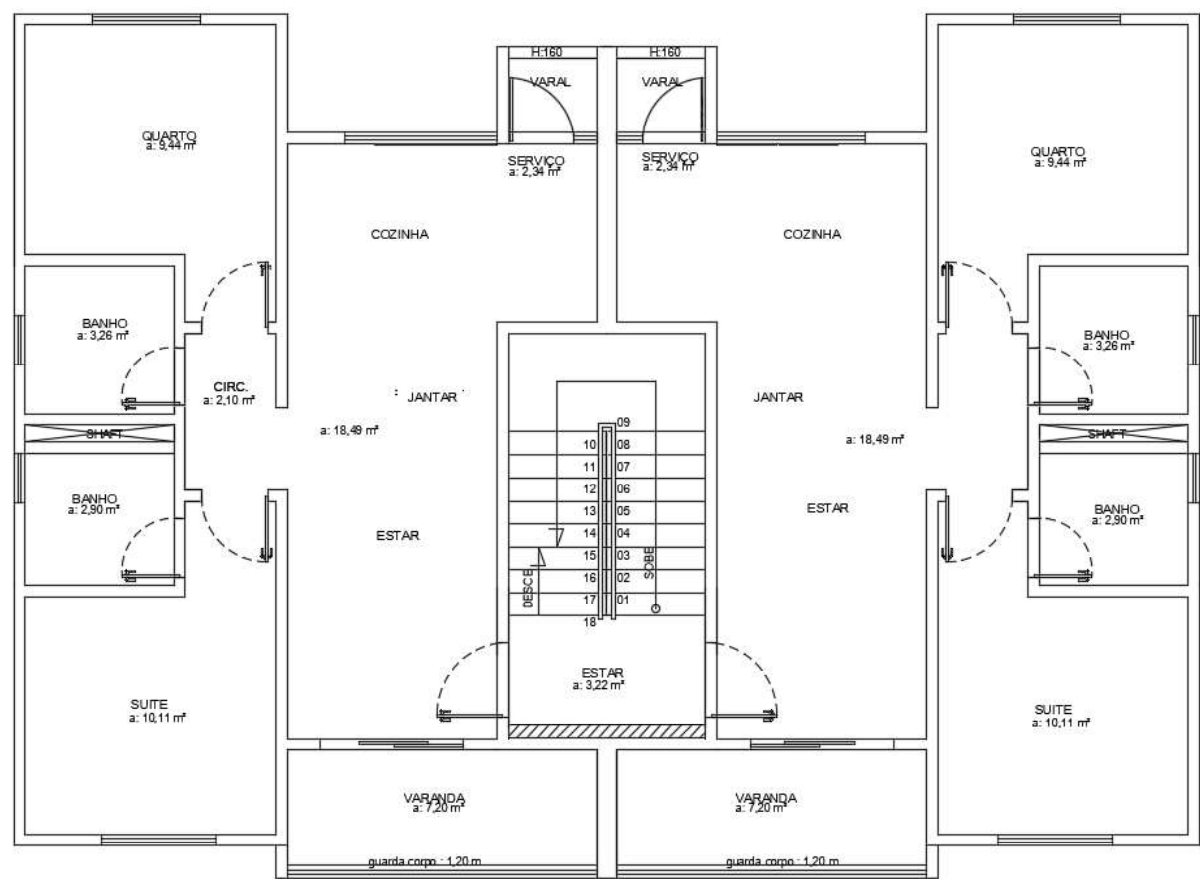
A planta baixa do Pavimento Térreo é apresentada na Figura 12. Na Figura 13 é apresentada a planta baixa dos pavimentos tipo e na Figura 14 a fachada frontal do edifício. Será utilizado o termo Construtora (2020) para preservar o anonimato da empresa autora dos projetos.

Figura 12 – Planta Baixa do Pavimento Térreo.



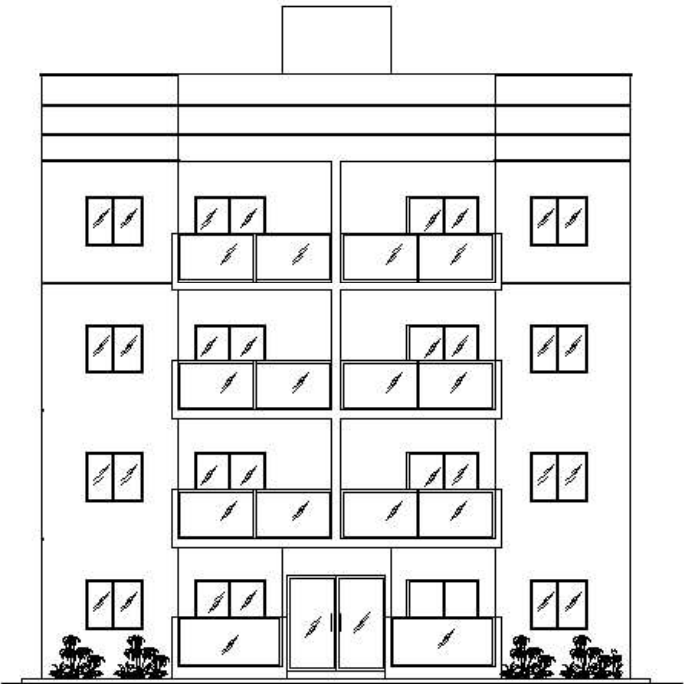
Fonte: Construtora (2020)

Figura 13 – Planta Baixa do Pavimento Tipo.



Fonte: Construtora (2020)

Figura 14 – Fachada Frontal do Edifício.



Fonte: Construtora (2020)

3.2 PROJETO ESTRUTURAL EM ALVENARIA ESTRUTURAL

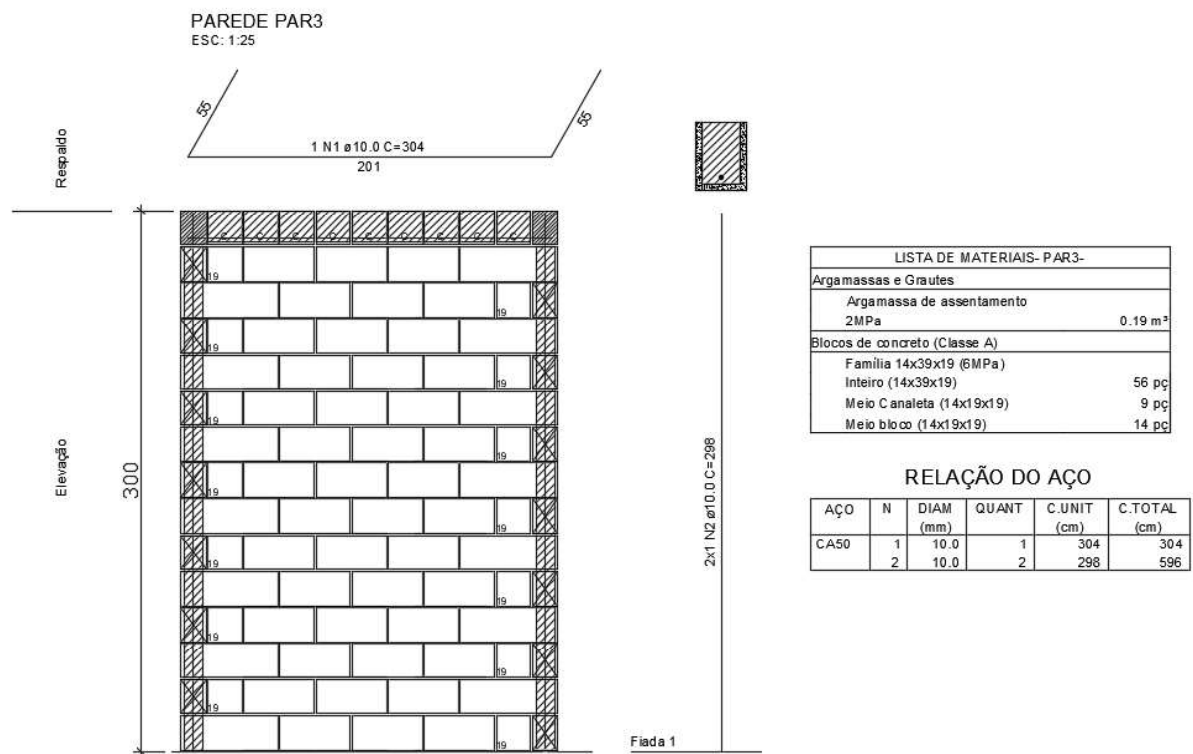
A obra em estudo foi executada pelo sistema construtivo de alvenaria estrutural. O projeto estrutural foi elaborado respeitando as diretrizes do projeto arquitetônico. Cada pavimento possui 3,00 metros de pé direito e a edificação também conta com um pavimento de cobertura, composta por estrutura metálica e telhas de fibrocimento com inclinação de 15 %. O telhado fica escondido no interior das platibandas de 2 metros de altura, construídas com alvenaria estrutural. Foram utilizados blocos vazados de concreto estrutural de unidade modular 20 com resistência característica a compressão de 6 MPa em todos os pavimentos. A fundação é do tipo radier, construída em concreto armado e possui 18 cm de espessura, o edifício também conta com lajes maciças em concreto armado C25, sendo que cada laje possui 12 cm de espessura.

O pavimento térreo do edifício tem em sua modulação 20 tipos de paredes, compostas por 15 fiadas de blocos de concreto, ligados por argamassa de assentamento com resistência característica a compressão de 2 MPa, barras de aço CA50 também compõem o projeto estrutural e tem a função de aumentar a resistência da estrutura, principalmente em relação aos esforços de tração.

O pavimento tipo do edifício tem em sua modulação 17 tipos de paredes, compostas por 15 fiadas de blocos de concreto, ligados por argamassa de assentamento, barras de aço CA-50 também compõem o projeto estrutural, devido a uma arquitetura diferente do pavimento térreo, este possui uma modulação diferente, planejada exclusivamente para esses pavimentos, visando sempre um aumento de produtividade na obra. A Figura 15 apresenta a planta de modulação da primeira fiada do pavimento tipo, a Figura 16 apresenta a modulação da parede PAR 3 e a tabela 1 apresenta as principais características das paredes moduladas do pavimento tipo da edificação.

45

Figura 16 – Modulação da Parede 3.



Fonte: Construtora (2020)

Tabela 1 – Características das Paredes Moduladas do Pavimento Tipo

Nome	Altura (m)	Comprimento (m)	Área (m²)	Aço Ø 10 mm (m)	Argamassa (m³)
PAR 1	3,00	3,29	9,87	18,78	0,33
PAR 2	3,00	4,08	12,24	20,84	0,41
PAR 3	3,00	2,09	6,27	9,00	0,19
PAR 4	3,00	1,34	4,02	8,35	0,14
PAR 5	3,00	1,34	4,02	8,25	0,20
PAR 6	3,00	2,09	6,27	9,00	0,24
PAR 7	3,00	1,34	4,02	9,55	0,15
PAR 8	3,00	2,09	6,27	9,00	0,17
PAR 11	3,00	3,29	9,87	19,88	0,50
PAR 13	3,00	10,24	30,72	21,15	0,94
PAR 14	3,00	4,24	12,72	11,17	0,64
PAR 15	3,00	4,44	13,32	5,39	0,36
PAR 16	3,00	4,89	14,67	8,30	0,49
PAR 18	3,00	1,28	3,84	4,73	0,16
PAR 19	3,00	3,62	10,86	7,05	0,31
PAR 20	3,00	10,24	30,72	11,19	0,94
PAR 21	3,00	5,21	15,63	13,91	0,54
PAR 22	3,00	4,08	12,24	18,68	0,35
PAR 23	3,00	1,79	5,37	8,80	0,54

Fonte: Autor (2021)

Em sua estrutura de cobertura, a platibanda e o abrigo das caixas d'águas, também foram construídos com alvenaria estrutural, sendo que a platibanda apresenta 11 tipos de paredes em sua modulação e o abrigo das caixas d'água apresenta 2. Em relação a elevação, a platibanda apresenta paredes com elevação de até 2 metros, chegando a 10 fiadas de blocos de concreto estrutural e o abrigo das caixas d'águas que tem sua estrutura fixada sobre paredes da platibanda com 1,60 metros de altura, também possuem elevação de 2 metros de altura, com 10 fiadas de blocos de concreto.

3.3 PROJETO ESTRUTURAL EM CONCRETO ARMADO

3.3.1 Critérios do Projeto

Com o intuito de garantir as diretrizes de durabilidade especificadas na NBR 6118 (ABNT, 2014), foi realizada a classificação da edificação quanto a classe de agressividade ambiental de acordo o capítulo 6 da norma. A edificação está localizada numa zona urbana, onde apresenta uma classe de agressividade ambiental II (agressividade moderada) e o risco de deterioração da estrutura é pequeno.

Para a classe de agressividade II, a norma estabelece que o concreto utilizado no projeto deve ter no mínimo a classe de resistência C25, portanto para o presente projeto serão utilizados concretos de classe C25 ou superior e os cobrimento nominais utilizados são apresentados na tabela 2.

Tabela 2 - Cobrimento nominal correspondente à classe de agressividade II.

Componente ou elemento	Cobrimento nominal (mm)
Laje	25
Viga/Pilar	30
Elementos estruturais em contato com o solo	45

Fonte: NBR 6118 (2014)

Para a elaboração dos projetos estruturais em concreto armado serão utilizados aços com resistência de escoamento características CA-50 e CA-60 e com diâmetros variando entre 5,0 e 20,0 milímetros.

3.3.2 Ações Verticais

Nas ações permanentes são considerados o peso próprio da estrutura e dos demais elementos construtivos, o peso dos equipamentos fixos, dentre outros. A NBR 6120 (ABNT, 2019), determina o peso específico dos principais elementos construtivos, para o desenvolvimento do projeto, serão utilizados os valores abaixo:

- Argamassa de cimento e areia: 21 KN/m³;
- Concreto armado: 25 KN/m³;
- Tijolo cerâmico furado: 13 KN/m³;

As ações variáveis, também chamadas de acidentais, consideradas para o projeto também foram obtidas a partir da NBR 6120 (ABNT, 2019):

- Cobertura: 1,0 KN/m²
- Dormitórios, sala, copa, cozinha e banheiro: 1,5 KN/m²;
- Despensa, lavanderia e área de serviço: 2,0 KN/m²;
- Escadas sem acesso ao público: 2,0 KN/m².

3.3.3 Ações Horizontais

As ações horizontais aplicadas sobre a estrutura se originam da carga do vento. Seguindo as exigências da NBR 6123 (ABNT, 1998), foram definidos os principais parâmetros para o cálculo das cargas do vento no local de estudo.

- Velocidade básica do vento: igual a 30 m/s, pois a construção está localizada no município de Barreiras – Bahia e analisando a Figura 10, foi determinada essa velocidade;
- Fator topográfico S1: igual a 1,0, pois a edificação está localizada num terreno plano ou pouco acidentado;
- Fator de rugosidade S2: A categoria em que ele se enquadra é a III (terrenos planos ou ondulados com obstáculos, tais como sebes e muros, poucos quebra-ventos de árvores, edificações baixas e esparsas.) O edifício apresenta maior dimensão horizontal ou vertical inferior a 20 metros;
- Fator estatístico S3: igual a 1,0, pois é uma edificação do tipo residencial.

3.3.4 Concepção Estrutural

A concepção estrutural descrita se baseou nas literaturas de Alva (2007) e Pinheiro (2007), com algumas adaptações realizadas pelo autor.

A concepção iniciou pela estruturação do pavimento tipo, sendo que os elementos estruturais foram posicionados e reposicionados com o intuito de atender as condições impostas pela arquitetura em todos os pavimentos.

1. O primeiro passo para a concepção estrutural foi a locação dos pilares, que se deu início com o posicionamento dos pilares nos cantos da edificação, seguindo para o posicionamento na área da escada e no contorno do pavimento de reservatório, e por último, os pilares foram posicionados nos pontos de possíveis encontros de vigas.
2. As vigas foram lançadas inicialmente entre os pilares ao redor de toda a estrutura, formando pórticos, outras considerações feitas em relação ao lançamento das vigas, foi a delimitação dos painéis das lajes e o posicionamento das mesmas sobre as paredes da estrutura, buscando escondê-las.
3. As lajes foram posicionadas segundo o arranjo das vigas, com exceção do vão da escada e da laje da varanda, onde se optou por utilizar uma laje em balanço, afim de atender o projeto arquitetônico.

Com todos os elementos estruturais posicionados, foi realizado um pré-dimensionamento dos elementos estruturais, que se iniciou pelas lajes, respeitando as condições impostas pela NBR 6118 (ABNT, 2014). Foram utilizadas lajes com a mesma espessura em cada pavimento do projeto, visando a economia de fôrmas, tempo de serviço e conforto dos moradores, através dos cálculos de pré-dimensionamento apresentados no tópico 2.2.5, foi definida a espessura de 12 cm para as lajes dos pavimentos tipos, 10 cm para as lajes de cobertura e dos reservatórios.

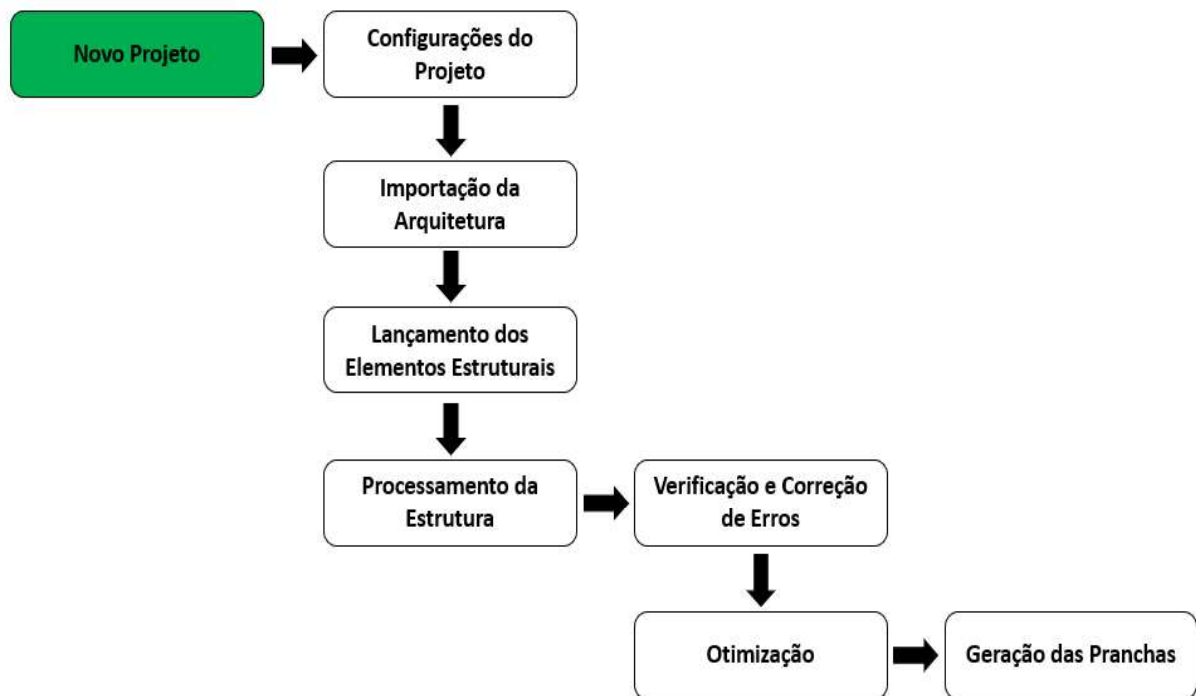
O pré-dimensionamento das vigas foi realizado atendendo as dimensões mínimas da norma (12 cm para vigas). A altura foi calculada a partir dos métodos de pré-dimensionamento apresentados no tópico 2.2.5 do presente trabalho, as vigas foram pré-dimensionadas com 40 cm de altura, que foi a maior altura encontrada nos cálculos e com larguras de 12 e 20 cm, com o intuito de se adaptar a espessura das paredes.

Os pilares foram pré-dimensionados respeitando as dimensões mínimas da norma, onde a área mínima permitida é 360 cm², e é aceitável utilizar dimensões mínimas de até 14 cm, desde que sejam feitas as devidas majorações. Inicialmente foram determinadas duas seções diferentes para os pilares da edificação, 14x30cm e 16x40cm, as seções foram distribuídas de acordo com os esforços aplicados em cada pilar.

3.3.5 Lançamento Estrutural no software Eberick

O lançamento estrutural seguiu a estrutura do fluxograma apresentado na Figura 17.

Figura 17 – Fluxograma do Lançamento Estrutural



Fonte: Autor (2021)

1. O primeiro passo realizado no projeto estrutural foi a criação dos pavimentos, com suas respectivas alturas e níveis (conforme Figura 18 - Criação dos Pavimentos);

Figura 18 - Criação dos Pavimentos

A captura de tela mostra a janela 'Propriedades da edificação' com a aba 'Pavimentos' selecionada. A tabela abaixo apresenta os dados dos pavimentos:

Pavimento	Altura (m)	Nível (m)
Cobertura - Reservatório	2.00	16.25
Reservatório 1	1.65	14.25
Cobertura	3.15	12.60
Tipo 3	3.15	9.45
Tipo 2	3.15	6.30
Tipo 1	3.15	3.15
Térreo	3.15	0.00

Na parte inferior da janela, há um campo 'Nível do solo (m):' com o valor '1.00' e um botão 'Localização...'. Os botões 'Fechar' e 'Ajuda' estão na barra de rodapé.

Fonte: Autor (2021)

2. Após isso foram feitas as configurações do projeto segundo as normas vigentes. Na aba “Materiais e Durabilidades”, foram configurados: o grau de agressividade do ambiente, as dimensões do agregado, a classe do concreto, os cobrimentos adotados e as bitolas que foram usadas para o detalhamento. A Figura 19 apresenta as configurações de materiais, a Figura 20 apresenta as bitolas de aço determinadas para o projeto e a Figura 21 apresenta as configurações da classe do concreto utilizado.

Figura 19 – Configuração de Materiais e durabilidade

Materiais e durabilidade

Aplicação
☒ Projeto inteiro
☐ Por pavimento

Pavimento
 Pavimento
 Pavimento
 Pavimento
 Pavimento
 Pavimento
 Pavimento

Avisos
 Todas as informações estão definidas corretamente
 Detalhes...

Geral
 Classe de agressividade: II (moderada)
 Dimensão do agregado: 19 mm
☐ Controle rigoroso nas dimensões dos elementos
☐ Considerar redução no cobrimento para peças com fck acima do requerido para a classe de agressividade

Abertura máxima das fissuras
 Contato com o solo: 0.2 mm
 Contato com a água: 0.1 mm
 Demais peças: 0.3 mm
 Combinações: Frequentes

Elementos

	Concreto	Cobrimento (peças externas)	Cobrimento (peças internas)	Cobrimento (contato com o solo)	Bitolas...
Vigas	C-25	3 cm	3 cm	3 cm	Bitolas...
Pilares	C-25	3 cm	3 cm	4.5 cm	Bitolas...
Lajes	C-25	2.5 cm		3 cm	Bitolas...
Reservatórios	C-25	3 cm			Bitolas...
Blocos	C-25			4.5 cm	Bitolas...
Sapatas	C-25			4.5 cm	Bitolas...
Radier	C-25			3 cm	Bitolas...

