



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

SÍLLAS DE ANDRADE DIAS

**CONCEPÇÃO E CÁLCULO DO PROJETO ESTRUTURAL DE UMA RESIDÊNCIA
UNIFAMILIAR DE ALTO PADRÃO NA CIDADE DE CARUARU**

Caruaru
2023

SÍLLAS DE ANDRADE DIAS

**CONCEPÇÃO E CÁLCULO DO PROJETO ESTRUTURAL DE UMA RESIDÊNCIA
UNIFAMILIAR DE ALTO PADRÃO NA CIDADE DE CARUARU**

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

Área de concentração: Estruturas.

Orientador(a): Prof. Dr. José Moura Soares

Caruaru

2023

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente aos meus pais, Josiane e Severino, pela formação que me foi dada e pela oportunidade de estudar e seguir meus objetivos. Sem eles nada que eu realizei e vou realizar um dia seria possível.

Aos meus irmãos, Joane e Sídnei, pelas conversas e momentos de confraternização que sempre me preencheram de alegria e me deram força pra seguir em frente diante das dificuldades.

A Kattarinne Gomes, por toda a ajuda prestada e pelo conhecimento compartilhado ao longo de minha jornada como graduando em engenharia civil, mas também por todos os momentos inestimáveis que tive desde que nos conhecemos.

Aos caros amigos que fiz dentro do curso, Cássia e Wellington, com quem compartilhei momentos de aprendizado e confraternização. Também aos amigos que a vida me apresentou nas mais diversas situações, Rhuan, Elizabeth, Ulisses, Iane e Nathália, sou grato pelos sinceros gestos de amizade e momentos de descontração.

Aos vários professores que contribuíram com meu aprendizado e formação acadêmica, em especial a Marília Marinho, Flávio Diniz, Élder Vasconcelos, Saulo de Tarso, Humberto Correia, Jocilene da Costa, Débora Assis e Douglas de Lima.

A José Moura, meu professor, orientador e amigo, por todo o aprendizado e momentos de descontração compartilhados ao longo desses anos.

Concepção e cálculo do projeto estrutural de uma residência unifamiliar de alto padrão na cidade de Caruaru

Design and structural calculation of a high standard single-family residence project in Caruaru city

Síllas de Andrade Dias

RESUMO

As estruturas de concreto armado possuem papel de destaque dentro da construção civil, especialmente no Brasil. Tal papel é garantido por uma combinação de fatores, tais como a disponibilidade de matéria-prima e de mão-de-obra qualificada que o país possui, e às bem conhecidas vantagens do concreto armado em si, como a adaptabilidade de formato e grande durabilidade. Na mesorregião do Agreste de Pernambuco, a cidade de Caruaru se destaca por seu potencial econômico e subsequente demanda habitacional. Notoriamente, as habitações de alto padrão estão inclusas nessa busca por novas moradias e são aquelas, dentre os padrões de habitação, que costumam envolver as concepções arquitetônicas mais elaboradas. A partir das informações apresentadas, o objetivo principal desse trabalho é a concepção e elaboração do projeto estrutural de um sobrado de alto-padrão com estrutura de concreto armado, utilizando como principal ferramenta o *software* Eberick, da Alto Qi, de acordo com as normas brasileiras vigentes. A compreensão, por parte do engenheiro calculista, de todo o processo de dimensionamento e detalhamento dos elementos estruturais realizados com auxílio de *softwares* especializados é essencial no desenvolvimento de seu trabalho. Ainda que a probabilidade de um *software* cometer erros seja muito baixa, o entendimento equivocado de informações por parte do usuário pode levar à inserção de dados de entrada errados e que certamente afetarão nos resultados finais.

Palavras-chave: concreto armado; sobrado; Eberick.

ABSTRACT

Reinforced concrete structures have a prominent role in civil construction, especially in Brazil. This role is guaranteed by a combination of factors, such as the availability of raw materials

and skilled labor that the country has, and the well-known advantages of reinforced concrete itself, such as the range of shape and great durability. In the Agreste region of Pernambuco, the city of Caruaru stands out for its economic potential and subsequent housing demand. Notoriously, high-end housing is included in this search for new homes and usually involve the most elaborated architectural designs. Based on the information presented, the basic purpose of this writing is conceiving and elaborating the structural project of a high-end two-story house with reinforced concrete structure, using Eberick software, from Alto Qi company, as the main tool, in accordance with the current Brazilian regulatory norms. The understanding of the entire process of dimensioning and detailing the structural elements using specialized software is essential in the formation and development of the structural engineer. Although the probability of a software failure occur is very low, the misunderstanding of information by the user can lead to the insertion of wrong input data and that will certainly affect the final results.

Keywords: reinforced concrete; two-story house; Eberick.

DATA DE APROVAÇÃO: 10 de maio de 2023.

1 INTRODUÇÃO

No contexto da engenharia civil, a estrutura pode ser entendida como o sistema de uma construção que é responsável por absorver e transmitir os esforços, tanto internos quanto externos, para a solo. Esse sistema pode ser constituído por vários materiais que podem ser utilizados, inclusive, de forma combinada a fim de maximizar o desempenho de uma estrutura da maneira mais econômica.

Dentre os principais tipos de estruturas utilizados atualmente, podemos citar as de concreto armado, concreto protendido, estruturas metálicas, alvenaria estrutural e ainda as de madeira. Dentre esses tipos, o concreto armado é o mais utilizado no país e é especialmente importante na mesorregião do agreste pernambucano. A razão disso é a grande quantidade de matéria-prima e mão-de-obra disponíveis para executar estruturas de concreto armado.

Além da disponibilidade, o concreto armado apresenta outras vantagens, tais quais as citadas por Süsselkind (1980), como economia, adaptação a qualquer tipo de forma, grande durabilidade e resistência às intempéries. Outros tipos de estrutura necessitam de manutenções mais frequentes, como é o caso das estruturas de madeira, ou apresentam carência de mão-de-obra especializada, como é o caso das estruturas metálicas.

A cidade de Caruaru se destaca dentro da mesorregião do agreste de Pernambuco como o maior PIB da mesorregião e o sexto maior PIB do estado, de acordo com informações do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2019). O crescimento econômico gera uma demanda habitacional em todos os padrões de moradia, inclusive nas residências de alto padrão.

As habitações de alto padrão costumam envolver concepções arquitetônicas elaboradas, o que exige o desenvolvimento de projetos estruturais que viabilizem sua execução. A comum inclusão de alguns elementos nas construções de concreto armado de alto padrão, como escadas em cascata, pés-direitos duplos e lajes e vigas com grandes vãos, embora seja altamente valorizada do ponto de vista estético, pode ocasionar grande aumento nos custos e elevar o grau de complexidade exigido nos projetos estruturais.

Com o intuito de auxiliar o engenheiro calculista na elaboração de projetos de estruturas de concreto armado, vários *softwares* de análise estrutural têm sido lançados no mercado e alguns, inclusive, seguem as recomendações mais atualizadas das normas brasileiras referentes ao assunto, como a ABNT NBR 6118/2014.