Fluência... Barras... Classes... OK Cancelar Ajuda

Fonte: Autor (2021)

Figura 20 – Bitolas das armaduras

Bitolas dos Pilares

Longitudinais	Transversais
☐ 8.0	☐ 3.2
☒ 10.0	☒ 3.4
☒ 12.5	☒ 4.0
☒ 16.0	☐ 4.2
☐ 20.0	☐ 4.6
☐ 22.2	☒ 5.0
☐ 25.0	☐ 6.0
☐ 32.0	☒ 6.3
☐ 40.0	☐ 7.0

OK Cancelar Ajuda

Bitolas das Vigas

Longitudinais	Transversais
☐ 6.3	☐ 3.2
☒ 8.0	☒ 3.4
☒ 10.0	☒ 4.0
☒ 12.5	☒ 4.2
☒ 16.0	☐ 4.6
☒ 20.0	☒ 5.0
☐ 22.2	☐ 6.0
☐ 25.0	☒ 6.3
☐ 32.0	☐ 7.0

OK Cancelar Ajuda

Bitolas das Lajes

Longitudinais	Transversais
☐ 3.2	☒ 3.2
☐ 3.4	☒ 3.4
☒ 4.0	☒ 4.0
☒ 4.2	☒ 4.2
☒ 4.6	☐ 4.6
☒ 5.0	☒ 5.0
☐ 6.0	☐ 6.0
☒ 6.3	☒ 6.3
☐ 7.0	☐ 7.0

OK Cancelar Ajuda

Fonte: Autor (2021)

Figura 21 – Configurações da classe do concreto

Classes de concreto

Classes de resistência

- C-20
- C-25**
- C-30
- C-35
- C-40
- C-45
- C-50

Identificação: C-25

Resistência à compressão

Resistência característica (fck): 250 kgf/cm²

Coefficiente de minoração (γ_c): 1.4

Resistência de cálculo (fcd): 178.57 kgf/cm²

Peso específico: 2500 kgf/m³

Abatimento (slump): 5 cm

Coefficiente de dilatação térmica: 0.00001 /°C

Tipo de agregado: granito

Módulo de elasticidade

☒ Obter a partir do fck

Módulo secante (Ecs): 241500 kgf/cm²

Módulo inicial (Eci): 280000 kgf/cm²

Resistência à tração

☒ Obter a partir do fck

Resistência média (fctm): 25.65 kgf/cm²

Característica inferior (fctk,inf): 17.95 kgf/cm²

Característica superior (fctk,sup): 33.34 kgf/cm²

Resistência de cálculo (fctd): 12.82 kgf/cm²

OK Cancelar Ajuda

Fonte: Autor (2021)

Na aba “Vento” foi definido a força do vento atuante na estrutura, os parâmetros adotados foram definidos no item 3.3.3 deste trabalho e podem ser visualizados na Figura 22.

Figura 22 - Configuração de Vento

Vento

Velocidade: 30 m/s Mapa...

Aplicação do Vento

Ângulo: 0°

Casos: 4

Forças médias...

Topografia

☐ Encostas e cristas de morros em que ocorre aceleração do vento. Vales com efeito de afunilamento (S1 = 1.1)

☐ Vales profundos, protegidos de todos os ventos (S1 = 0.9)

☒ Demais casos (S1 = 1.0)

Edificação

Maior dimensão horizontal ou vertical: Menor que 20 m

Rugosidade do terreno: Categoria II

Fator Estatístico S3

☐ Edificações cuja ruína total ou parcial pode afetar a segurança ou possibilidade de socorro a pessoas após uma tempestade destrutiva (hospitais, quartéis de bombeiros e de forças de segurança, centrais de comunicações, etc.): 1.10

☒ Edificações para hotéis e residências. Edificações para comércio e indústria com alto fator de ocupação: 1.00

☐ Edificações e instalações industriais com baixo fator de ocupação (depósitos, silos, construções rurais, etc.): 0.95

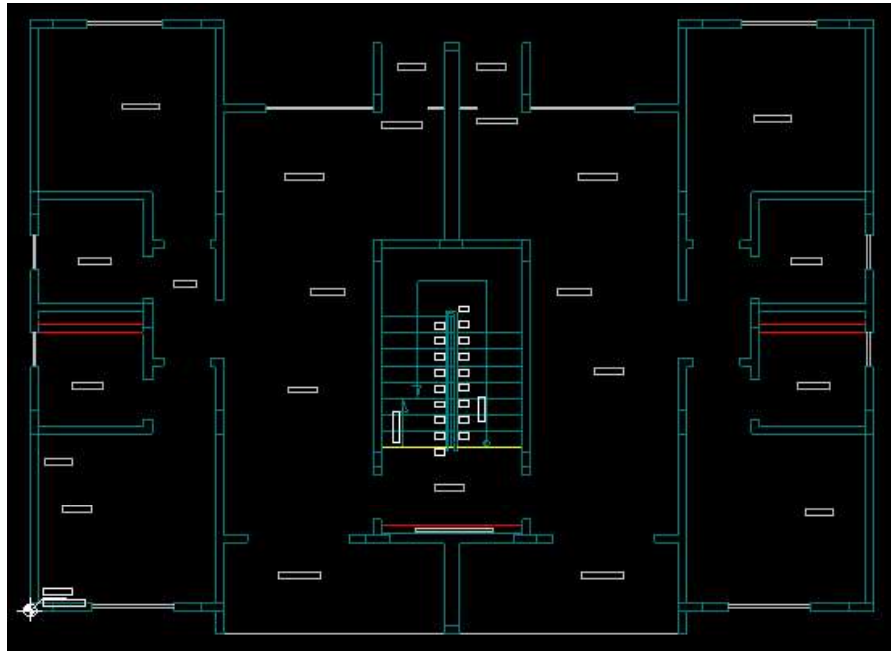
OK Cancelar Ajuda

Fonte: Autor (2021)

- Após a conclusão das configurações do projeto foi realizada a importação da arquitetura e conseqüentemente a conversão da escala e o posicionamento da origem

na parte inferior esquerda da planta, como pode ser visualizado na Figura 23. Estas etapas são importantes para o alinhamento do projeto;

Figura 23 - Planta Baixa Arquitetônica



Fonte: Autor (2021)

4. Em seguida foi realizado o lançamento dos elementos estruturais, os primeiros elementos lançados foram os Pilares, a estrutura possui 22 pilares que inicialmente foram lançados com as dimensões de 14x30 cm, como observado na Figura 23, e 16x40 cm, com o intuito de atender aos esforços solicitados e não causar impactos a arquitetura da edificação;

Figura 24 - Lançamento de Pilares

Pilar

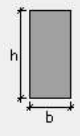
Dados do pilar
Nome: P1 Ambiente: Externo

Modelo
Vínculo: Engastado Verticalidade: Automático

Seção
Tipo: retangular
b: 14 cm h: 30 cm
b1: 0 cm h1: 0 cm
Ângulo de abertura: 90 °
Ângulo de rotação: 90 °
Elevação: 0 cm

Capitel
☐ Usar capitel
Ângulo de rotação: 0 ° b: 100 cm
Espessura: 30 cm h: 100 cm

OK Cancelar Desenho... Ajuda



Fonte: Autor (2021)

5. Lançamento das Vigas (Figura 25): as vigas também foram lançadas com dimensões que atendam ao projeto arquitetônico, o pavimento térreo possui 36 vigas baldrame, cada pavimento tipo e o pavimento cobertura possuem 24 vigas e os pavimentos de reservatório possuem 4 vigas cada;

Figura 25 - Lançamento de Vigas

Viga

Dados da viga
Nome: V1 Ambiente: Externo Modelo...

Seção do trecho
Tipo: retangular
bw: 12 cm h: 40 cm
bf: 0 cm hf: 0 cm
☐ Obter elevação para viga invertida
Elevação: 0 cm

Cargas
Parede: 0.00 kN/m Lançar... Remover
Carga extra: 0 kN/m Editar... Remover
Temperatura e retração: 0 °C Editar... Remover

OK Cancelar Desenho... Ajuda



Fonte: Autor (2021)

6. Lançamento das Lajes (Figura 26): foram lançadas lajes do tipo maciça com dimensões iguais as determinadas no pré-dimensionamento. As cargas aplicadas sobre elas variaram segundo as cargas previstas pela norma, apresentadas no tópico 3.3.2. A estrutura possui o total de 47 lajes, sendo que os pavimentos tipos possuem 11 lajes cada, a cobertura possui 12 lajes e o pavimento de reservatórios possui 2 lajes;

Figura 26 – Lançamento de Lajes

Fonte: Autor (2021)

7. Após o lançamento dos elementos estruturais, foram lançadas as cargas de paredes sobre a estrutura, conforme a Figura 27, onde as mesmas foram lançadas sobre vigas e diretamente em algumas lajes;

Figura 27 - Lançamento da carga de parede

Fonte: Autor (2021)

8. Após o lançamento das estruturas nos pavimentos Térreo e Tipo 1, foram lançadas as escadas, sendo que o lançamento é feito em etapas, com o lançamento do patamar num nível intermediário entre os pavimentos e os lançamentos dos lances da escada na estrutura, conforme (Figura 28).

Figura 28 – Lançamento do Patamar e do Lance da escada

Fonte: Autor (2021)

9. Após o lançamento da estrutura em todos os pavimentos, foi realizado o processamento da estrutura, que tem como objetivo, realizar uma análise geral da mesma, assim como a determinação dos esforços e dimensionamento inicial dos elementos. A Figura 29 apresenta a interface do menu de análise da estrutura:

Figura 29 - Análise da estrutura

Análise da estrutura

Estado-limite último (ELU)

☒ Análise estática linear

☐ Verificação das etapas construtivas

☒ Dimensionamento dos elementos

☒ Dimensionar todos os elementos

☐ Dimensionar elementos selecionados

Estado-limite de deformações excessivas (ELS-DEF)

☒ Determinação dos deslocamentos do pórtico

☐ Adotar rigidez configurada

☒ Calcular rigidez fissurada

☒ Determinação dos deslocamentos das lajes

☐ Adotar rigidez configurada

☒ Calcular rigidez fissurada

Estado-limite de vibrações excessivas (ELS-VE)

☐ Análise dinâmica do pórtico

☐ Análise dinâmica das lajes

☒ Verificar todos os pavimentos

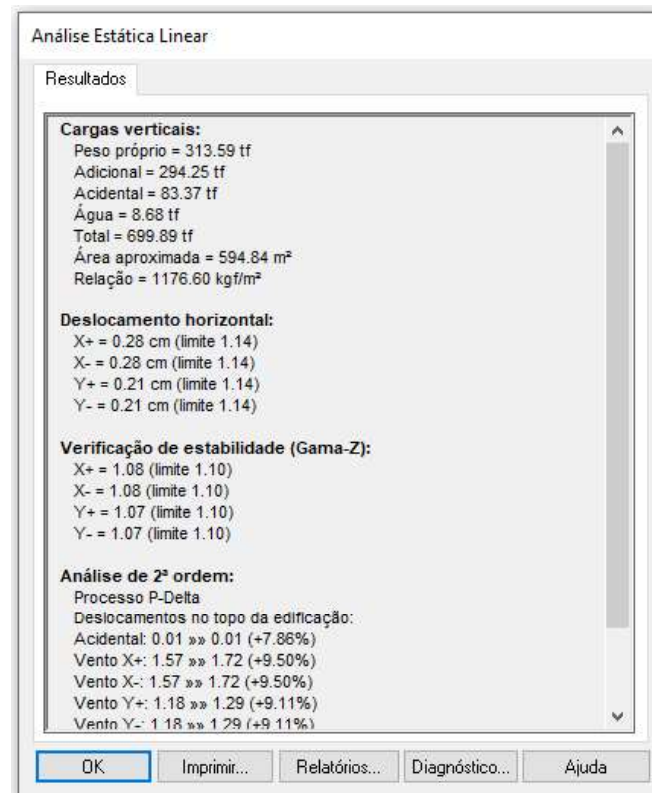
☐ Verificar pavimentos selecionados

OK Cancelar **Configurar...** Ajuda

Fonte: Autor (2021)

Na Figura 30 podem ser observados os resultados da análise estática linear realizada pelo software durante o processamento da estrutura, nesta etapa foram realizadas as verificações dos limites de deslocamentos horizontais e do parâmetro de estabilidade Gama-Z. Na Figura 31 é possível observar que todos os elementos estruturais foram dimensionados com sucesso.

Figura 30 - Resultado do processamento



Fonte: Autor (2021)

Figura 31 – Relatório de Dimensionamento

DIMENSIONAMENTO DOS ELEMENTOS

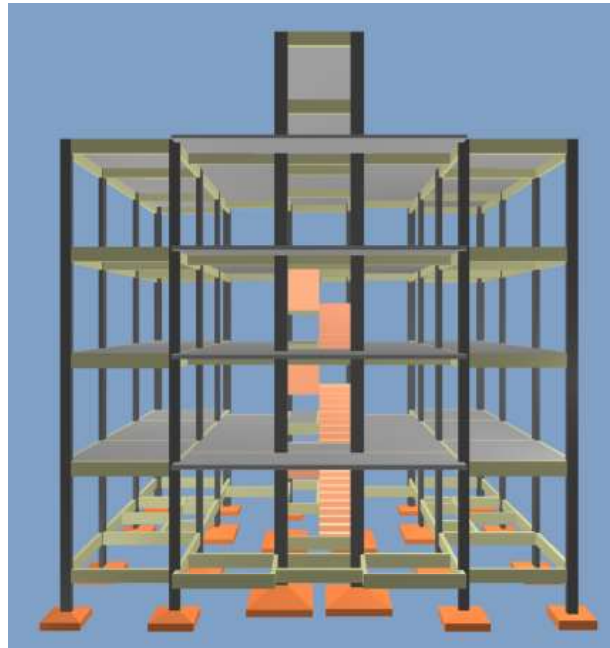
Pavimento Térreo	Pavimento Tipo 2	Pavimento Cobertura
Pilares: 22 Com sucesso	Pilares: 22 Com sucesso	Pilares: 22 Com sucesso
Vigas: 36 Com sucesso	Vigas: 24 Com sucesso	Vigas: 22 Com sucesso
Sapatas: 22 Com sucesso	Lajes: 14 Com sucesso	Lajes: 12 Com sucesso
Pavimento Tipo 1	Pavimento Tipo 3	Pavimento Reservatório
Pilares: 22 Com sucesso	Pilares: 22 Com sucesso	Pilares: 6 Com sucesso
Vigas: 24 Com sucesso	Vigas: 24 Com sucesso	Vigas: 4 Com sucesso
Lajes: 14 Com sucesso	Lajes: 14 Com sucesso	Lajes: 1 Com sucesso

Fonte: Autor (2021)

- Após o processamento da estrutura foi realizada uma verificação e posterior correção dos erros decorrentes do lançamento estrutural, após a etapa foi realizado novamente o processamento e este processo se repetiu até que foram corrigidos todos os erros.

Em decorrência disto, alguns elementos estruturais tiveram suas dimensões alteradas afim de atender as solicitações do projeto. Na Figura 32 é apresentado o modelo estrutural em 3D.

Figura 32 – Pórtico Espacial em 3D



Fonte: Autor (2021)

11. Com a estrutura devidamente processada, foi realizado o processo de otimização, que consiste no redimensionamento de alguns elementos, detalhamento e determinação das armaduras.

A Figura 33 apresenta a interface do menu dos pilares em prumada, nessa interface é possível realizar a otimização dos pilares como um todo, podendo analisá-los em todos os pavimentos da edificação, dentre os recursos utilizados para otimização, tem-se a alteração de seção e a escolha das armaduras, é importante dizer que o Eberick disponibiliza dois recursos que ajudam bastante no processo de otimização dos pilares: otimização da seção e uniformização da armadura.

Figura 33 – Interface do menu pilares em prumada

	Nome		Lance	Pavimento	Armadura Anterior	Armadura B	Armadura H	As Efetivo Anterior	As Efetivo	Diferença As Efetivo	
10	P10	1	L7	Reservatório 2		2 ø 10.0	2 ø 10.0		3.14		
11	P11	2	L6	Reservatório 1		2 ø 10.0	2 ø 10.0		3.14		
12	P12	3	L5	Cobertura		2 ø 10.0	2 ø 10.0		3.14		
13	P13	4	L4	Tipo 3		2 ø 10.0	2 ø 10.0		3.14		
14	P14	5	L3	Tipo 2		2 ø 12.5	3 ø 12.5		7.36		
15	P15	6	L2	Tipo 1		2 ø 12.5	4 ø 12.5		9.82		
16	P16	7	L1	Térreo	2+3 ø 16.0	2 ø 12.5	5 ø 12.5	12.06	12.27	0.21	
17	P17	8									
18	P18	9									
19	P19	10									

Seção / Carga / Escalas / Resultado / Otimização seção / Uniformização armadura

Situação do pilar:
 Esbeltez maior = 32.44
 Fd = 90.63 tf
 Barras = 10 ø 12.5
 Taxa de armadura = 1.92%
 As efetivo = 12.27 cm²
 Mrd/Msd = 1.04
 Estribo = ø 5.0 c/15
 Resultado anterior
 Barras = 6 ø 16.0
 Taxa de armadura = 1.88%
 As efetivo = 12.06 cm²

Fonte: Autor (2021)

O Eberick também permite que os elementos possam ser calculados individualmente após o primeiro processamento, isso é um recurso interessante, pois permite ao projetista, analisar e fazer correções individuais antes de se processar a estrutura como um todo.

Dentre as alterações realizadas no projeto a fim de se obter uma melhor estrutura, podemos destacar: o engastamento de algumas lajes, a escolha de armaduras uniformes e com menores áreas de aço, mudanças de seções dos elementos e o processamento de diferentes concepções estruturais, com o intuito de identificar a melhor opção para o projeto.

12. Após todas essas etapas, podem ser geradas as pranchas de fôrmas e de detalhamento dos elementos, relatórios de cargas e quantitativos de materiais. Para mais informações a respeito dos recursos e funcionamento do software, pode se consultar o manual do Eberick. As plantas de fôrmas e os detalhamentos das armaduras do projeto estrutural estão apresentados nos apêndices C a H do trabalho.

O procedimento detalhado acima se refere ao último lançamento estrutural do projeto, porém é importante salientar que até chegar à estrutura final, foram realizadas diversas tentativas e modificações, tanto nas seções dos elementos, quanto na concepção estrutural do projeto.

3.4 ESTIMATIVA DE CUSTOS

As composições de custos dos sistemas estruturais foram elaboradas a partir dos dados fornecidos pelo Sistema Nacional de Pesquisa de Custos e Índices da Construção Civil (SINAPI) referente ao mês de setembro de 2021 para o estado da Bahia, disponibilizados no site da Caixa Econômica Federal. Para o trabalho, foram consideradas as planilhas não desoneradas, que são aquelas que consideram os encargos sociais referentes a contribuição do Instituto Nacional do Seguro Social (INSS) aplicados nos custos de mão de obra.

Os orçamentos foram elaborados com a utilização das planilhas de composição sintética, que apresentam os serviços de maneira resumida, e de composição analítica, que apresentam as composições de custos detalhadas dos serviços apresentados nas planilhas de composição sintética do SINAPI. A Figura 34 apresenta um exemplo de composição sintética de elementos utilizados no orçamento e a Figura 35 apresenta um exemplo de composição analítica da armação de pilar ou viga de uma estrutura convencional de concreto armado de bitola de 12,5 mm.

Figura 34 – Composições Sintéticas

CÓDIGO	DESCRIÇÃO	UNIDADE	ORIGEM DE PREÇO	CUSTO TOTAL
92762	ARMAÇÃO DE PILAR OU VIGA DE UMA ESTRUTURA CONVENCIONAL DE CONCRETO ARMADO EM UM EDIFÍCIO DE MÚLTIPLOS PAVIMENTOS UTILIZANDO AÇO CA-50 DE 10,0 MM - MONTAGEM. AF 12/2015	KG	CR	14,26
92763	ARMAÇÃO DE PILAR OU VIGA DE UMA ESTRUTURA CONVENCIONAL DE CONCRETO ARMADO EM UM EDIFÍCIO DE MÚLTIPLOS PAVIMENTOS UTILIZANDO AÇO CA-50 DE 12,5 MM - MONTAGEM. AF 12/2015	KG	CR	12,10
92764	ARMAÇÃO DE PILAR OU VIGA DE UMA ESTRUTURA CONVENCIONAL DE CONCRETO ARMADO EM UM EDIFÍCIO DE MÚLTIPLOS PAVIMENTOS UTILIZANDO AÇO CA-50 DE 16,0 MM - MONTAGEM. AF 12/2015	KG	CR	11,62

Fonte: SINAPI (2021)

Figura 35 – Composição Analítica – Código 92763

92763	ARMAÇÃO DE PILAR OU VIGA DE UMA ESTRUTURA CONVENCIONAL DE CONCRETO ARMADO EM UM EDIFÍCIO DE MÚLTIPLOS PAVIMENTOS UTILIZANDO AÇO CA-50 DE 12,5 MM - MONTAGEM. AF 12/2015	KG			
39017	ESPACADOR / DISTANCIADOR CIRCULAR COM ENTRADA LATERAL, EM PLÁSTICO, PARA V UN	CR	0,3670000	0,17	0,06
	ERGALHAO *4,2 A 12,5* MM, COBRIMENTO 20 MM				
43132	ARAME RECOZIDO 16 BWG, D = 1,65 MM (0,016 KG/M) OU 18 BWG, D = 1,25 MM (0,012 KG/M)	CR	0,0250000	22,45	0,56
88238	AJUDANTE DE ARMADOR COM ENCARGOS COMPLEMENTARES	H	0,0063000	19,60	0,12
88245	ARMADOR COM ENCARGOS COMPLEMENTARES	H	0,0386000	25,28	0,97
92795	CORTE E DOBRA DE AÇO CA-50, DIÂMETRO DE 12,5 MM, UTILIZADO EM ESTRUTURAS DIVERSAS, EXCETO LAJES. AF 12/2015	KG	1,0000000	10,92	10,92
	MATERIAL	:	11,71	92,6693228	%
	MÃO DE OBRA	:	0,92	7,3306772	%
	TOTAL COMPOSIÇÃO	:	12,63	100,0000000	% - ORIGEM DE PREÇO: CR

Fonte: SINAPI (2021)

Como não foi autorizada a divulgação do orçamento completo da edificação estudada, e o pavimento térreo possui muita similaridade com os pavimentos tipos da edificação, de forma que as diferenças entre os pavimentos não causariam grandes impactos no comparativo entre

os sistemas, foi considerado somente um pavimento tipo da edificação para a realização de uma comparação representativa de custos entre as superestruturas dos diferentes sistemas estruturais estudados.

Para cada sistema estrutural, foram elaborados orçamentos referentes a um pavimento tipo da edificação, sendo que alguns itens em comum entre os sistemas foram desconsiderados, dentre os quais, estão: contrapisos, escadas, instalações elétricas, instalações hidráulicas e sanitárias e esquadrias.

3.4.1 Orçamento do Sistema de Concreto Armado Convencional

Para o sistema de concreto armado convencional, foram considerados no quantitativo: aço, argamassas de assentamento e revestimento, blocos cerâmicos utilizados para a vedação, concreto, fôrmas, lajes e serviços realizados.

Na elaboração do orçamento, os elementos foram orçados separados, portanto, foi realizado o levantamento de materiais para pilares, vigas, lajes e alvenaria de vedação de maneira individual. Os quantitativos de materiais para os elementos estruturais desse sistema foram obtidos a partir de informações fornecidas pelo software utilizado na elaboração do projeto e o quantitativo de materiais para a alvenaria de vedação foi levantado a partir das dimensões das paredes, que foram obtidas no projeto arquitetônico, descontando as dimensões dos elementos estruturais presentes nas mesmas.

Na montagem das planilhas orçamentárias do sistema de concreto armado, buscou-se reduzir os custos da estrutura com a escolha dos elementos que se apresentaram mais viáveis economicamente para a execução, como exemplo, a escolha por fôrmas em chapas de madeiras compensadas e por alvenarias de vedação com custos unitários mais baixos.

Como não foi encontrado nas tabelas de referência a concretagem de vigas e lajes utilizando concreto de classe C25, utilizou-se como referência a composição analítica do mesmo serviço com a utilização de concreto de classe C20 e foi realizada a substituição do concreto de classe C20 pelo de classe C25 para que o orçamento ficasse adequado ao projeto.

3.4.2 Orçamento do Sistema de Alvenaria Estrutural

Para o sistema de alvenaria estrutural, foram considerados no quantitativo: aço, argamassas de assentamento e revestimento, blocos de concreto de alvenaria estrutural, graute, concreto, fôrmas, lajes e serviços realizados.

O levantamento dos materiais foi realizado a partir do projeto estrutural e de informações fornecidas pela construtora. Os elementos estruturais foram divididos em paredes de alvenaria estrutural e lajes e orçados separadamente.

Como não foram fornecidas informações relativas ao detalhamento das lajes do projeto de alvenaria estrutural e como são do mesmo tipo e possuem as mesmas espessuras das lajes do projeto de concreto armado, foram utilizados os mesmos orçamentos para as lajes em ambos os sistemas.

Para a montagem das composições de custos das paredes de alvenaria, foram considerados os quantitativos de aço, graute e as dimensões e características das paredes obtidos no projeto estrutural.

Para a montagem das composições de custos para paredes de alvenaria estrutural com blocos de concreto estrutural, foram feitas adaptações nas composições de custos para alvenaria estrutural com blocos cerâmicos estruturais apresentadas no SINAPI-BA, portanto, para adequar o orçamento à estrutura adotada no trabalho, foram realizadas as substituições dos blocos cerâmicos estruturais por blocos de concreto estrutural nas composições analíticas necessárias.

É importante ressaltar que todos os insumos utilizados para a elaboração dos orçamentos foram encontrados nas próprias planilhas do SINAPI, isso é importante para realizar a análise comparativa, pois, aumenta a confiabilidade dos resultados obtidos, já que os orçamentos estão utilizando o mesmo banco de dados.

Os orçamentos elaborados para o presente trabalho estão apresentados nos apêndices A e B.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 PROJETO ESTRUTURAL EM CONCRETO ARMADO

A tabela 3 apresenta as seções dos pilares no lançamento estrutural e as seções finais após todas as correções e otimizações da estrutura e a tabela 3 apresenta as seções das vigas após o mesmo procedimento. É importante destacar também que não foi necessário alterar as dimensões das lajes durante as etapas de dimensionamento da estrutura, portanto, continuam as espessuras iniciais de 12 cm. Os elementos descritos na tabela 3 e na tabela 4 podem ser visualizados na Figura 36.

Tabela 3 – Dimensões dos Pilares no Projeto

Nome	Seção Inicial (cm)	Seção Final (cm)	Nome	Seção Inicial (cm)	Seção Final (cm)
P1	14X30	14X45	P12	16X40	18X40
P2	14X30	14X45	P13	14X30	16X40
P3	16X40	16X40	P14	16X40	16X40
P4	16X40	16X40	P15	16X40	16X40
P5	14X30	14X45	P16	14X30	16X40
P6	14X30	14X45	P17	16X40	18X40
P7	14X30	16X40	P18	16X40	18X40
P8	16X40	16X40	P19	14X30	14X45
P9	16X40	16X40	P20	14X30	14X45
P10	14X30	16X40	P21	14X30	14X45
P11	16X40	18X40	P22	14X30	14X45

Fonte: Autor (2021)

Tabela 4 – Dimensões das Vigas do Pavimento Tipo

Nome	Seção Inicial (cm)	Seção Final (cm)	Nome	Seção Inicial (cm)	Seção Final (cm)
V1	12X40	12X40	V13	12X40	12X40
V2	12X40	12X40	V14	12X40	12X40
V3	12X40	12X40	V15	12X40	12X40
V4	12X40	12X40	V16	12X40	12X40
V5	12X40	12X40	V17	12X40	16X40
V6	12X40	12X40	V18	12X40	12X40
V7	12X40	12X40	V19	20X40	20X40
V8	12X40	12X40	V20	12X40	16X40
V9	12X40	12X40	V21	12X40	12X40
V10	12X40	14X40	V22	12X40	12X40
V11	12X40	12X40	V23	12X40	12X40
V12	12X40	14X40	V24	12X40	14X40

Fonte: Autor (2021)

Como podemos observar nas tabelas, alguns elementos tiveram suas seções alteradas e os motivos para as alterações foram variados. As alterações nas seções das vigas foram devido a erros de dimensionamento, como exemplo, taxas de armaduras maiores que as configuradas e espaçamento entre barras menor que o permitido, então, para o correto dimensionamento, foram adotadas dimensões que atendessem aos critérios do projeto. Já nas alterações das dimensões dos pilares, os critérios foram variados, alguns foram alterados por conta de erros no dimensionamento, outros foram alterados com o intuito de enrijecer a estrutura, buscando

diminuir os efeitos das ações aplicadas, e os demais foram alterados com o intuito de se reduzir a área de aço dos elementos, com o intuito de otimizar a estrutura e reduzir os custos.

O projeto é composto por 22 pilares, analisando a tabela 2, tem-se que 16 pilares tiveram suas dimensões alteradas durante a elaboração do projeto, isso demonstra que cada pilar foi analisado individualmente na busca pela estrutura ideal para a edificação. Os pilares que possuem a seção igual a 14x45 estão localizados nas extremidades do projeto e tiveram suas dimensões alteradas para um maior enrijecimento da estrutura na direção X, já os pilares que possuem a seção igual a 18x40, estão localizados no centro da estrutura e tiveram suas seções alteradas porque recebem um grande carregamento, principalmente devido as cargas provenientes dos reservatórios e das escadas que se localizam nessa região.

No total, 24 vigas compõem o pavimento tipo deste projeto estrutural. Analisando a tabela 3, observa-se que somente 5 vigas tiveram suas seções alteradas, as vigas 10 e 24 recebem os esforços da escada e tiveram suas dimensões aumentadas para resistir aos esforços e uma maior área de apoio para esses elementos, já as vigas 12, 17 e 20 tiveram suas dimensões aumentadas para suportar os esforços solicitados.

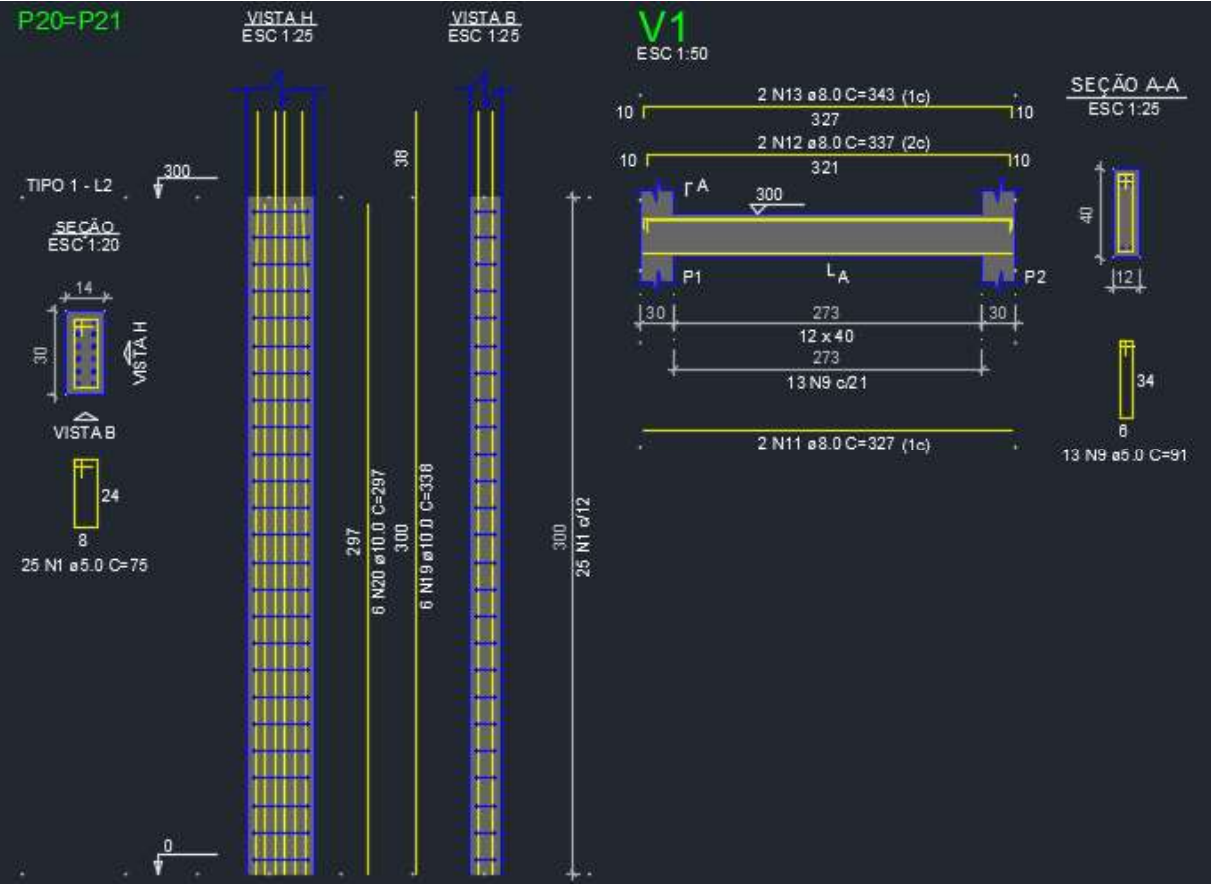
Todos os procedimentos realizados na elaboração do projeto são de enorme importância para a obtenção de uma estrutura que atenda aos requisitos exigidos e se tenha uma economia no final. A Figura 36 apresenta a planta de fôrmas do pavimento tipo do projeto estrutural da edificação e a Figura 37 apresenta o detalhamento de alguns pilares e viga.

The floor plan shows a complex layout of rooms and corridors. Key features include:

- Rooms:** Labeled P1 through P22, with dimensions such as 14x45, 18x40, and 12x40.
- Windows:** Labeled V1 through V23, with dimensions such as 12x40, 18x40, and 14x40.
- Doors:** Labeled L1 through L12, with dimensions such as 12x40 and 18x40.
- Structural Loads:** Indicated by values like 444 kg/fm, 320 kg/fm, and 243 kg/fm.
- Staircase:** A central staircase area labeled 'DESC' with a width of 1.40m.
- Corridors:** Various corridors connecting the rooms, with dimensions like 1.40m and 1.20m.

66

Figura 37 – Detalhamento de armaduras de pilares e viga



Fonte: Autor (2021)

O projeto estrutural do edifício em concreto armado pode ser visto nos apêndices C ao H deste trabalho.

A Figura 38 apresenta o resumo de materiais do pavimento tipo, os quais estão divididos em peso do aço, volume de concreto e área de fôrmas, além disso, as quantidades desses materiais estão especificadas para os diferentes tipos de elemento estrutural.

Figura 38- Resumo de materiais do Pavimento Tipo

		Vigas	Pilares	Lajes	Escadas	Total
Peso total + 10% (kg)	CA50	450,4	422,3	317,8	58,3	1.248,8
	CA60	80,8	110,3	216,5	10,6	418,2
	Total	531,2	532,6	534,3	68,9	1.667,0
Volume concreto (m³)	C-25	5,9	4,5	14,4	1,6	26,4
Área de forma (m²)		105,7	79,6	120,8	16,8	322,9
Consumo de aço (kg/m³)		90,8	118,1	37,2	42,4	63,1

Fonte: Autor (2021)

Como pode ser observado na Figura 38, as lajes são os elementos estruturais que consomem a maior quantidade total de aço (534,3 kg), de concreto (14,4 m³) e de fôrmas (120,8 m²) no pavimento tipo desta edificação, isso se deve as suas grandes dimensões em relação aos outros elementos estruturais. Analisando o consumo de aço por metro cúbico, os pilares são os elementos que apresentam os maiores valores, com o consumo igual a 118,1 kg/m³, fato este que destaca a importância do aço para este elemento suportar os esforços advindos da estrutura.

4.2 ANÁLISE COMPARATIVA DE CUSTOS ENTRE OS SISTEMAS ESTRUTURAIS

Para esta análise, foram elaborados orçamentos para os diferentes sistemas estruturais apresentados, considerando os custos do pavimento tipo da edificação estudada. Os orçamentos foram produzidos com base no banco de dados das planilhas desoneradas do mês de setembro do ano de 2021 do SINAPI-BA.

A tabela 5 apresenta o resumo dos orçamentos elaborados.

Tabela 5 – Resumo dos Orçamentos

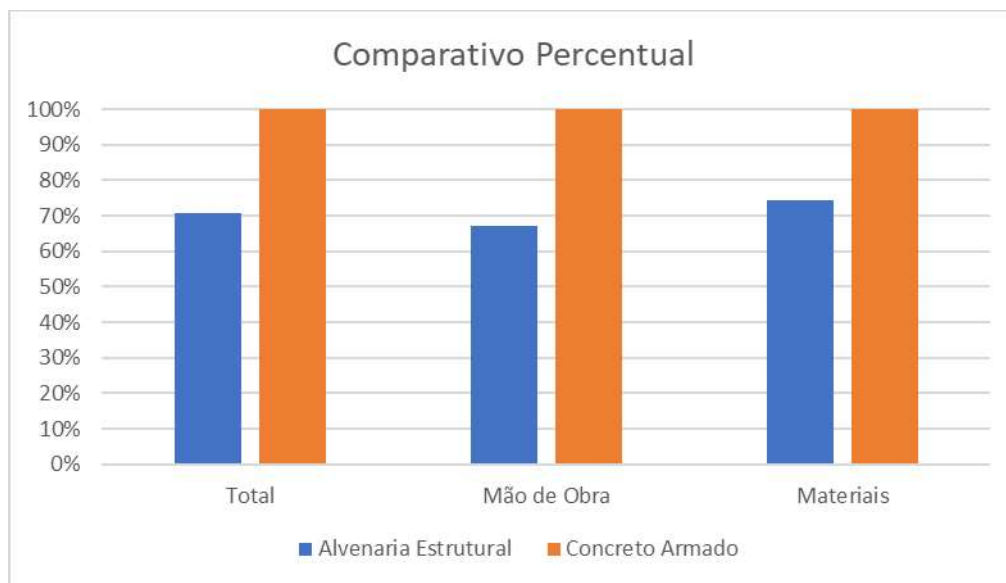
Descrição	Alvenaria Estrutural	Concreto Armado
Materiais	R\$ 43.136,84	R\$ 58.017,54
Mão de Obra	R\$ 11.561,36	R\$ 17.178,23
Outros	R\$ 383,43	R\$ 2.578,24
Total	R\$ 55.081,64	R\$ 77.774,00

Fonte: Autor (2021)

A partir das informações disponíveis na tabela 5 é possível comparar os custos dos sistemas estruturais estudados. Nos custos dos materiais estão incluídos os gastos com alvenaria estrutural e de vedação, aço, concreto e fôrmas, nos custos de mão de obra estão incluídos os gastos com os serviços de armadores, carpinteiros, pedreiros e seus respectivos ajudantes, todos os itens do orçamento que não se enquadram nem como materiais, nem como mão de obra estão incluídos nos outros custos da obra, um exemplo desses custos extras é o aluguel de equipamentos.

Para uma melhor ilustração dos orçamentos realizados, a Figura 39 apresenta uma representação gráfica das diferenças percentuais entre os sistemas, considerando o sistema de concreto armado como a base da comparação percentual.

Figura 39 – Comparativo Percentual



Fonte: Autor (2021)

Ao se analisar as informações apresentadas, foi possível observar que o sistema de alvenaria estrutural é a solução mais viável economicamente para a edificação em estudo. O valor total determinado para a construção da estrutura do pavimento tipo com esse sistema é de R\$ 55.081,64 que representa 70,8% do valor dos custos com o sistema de concreto armado convencional, que foi R\$ R\$ 77.774,00, ou seja, a estrutura construída com o sistema de alvenaria estrutural representaria uma economia de 29,2% no valor total da superestrutura.

Para entender melhor esta diferença, foi necessário analisar a composição de custos dos sistemas de forma detalhada, pois assim foi possível verificar quais os elementos estão gerando maiores influências no valor final de cada orçamento, assim como verificar as principais diferenças na composição dos sistemas estruturais.

Analizando a composição de custos dos sistemas, no sistema de alvenaria estrutural, os custos dos materiais representam 78,3% e os custos da mão de obra representam 21,0% do custo total. Já para o sistema de concreto armado convencional, os custos dos materiais representam 74,6% e os custos da mão de obra representam 22,1% do custo total.

Quando se compara os custos de um sistema em relação ao outro, pode-se destacar que o sistema de alvenaria estrutural apresenta uma economia de R\$ 5.616,86 na mão de obra e de R\$ 14.880,69 nos materiais utilizados para a construção da estrutura do pavimento tipo.

A tabela 6 nos apresenta um resumo dos gastos com materiais em ambos os sistemas, destacando que nos gastos com alvenaria estão incluídos os gastos com blocos e argamassas de assentamento e revestimento e nos demais itens, além do próprio material descrito, estão

incluídos os gastos com outros materiais necessários para a realização dos serviços, como exemplo, arames e pregos.

Tabela 6 – Distribuição de custos dos materiais

Descrição	Alvenaria Estrutural	Concreto Armado
Aço	R\$ 10.085,72	R\$ 20.831,28
Alvenaria	R\$ 19.029,91	R\$ 12.251,07
Concreto/Graute	R\$ 11.086,62	R\$ 11.636,63
Fôrmas	R\$ 2.934,60	R\$ 13.298,54
Total	R\$ 43.136,84	R\$ 58.017,54

Fonte: Autor (2021)

O sistema de alvenaria estrutural apresentou economia nos gastos com aço, concreto e fôrmas e um maior gasto com alvenaria, devido as diferenças entre os sistemas estruturais. No total a economia gerada com materiais pelo sistema de alvenaria estrutural foi de 25,7%. A Figura 40 ilustra melhor as diferenças dos valores apresentados.

Figura 40 - Comparativo de Custos dos Materiais



Fonte: Autor (2021)

Como podemos observar na tabela 6 e na Figura 40, existe uma grande diferença de custos de fôrmas e aço entre os dois sistemas. Em relação as fôrmas, o fato do sistema de alvenaria estrutural ser composto por blocos pré-moldados, diminuiu o consumo das mesmas, neste caso, sendo necessárias apenas para a construção das lajes e para a execução de vergas e contravergas. A diferença dos gastos com o aço se deve ao fato de que os elementos estruturais do sistema de concreto armado convencional exigem um maior consumo desses materiais para garantir a segurança da estrutura, neste caso, a maior diferença no consumo se encontra nos pilares e nas vigas.

Os gastos com concreto e graute apresentaram pouca diferença entre os sistemas, isso se deve ao fato do graute possuir um custo unitário maior que o concreto, o que acabou equilibrando os custos entre os sistemas.

Analisando os custos com alvenaria, o sistema de alvenaria estrutural apresenta valores bem mais elevados que o sistema de concreto armado convencional, isso se deve ao fato de que os blocos utilizados para o sistema de alvenaria estrutural possuem um valor mais elevado, pois, além de contribuírem com a vedação, compõem o sistema estrutural da edificação e devem apresentar maior resistência a compressão, diferentemente dos blocos utilizados para o sistema de concreto armado que só possuem a função de vedação. Se considerarmos somente os custos da alvenaria, essa seria uma enorme desvantagem para o sistema de alvenaria estrutural, pois os custos com alvenaria se apresentaram 55,3% mais altos que o do sistema de concreto armado.

A distribuição dos custos de mão de obra nos sistemas também foi analisada no presente trabalho, a tabela 7 apresenta a distribuição destes custos em serviços de pedreiro e servente, carpinteiro e ajudante de carpinteiro e armador e ajudante de armador.

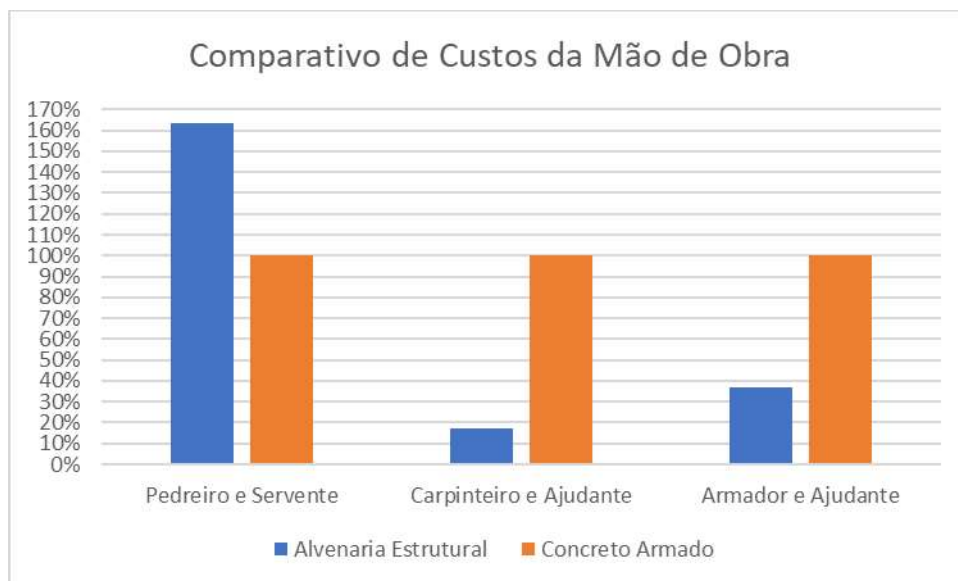
Tabela 7 – Distribuição de custo da mão de obra.

Descrição	Alvenaria Estrutural	Concreto Armado
Armadores e ajudantes	R\$ 1.074,97	R\$ 2.897,34
Carpinteiros e ajudantes	R\$ 1.491,75	R\$ 8.780,56
Pedreiros e serventes	R\$ 8.994,65	R\$ 5.500,32
Total	R\$ 11.561,36	R\$ 17.178,23

Fonte: Autor (2021)

De acordo com a tabela 7, o sistema de alvenaria estrutural apresenta uma economia com os serviços de armadores e carpinteiros e um gasto mais elevado com os serviços de pedreiros e serventes. Somando todos os custos, o sistema de alvenaria estrutural se apresenta 32,7% mais econômico que o sistema de concreto armado, quando analisados somente os custos com a mão de obra. A Figura 41 ilustra melhor as diferenças entre os custos desses sistemas.

Figura 41 – Comparativo de Custos de Mão de Obra



Fonte: Autor (2021)

Analizando a Figura 41, verifica-se as diferenças entre os custos de mão de obra dos profissionais que compõem os sistemas estruturais, assim como foram apresentadas grandes diferenças entre os custos dos materiais, também são apresentadas grandes diferenças entre os custos por cada tipo de profissional utilizado para realizar os diversos serviços.

O sistema de concreto armado convencional apresentou maiores gastos com os profissionais (armador, carpinteiro e seus respectivos ajudantes) em relação ao sistema de alvenaria estrutural, isso se justifica na maior necessidade dos serviços desses profissionais para a construção dos elementos estruturais deste sistema, pois, como são elementos moldados in loco, se tem a necessidade da fabricação, montagem e desmontagem de fôrmas, assim como, a armação dos elementos estruturais.

O sistema de alvenaria estrutural apresentou mais gastos com os serviços de pedreiros e ajudantes, isso se deve ao fato de sua estrutura ser composta principalmente de paredes de alvenaria, além do fato de ter uma maior área de paredes, também se faz necessário uma mão de obra mais especializada para a realização do serviço, o que justifica os gastos mais elevados com esses profissionais na construção da estrutura desse sistema.

No comparativo de custos realizado, a infraestrutura da edificação não foi considerada nos orçamentos, somente foram analisados os custos relacionados a superestrutura da mesma. Deve-se destacar que se os custos com a infraestrutura fossem considerados, se teria uma variação nas diferenças entre os custos dos dois sistemas. O sistema de alvenaria estrutural foi executado com fundações do tipo radier, e no projeto elaborado com o sistema de concreto

armado convencional foram consideradas sapatas isoladas e vigas baldrames, considerando as diferentes características das fundações, possivelmente a infraestrutura do sistema de concreto armado seria mais viável economicamente e com isso, a diferença entre os custos dos sistemas estruturais seria menor.

O sistema de alvenaria estrutural possui algumas limitações, portanto, nem sempre será uma solução viável para uma edificação, a primeira limitação deste sistema é a altura da edificação, à medida que a altura da edificação vai aumentando, também vão aumentando os esforços verticais e horizontais aplicados. Estes fatores exigem que o sistema se reforce estruturalmente, causando um elevado consumo de aço e graute, comprometendo assim a economia da edificação, como é observado por Ramalho e Corrêa (2003), que afirmam que o sistema de alvenaria estrutural está limitado a 16 pavimentos de altura.