Dentre os *softwares* de análise estrutural, o Eberick, da Alto Qi, permite ao usuário modelar, analisar, dimensionar e fazer o detalhamento de projetos de acordo com as normas brasileiras, além de identificar e apresentar os elementos com erros de dimensionamento e quais parâmetros extrapolam os limites normativos, tornando a busca por uma solução mais simples.

Tendo em vista as informações supracitadas, fica clara a importância do conhecimento de modelagem estrutural (concepção) e de ferramentas para cálculo de estruturas (*softwares* para análise estrutural) para o engenheiro civil que deseja atuar na área de estruturas.

1.1 Objetivos

1.1.1 Objetivo Geral

O objetivo geral deste trabalho é desenvolver o conhecimento e as habilidades necessárias para a execução do projeto estrutural em concreto armado de uma residência de alto padrão utilizando um *software* para cálculo, dimensionamento e detalhamento de estruturas em acordo com as normas brasileiras vigentes.

1.1.2 Objetivos Específicos

Os objetivos específicos que se pretende atingir a fim de alcançar o objetivo geral são:

- Alocar e pré-dimensionar os elementos estruturais de acordo com o projeto arquitetônico e conforme as premissas da norma de concreto ABNT NBR 6118/2014;
- Avaliar o comportamento da estrutura quando submetidas às combinações consideradas;
- Executar o processamento computacional da estrutura utilizando o *software* específico;
- Corrigir os elementos que apresentem dimensionamento inadequado e otimizar o projeto como um todo, não aceitando de forma definitiva os primeiros resultados adequados que forem obtidos.
- Gerar as pranchas, detalhando todos os elementos estruturais do projeto, e as tabelas do quantitativo de aço necessário para a construção da casa em estudo.

2 METODOLOGIA

O presente capítulo apresenta de maneira detalhada as etapas da elaboração do projeto estrutural que será desenvolvido neste trabalho. Tais etapas incluem a apresentação do projeto arquitetônico utilizado como base, o lançamento dos elementos estruturais a serem calculados e os parâmetros adotadas nas configurações de projeto do *software* Eberick.

2.1 Projeto Arquitetônico

O local considerado para a elaboração do projeto arquitetônico é um lote de 360m² situado no Loteamento Luar do Jurity, no município de Caruaru, Pernambuco.

O projeto arquitetônico que será utilizado como base para todas as etapas propostas neste trabalho foi elaborado com base em um projeto do arquiteto Jefferson Augusto. Foram fornecidas as plantas baixas dos dois pavimentos que compõe a edificação em formato pdf, além de um conjunto de imagens tridimensionais do projeto em diversos ângulos.

A partir das plantas baixas e imagens obtidas, foi elaborado um modelo tridimensional da edificação semelhante ao desenvolvido pelo autor do projeto arquitetônico original. O *software* utilizado para a elaboração desse modelo tridimensional foi o Revit, da Autodesk.

Em relação às dimensões do lote, este possui 12 m de largura por 30 m de comprimento. A área construída do pavimento térreo do sobrado é de 152,95 m² e a área do pavimento superior

é de 133,685 m², totalizando 286,635 m². A altura do pé esquerdo de todos os pavimentos da edificação é a mesma, medindo 3,15 m.

A residência possui sala de estar para dois ambientes, cozinha integrada com a sala de jantar, escritório, banheiro social, área de serviço, área de estar íntima e quatro suítes com acesso a varandas. A garagem é coberta e com vaga para dois carros, possuindo uma rampa de acesso, pois o nível da casa é mais elevado que o meio-fio. A Figura 1 apresenta o modelo tridimensional do sobrado.

Figura 1 – Modelo arquitetônico tridimensional da residência



Fonte: Autor (2023)

Segundo a Tabela 1 da ABNT NBR 12.721/2006, que expõe sobre as características principais dos projetos de acordo com o padrão da edificação, residências que possuam quatro dormitórios, banheiro social, sala de estar, sala de jantar, cozinha, área de serviço, varanda e garagem, bem como área superior a 225 m², podem ser considerados como projetos de alto-padrão (ABNT, 2006).

Alguns elementos arquitetônicos presentes no projeto merecem destaque especial devido por questões estruturais, como a presença de áreas em balanços ou com pé-direito duplo.

2.2 Lançamento dos Elementos Estruturais

Os elementos estruturais, dentro do Eberick, se dividem em cinco grupos principais: fundações, pilares, vigas, lajes e escadas.

Embora seja fundamental a realização de ensaios a fim de caracterizar adequadamente o solo onde pretende-se executar uma edificação e assim projetar adequadamente suas fundações, tal processo está fora do escopo do presente trabalho. Portanto, utilizar-se-á as recomendações propostas pelo Eberick para toda as características do solo, exceto a pressão admissível, que será considerada $4.5 \text{ kgf}\cdot\text{m}^{-2}$, conforme recomendação apresentada por Soares (2023) para o solo da cidade de Caruaru. Os demais grupos serão detalhados nas próximas seções.

Antes de lançar os elementos estruturais propriamente ditos, é necessário criar os níveis da edificação. No Eberick, esses níveis são divididos em níveis principais (ou pavimentos) e níveis intermediários. Os níveis intermediários são especialmente úteis na criação de escadas, barriletes e fundações em níveis variados.

A Figura 2 mostra a interface do menu de propriedades do Eberick, onde podem ser criados ou excluídos pavimentos e onde pode-se consultar e alterar informações sobre a altura de cada pavimento e o nível deles em relação ao solo. Na figura, também pode-se observar a terminologia adotada para se referir a cada pavimento. O nível térreo do projeto, por exemplo, vai da parte inferior das fundações até o nível superior do baldrame.

Figura 2 – Menu de pavimentos do Eberick



Pavimento	Altura (cm)	Nível (cm)
Ático	315.00	1015.00
Coberta	315.00	700.00
Superior	315.00	385.00
Térreo	220.00	70.00

Nível do solo (cm): 0.00

Fonte: Autor (2023)

2.2.1 Pilares

A primeira e talvez mais importante etapa na concepção da estrutura é o lançamento dos pilares. A razão disso é que o posicionamento dos pilares é que vai definir a forma, os vãos e as dimensões das vigas e lajes, e, portanto, de praticamente toda a estrutura.

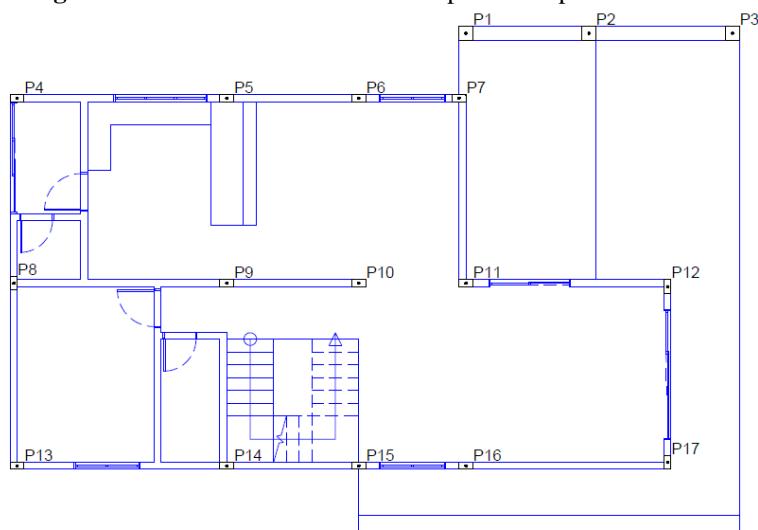
Uma concepção estrutural inadequada pode ocasionar uma grande quantidade de erros e avisos durante o processamento da estrutura e a solução desses problemas pode ser especialmente difícil. No entanto, também é difícil determinar a inadequabilidade de uma concepção estrutural, visto que cada projetista usará de sua experiência e conhecimento únicos para construir seu modelo. Cada modelo, por sua vez, precisará de soluções específicas para que sua estabilidade seja garantida.