Outro fator que deve ser levado em consideração ao optar-se pelo sistema de alvenaria estrutural é o tipo de uso, pois as características desse sistema são fatores limitadores para a execução de alguns arranjos arquitetônicos, por exemplo, este sistema não é adequado para edificações que tenham grandes vãos a serem vencidos. Outra característica do sistema é que não permite mudanças posteriores a construção na arquitetura de uma edificação, pois, devido ao fato das paredes serem elementos estruturais deste sistema, mudanças comprometeriam a segurança da mesma.

No entanto, desde que sejam respeitadas as suas limitações, o sistema de alvenaria estrutural tende a ser uma ótima alternativa para o sistema estrutural de edificações residenciais, pois, além de ser uma solução econômica, possibilita uma redução no tempo de construção e um processo construtivo racionalizado, reduzindo o desperdício de materiais.

Entretanto, a favor do sistema de concreto armado convencional, está a sua adaptabilidade a diferentes concepções arquitetônicas, permitindo inclusive, mudanças após a construção, este sistema possui também a capacidade de vencer grandes vãos e é mais eficaz em edificações de grandes alturas, além disso, está bem difundido em todo o país e possui uma maior oferta de mão de obra e materiais.

Ao analisarmos a edificação estudada, o sistema estrutural adotado pela construtora foi o de alvenaria estrutural, que foi o sistema que se apresentou mais viável economicamente e o qual a construtora considerou como o mais adequado para esta edificação. Porém, saliento que em outras edificações talvez este sistema não seja o mais interessante, principalmente pelo fato de impossibilitar mudanças mais robustas na sua arquitetura após a construção, cada projeto possui suas particularidades e devem ser analisados individualmente.

CONCLUSÃO

O projeto estrutural em concreto armado foi elaborado para possibilitar a análise comparativa entre os sistemas de alvenaria estrutural e concreto armado convencional. Analisando os resultados obtidos, observou-se que foi projetada uma estrutura otimizada, que atende a todos os requisitos de segurança deste sistema.

Como foi apresentado nos resultados, o sistema de alvenaria estrutural se mostrou como uma solução economicamente mais viável que o sistema de concreto armado convencional, tanto em relação aos custos com materiais, como também em relação aos custos de mão de obra. Isto demonstra a importância do estudo, pois o conhecimento entre diferentes tipos de sistemas estruturais e métodos construtivos possibilita uma melhor tomada de decisão na etapa de planejamento de uma construção.

- Na análise do pavimento tipo, a superestrutura da edificação projetada com o sistema de alvenaria estrutural apresentou uma economia de 29,2% em relação a do sistema de concreto armado, comprovando que o sistema de alvenaria estrutural é o mais adequado para a edificação apresentada.
- A economia de materiais obtida pelo sistema de alvenaria estrutural foi de 25,7%. Os materiais que mais impactaram na economia do sistema de alvenaria estrutural foram: o aço e as fôrmas, que representam, respectivamente, 48,4% e 22,1% dos custos dos mesmos materiais no sistema de concreto armado convencional.
- O sistema de alvenaria estrutural obteve uma economia de 32,7% nos custos com a mão de obra. Os principais profissionais responsáveis pela economia deste sistema foram: os armadores e os carpinteiros, que representam, respectivamente, 37,1% e 17,0% dos custos desses profissionais no sistema de concreto armado convencional.

Este estudo comprova que apesar de não ser um sistema tão difundido quanto o sistema de concreto armado convencional, o sistema de alvenaria estrutural pode ser a solução mais econômica para uma edificação. No entanto, é importante enfatizar que os custos não devem ser o único ponto de análise no planejamento de uma edificação, diversos fatores devem ser analisados para que se faça uma escolha adequada. A amplitude do planejamento deve atingir desde as etapas pré construtivas até as etapas pós construtivas, pois nem sempre a estrutura mais viável economicamente será a mais adequada.

SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

- Fazer um comparativo de custos da infraestrutura dos sistemas de alvenaria estrutural e concreto armado convencional;
- Fazer um comparativo de custos entre os sistemas de alvenaria estrutural e concreto armado convencional para uma edificação que possua mais que 15 pavimentos;
- Fazer um comparativo de custos entre os sistemas de alvenaria estrutural e concreto armado com variação dos tipos de lajes nos sistemas;
- Fazer uma análise dos diferentes tipos de fundações que podem ser utilizadas em edificações construídas com o sistema de alvenaria estrutural na cidade de Barreiras.

REFERÊNCIAS

ALTOQI. A AltoQi está sempre perto de você. **AltoQi: Tecnologia aplicada à engenharia**. Florianópolis. Disponível em: <<http://www.altoqi.com.br/institucional>>. Acesso em: abril de 2021.

ALVA, G. M. S. Estruturas de Concreto – **Concepção Estrutural de Edifícios em Concreto Armado**. Departamento de Estruturas e Construção Civil. Universidade Federal de Santa Maria. Santa Maria, 2007.

ARAÚJO, J. M. **Curso de Concreto Armado**. v.2. Rio Grande: Editora Dunas, 4. ed., 2014.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. NBR 14974-1: **Bloco sílico-calcário para alvenaria Parte 1: Requisitos, dimensões e métodos de ensaio**. Rio de Janeiro, 2003.

_____. NBR 14859-1: **Lajes pré-fabricadas de concreto - Parte 1: Vigotas, mini painéis e painéis**. Rio de Janeiro. 2016.

_____. NBR 16868-1: **Alvenaria Estrutural – Parte 1: Projeto**. Rio de Janeiro, 2020.

_____. NBR 6023: **Informação e Documentação – Referências – Elaboração**. Rio de Janeiro, 2002.

_____. NBR 6118: **Projeto de Estruturas de Concreto – Procedimento**. Rio de Janeiro, 2014.

_____. NBR 6120: **Cargas para o Cálculo de Estruturas de Edificações**. Rio de Janeiro, 2019.

_____. NBR 6122: **Projeto e execução de fundações**. Rio de Janeiro, 2019.

_____. NBR 6123: **Forças devidas ao vento em edificações**. Rio de Janeiro, 1988.

_____. NBR 6136 - **Blocos vazados de concreto simples para alvenaria - Requisitos**, Rio de Janeiro, 2007.

_____. NBR 7480: **Aço destinado a armaduras para estruturas de concreto armado** - Especificação. Rio de Janeiro, 2007.

_____. NBR 8681: **Ações e segurança na estrutura - Procedimento**. Rio de Janeiro, 2003.

BASTOS, P. S. **Estruturas de Concreto Armado - Notas de Aula**. Bauru: Universidade Estadual Paulista, 2019.

CAMACHO, J. S. **Projetos de edifícios em alvenaria estrutural**. Notas de aula. Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira – Universidade Paulista, 2006.

CARVALHO, R. C., & PINHEIRO, L. M. **Cálculo e Detalhamento de Estrutura Usuais de Concreto Armado** - vol. 2 (2. ed.). São Paulo: PINI, 2013.

CHAVES, Roberto. **Manual do construtor: para engenheiros, mestres de obras e profissionais de construção em geral**. Dissertação de Mestrado. Escola de Engenharia de São Carlos – USP. São Carlos, 2012.

CHING, F. D. K.; ONOUE, B. S.; ZUBERBUHLER, D. **Sistemas Estruturais Ilustrados**. Editora Bookman. Porto Alegre, 2000.

CLIMACO, J. C. T. S. **Estruturas de concreto armado: fundamentos de projeto, dimensionamento e verificação**. 2. ed. rev. Brasília: Editora UnB, Finatec, 2008.

DELLATORRE, L. A. **Análise comparativa de custo entre edifício de alvenaria estrutural e de concreto armado convencional**. Universidade Federal de Santa Maria, Porto Alegre, 2014.

ENGEL, H. **Sistemas Estruturais**. Barcelona: Gustavo Gili, 2006.

FERNANDES, M. J. G., SILVA FILHO, A. F. **Estudo comparativo do uso da alvenaria estrutural com bloco de concreto simples em relação ao sistema estrutural em concreto armado**. Salvador: Ucsal, 2010.

GIONGO, J. S. **Concreto Armado: Projeto Estrutural de Edifícios**. Universidade de São Paulo: São Carlos, 2007.

GONZÁLEZ, M. A. S. **Noções de Orçamento e Planejamento de Obras**. São Leopoldo: Universidade do Vale do Rio dos Sinos, 2008.

KIMURA, Alio. **Informática aplicada em estruturas de concreto armado: cálculos de edifícios com uso de sistemas computacionais**. Editora PINI, 632 p. São Paulo, 2007.

KLEIN, T. A. **Estudo comparativo entre edificações com estrutura em concreto armado e alvenaria estrutural**. Centro Universitário UNIVATES, Lajeado, 2015.

LIVRAMENTO, M. R. **Estudo Comparativo de Custos entre Valores Estabelecidos pelo SINAPI e Valores Obtidos nos Municípios de Barreiras/BA e Luís Eduardo Magalhães/BA**. Barreiras, UFOB - CCET, 2017.

MONCAYO, W. J. Z. **Análise de Segunda Ordem Global em Edifícios com Estrutura de Concreto Armado**. Dissertação (Mestrado). São Carlos: Universidade de São Paulo. 2011.

PRADO NETO, A. P.; PELUSO, E. O.; CARVALHO, V. T. A. **Alvenaria Estrutural: Empreendimento Flora Park II**. 2015. 59 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2015.

PINHEIRO, M. L.; MUZADO, C. D.; SANTOS, S. P. **Fundamentos do Concreto e Projetos em Edifícios**. São Carlos, USP: Escola de Engenharia de São Carlos, 2007.

RAMALHO, M. A.; CORRÊA, M. R.S. **Projeto de edifícios de alvenaria estrutural**. São Paulo: Pini, 2003.

RICHTER, C. **Qualidade da alvenaria estrutural em habitações de baixa renda: uma análise da confiabilidade e da conformidade**. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre. 2007. 180p.

SANTOS, M. D. F. **Técnicas construtivas em alvenaria estrutural: contribuição e uso**. 1998. 130, xix f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 1998.

SILVA, B. R. **Contribuições à análise estrutural de lajes pré-fabricadas com vigotas treliçadas**. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Santa Maria. Santa Maria, 2012.

SINAPI: **Metodologias e Conceitos: Sistema Nacional de Pesquisa de Custos e Índices da Construção Civil** / Caixa Econômica Federal. – 8ª Ed. – Brasília: CAIXA, 2020.

SOUZA, M. F.; RODRIGUES, R.B. **Sistemas Estruturais de Edificações e Exemplos**. 93 f. Relatório Final de Pesquisa Científica – Departamento de Estruturas, Universidade Estadual de Campinas (Unicamp), São Paulo, 2008.

VELLOSO, D. A.; LOPES, F. R. **Fundações: critérios de projeto, investigação do subsolo, fundações superficiais, fundações**. São Paulo: Oficina de Textos, 2010.

APÊNDICES

APÊNDICE A

Tabela 8 – Orçamento do Projeto Estrutural em Concreto Armado Convencional

PILARES					
Código SINAPI	Descrição	UN	Preço Unitário	Qtd.	Preço Total
92419	Montagem e desmontagem de fôrma de pilares retangulares e estruturas similares, pé-direito simples, em chapa de madeira compensada resinada, 4 utilizações. Af 09/2020	m²	R\$ 79,95	79,6	R\$ 6.364,02
92759	Armação de pilar ou viga de uma estrutura convencional de concreto armado em um edifício de múltiplos pavimentos utilizando aço ca-60 de 5,0 mm - montagem. Af 12/2015	kg	R\$ 17,18	110,3	R\$ 1.894,95
92762	Armação de pilar ou viga de uma estrutura convencional de concreto armado em um edifício de múltiplos pavimentos utilizando aço ca-50 de 10,0 mm - montagem. Af 12/2015	kg	R\$ 14,26	153,2	R\$ 2.184,63
92763	Armação de pilar ou viga de uma estrutura convencional de concreto armado em um edifício de múltiplos pavimentos utilizando aço ca-50 de 12,5 mm - montagem. Af 12/2015	kg	R\$ 12,10	193,1	R\$ 2.336,51
92764	Armação de pilar ou viga de uma estrutura convencional de concreto armado em um edifício de múltiplos pavimentos utilizando aço ca-50 de 16,0 mm - montagem. Af 12/2015	kg	R\$ 11,62	75,9	R\$ 881,96
92720	Concretagem de pilares, fck = 25 MPa, com uso de bomba em edificação com seção média de pilares menor ou igual a 0,25 m² - lançamento, adensamento e acabamento. Af 12/2015	m³	R\$ 479,59	4,5	R\$ 2.158,16
VALOR TOTAL				R\$ 15.820,23	

VIGAS					
Código SINAPI	Descrição	UN	Preço Unitário	Qtd.	Preço Total
92456	Montagem e desmontagem de fôrma de viga, escoramento metálico, pé-direito simples, em chapa de madeira resinada, 4 utilizações. Af 09/2020	m²	R\$ 122,96	105,7	R\$ 12.996,87
92759	Armação de pilar ou viga de uma estrutura convencional de concreto armado em um edifício de múltiplos pavimentos utilizando aço ca-60 de 5,0 mm - montagem. Af 12/2015	kg	R\$ 17,18	80,8	R\$ 1.388,14
92760	Armação de pilar ou viga de uma estrutura convencional de concreto armado em um edifício de múltiplos pavimentos utilizando aço ca-50 de 6,3 mm - montagem. Af 12/2015	kg	R\$ 16,56	39,9	R\$ 660,74
92761	Armação de pilar ou viga de uma estrutura convencional de concreto armado em um edifício de múltiplos pavimentos utilizando aço ca-50 de 8,0 mm - montagem. Af 12/2015	kg	R\$ 15,80	61,3	R\$ 968,54
92762	Armação de pilar ou viga de uma estrutura convencional de concreto armado em um edifício de múltiplos pavimentos utilizando aço ca-50 de 10,0 mm - montagem. Af 12/2015	kg	R\$ 14,26	267,7	R\$ 3.817,40

92763	Armação de pilar ou viga de uma estrutura convencional de concreto armado em um edifício de múltiplos pavimentos utilizando aço ca-50 de 12,5 mm - montagem. Af 12/2015	kg	R\$ 12,10	81,6	R\$ 987,36
92725*	Concretagem de vigas e lajes, fck=25 mpa, para lajes maciças ou nervuradas com uso de bomba em edificação com área média de lajes menor ou igual a 20 m² - lançamento, adensamento e acabamento. Af 12/2015	m³	R\$ 472,67	5,9	R\$ 2.788,78
VALOR TOTAL					R\$ 23.607,84

* – Composição analítica alterada, apresentada no final do orçamento.

LAJES MACIÇAS					
Código SINAPI	Descrição	UN	Preço Unitário	Qtd.	Preço Total
92514	Montagem e desmontagem de fôrma de laje maciça, pé-direito simples, em chapa de madeira compensada resinada, 4 utilizações. Af 09/2020	m²	R\$ 39,29	120,8	R\$ 4.746,23
92768	Armação de laje de uma estrutura convencional de concreto armado em um edifício de múltiplos pavimentos utilizando aço ca-60 de 5,0 mm - montagem. Af 12/2015	kg	R\$ 15,72	216,5	R\$ 3.403,38
92769	Armação de laje de uma estrutura convencional de concreto armado em um edifício de múltiplos pavimentos utilizando aço ca-50 de 6,3 mm - montagem. Af 12/2015	kg	R\$ 15,45	140,5	R\$ 2.170,73
92770	Armação de laje de uma estrutura convencional de concreto armado em um edifício de múltiplos pavimentos utilizando aço ca-50 de 8,0 mm - montagem. Af 12/2015	kg	R\$ 14,97	99,5	R\$ 1.489,52
92771	Armação de laje de uma estrutura convencional de concreto armado em um edifício de múltiplos pavimentos utilizando aço ca-50 de 10,0 mm - montagem. Af 12/2015	kg	R\$ 13,62	77,9	R\$ 1.061,00
92725*	Concretagem de vigas e lajes, fck=25 MPa, para lajes maciças ou nervuradas com uso de bomba em edificação com área média de lajes menor ou igual a 20 m² - lançamento, adensamento e acabamento. Af 12/2015	m³	R\$ 472,67	14,4	R\$ 6.806,51
VALOR TOTAL					R\$ 19.677,36

* – Composição analítica alterada, apresentada no final do orçamento.

ALVENARIA DE VEDAÇÃO					
Código SINAPI	Descrição	UN	Preço Unitário	Qtd.	Preço Total
87471	Alvenaria de vedação de blocos cerâmicos furados na vertical de 9x19x39cm (espessura 9cm) de paredes com área líquida menor que 6m² sem vãos e argamassa de assentamento com preparo em betoneira. Af 06/2014	m²	R\$ 54,07	51,264	R\$ 2.771,84
87483	Alvenaria de vedação de blocos cerâmicos furados na vertical de 9x19x39cm (espessura 9cm) de paredes com área líquida menor que	m²	R\$ 61,37	12,864	R\$ 789,46

	6m² com vãos e argamassa de assentamento com preparo em betoneira. Af 06/2014				
87477	Alvenaria de vedação de blocos cerâmicos furados na vertical de 9x19x39cm (espessura 9cm) de paredes com área líquida maior ou igual a 6m² sem vãos e argamassa de assentamento com preparo em betoneira. Af 06/2014	m²	R\$ 48,78	129,744	R\$ 6.328,91
87489	Alvenaria de vedação de blocos cerâmicos furados na vertical de 9x19x39cm (espessura 9cm) de paredes com área líquida maior ou igual a 6m² com vãos e argamassa de assentamento com preparo em betoneira. Af 06/2014	m²	R\$ 53,01	116,112	R\$ 6.155,10
93199	Contraverga moldada in loco com utilização de blocos canaleta para vãos de mais de 1,5 m de comprimento. Af 03/2016	m	R\$ 33,98	19,28	R\$ 655,13
93191	Verga moldada in loco com utilização de blocos canaleta para janelas com mais de 1,5 m de vão. Af 03/2016	m	R\$ 44,04	19,28	R\$ 849,09
93192	Verga moldada in loco com utilização de blocos canaleta para portas com até 1,5 m de vão. Af 03/2016	m³	R\$ 46,91	8,1	R\$ 379,97
93193	Verga moldada in loco com utilização de blocos canaleta para portas com mais de 1,5 m de vão. Af 03/2016	m³	R\$ 45,23	16,34	R\$ 739,06
VALOR TOTAL				R\$ 18.668,57	

Composição Analítica - Código – 92725*					
Código SINAPI	Descrição	UN	Qtd.	Preço Unitário	Preço Total
01524	Concreto usinado bombeável, classe de resistência c25, com brita 0 e 1, slump = 100 +/- 20 mm, inclui serviço de bombeamento (nbr 8953)	m3	1,103	R\$ 406,56	R\$ 448,44
88262	Carpinteiro de fôrmas com encargos complementares	h	0,085	R\$ 25,18	R\$ 2,14
88309	Pedreiro com encargos complementares	h	0,512	R\$ 25,41	R\$ 13,01
88316	Servente com encargos complementares	h	0,586	R\$ 15,30	R\$ 8,97
90586	Vibrador de imersão, diâmetro de ponteira 45mm, motor elétrico trifásico potência de 2 cv - chp diurno. af 06/2015	chp	0,044	R\$ 1,75	R\$ 0,08
90587	Vibrador de imersão, diâmetro de ponteira 45mm, motor elétrico trifásico potência de 2 cv - chi diurno. af 06/2015	chi	0,127	R\$ 0,36	R\$ 0,05
VALOR TOTAL				R\$ 472,67	

APÊNDICE B

Tabela 9 – Orçamento do Projeto Estrutural em Alvenaria Estrutural

ALVENARIA DE VEDAÇÃO					
Código SINAPI	Descrição	UN	Preço Unitário	Qtd.	Preço Total
89298*	Alvenaria estrutural de blocos cerâmicos 14x19x39, (espessura de 14 cm), para paredes com área líquida menor que 6m², sem vãos, utilizando colher de pedreiro e argamassa de assentamento com preparo em betoneira. Af 12/2014	m²	R\$ 68,40	26,46	R\$ 1.809,86
89300*	Alvenaria estrutural de blocos cerâmicos 14x19x39, (espessura de 14 cm), para paredes com área líquida menor que 6m², com vãos, utilizando colher de pedreiro e argamassa de assentamento com preparo em betoneira. Af 12/2014	m²	R\$ 72,98	16,08	R\$ 1.173,52
89302*	Alvenaria estrutural de blocos cerâmicos 14x19x39, (espessura de 14 cm), para paredes com área líquida maior ou igual a 6m², sem vãos, utilizando colher de pedreiro e argamassa de assentamento com preparo em betoneira. Af 12/2014	m²	R\$ 61,45	207,48	R\$ 12.749,65
89304*	Alvenaria estrutural de blocos cerâmicos 14x19x39, (espessura de 14 cm), para paredes com área líquida maior ou igual a 6m², com vãos, utilizando colher de pedreiro e argamassa de assentamento com preparo em betoneira. Af 12/2014	m²	R\$ 63,85	145,14	R\$ 9.267,19
89996	Armação vertical de alvenaria estrutural; diâmetro de 10,0 mm. Af 09/2021	kg	R\$ 12,96	120,39	R\$ 1.560,25
90000	Armação de verga e contraverga de alvenaria estrutural; diâmetro de 10,0 mm. Af 09/2021	kg	R\$ 14,99	134,87	R\$ 2.021,70
89994	Grauteamento vertical em alvenaria estrutural. Af 09/2021	m³	R\$ 955,17	3,41	R\$ 3.257,13
89995	Grauteamento de cinta intermediária ou de contraverga em alvenaria estrutural. Af 09/2021	m³	R\$ 827,05	0,34	R\$ 281,20
89993	Grauteamento de cinta superior ou de verga em alvenaria estrutural. Af 09/2021	m³	R\$ 922,41	3,56	R\$ 3.283,78
VALOR TOTAL				R\$ 35.404,28	

* – Composição analítica alterada, apresentada no final do orçamento.

LAJES MACIÇAS					
Código SINAPI	Descrição	UN	Preço Unitário	Qtd.	Preço Total
92514	Montagem e desmontagem de fôrma de laje maciça, pé-direito simples, em chapa de madeira compensada resinada, 4 utilizações. Af 09/2020	m²	R\$ 39,29	120,8	R\$ 4.746,23
92768	Armação de laje de uma estrutura convencional de concreto armado em um edifício de múltiplos pavimentos utilizando aço ca-60 de 5,0 mm - montagem. Af 12/2015	kg	R\$ 15,72	216,5	R\$ 3.403,38

92769	Armação de laje de uma estrutura convencional de concreto armado em um edifício de múltiplos pavimentos utilizando aço ca-50 de 6,3 mm - montagem. Af 12/2015	kg	R\$ 15,45	140,5	R\$ 2.170,73
92770	Armação de laje de uma estrutura convencional de concreto armado em um edifício de múltiplos pavimentos utilizando aço ca-50 de 8,0 mm - montagem. Af 12/2015	kg	R\$ 14,97	99,5	R\$ 1.489,52
92771	Armação de laje de uma estrutura convencional de concreto armado em um edifício de múltiplos pavimentos utilizando aço ca-50 de 10,0 mm - montagem. Af 12/2015	kg	R\$ 13,62	77,9	R\$ 1.061,00
92725*	Concretagem de vigas e lajes, fck=25 MPa, para lajes maciças ou nervuradas com uso de bomba em edificação com área média de lajes menor ou igual a 20 m² - lançamento, adensamento e acabamento. Af 12/2015	m³	R\$ 472,67	14,4	R\$ 6.806,51
VALOR TOTAL				R\$ 19.677,36	

* – Composição analítica alterada, apresentada no final do orçamento.

Composição Analítica - Código – 89298*					
Código SINAPI	Descrição	UN	Qtd.	Preço Unitário	Preço Total
34547	Tela de aço soldada galvanizada/zincada para alvenaria, fio d = *1,20 a 1,70* mm, malha 15 x 15 mm, (c x l) *50 x 12* cm	m	0,87	6,3	R\$ 5,48
34588	Bloco de concreto estrutural 14 x 19 x 39 cm, 4,5 MPa (nbr 15270)	un	10,05	2,49	R\$ 25,02
34655	Canaleta de concreto estrutural, 14 x 19 x 39 cm, 4,5 MPa (nbr 15270)	un	0,96	2,81	R\$ 2,70
34781	Meio bloco de concreto estrutural 14 x 19 x 19 cm, 4,5 MPa (nbr 15270)	un	1,44	1,42	R\$ 2,04
38548	Canaleta de concreto estrutural, 14 x 19 x 19 cm, 4,5 MPa (nbr 15270)	un	1,44	2,28	R\$ 3,28
38603	Bloco de concreto estrutural 14 x 19 x 34 cm, 4,5 MPa (nbr 15270)	m3	0,0127	574,53	R\$ 7,30
87286	Argamassa traço 1:1:6 (em volume de cimento, cal e areia média úmida) para emboço/massa única/assentamento de alvenaria de vedação, preparo mecânico com betoneira 400 l. af 08/2019	h	0,66	25,41	R\$ 16,77
88309	Pedreiro com encargos complementares	h	0,33	17,58	R\$ 5,80
88316	Servente com encargos complementares	m	0,87	6,3	R\$ 5,48
VALOR TOTAL				R\$ 68,40	

Composição Analítica - Código – 89300*					
Código SINAPI	Descrição	UN	Qtd.	Preço Unitário	Preço Total
34547	Tela de aço soldada galvanizada/zincada para alvenaria, fio d = *1,20 a 1,70* mm, malha 15 x 15 mm, (c x l) *50 x 12* cm	m	0,87	6,3	R\$ 5,48
34588	Bloco de concreto estrutural 14 x 19 x 39 cm, 4,5 MPa (nbr 15270)	un	7,53	2,49	R\$ 18,75

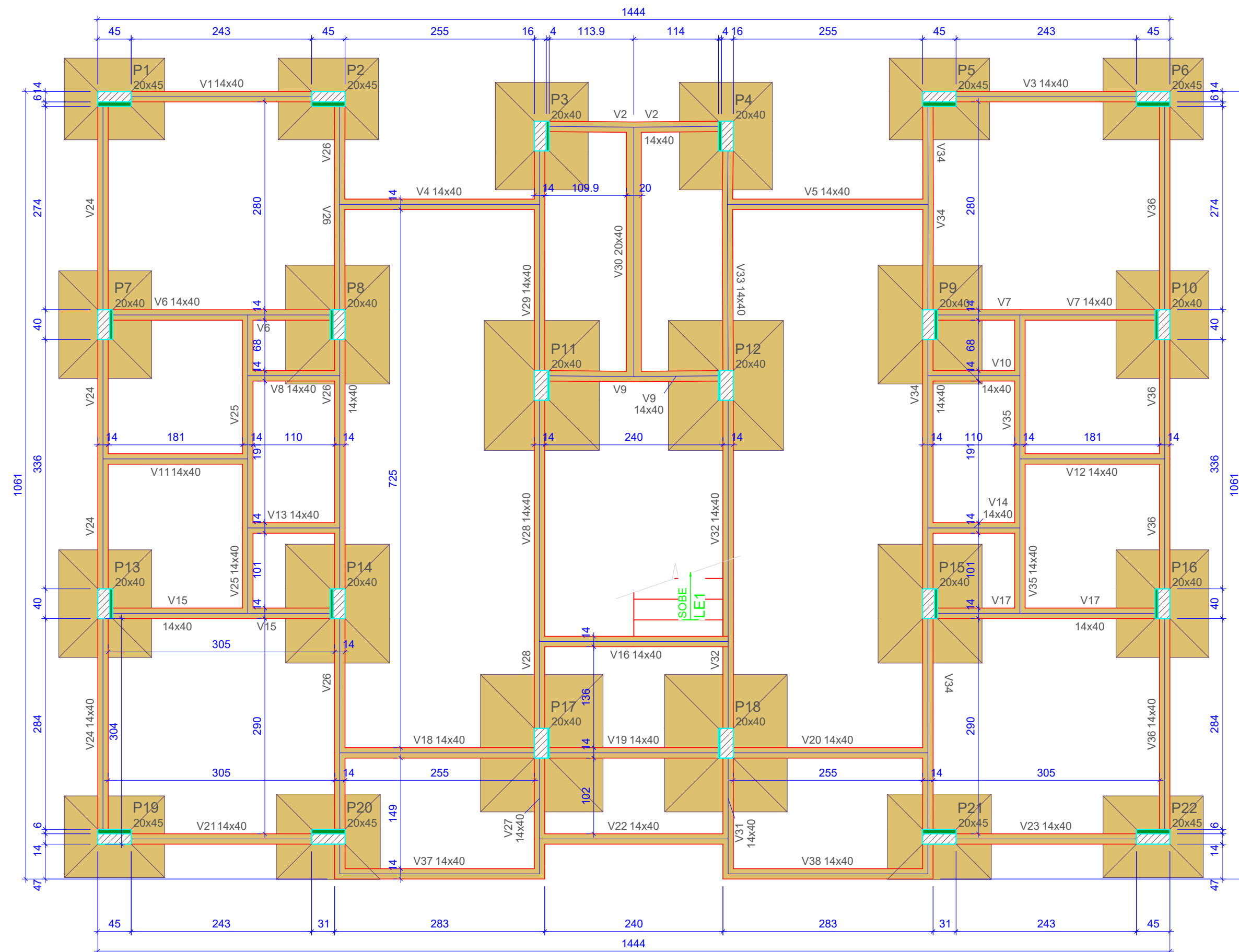
34655	Canaleta de concreto estrutural, 14 x 19 x 39 cm, 4,5 MPa (nbr15270)	un	2,01	2,81	R\$ 5,65
34781	Meio bloco de concreto estrutural 14 x 19 x 19 cm, 4,5 MPa (nbr 15270)	un	4,01	1,42	R\$ 5,69
38548	Canaleta de concreto estrutural, 14 x 19 x 19 cm, 4,5 MPa (nbr15270)	un	0,25	1,68	R\$ 0,42
38603	Bloco de concreto estrutural 14 x 19 x 34 cm, 4,5 MPa (nbr 15270)	un	1,51	2,28	R\$ 3,44
87286	Argamassa traço 1:1:6 (em volume de cimento, cal e areia média úmida) para emboço/massa única/assentamento de alvenaria de vedação, preparo mecânico com betoneira 400 l. af 08/2019	m3	0,0127	574,53	R\$ 7,30
88309	Pedreiro com encargos complementares	h	0,77	25,41	R\$ 19,57
88316	Servente com encargos complementares	h	0,38	17,58	R\$ 6,68
VALOR TOTAL				R\$ 72,98	

Composição Analítica - Código – 89302*					
Código SINAPI	Descrição	UN	Qtd.	Preço Unitário	Preço Total
34547	Tela de aço soldada galvanizada/zincada para alvenaria, fio d = *1,20 a 1,70* mm, malha 15 x 15 mm, (c x l) *50 x 12* cm	m	0,395	6,3	R\$ 2,49
34588	Bloco de concreto estrutural 14 x 19 x 39 cm, 4,5 MPa (nbr 15270)	un	11,02	2,49	R\$ 27,44
34655	Canaleta de concreto estrutural, 14 x 19 x 39 cm, 4,5 MPa (nbr15270)	un	0,92	2,81	R\$ 2,59
34781	Meio bloco de concreto estrutural 14 x 19 x 19 cm, 4,5 MPa (nbr 15270)	un	0,69	1,42	R\$ 0,98
38548	Canaleta de concreto estrutural, 14 x 19 x 19 cm, 4,5 MPa (nbr15270)	un	0,11	1,68	R\$ 0,18
38603	Bloco de concreto estrutural 14 x 19 x 34 cm, 4,5 MPa (nbr 15270)	un	0,69	2,28	R\$ 1,57
87286	Argamassa traço 1:1:6 (em volume de cimento, cal e areia média úmida) para emboço/massa única/assentamento de alvenaria de vedação, preparo mecânico com betoneira 400 l. af 08/2019	m3	0,0127	574,53	R\$ 7,30
88309	Pedreiro com encargos complementares	h	0,55	25,41	R\$ 13,98
88316	Servente com encargos complementares	h	0,28	17,58	R\$ 4,92
VALOR TOTAL				R\$ 61,45	

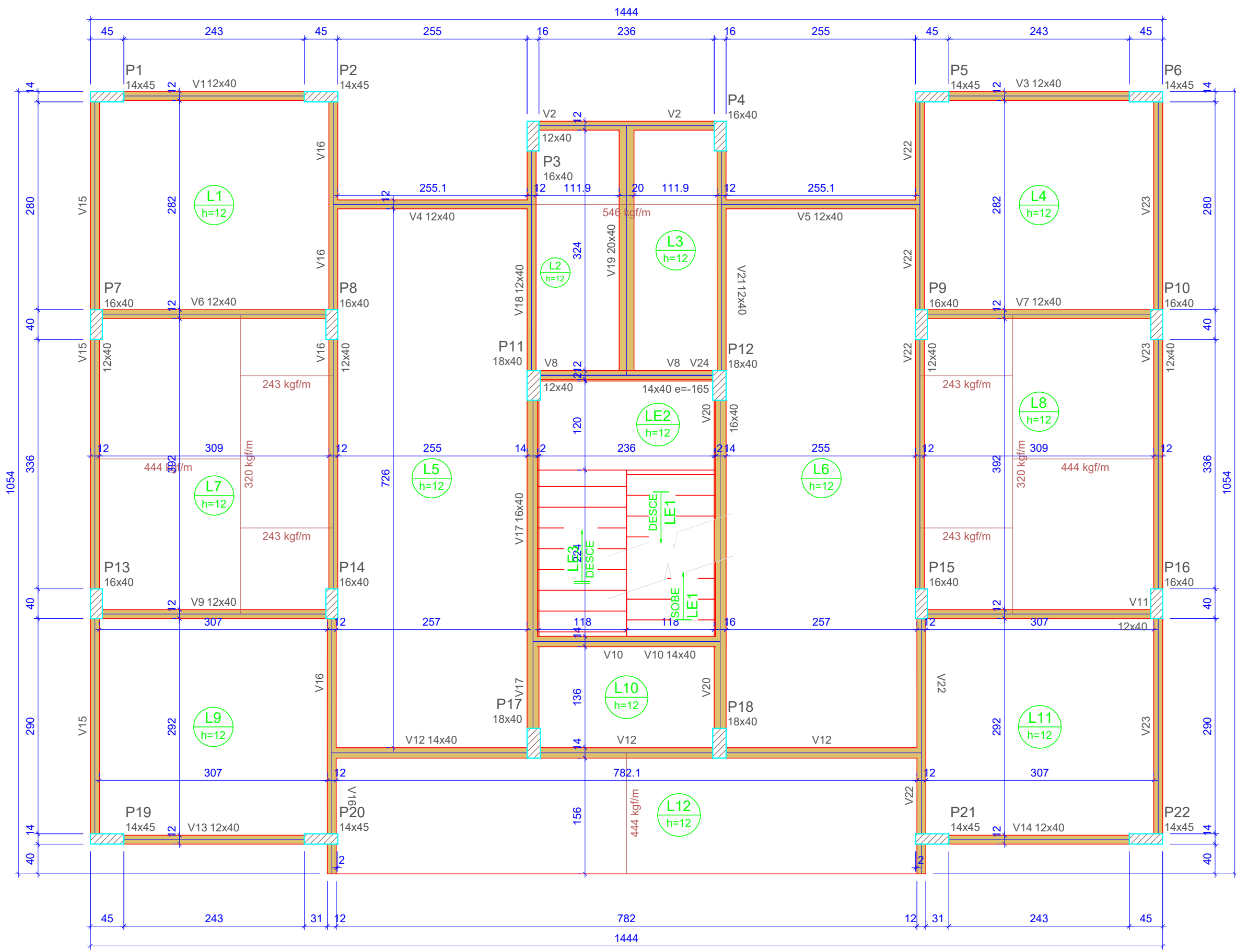
Composição Analítica - Código – 89304*					
Código SINAPI	Descrição	UN	Qtd.	Preço Unitário	Preço Total
34547	Tela de aço soldada galvanizada/zincada para alvenaria, fio d = *1,20 a 1,70* mm, malha 15 x 15 mm, (c x l) *50 x 12* cm	m	0,395	6,3	R\$ 2,49
34588	Bloco de concreto estrutural 14 x 19 x 39 cm, 4,5 MPa (nbr 15270)	un	9,37	2,49	R\$ 23,33
34655	Canaleta de concreto estrutural, 14 x 19 x 39 cm, 4,5 MPa (nbr15270)	un	2,16	2,81	R\$ 6,07
34781	Meio bloco de concreto estrutural 14 x 19 x 19 cm, 4,5 MPa (nbr 15270)	un	1,44	1,42	R\$ 2,04
38548	Canaleta de concreto estrutural, 14 x 19 x 19 cm, 4,5 MPa (nbr15270)	un	0,12	1,68	R\$ 0,20

38603	Bloco de concreto estrutural 14 x 19 x 34 cm, 4,5 MPa (nбр 15270)	un	0,72	2,28	R\$ 1,64
87286	Argamassa traço 1:1:6 (em volume de cimento, cal e areia média úmida) para emboço/massa única/assentamento de alvenaria de vedação, preparo mecânico com betoneira 400 l. af 08/2019	m3	0,0127	574,53	R\$ 7,30
88309	Pedreiro com encargos complementares	h	0,61	25,41	R\$ 15,50
88316	Servente com encargos complementares	h	0,3	17,58	R\$ 5,27
VALOR TOTAL				R\$ 63,85	

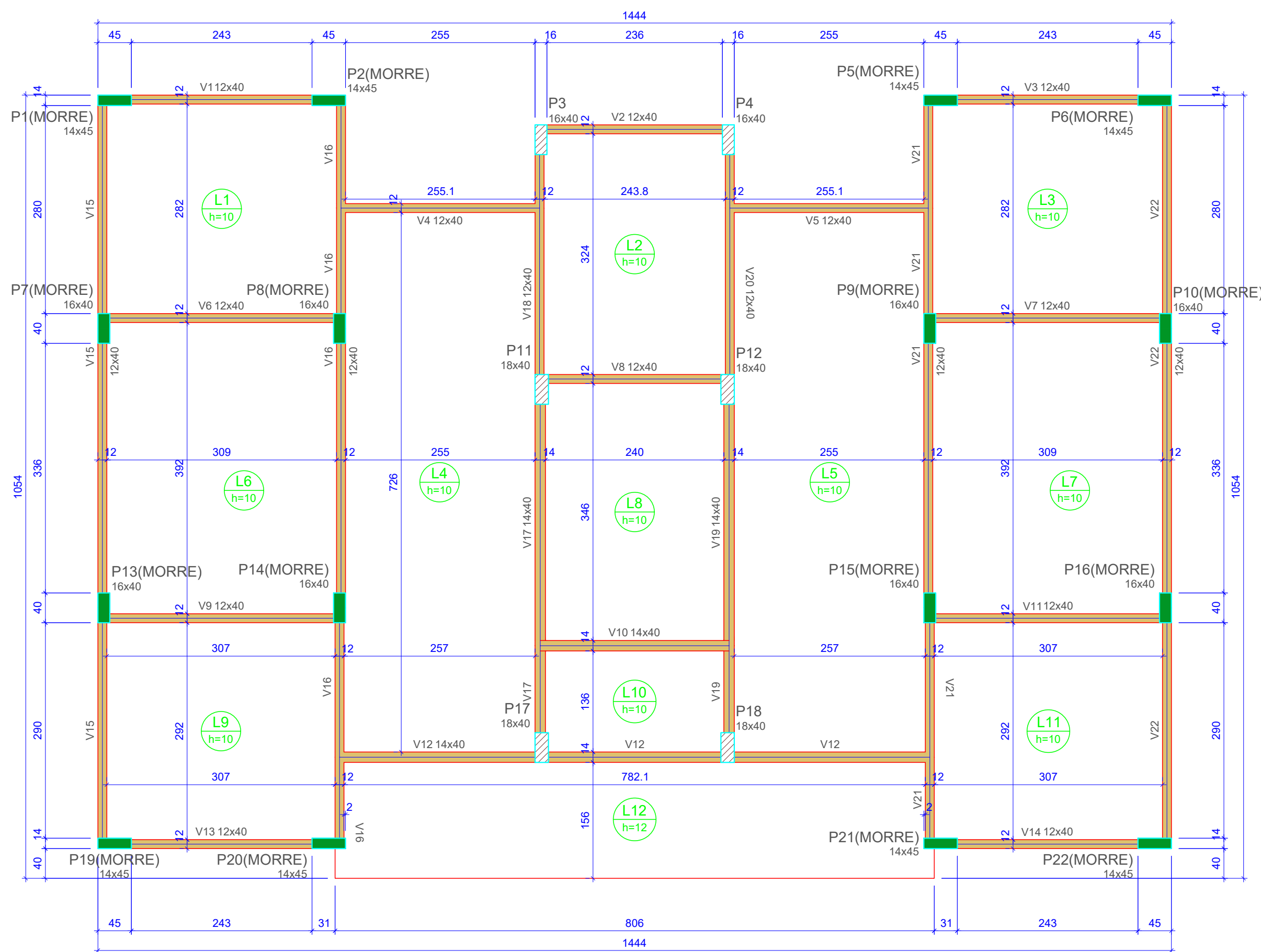
Composição Analítica - Código – 92725*					
Código SINAPI	Descrição	UN	Qtd.	Preço Unitário	Preço Total
01524	Concreto usinado bombeável, classe de resistência c25, com brita 0 e 1, slump = 100 +/- 20 mm, inclui serviço de bombeamento (nбр 8953)	m3	1,103	R\$ 406,56	R\$ 448,44
88262	Carpinteiro de fôrmas com encargos complementares	h	0,085	R\$ 25,18	R\$ 2,14
88309	Pedreiro com encargos complementares	h	0,512	R\$ 25,41	R\$ 13,01
88316	Servente com encargos complementares	h	0,586	R\$ 15,30	R\$ 8,97
90586	Vibrador de imersão, diâmetro de ponteira 45mm, motor elétrico trifásico potência de 2 cv - chp diurno. af 06/2015	chp	0,044	R\$ 1,75	R\$ 0,08
90587	Vibrador de imersão, diâmetro de ponteira 45mm, motor elétrico trifásico potência de 2 cv - chi diurno. af 06/2015	chi	0,127	R\$ 0,36	R\$ 0,05
VALOR TOTAL				R\$ 472,67	



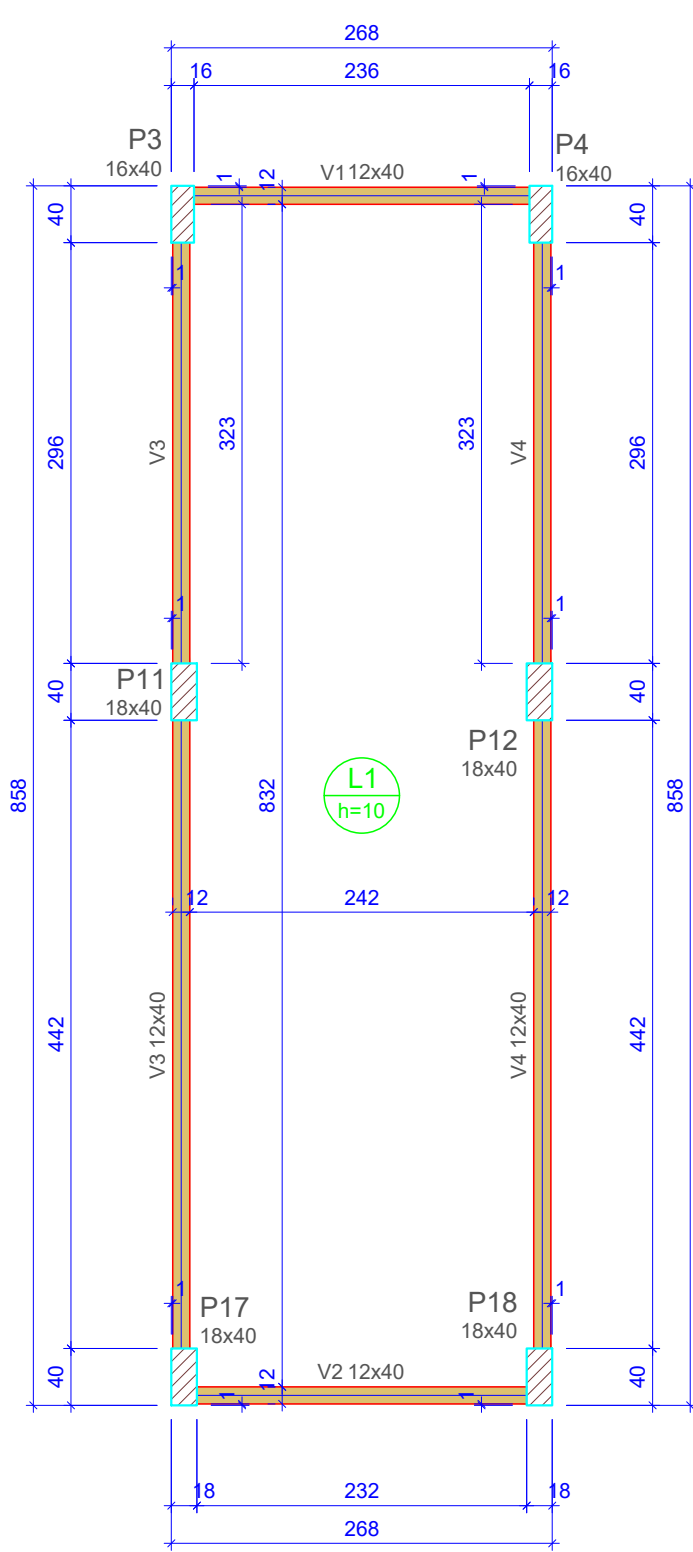
Forma do pavimento Térreo
escala 1:50



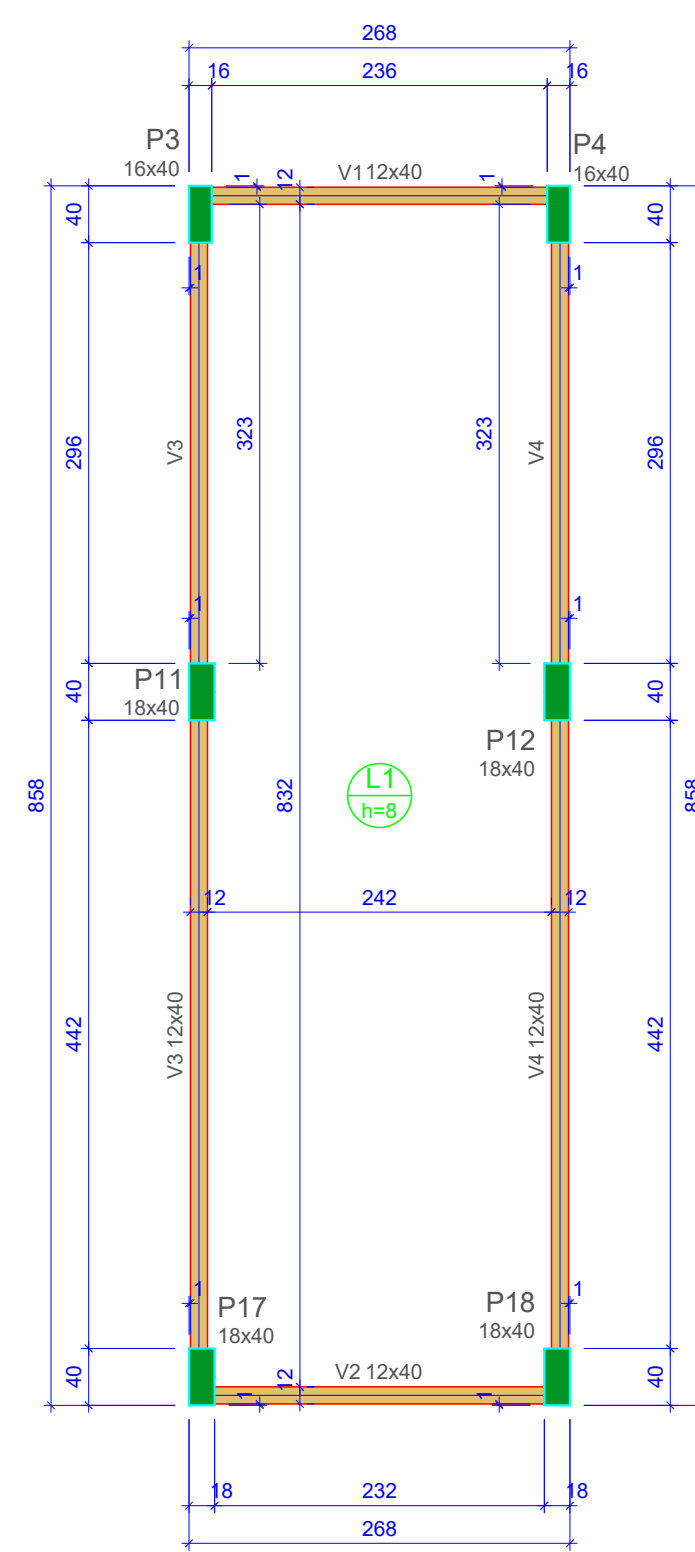
Forma dos pavimentos Tipo
escala 1:50



Forma do pavimento Cobertura
escala 1:50



Forma do pavimento Reservatório 1
escala 1:50



Forma de cobertura Reservatório2
escala 1:50

Legenda das vigas e paredes	
	Viga

Legenda dos pilares	
	Pilar que morre
	Pilar que passa

APÊNDICE C - PROJETO ESTRUTURAL

FINALIDADE DO PROJETO:

Projeto Estrutural em Concreto Armado

CONTEÚDO DA PRANCHA:

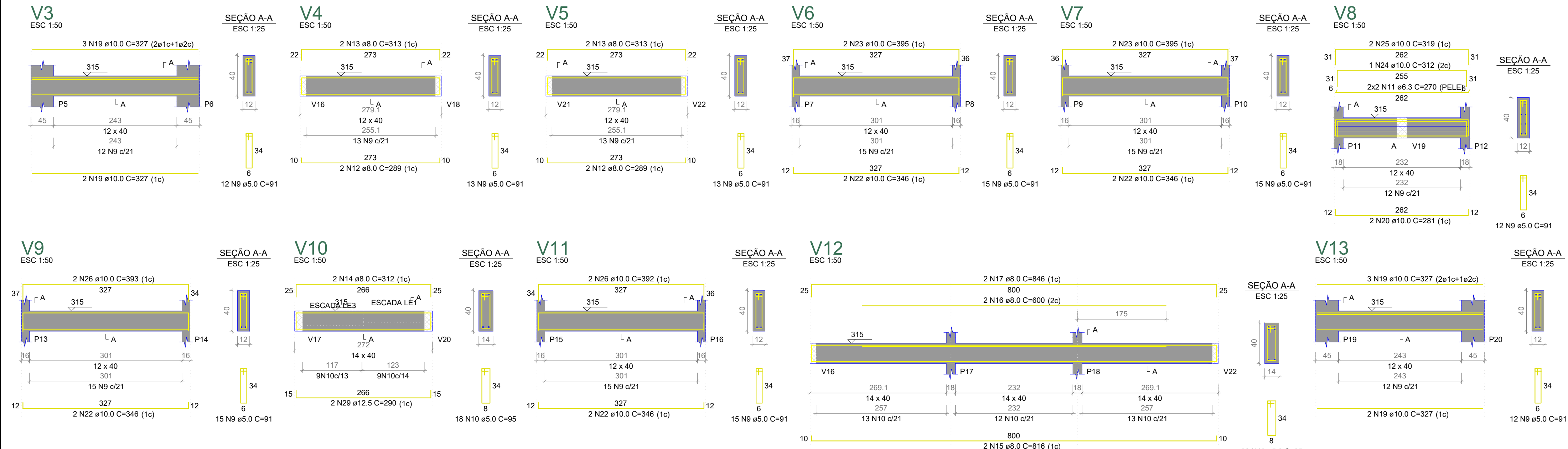
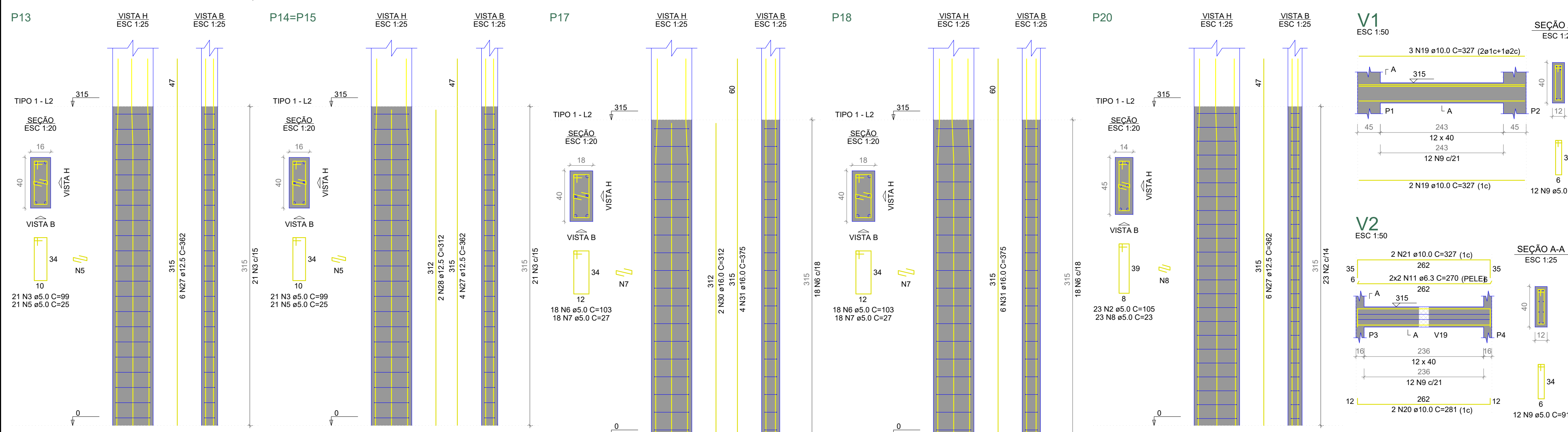
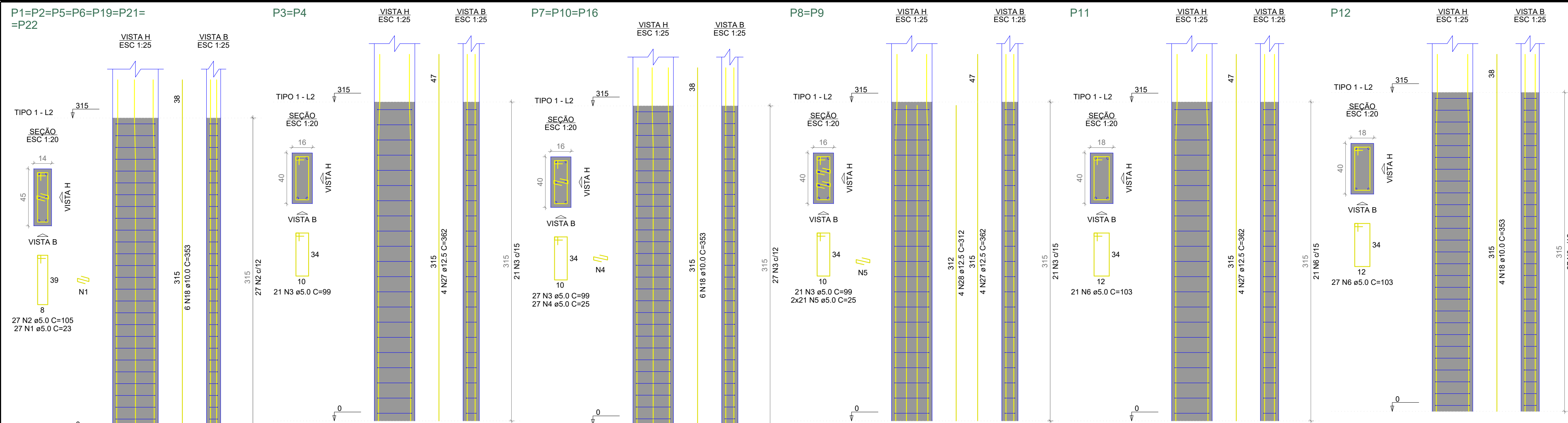
Plantas de Forma: Pav. Térreo, Tipo, Cobertura e Reservatório

AUTORIA DO PROJETO:

Jean Lucas Montalvão Ramos Rodrigues

PRANCHA:

01/06

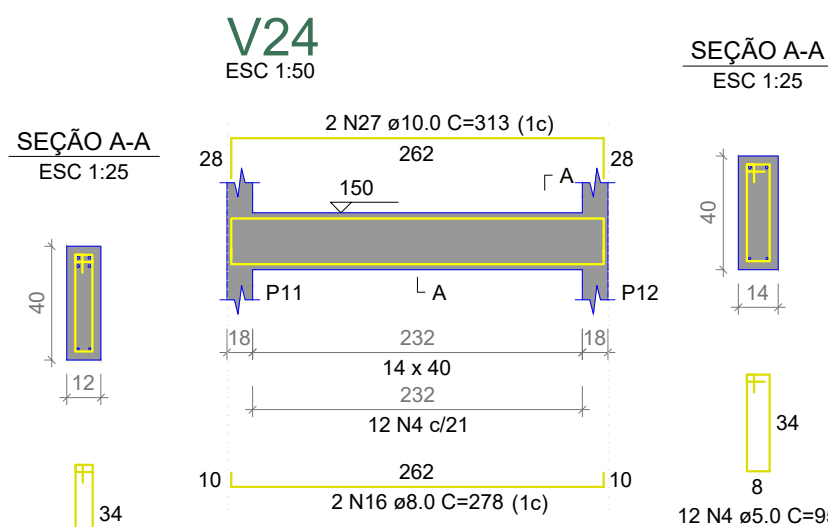
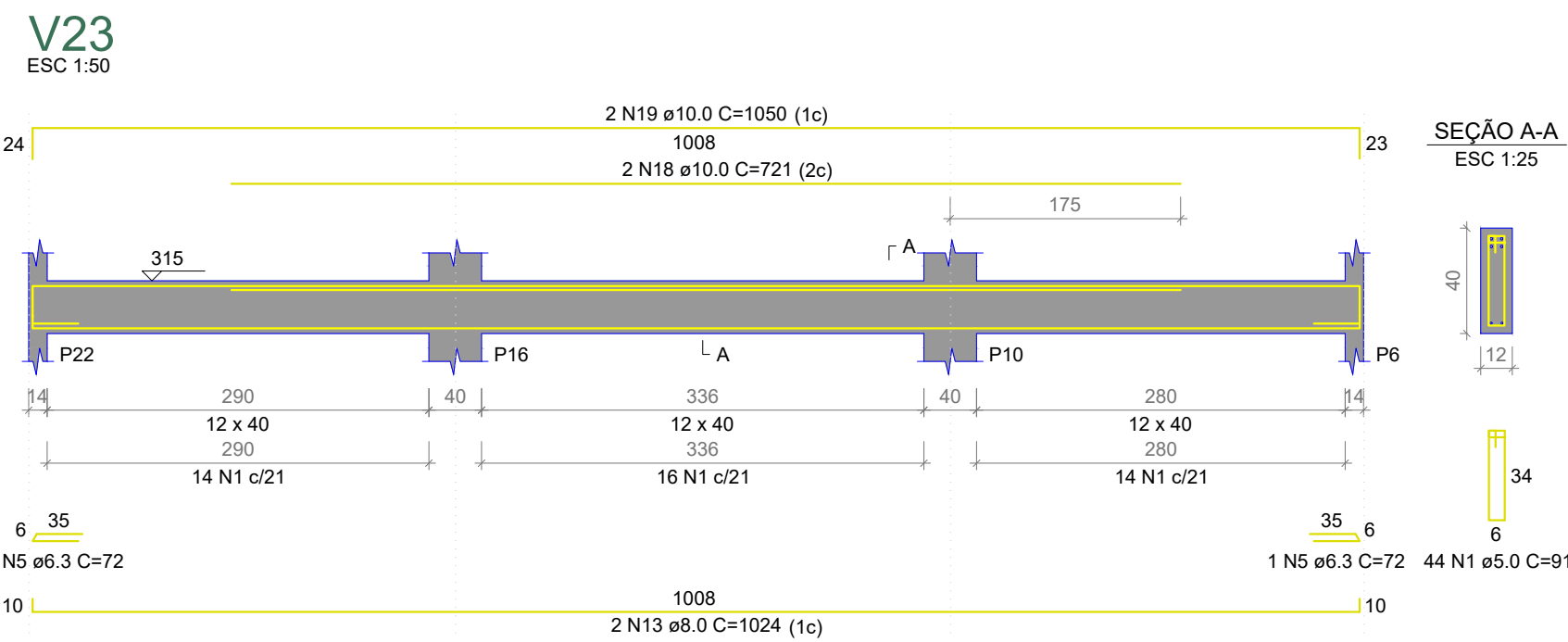
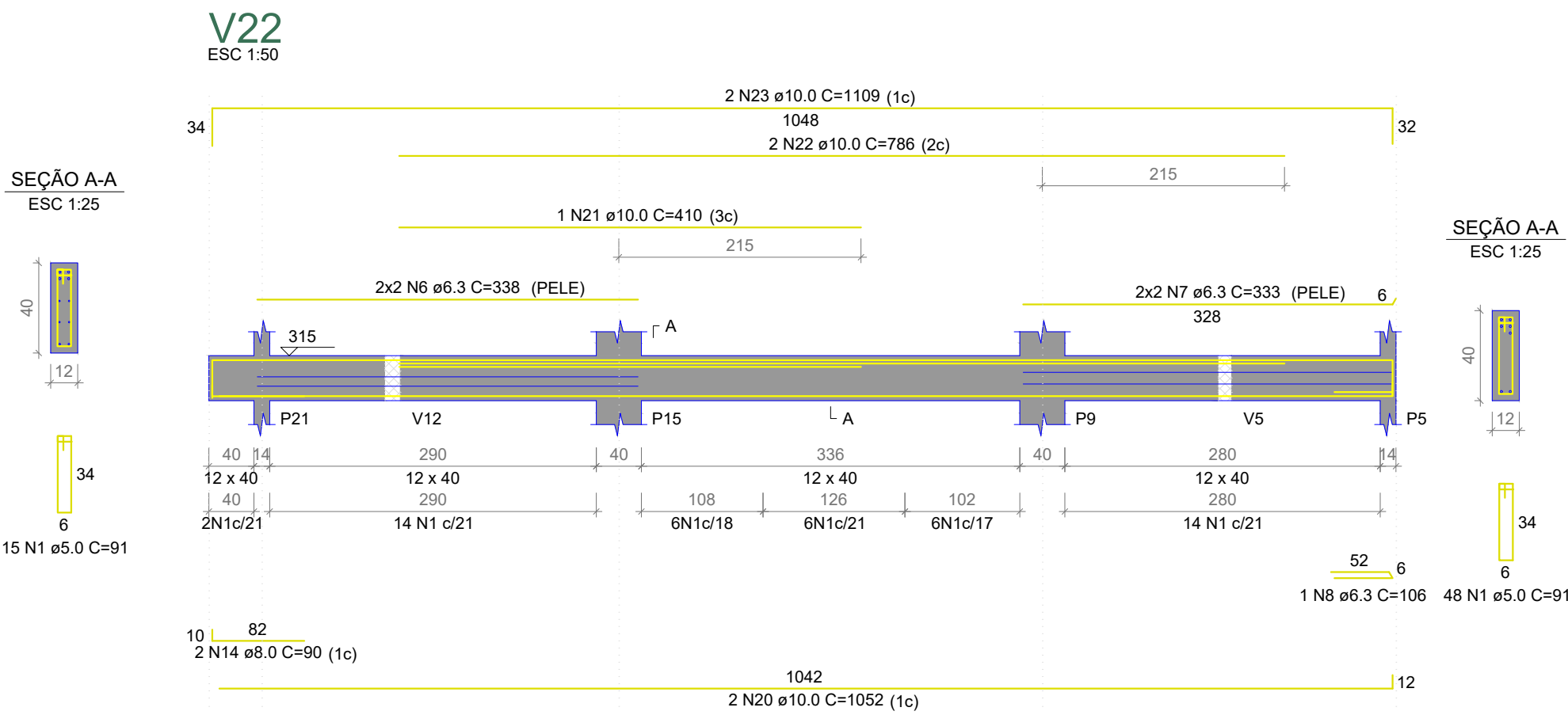
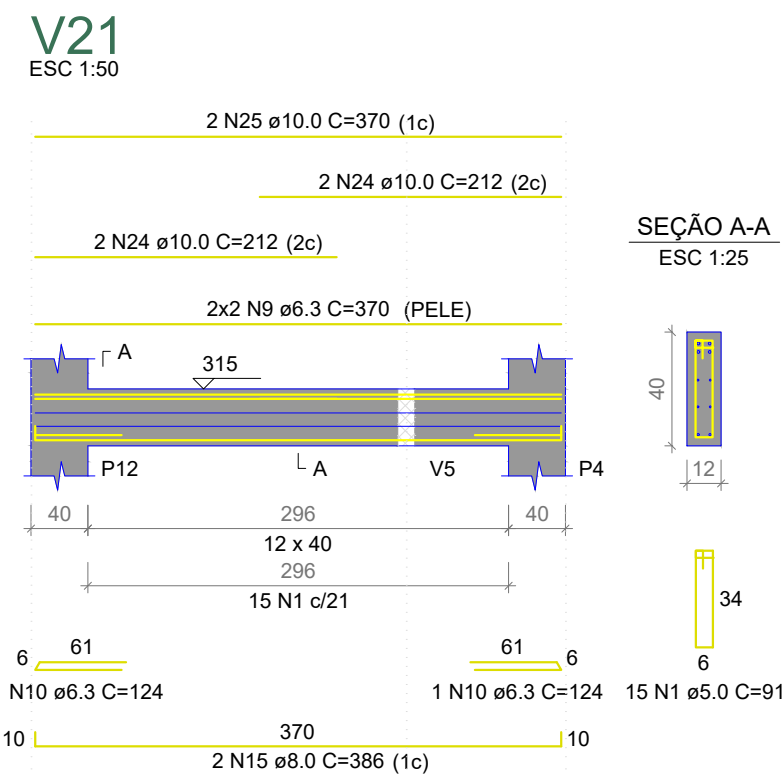
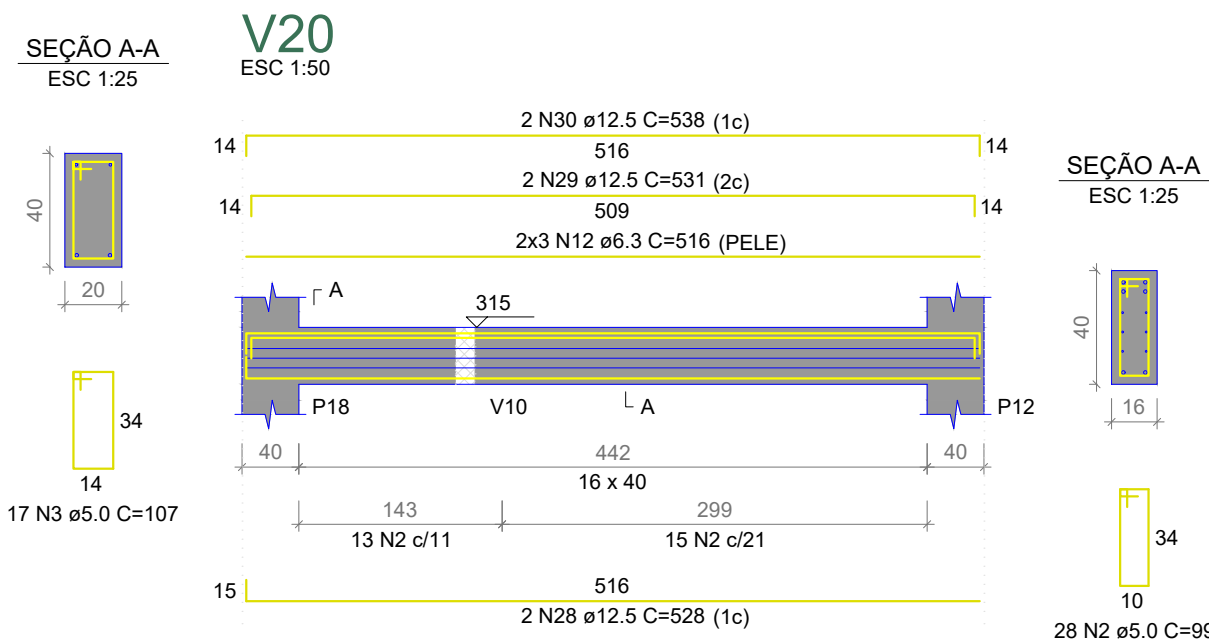
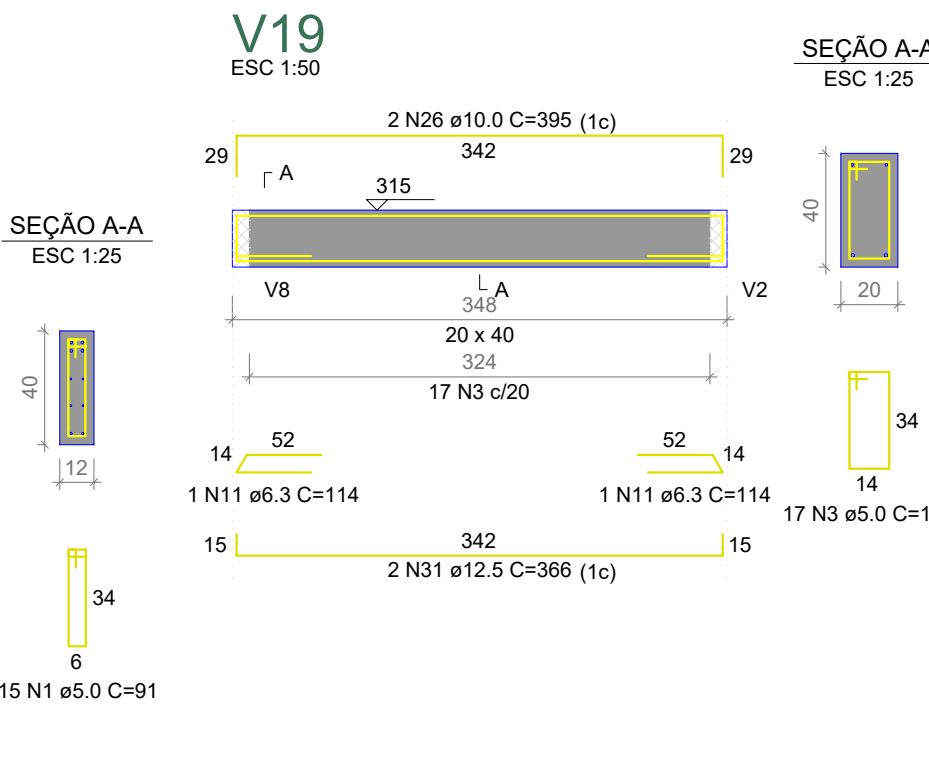
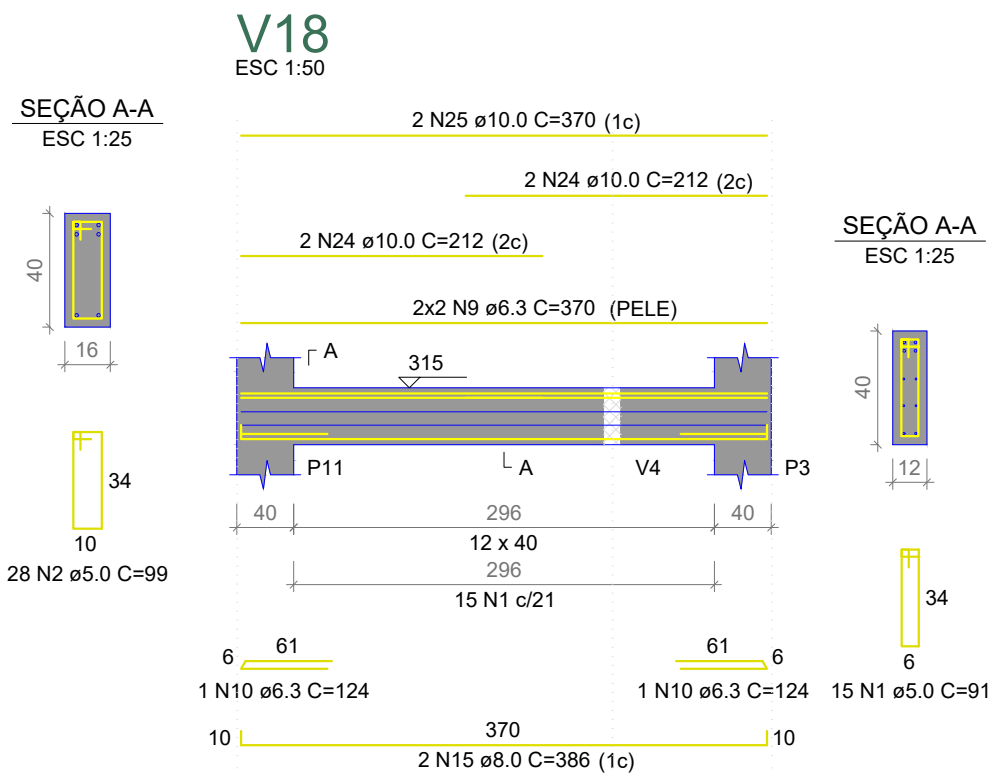
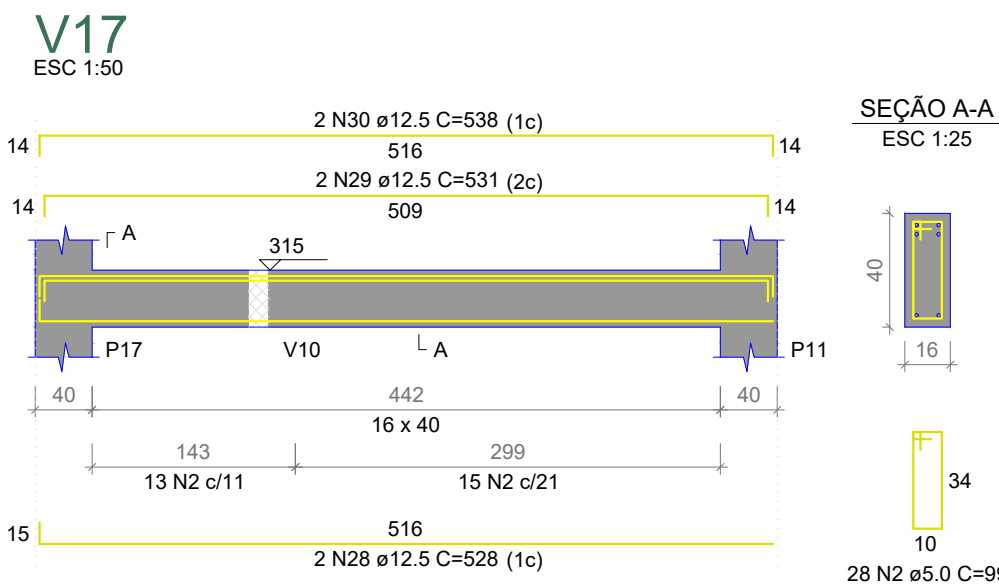
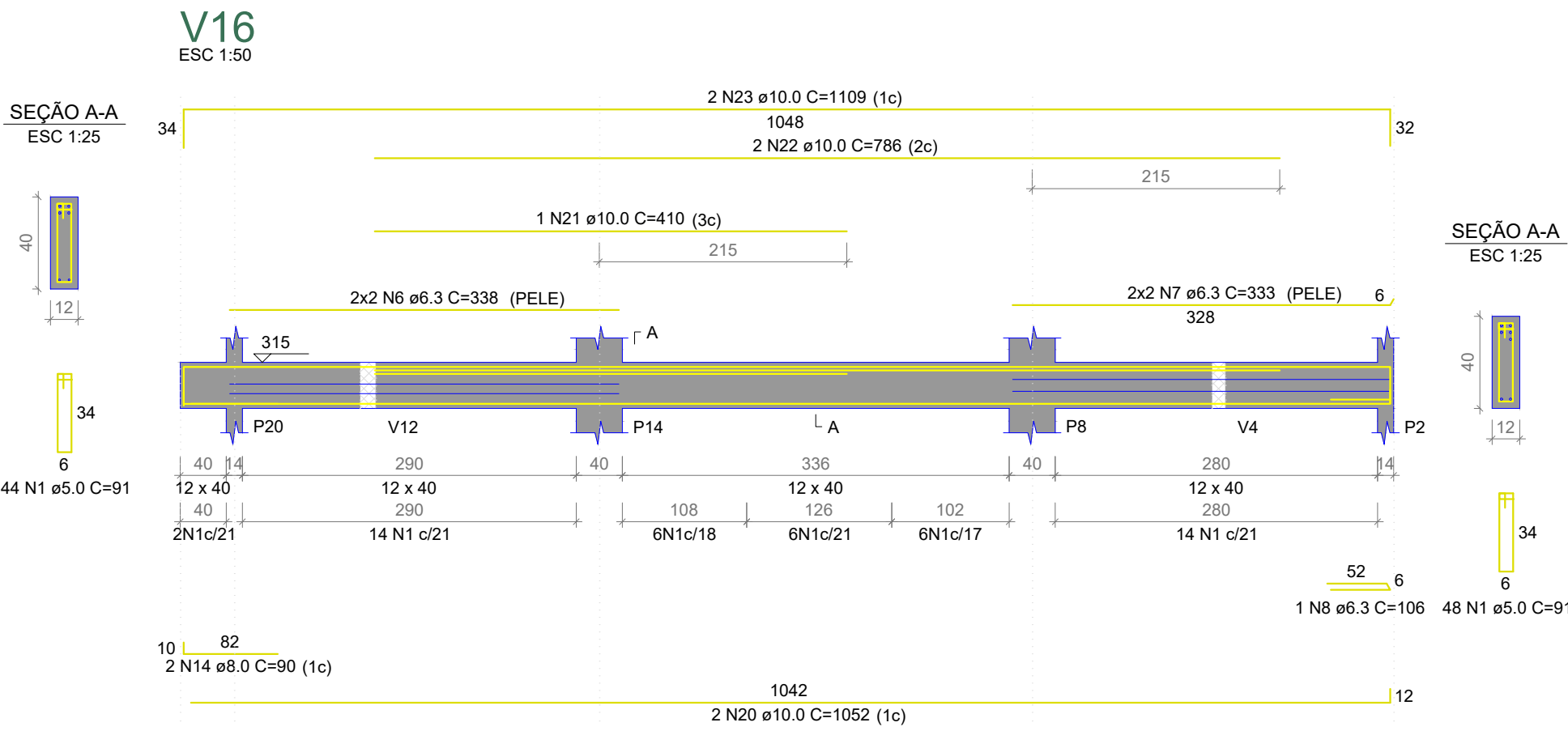
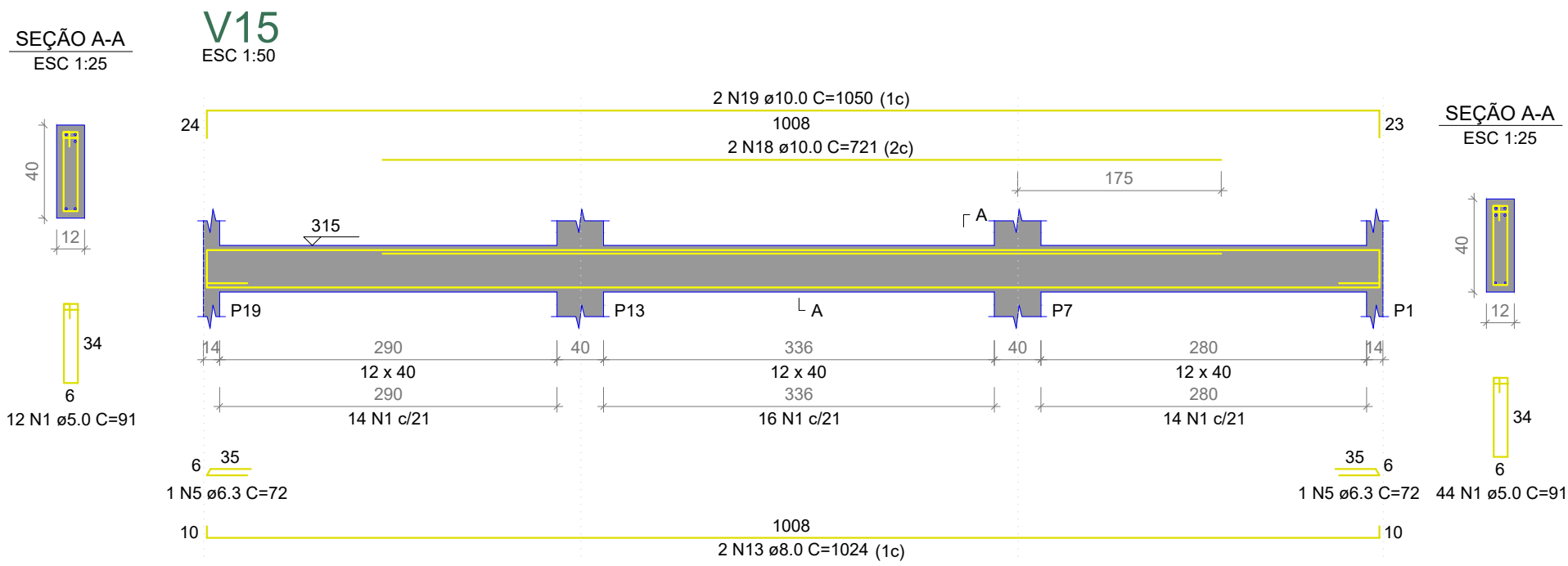
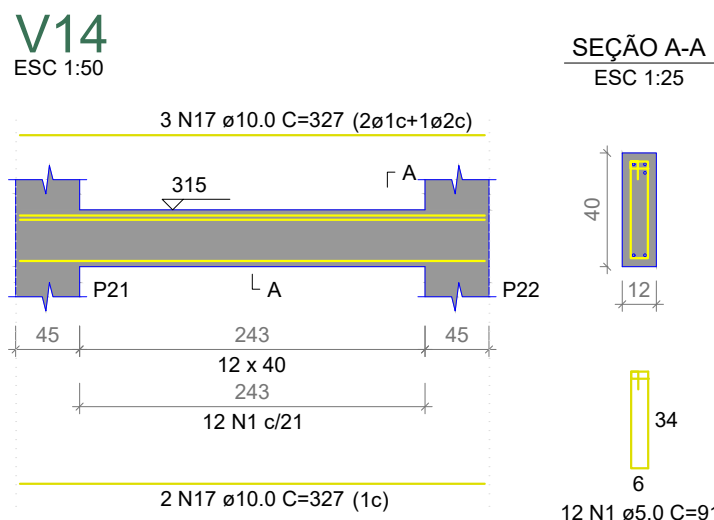