A maior parte dos pilares terá menor dimensão igual 15 cm, que é próximo do menor valor recomendado pela ABNT NBR 6118/2014. A maior dimensão inicialmente adotada para esses elementos estruturais será de 30 cm, o que garante uma área de seção transversal superior aos 360 cm², que é uma recomendação da ABNT NBR 6118/2014 para a área de seção transversal de pilares.

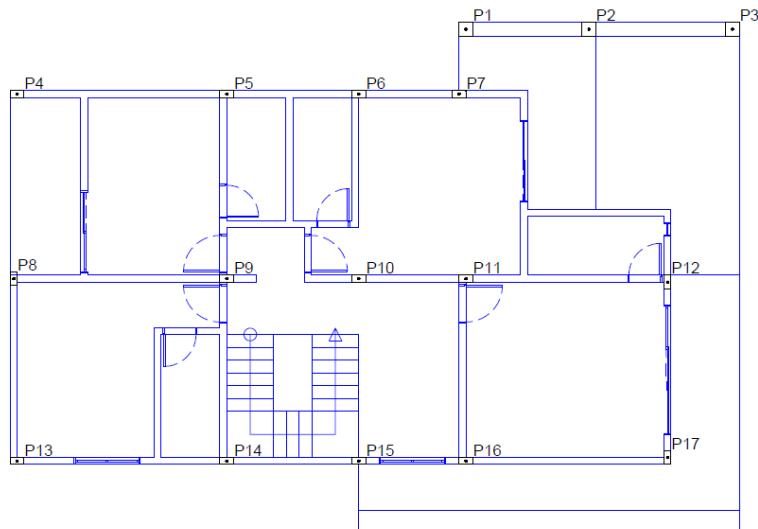
O lançamento dos pilares teve início com a observação, no projeto arquitetônico, da posição das paredes, no intuito de minimizar a interferência dos elementos estruturais na arquitetura. Outras recomendações foram consideradas nesse processo, como a distância entre pilares, que não deve ser demasiadamente pequena de modo que haja sobreposição de tensões nas fundações, nem deve ser muito grande, o que pode elevar consideravelmente as dimensões das vigas.

A Figura 3 e a Figura 4 mostram o posicionamento inicial dos pilares no pavimento térreo e no pavimento superior respectivamente. A partir dessas figuras, é possível observar que o pavimento térreo impõe muitas limitações quanto ao posicionamento dos pilares, devido aos grandes vãos e à pequena quantidade de paredes. Na direção horizontal, existem três paredes principais onde os pilares devem ser preferencialmente posicionados.

Figura 3 – Posicionamento inicial dos pilares no pavimento térreo



Fonte: Autor (2023)

Figura 4 – Posicionamento inicial dos pilares no pavimento superior

Fonte: Autor (2023)

No pavimento superior seria possível alocar os pilares em uma quantidade menos limitada de pontos com a utilização de vigas de transição. Contudo, essa solução não será adotada por questão de economia nas armaduras.

Com os pilares alocados nas posições apresentadas nas figuras supracitadas, foi realizado um lançamento preliminar das vigas, lajes e cargas, com o objetivo de avaliar a carga total aplicada em cada pilar e verificar se a sua distribuição foi realizada de forma equilibrada. A Tabela 1 apresenta as cargas por pilar segundo a primeira configuração adotada.

Tabela 1 – Distribuição inicial das cargas da estrutura por pilar

Pilar	Carga máxima (tf)	
	Positiva	Negativa
P1	12.20	-6.44
P2	29.00	0.00
P3	14.82	0.00
P4	15.03	0.00
P5	23.12	0.00
P6	12.10	0.00
P7	32.80	0.00
P8	27.37	0.00
P9	59.16	0.00
P10	28.49	0.00
P11	41.78	0.00
P12	43.43	0.00
P13	15.83	0.00
P14	35.09	0.00
P15	22.28	0.00
P16	31.03	0.00
P17	34.60	0.00

Fonte: Autor (2023)

Ainda observando a Tabela 1, pode-se perceber que alguns pilares possuem cargas muito elevadas, enquanto outros possuem cargas bem menores, chegando a atingir um valor negativo (tração). A fim de equilibrar essa situação nesses elementos estruturais, foram realizadas as seguintes mudanças: o elemento P1, que chegou a ficar submetido ao esforço de tração, foi removido; foram criados três novos pilares e estes foram posicionados entre alguns dos elementos mais carregados que são P8/P9, P11/P12 e P16/P17, no intuito de aliviá-los.

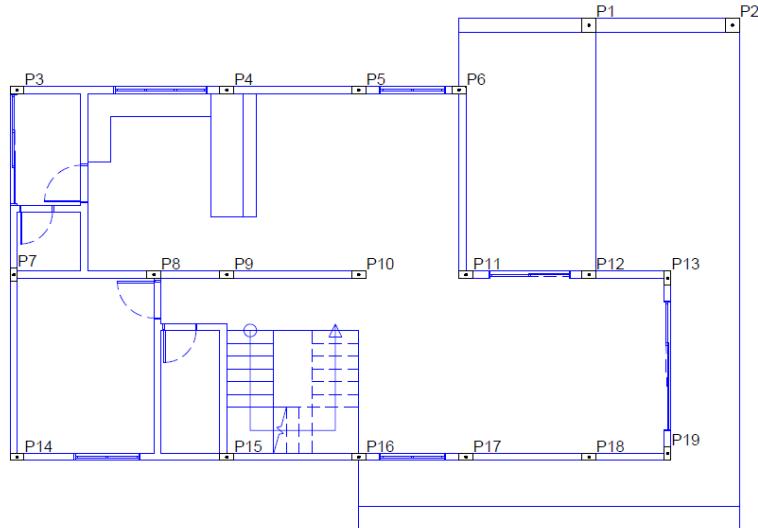
A Tabela 2 mostra um comparativo entre o lançamento inicial e o lançamento final dos pilares, bem como as cargas de acordo com a concepção final. Pode-se observar que houve uma expressiva redução no valor das cargas mais elevadas, além da remoção de quaisquer cargas negativas.