RELAÇÃO DO AÇO				
7xP1	2xP3	3xP7		
2xP8	P11	P12		
P13	2xP14	P17		
P18	P20	V1		
V2	V3	V4		
V5	V6	V7		
V8	V9	V10		
V11	V12	V13		

AÇO	N	DIAM (mm)	QUANT	C.UNIT (cm)	C.TOTAL (cm)
CA60	1	5.0	189	23	4347
	2	5.0	212	105	22260
	3	5.0	228	99	22572
	4	5.0	81	25	2025
	5	5.0	147	25	3675
	6	5.0	84	103	8652
	7	5.0	36	27	972
	8	5.0	23	23	529
	9	5.0	146	91	13286
	10	5.0	56	95	5320
CA50	11	6.3	8	270	2160
	12	8.0	4	289	1156
	13	8.0	4	313	1252
	14	8.0	2	312	624
	15	8.0	2	816	1632
	16	8.0	2	600	1200
	17	8.0	2	846	1692
	18	10.0	64	353	22592
	19	10.0	15	327	4905
	20	10.0	4	281	1124
	21	10.0	2	327	654
	22	10.0	8	346	2768
	23	10.0	4	395	1580
	24	10.0	1	312	312
	25	10.0	2	319	638
	26	10.0	4	393	1572
	27	12.5	40	362	14480
	28	12.5	12	312	3744
	29	12.5	2	290	580
	30	16.0	2	312	624
	31	16.0	10	375	3750

RESUMO DO AÇO			
AÇO	DIAM (mm)	C.TOTAL (m)	PESO + 10% (kg)
CA50	6.3	21.8	2
	8.0	75.6	7
	10.0	361.4	34
	12.5	188	18
CA60	16.0	43.7	5
	5.0	836.4	77
PESO TOTAL (kg)			
CA50		558.9	
CA60		141.8	

Volume de concreto (C-25) = 6.76 m³
Área de forma = 121.28 m²



RELAÇÃO DO AÇO					
AÇO	N	DIAM (mm)	QUANT	C.UNIT (cm)	C.TOTAL (cm)
CA60	1	5.0	226	91	20566
	2	5.0	56	99	5544
	3	5.0	17	107	1819
	4	5.0	12	95	1140
CA50	5	6.3	4	72	288
	6	6.3	8	338	2704
	7	6.3	8	333	2664
	8	6.3	2	106	212
	9	6.3	8	370	2960
	10	6.3	4	124	496
	11	6.3	2	114	228
	12	6.3	6	516	3096
	13	8.0	4	1024	4096
	14	8.0	4	90	360
	15	8.0	4	386	1544
	16	8.0	2	278	556
	17	10.0	5	327	1635
	18	10.0	4	721	2884
	19	10.0	4	1050	4200
	20	10.0	4	1052	4208
	21	10.0	2	410	820
	22	10.0	4	786	3144
	23	10.0	4	1109	4436
	24	10.0	8	212	1696
	25	10.0	4	370	1480
	26	10.0	2	395	790
	27	10.0	2	313	626
	28	12.5	4	528	2112
	29	12.5	4	531	2124
	30	12.5	4	538	2152
	31	12.5	2	366	732

RESUMO DO AÇO				
AÇO	DIAM (mm)	C.TOTAL (m)	QUANT + 10% (Barras)	PESO + 10% (kg)
CA50	6.3	126.5	12	34
	8.0	65.6	7	28.5
	10.0	259.2	24	175.8
	12.5	71.2	7	75.4
CA60	5.0	290.7	27	49.3
PESO TOTAL (kg)				
CA50	313.7			
CA60	49.3			

Volume de concreto (C-25) = 3.60 m³
Área de forma = 64.06 m²

APÊNDICE E - PROJETO ESTRUTURAL

FINALIDADE DO PROJETO:

Projeto Estrutural em Concreto Armado

CONTEÚDO DA PRANCHA:

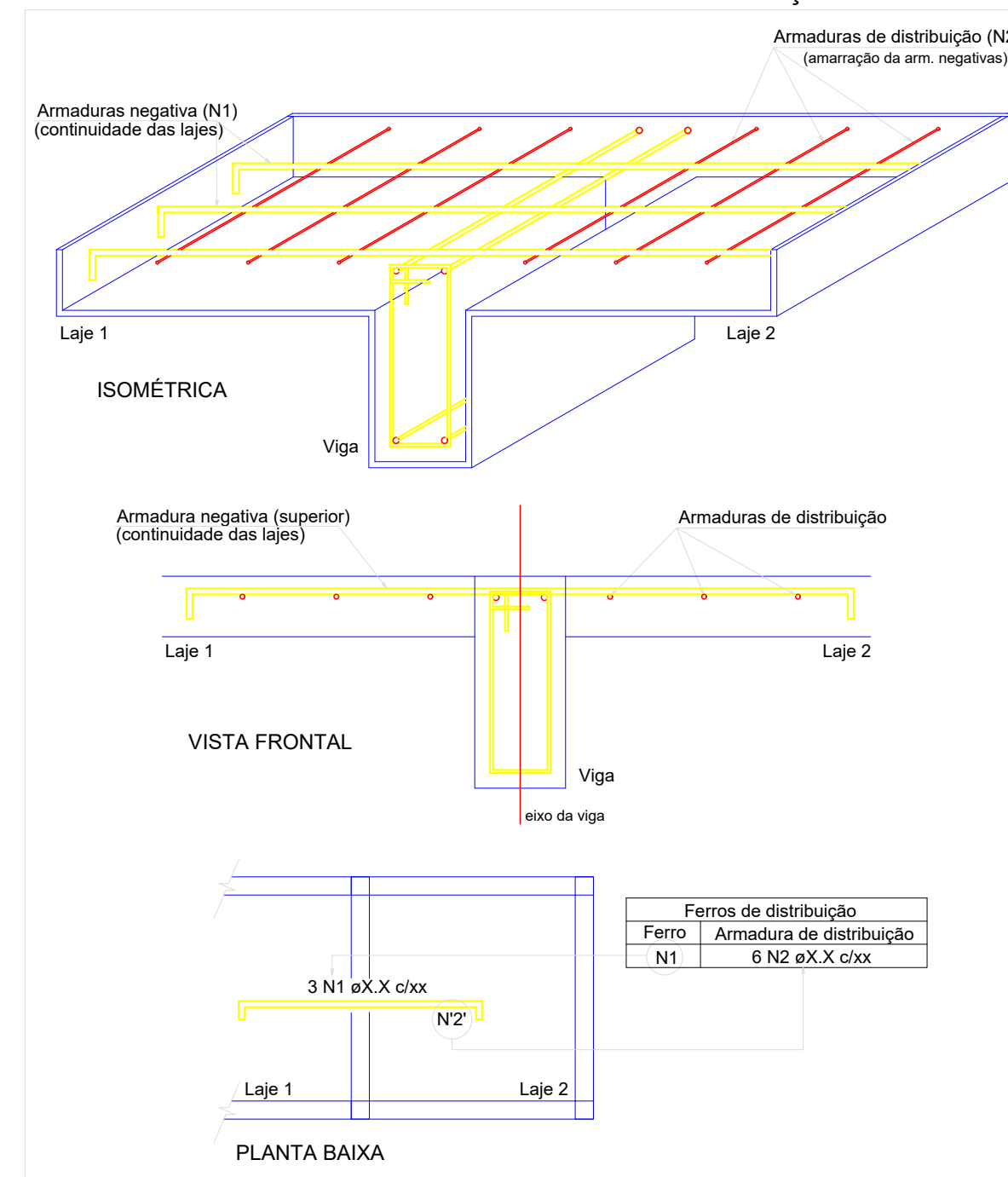
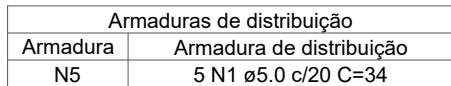
Armaduras das Vigas do Pavimento Tipo

AUTORIA DO PROJETO:

Jean Lucas Montalvão Ramos Rodrigues

PRANCHA:

03/06

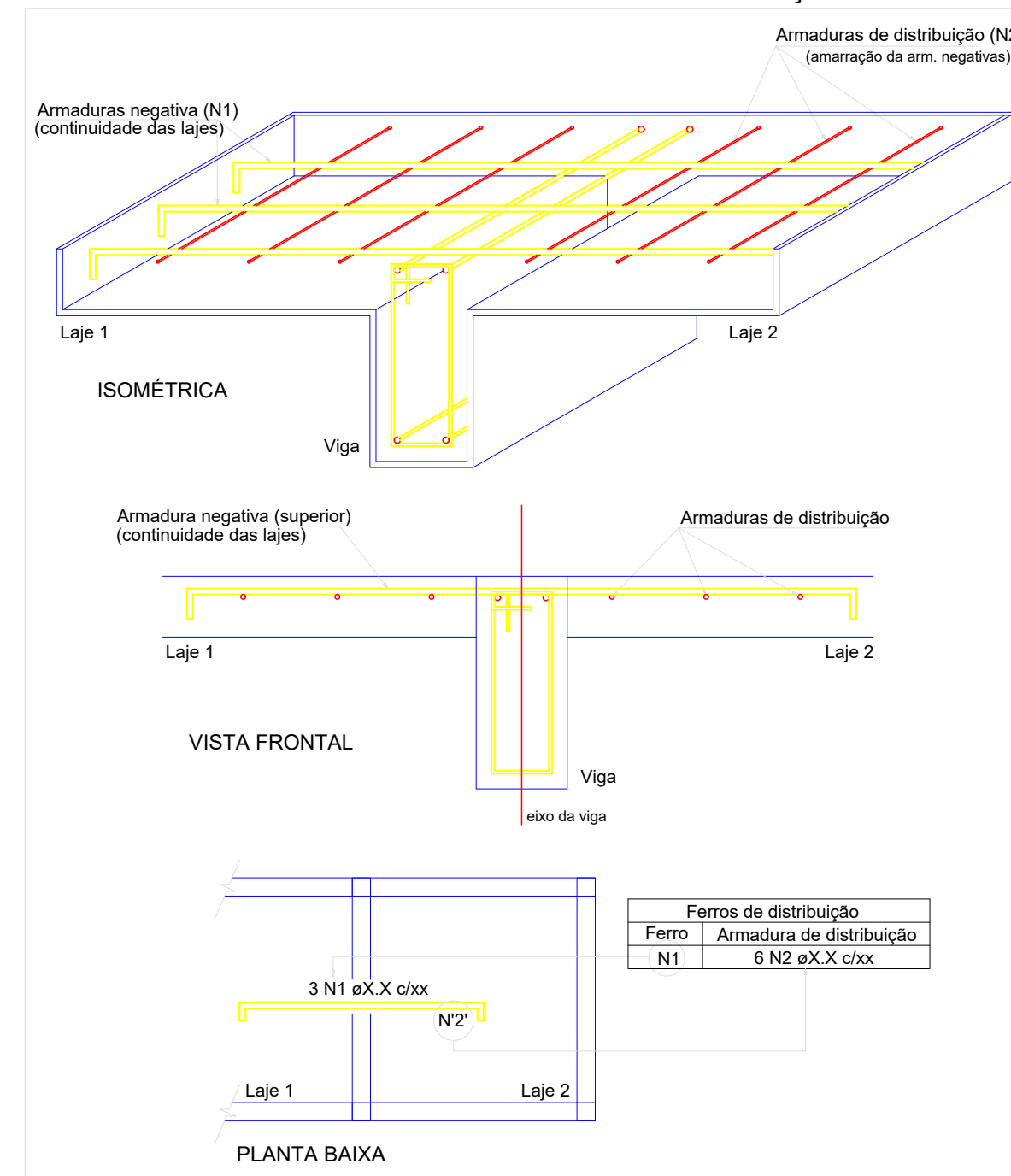
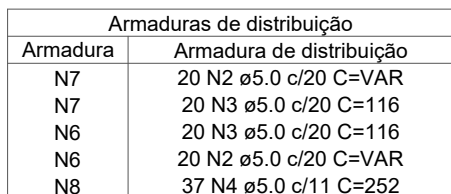


RELAÇÃO DO AÇO				
Negativos X		Negativos Y		
AÇO	N	DIAM (mm)	QUANT	C.UNIT (cm)
CA60	1	5,0	5	34
	2	5,0	40	VAR
	3	5,0	40	116
	4	5,0	37	252
CA50	5	6,3	5	99
	6	6,3	28	412
	7	8,0	16	VAR
	8	10,0	28	4140

RESUMO DO AÇO				
AÇO	DIAM (mm)	C.TOTAL (m)	QUANT + 10% (Barras)	PESO + 10% (kg)
CA50	6.3	103.8	10	27.9
	8.0	65.8	7	28.5
	10.0	114.8	11	77.9
CA60	5.0	203.3	19	34.5
PESO TOTAL (kg)				
CA50	134.3			
CA60	34.5			