Tabela 2 – Distribuição final das cargas da estrutura por pilar

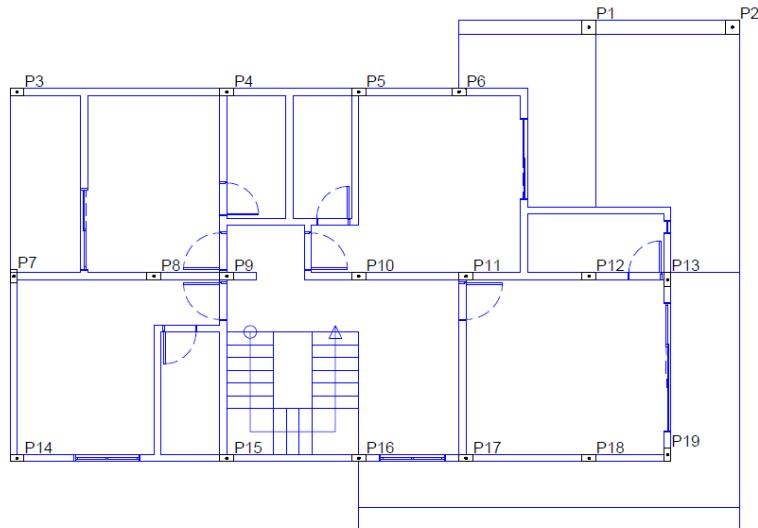
Pilares		Carga máxima (tf)	
Concepção inicial	Concepção final	Positiva	Negativa
P1	-	-	-
P2	P1	30.17	0,00
P3	P2	14.57	0,00
P4	P3	15.06	0,00
P5	P4	22.70	0,00
P6	P5	12.70	0,00
P7	P6	25.61	0,00
P8	P7	21.44	0,00
-	P8	28.76	0,00
P9	P9	36.88	0,00
P10	P10	33.93	0,00
P11	P11	27.23	0,00
-	P12	27.18	0,00
P12	P13	30.27	0,00
P13	P14	15.84	0,00
P14	P15	33.53	0,00
P15	P16	24.31	0,00
P16	P17	22.31	0,00
-	P18	16.14	0,00
P17	P19	26.71	0,00

Fonte: Autor (2023)

A Figura 5 e a Figura 6 mostram o posicionamento final dos pilares no pavimento térreo e no pavimento superior respectivamente.

Figura 5 – Posicionamento final dos pilares no pavimento térreo

Fonte: Autor (2023)

Figura 6 – Posicionamento final dos pilares no pavimento superior

Fonte: Autor (2023)

2.2.2 Vigas

A partir de um posicionamento equilibrado dos pilares, o lançamento das vigas se torna substancialmente mais simples. Como pretende-se apenas realizar o lançamento de lajes apoiadas em vigas, estas devem contornar toda a área da edificação. Além disso, as vigas nas bordas serão aproveitadas para aplicação de forro em gesso, deixando a parte inferior das lajes oculta.

Assim como os pilares, as vigas terão, em sua maioria, dimensão inicial mínima de 15 cm por 30 cm em todos os pavimentos. Tais valores serão alterados a partir do resultado do processamento da estrutura pelo Eberick.

As cargas que atuam nas vigas, além das cargas advindas das lajes, são o peso próprio de cada uma delas e as cargas que excepcionalmente atuam naquelas vigas. As cargas que podem atuar excepcionalmente em vigas específicas são principalmente cargas de parede, mas também, assim como no caso de pilares, podem ser cargas adicionais ou relacionadas com temperatura.

Com o objetivo de calcular a carga de uma parede que se encontre logo acima de uma viga, é necessário conhecer as dimensões da parede e seu peso específico, que pode ser adicionado manualmente ou selecionado dentro de uma lista fornecida nas configurações. Paredes que não se apoiam sobre a totalidade do comprimento das vigas ou possuem aberturas podem ser configuradas de modo a representar adequadamente essas informações.

A Tabela 3 mostra os pesos específicos para paredes de alvenaria com blocos cerâmicos de vedação, segundo a ABNT NBR 6120/2019. Considera-se algumas variações na espessura dos blocos e da argamassa de revestimento.

Tabela 3 – Pesos específicos de parede de vedação com bloco cerâmico

Espessura nominal do elemento (cm)	Peso - Espessura de revestimento por face (kN·m ⁻²)		
	0 cm	1 cm	2 cm
9	0,7	1,1	1,6
14	1,1	1,5	1,9
19	1,4	1,8	2,3

Fonte: Adaptado de ABNT (2019)

As espessuras das paredes apresentadas no projeto arquitetônicos, que são de 15 cm e de 30 cm, não aparecem na ABNT NBR 6120/2019. Para calcular o peso específico dessas paredes, poder-se-ia considerar extrapolações dos valores da Tabela 1, tanto na espessura nominal dos blocos cerâmicos, quanto na espessura do revestimento de argamassa. No entanto, tais extrapolações podem sobrecarregar desnecessariamente o modelo estrutural, visto que a espessura real das paredes não chega aos 15 cm em todos os ambientes. Além disso, a substituição da argamassa por gesso nos revestimentos de áreas secas, que tem sido frequentemente empregada na região mesmo em construções de alto padrão, reduz consideravelmente a espessura e peso próprio das paredes.

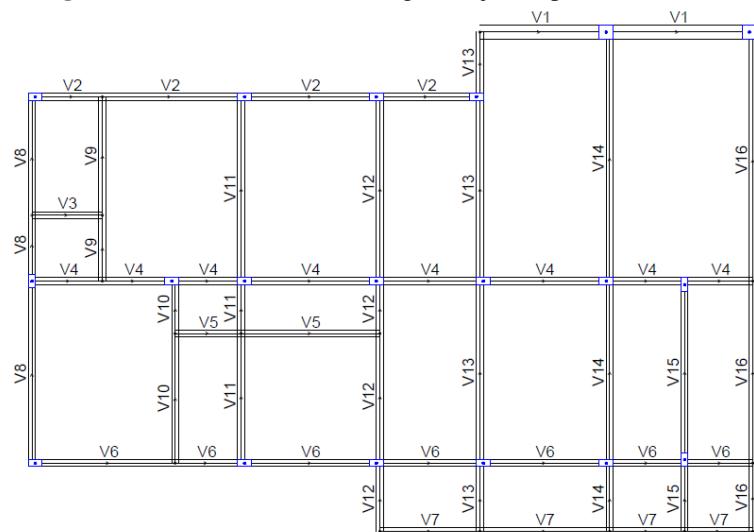
A partir das informações levantadas anteriormente, considerar-se-á para as paredes de 15 cm uma carga de $195 \text{ kgf}\cdot\text{m}^{-2}$ que seria equivalente a uma parede com blocos de vedação cerâmicos vazados de 9 cm de espessura e duas camadas de aproximadamente 2,6 cm de argamassa em cada face. Já para as paredes de 30 cm, considerar-se-á paredes duplas com blocos de 9 cm de espessura e uma camada de argamassa de 3 cm de espessura nas faces externas. O peso específico para essas paredes será de $270 \text{ kN}\cdot\text{m}^{-2}$.

Um dos aspectos que foram considerados no lançamento das vigas foi o travamento de todos os pilares na direção dos eixos x e y, o que reduz a esbeltez dos elementos verticais e auxilia na estabilidade global da edificação. Quase todos os pilares puderam ser travados nas duas direções e em todos os pavimentos, exceto P2 no pavimento superior, por questões arquitetônicas.

Além disso, também buscou-se lançar vigas contínuas e que se estendessem até as extremidades da edificação, apoiando-se, sempre que possível em pilares, e não em outras vigas. Essa recomendação pôde ser atendida na maioria dos casos.

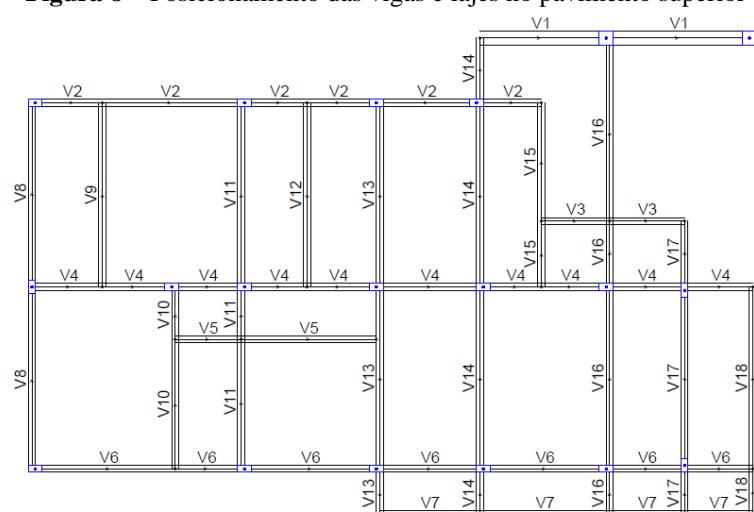
As figuras 7, 8 e 9 mostram o posicionamento das vigas nos pavimentos térreo, superior e na coberta.

Figura 7 – Posicionamento das vigas e lajes no pavimento térreo



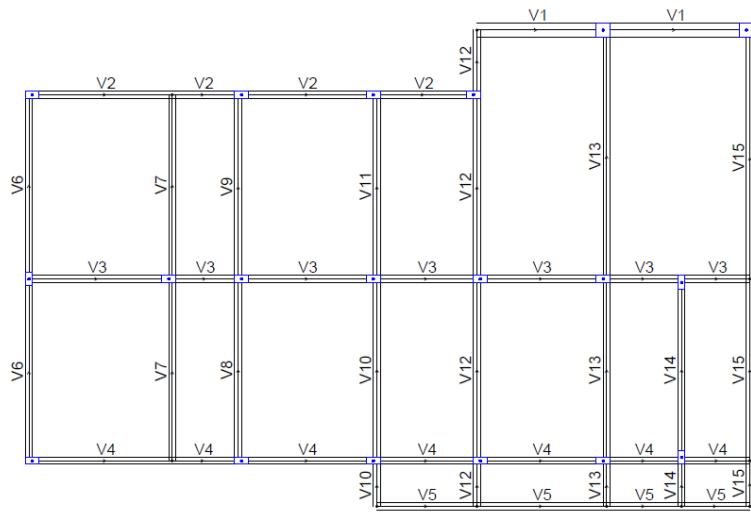
Fonte: Autor (2023)

Figura 8 – Posicionamento das vigas e lajes no pavimento superior



Fonte: Autor (2023)

Figura 9 – Posicionamento das vigas e lajes no pavimento térreo



Fonte: Autor (2023)

2.3.3 Lajes

Em relação às lajes, adotar-se-á, inicialmente, que todas elas serão lajes treliçadas com blocos de enchimento de EPS e cobrimento de concreto de 5 cm. Nas lajes com tráfego de pessoas, considerar-se-á inicialmente a utilização de vigotas de 12 cm de altura, enquanto nas lajes de coberta, vigotas de 8 cm de altura. A razão para tais valores mínimos para esses elementos estruturais é que se adote a estrutura que atenda os estados limites últimos e de utilização e gere menor custo possível.

As cargas que atuam sobre as lajes, além do seu peso próprio, são as provenientes dos revestimentos aplicados sobre o pavimento, as adicionais, as acidentais e as relacionadas com as variações de temperatura, além de cargas de parede que não se apoiam diretamente em vigas.

As cargas de revestimento e acidentais podem ser adicionadas manualmente ou selecionadas em uma lista que consta no *software*, para cada uma das lajes, enquanto as demais devem ser adicionadas manualmente.

As cargas nas lajes serão escolhidas de acordo com o uso, seguindo a recomendação do Eberick. A Tabela 4 mostra as cargas acidentais e as relacionadas com o revestimento que foram consideradas para cada tipo de ambiente da residência. A coluna denominada “Grupo” se refere ao grupo a que pertence cada área da edificação de acordo com as classificações do Eberick.

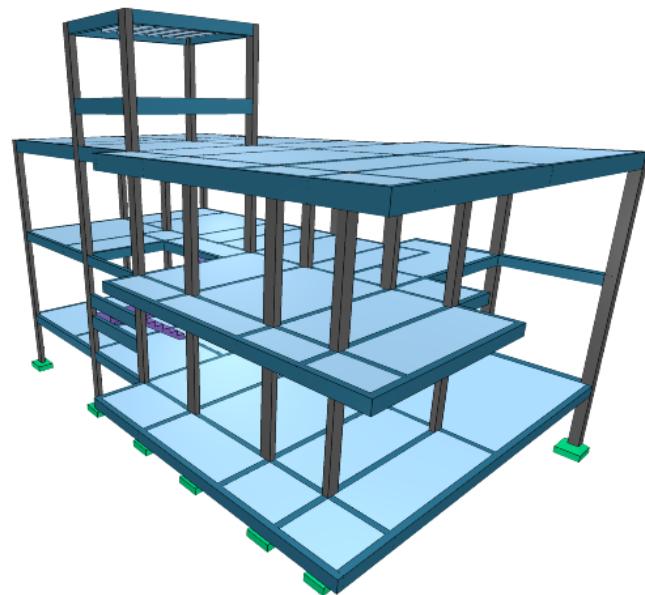
Tabela 4 – Cargas consideradas por ambiente

Área da residência	Grupo	Tipo de carga (kN·m ⁻²)	
		Acidental	Adicional
Área de serviço	001	200,0	181,5
Cozinha	003	150,0	181,5
Sala de jantar	003	150,0	181,5
Corredor	005	150,0	154,5
Dormitório	008	150,0	154,5
Sala de estar	012	150,0	154,0
Escritório	012	150,0	154,0
Banheiro	014	150,0	181,5
Garagem	017	500,0	123,0
Coberta (sem telhado)	021	100,0	181,5
Coberta (com telhado)	022	150,0	181,5
Barilete	025	150,0	136,5
Varanda	040	250,0	181,5

Fonte: Autor (2023)

A única laje que receberá uma carga adicional às consideradas pelo *software* será a laje acima do barilete, pois esta suporta os dois reservatórios de água de 1.500 l. Por questões arquitetônicas, nem todas as lajes da cobertura receberão cargas de telhado, por isso dois grupos de carga serão utilizados. O cálculo da carga do telhado depende principalmente dos materiais utilizado em sua construção, conforme apresentado na ABNT NBR 6120/2019.