Volume de concreto (C-25) = 0.00 m³
Área de forma = 0.00 m²

escala 1:50



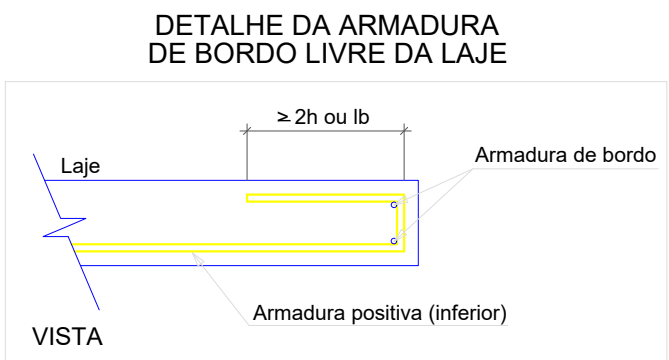
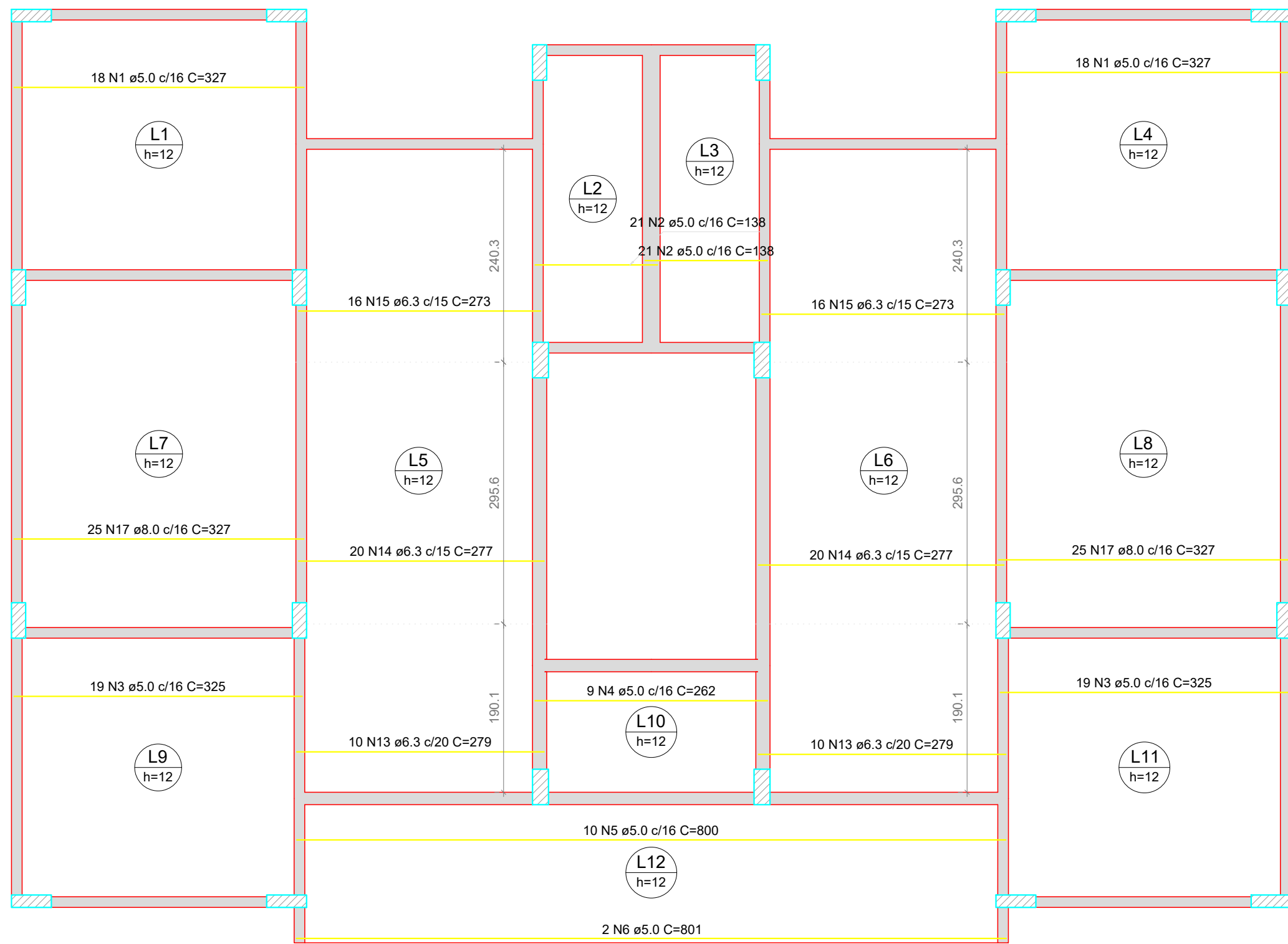
escala 1:50

FINALIDADE DO PROJETO:
Projeto Estrutural em Concreto Armado

AUTORIA DO PROJETO:
Jean Lucas Montalvão Ramos Rodrigues

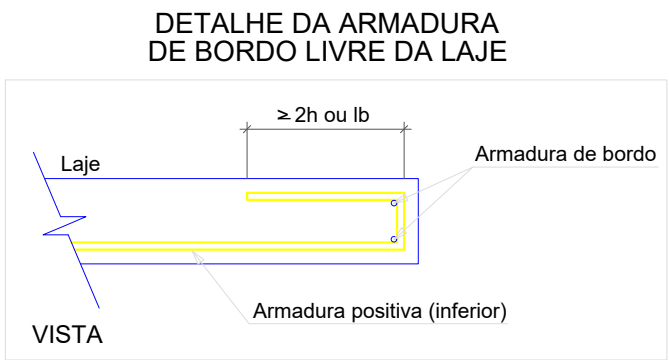
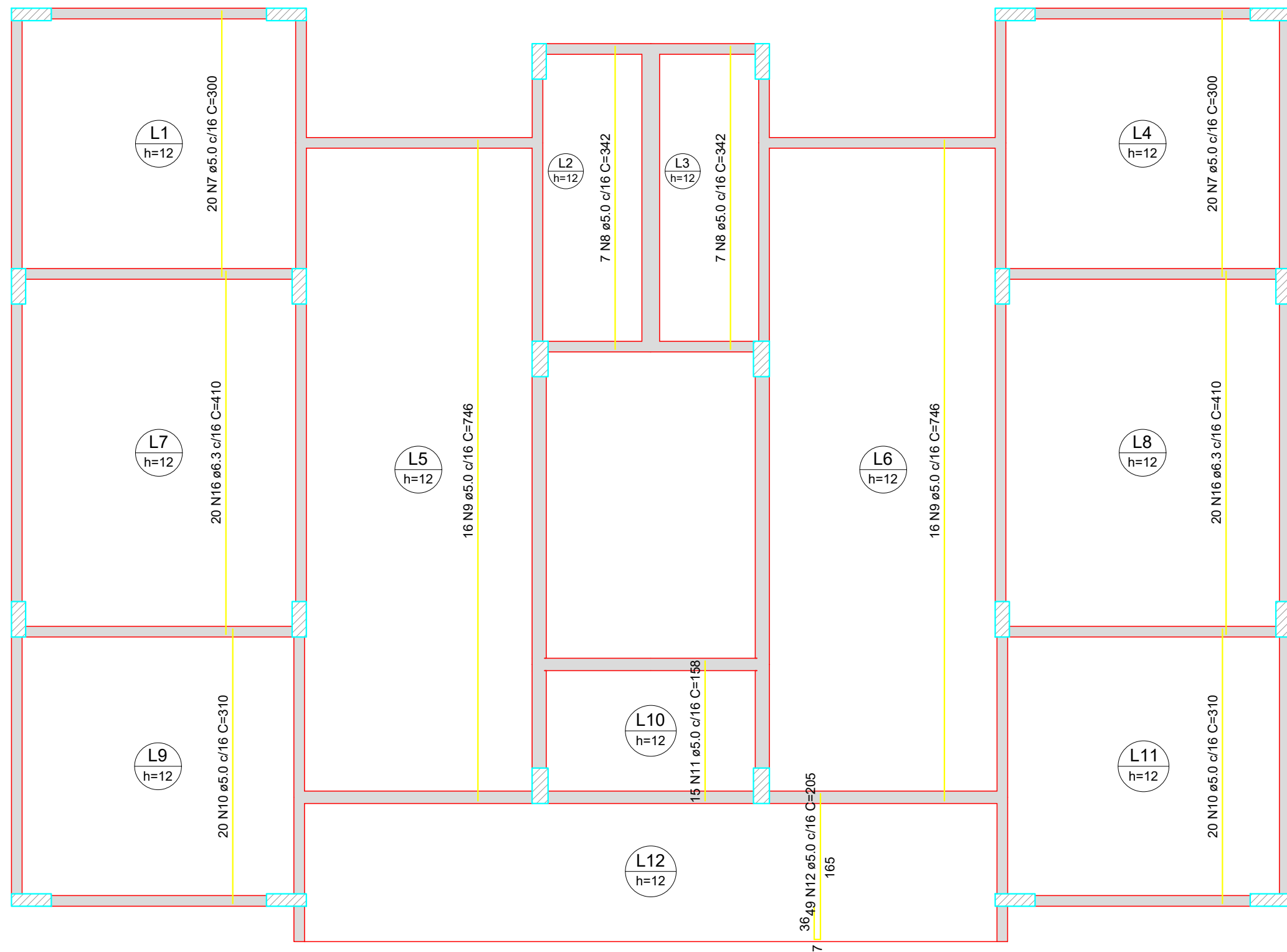
MANCHA:

04/06



Armação positiva das lajes do pavimento Tipo 1 (Eixo X)

escala 1:50



Armação positiva das lajes do pavimento Tipo 1 (Eixo Y)

escala 1:50

RELAÇÃO DO AÇO					
Positivos X			Positivos Y		
AÇO	N	DIAM (mm)	QUANT	C.UNIT (cm)	C.TOTAL (cm)
CA60	1	5.0	36	327	11772
	2	5.0	42	138	5796
	3	5.0	38	325	12350
	4	5.0	9	262	2358
	5	5.0	10	800	8000
	6	5.0	2	801	1602
	7	5.0	40	300	12000
	8	5.0	14	342	4788
	9	5.0	32	746	23872
	10	5.0	40	310	12400
	11	5.0	15	158	2370
	12	5.0	49	205	10045
CA50	13	6.3	20	279	5580
	14	6.3	40	277	11080
	15	6.3	32	273	8736
	16	6.3	40	410	16400
	17	8.0	50	327	16350

RESUMO DO AÇO				
AÇO	DIAM (mm)	C.TOTAL (m)	QUANT + 10% (Barras)	PESO + 10% (kg)
CA50	6.3	418	39	112.5
CA60	8.0	163.5	15	71
CA60	5.0	1073.5	99	182
PESO TOTAL (kg)				
CA50	183.5			
CA60	182			

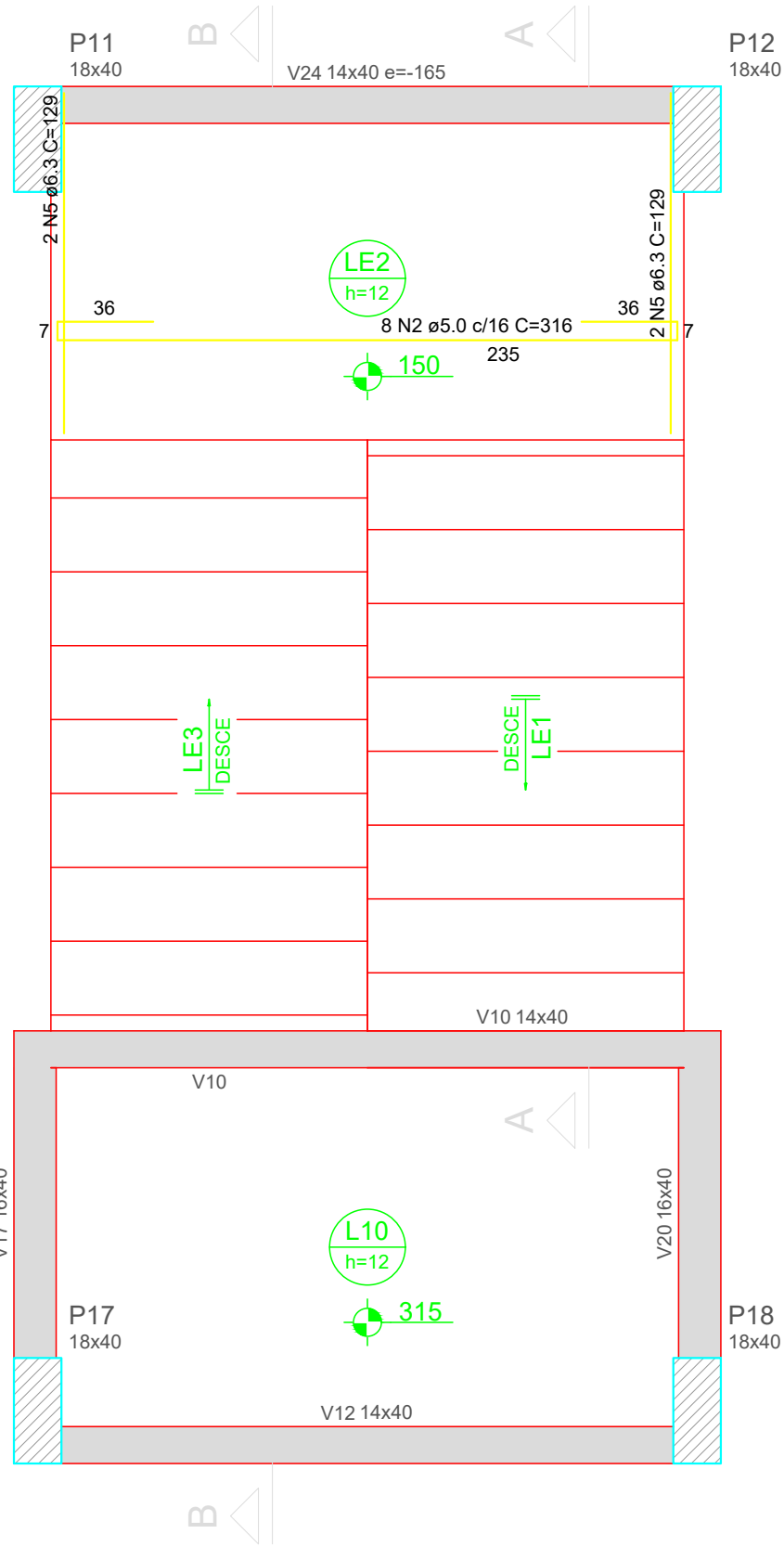
Volume de concreto (C-25) = 14.38 m³
Área de forma = 120.77 m²

APÊNDICE G - PROJETO ESTRUTURAL

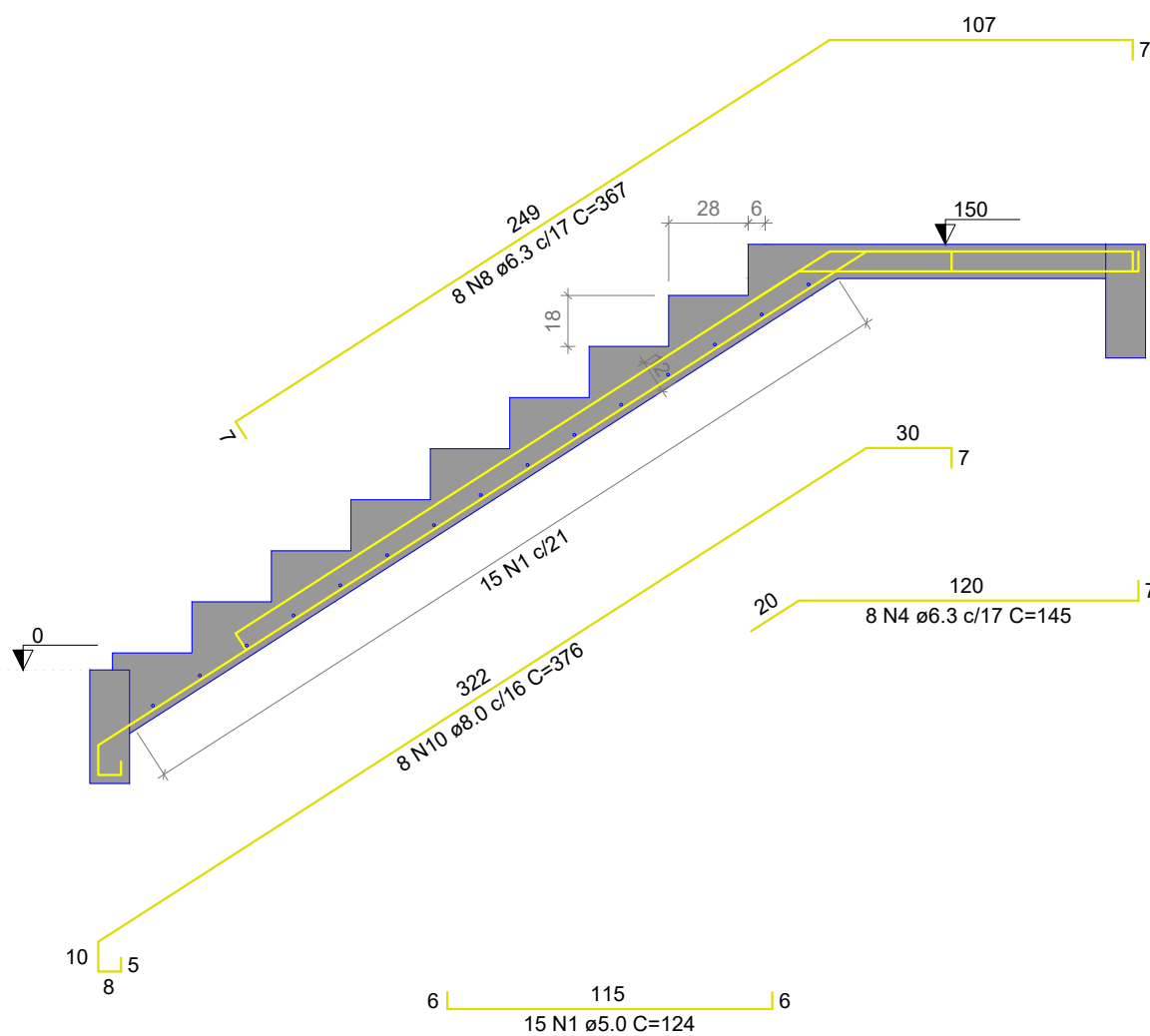
FINALIDADE DO PROJETO:
Projeto Estrutural em Concreto Armado

CONTEÚDO DA PRANCHA:
Armaduras das Lajes do Pavimento Tipo

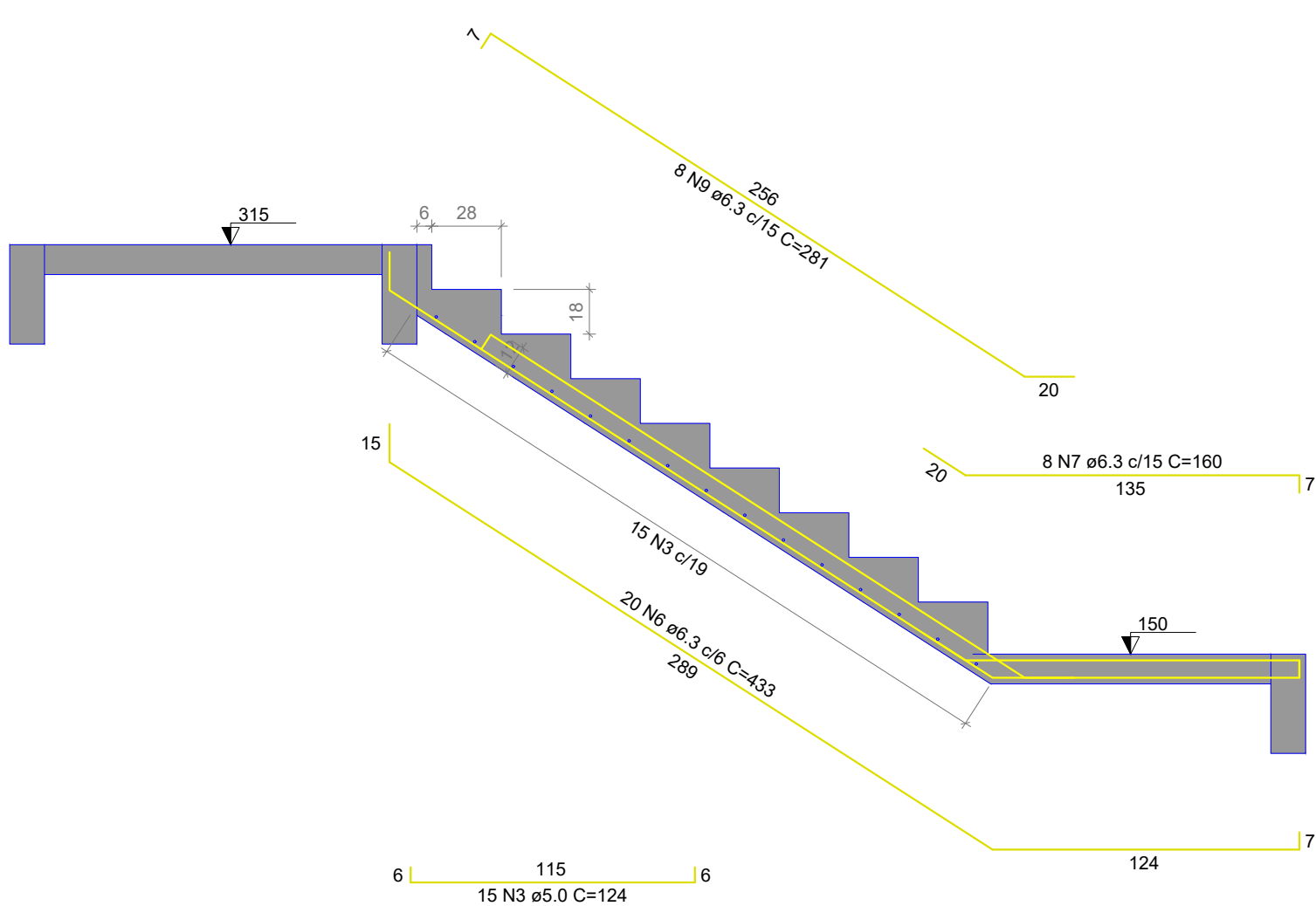
AUTORIA DO PROJETO:
Jean Lucas Montalvão Ramos Rodrigues



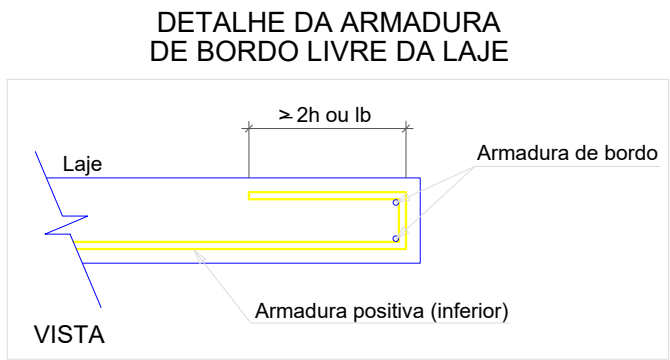
Armação positiva da escada E1



Corte A-A (LE1)



Corte B-B (LE3)



RELAÇÃO DO AÇO					
LE1		LE2		LE3	
Negativos					
AÇO	N	DIAM (mm)	QUANT	C.UNIT (cm)	C.TOTAL (cm)
CA60	1	5.0	15	124	1860
	2	5.0	8	316	2528
	3	5.0	15	124	1860
	4	6.3	8	145	1160
	5	6.3	4	129	516
	6	6.3	20	433	8660
	7	6.3	8	160	1280
	8	6.3	8	367	2936
	9	6.3	8	281	2248
	10	8.0	8	376	3008

RESUMO DO AÇO				
AÇO	DIAM (mm)	C.TOTAL (m)	QUANT + 10% (Barras)	PESO + 10% (kg)
CA50	6.3	168	16	45.2
CA60	8.0	30.1	3	13.1
CA60	5.0	62.5	6	10.6
PESO TOTAL (kg)				
CA50	58.3			
CA60	10.6			

Volume de concreto (C-25) = 1.62 m³
Área de forma = 16.83 m²

APÊNDICE H - PROJETO ESTRUTURAL

FINALIDADE DO PROJETO:
Projeto Estrutural em Concreto Armado

CONTEÚDO DA PRANCHA:
Armaduras das Escadas do Pavimento Tipo

AUTORIA DO PROJETO:
Jean Lucas Montalvão Ramos Rodrigues