A Figura 10 mostra uma representação tridimensional da modelagem inicial dos principais elementos estruturais do projeto.

Figura 10 – Modelagem inicial dos elementos estruturais

Fonte: Autor (2023)

2.3 Configurações de Projeto do Eberick

A versão do Eberick que será utilizada no desenvolvimento deste trabalho é a versão Basic 2022. Nessa versão, é possível alterar vários parâmetros de entrada nas configurações de projeto, como a classe de agressividade ambiental e a resistência característica do concreto. Alguns desses parâmetros, no entanto, não precisam ser alterados para maioria dos projetos, pois as configurações iniciais já estão de acordo com as normas brasileiras vigentes, como a ABNT NBR 6118/2014. Desse modo, não é necessário inserir no *software* parâmetros para o cálculo dos estados limites de uma estrutura, que são os estados a partir dos quais a estrutura apresenta desempenho inadequado às finalidades da construção (ABNT, 2004), pois o *software* realiza esse procedimento automaticamente.

As configurações de projetos do *software* podem ser divididas nas seguintes categorias: ações e combinações, análise, detalhamento, dimensionamento, materiais e durabilidades, vento, e verificações ao ELS.

2.3.1 Ações e combinações

As ações inicialmente apresentadas no menu de configurações do Eberick se dividem nos seguintes tipos: permanentes, que se subdivide em peso próprio (G1), adicional (G2) e solo (S); retração (R); acidental, que se subdivide em acidental (Q), propriamente dita, e devida à água (A); subpressão (AS); temperatura (T1 e T2); e vento (V1, V2, V3 e V4) e desaprumo (D1, D2, D3 e D4), que atuam nos sentidos +x, -x, +y e -y.

O *software* realiza automaticamente uma série de combinações para as ações pertinentes a cada projeto, já considerando os coeficientes de ponderação e os fatores de combinação apresentados na norma ABNT NBR 8681/2004. Todos os valores propostos foram adotados.

2.3.2 Análise

No menu de análise geral, a redução no engaste para nós semirrígidos adotada é a inicialmente proposta pelo Eberick, ou seja, 15 %. Esta configuração influencia na proporção em que o momento negativo na vinculação viga-pilar irá diminuir quando aplicado um nó semirrígido.

Em relação à redução na torção das vigas que será utilizada no cálculo do pórtico, o valor adotado também foi o proposto pelo *software*, que é de 85 %. Tal redução é possível pois a

seção de concreto armado perde grande parte de sua rigidez à torção no momento em que fissura, apresentando adequada capacidade de adaptação plástica.

Quanto à redução percentual na torção de pilares e no aumento da rigidez axial desses elementos, também foi seguida a recomendação inicial proposta.

No menu sobre não-linearidade física, o Eberick sugere fatores de redução na rigidez secante de pilares, vigas e lajes, que são, respectivamente, 0.8, 0.4 e 0.5. Tais fatores não influenciam no resultado final pois apenas são considerados em estruturas reticuladas com quatro ou mais andares, conforme apresentado na ABNT NBR 6118/2014, no item 15.7.3.

No menu sobre a não-linearidade geométrica, foi optado pela utilização do processo P-Delta, que calcula os efeitos de 2^a ordem provenientes da não linearidade geométrica da edificação. O número de iterações e a precisão mínima de tal processo foram o sugerido pelo Eberick, que é de 10 iterações e 1 % de precisão.

2.3.3 Detalhamento e dimensionamento

As configurações de detalhamento definem características como o tipo de ancoragem e estribos em determinadas situações, além de formas de apresentação das armaduras na plotagem das pranchas. Tais informações serão mantidas como apresentadas inicialmente pelo *software* e alteradas caso perceba-se que é necessário ao plotar as pranchas.

Nas configurações de dimensionamento, são apresentados parâmetros relacionados aos limites de norma de cada elemento estrutural, como taxa máxima de armadura e área mínima de seção transversal, e outros parâmetros, como o diâmetro do vibrador. Assim como nas configurações de detalhamento, os parâmetros iniciais serão mantidos conforme proposto e alterados caso seja necessário.

2.3.4 Materiais e durabilidade

A classe de agressividade ambiental considerada foi a classe II, ambientes urbanos. Embora o lote, atualmente, se encontre em área rural, há a previsão de urbanização do local, pois o terreno se localiza em um loteamento. Todos os cobrimentos e a resistência característica do concreto, portanto, seguem a classe de agressividade ambiental.

A dimensão máxima da brita considerada é 19 mm (sem controle rigoroso na dimensão dos elementos), pois as dimensões dos elementos estruturais são muito próximas do mínimo

estipulado por norma, devido ao tipo de construção (residência unifamiliar). O tipo de cimento Portland considerado foi o CP-II, pois é um dos mais comumente encontrados na região.

Quanto aos parâmetros relacionados à fluência do concreto que foram considerados, a umidade relativa adotada foi de 70 %, o tempo de vida útil previsto para a construção foi de 50 anos, o tempo de início do carregamento foi de 28 dias e o tempo para início da retração foi de 3 dias.

2.3.5 Vento

Nas configurações relacionadas ao vento, primeiro define-se o valor da velocidade do vento no local, que segundo o gráfico das isopletas da velocidade básica no Brasil apresentado no Eberick, é de $30 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$. O valor adotado foi o de $42 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$, que era a sugestão inicial do *software* e está a favor da segurança.

O ângulo de aplicação do vento adotado foi de 0° em relação às retas paralelas aos quatro pontos cardinais, ou seja, considerou-se que o vento atua perpendicularmente às faces norte, sul, leste e oeste da residência.

Também é preciso definir um fator relacionado com a topografia do local, que pode maximizar ou minimizar os efeitos do vento. No caso da topografia da área onde se localiza o lote, o vento é considerado “normal” e é adotado o parâmetro S1 igual a 1.0.

Em relação a rugosidade do terreno, foi adotada a categoria II, cujos terrenos são abertos em nível, ou aproximadamente em nível, com poucos obstáculos isolados, tais como árvores e edificações baixas.

Quanto ao fator estatístico, a edificação se enquadra na categoria “edificações para hotéis e residências”, e se adotado o parâmetro S3 igual a 1.00.

2.3.6 Verificações ao ELS

Em relação a aceitabilidade visual, ou seja, deslocamentos visíveis devidos às cargas com combinações quase permanentes, os parâmetros adotados foram os indicados por norma, que são $L/250$ para vigas e lajes.

No caso da aceitabilidade sensorial em relação a vibrações sentidas no piso devido à carga accidental, o parâmetro adotado foi $L/350$, para combinações frequentes. O mesmo valor foi adotado para o limite de contraflecha.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Neste capítulo é realizada a análise do comportamento de todos os elementos da estrutura e são detalhadas algumas das soluções adotadas para garantir sua estabilidade.

3.1 Processamento Inicial

A partir do primeiro processamento da estrutura puderam ser observados alguns problemas relacionados com a estabilidade global do modelo construído. O primeiro desses problemas é o deslocamento horizontal excessivo no topo da edificação devido à ação do vento, que é de 0,72 cm na direção y, enquanto o deslocamento limite calculado é de 0,69 cm (H/1700), conforme apresentado na Tabela 13.3 da ABNT NBR 6118/2014.

Mesmo que o coeficiente Gama-Z seja um parâmetro de estabilidade destinado à avaliação de estruturas simétricas e edificações com mais de 4 pavimentos (ABNT NBR 6118/2014), o Eberick sempre informa o valor desse coeficiente e recomenda fazer a verificação dos efeitos de 2^a ordem com a análise P-Delta quando Gama-Z exceder 1,10. O máximo valor encontrado para esse parâmetro no primeiro processamento foi 1,51, com a combinação: 1.3G1+1.4G2+1.4S+1.2R+1.4Q+1.2A+1.1AS+0.72T1+0.84V4+0.74D4.

A verificação dos efeitos de 2^a ordem, como dito anteriormente, é realizada através do processo P-Delta. A Tabela 5 apresenta as variações no deslocamento do topo da edificação devido à diferentes fatores utilizando o processo P-Delta. A variação no deslocamento causado pelas cargas acidentais, assim como todos as variações do deslocamento na direção y, se mostram consideravelmente elevadas.

Tabela 5 – Variações no deslocamento do topo da edificação após primeiro processamento

Carregamento	Inicial	Final	Variação
Acidental	0.32	0.44	37.80%
Vento X+	1.04	1.15	9.97%
Vento X-	1.04	1.14	9.95%
Vento Y+	4.03	5.34	32.40%
Vento Y-	4.01	5.31	32.30%
Desaprumo X+	0.13	0.14	12.04%
Desaprumo X-	0.12	0.14	12.04%
Desaprumo Y+	0.33	0.44	34.89%
Desaprumo Y-	0.33	0.44	34.81%

Fonte: Autor (2023)

O primeiro processamento da estrutura possibilitou também a identificação de diversos problemas no dimensionamento dos elementos estruturais, problemas esses que serão aqui classificados em duas categorias: erros e avisos.

Erros são problemas graves que podem comprometer a estabilidade de elementos estruturais e requerem soluções. Avisos, por outro lado, são problemas menores que estão relacionados com os estados-limites de serviço ou, em alguns casos, tem como objetivo apenas chamar a atenção do usuário a uma situação específica e podem nem necessitar de uma solução.

Muitos dos problemas encontrados já eram esperados, considerando que não houve, por exemplo, um pré-dimensionamento da altura das vigas levando em consideração o comprimento de seus vãos. Alguns erros, no entanto, não haviam sido previstos.

A Tabela 6 mostra um resumo da situação dos elementos estruturais agrupados por pavimento. Observando a tabela, é possível observar quantos dos elementos de cada pavimento foram dimensionados com sucesso, ou seja, sem que houvesse nenhum erro ou aviso. Do mesmo modo, é possível identificar quantos elementos apresentaram mensagem de erro ou de aviso.

Tabela 6 – Situação inicial dos elementos estruturais após processamento

Elementos de concreto				
Pavimento	Elementos	Com sucesso	Com avisos	Com erros
Ático	Vigas	6	2	0
	Lajes	1	1	0
	Pilares	4	0	0
Coberta	Vigas	1	12	0
	Lajes	5	12	0
	Pilares	15	3	1
Superior	Vigas	17	3	0
	Lajes	8	13	0
	Pilares	7	2	10
	Escadas	0	5	0
Térreo	Vigas	1	4	11
	Sapatas	2	0	17
	Lajes	4	16	0
	Pilares	2	0	17

Fonte: Autor (2023)

Embora a quantidade de elementos apresentando algum problema de dimensionamento seja elevada, a variedade desses problemas é bem mais limitada. A Tabela 7 mostra quais os problemas de dimensionamento que foram identificados de acordo com o tipo de elemento estrutural. É importante destacar que um mesmo elemento estrutural pode estar submetido a mais de um problema de dimensionamento ao mesmo tempo.

Tabela 7 – Erros e avisos decorrentes do primeiro processamento

Elemento	Código	Descrição
Laje	Aviso 29	Detectada a necessidade de armadura de cisalhamento
	Aviso 101	Verificar flechas para aceitabilidade sensorial (visual)
	Aviso 101	Verificar flechas para efeitos estruturais em serviço (após a construção do piso)
Viga	Aviso 101	Verificar flechas para aceitabilidade sensorial - visual
	Aviso 101	Verificar flechas para efeitos em elementos não estruturais (após a construção das paredes)
	Aviso 101	Verificar flechas para efeitos estruturais em serviço (após a construção do piso)
	Erro D12	$(VSd/VRd2 + TSd/TRd2) > 1$
	Erro D15	Erro na armadura positiva
	Erro D16	Erro na armadura negativa
Escadas	Aviso 29	Detectada a necessidade de armadura de cisalhamento
	Aviso 101	Verificar flechas para aceitabilidade sensorial (visual)
	Aviso 101	Verificar flechas para efeitos estruturais em serviço (após a construção do piso)
Pilar	Erro D09	Nenhuma bitola configurada pode ser usada
	Aviso 07	Pilar não travado no pavimento
	Aviso 10	Pilar com bitola ou nº de barras menor que no lance acima
Sapata	Erro D38	Pilar com erro

Fonte: Autor (2023)

3.2 Solução de Problemas

3.2.1 Solução de problemas em lajes

Nas lajes onde foi detectada a necessidade de armadura de cisalhamento, observou-se a existência de uma das seguintes situações: (1) existem cargas distribuídas muito elevadas em uma região específica da laje; ou (2) existem cargas de parede na mesma direção das vigotas treliçadas.

Na primeira situação, que é o caso da laje onde estão localizados os reservatórios de água, alterar o tipo de vigota para uma com altura mais elevada pode ser uma solução viável. Outra solução semelhante é aumentar o número de repetições de vigotas entre os blocos de enchimento de EPS. As duas soluções foram testadas e os resultados não foram considerados satisfatórios para esse caso especificamente.

Nos casos onde há paredes paralelas às vigotas sem que haja vigas para aumentar a rigidez no local, pode-se posicionar vigotas especificamente sob as paredes, a depender da vigota e da carga da parede. No entanto, a solução adotada para as duas situações foi a mudança no tipo de laje de treliçada em uma direção para maciça.

Os problemas relacionados às flechas nas lajes foram solucionados através do engaste entre as lajes ou com o aumento da seção das vigas que apoiam as lajes. O aumento da espessura de algumas lajes maciças de 10 cm para 13 cm também se mostrou eficaz na correção das flechas.

3.2.2 Solução de problemas em vigas

Em praticamente todas as vigas que apresentaram algum problema de dimensionamento, seja ele um aviso ou erro, os deslocamentos excessivos estavam presentes. A partir disso, pôde-se perceber a importância de um pré-dimensionamento das vigas antes do lançamento desses elementos. A fim de solucionar esse problema, todas as vigas, exceto aquelas da parte superior do pavimento ático, foram redimensionadas para 40 cm ou mais de altura, a depender da necessidade.

Por questões arquitetônicas, algumas vigas da fachada possuem altura da seção transversal limitada a 40 cm. Esse fator limitante não trouxe empecilhos na maior parte das situações, mas o fez em dois casos no pavimento de coberta: (1) no maior trecho da viga V11, que possui vão de 5,25 m; e (2) no trecho em balanço da viga V3, que fica na parte frontal da edificação.

Em ambos os casos as vigas possuíam deslocamentos excessivos (Aviso 101) e a solução encontrada foi elevar a rigidez desses elementos através do aumento da largura das seções transversais. No primeiro caso a largura de toda a viga foi aumentada para 30 cm, o que foi suficiente para sanar o problema encontrado. No segundo caso, a largura da viga foi aumentada apenas nos três trechos mais próximos do balanço para 20 cm, também sanando o problema da flecha excessiva.

Os erros D15 e D16 ocorrem quando todas as bitolas longitudinais configuradas apresentam algum erro de dimensionamento para armadura positiva e negativa, respectivamente. Os motivos que podem causar esses erros são vários, mas os que ocasionaram os erros no processamento do modelo aqui analisado foram: (1) a taxa de armadura necessária para estabilizar a viga era superior à permitida por norma; e (2) a distância medida do centro de gravidade da armadura longitudinal ao ponto da seção da armadura mais afastado da linha neutra supera 10 % da altura da seção. Em ambos os casos, a solução mais simples é aumentar a altura da seção transversal da viga propriamente dita, permitindo uma maior área de armaduras. A solução adotada corrigiu os problemas de forma satisfatória.

Em apenas uma viga foi identificado o erro de código D12, que ocorre após uma verificação combinada de torção e cisalhamento superar o valor limite, definida no item 17.7.2.2 da ABNT NBR 6118/2014. Duas das formas mais eficientes de solucionar esse problema é reduzir o valor da torção que está chegando à viga ou aumentar sua seção transversal alterando a altura. Como a altura da viga ainda era de 30 cm, optou-se por aumentar a altura da viga para 60 cm, o que reduziu as flechas e sanou o problema de torção.

3.2.3 Solução de problemas em escadas

Os problemas que ocorreram nos lances e patamares da escada foram semelhantes aos que aconteceram nas lajes, o que era esperado pela semelhança entre esses elementos estruturais. No entanto, a forma da escada, que é em “U”, com dois patamares e com um dos lados em balanço e à mostra, gerou muitas limitações na busca por soluções. O único lado da escada disponível para apoiá-la era o lado dos patamares, o que não se mostrou suficiente. A solução encontrada para reduzir os deslocamentos excessivos e os esforços de cisalhamento que surgiram pela torção da escada sobre si mesma foi o aumento da espessura dos lances e patamares.

3.2.4 Solução de problemas em pilares

O principal problema observado nos pilares após o processamento do modelo estrutural foi o erro D09, que ocorre quando nenhuma das bitolas configuradas pode ser usada para garantir que o pilar resista aos esforços solicitantes. Isso não significa, no entanto, que as bitolas configuradas são pequenas, pois o uso de barras de até 20 mm havia sido permitido nas configurações de dimensionamento do Eberick. Analisando o erro que ocorreu para cada bitola, verifica-se que o espaçamento entre as barras era menor que o permitido por norma.

As soluções previstas pelo Eberick para esse tipo de erros são: (1) habilitar mais bitolas nas configurações do *software*, o que é impraticável pela dificuldade de se trabalhar com bitolas muito altas; (2) alterar configurações dos pilares, como a taxa de armadura máxima e o cobrimento da armadura, o que é impossível visto que os valores utilizados já estão no limite das recomendações da norma; (3) alterar a resistência característica do concreto, alterando a classe de concreto utilizada para pilares no pavimento através das configurações, o que seria uma opção viável, mas que só deve ser adotada em última instância; (4) alterar a seção do pilar; e (5) redefinir o modelo da estrutura, diminuindo os esforços no elemento.

Se apenas uma pequena quantidade de pilares estivesse demasiadamente sobrecarregada, a redefinição do modelo estrutural seria uma opção de grande valia. No entanto, praticamente todos os pilares apresentaram o erro D09. Os únicos pilares que não apresentaram esse erro após o processamento foram os pilares de seção quadrada de lado 30 cm, o que é um indício que a seção de 15 cm por 30 cm é, de fato, muito pequena para a estrutura analisada. Por esses motivos, optou-se por alterar a seção de todos os pilares para 20 cm por 30 cm, o que eliminou todas as mensagens de erro D09 nos pilares.

Quando um pilar é detalhado utilizando uma armadura com bitola menor do que a utilizada no lance superior, ou mesmo quando apenas a quantidade de barras é menor que a do lance superior, independentemente da bitola adotada, o Eberick emite o aviso 10. Embora essa situação não gere um problema de estabilidade na estrutura, não é algo usual, por isso o aviso é emitido.

O *software* propõe que os pilares que se enquadram nessa situação podem ser detalhados de duas maneiras diferentes: (1) permitindo que as barras mais finas sirvam de espera para as mais grossas; e (2) cortando todas as barras mais finas e colocando barras adicionais para servir de espera.

Esse problema, no entanto, pode ser solucionado caso seja possível reduzir os esforços nos pilares, aumentando a rigidez de uma ou mais vigas que se apoiam no pilar, por exemplo. Para os demais casos, uma solução simples de se adotar é corrigir manualmente a quantidade e a bitola das barras dos pilares na janela de dimensionamento de pilares em prumada, sempre adotando a bitola e o número de barras do lance superior.

O aviso de detalhamento 07 será emitido sempre que algum pilar não estiver travado por lajes e não existirem vigas para travá-lo em pelo menos uma direção, situação que pode tornar o comprimento de flambagem do elemento estrutural muito elevado. Essa situação, no entanto, às vezes é proposital, como no caso do pilar P2 que está em situação de pé-direito duplo, situação prevista pelo *software*. Esse aviso não define uma situação de instabilidade da estrutura, serve apenas para que o lançamento gráfico seja conferido, verificando se o pilar realmente deveria ter pé-direito duplo, e, portanto, pode ser ignorado.

3.2.5 Solução de problemas em sapatas

Todos os erros encontrados nas sapatas foram o mesmo, o erro D38. Tal erro é gerado quando o pilar que se apoia na sapata correspondente está em situação de erro, e, portanto, a fundação não pode ser calculada. A solução, portanto, é solucionar o erro no pilar correspondente.

3.3 Processamento Final

Após a correção dos problemas de dimensionamento citados anteriormente, foi realizado um novo processamento da estrutura e pôde-se observar que ela sofreu um aumento considerável em sua estabilidade global. Os deslocamentos horizontais no topo da estrutura e a variação nos deslocamentos calculada pelo processo P-Delta foram reduzidos, assim como o valor calculado

para o coeficiente Gama-Z.

No entanto, em decorrência das alterações que foram realizadas, novos problemas no dimensionamento dos elementos estruturais surgiram, todos na forma de avisos, além de um aviso ter persistido (Aviso 07), como pode ser observado na Tabela 8.

Tabela 8 – Avisos recorrentes após processamento final

Elemento	Código	Descrição
Pilar	Aviso 07	Pilar não travado no pavimento
Viga	Aviso 02	Viga-parede
	Aviso 26	Possibilidade de instabilidade lateral

Fonte: Autor (2023)

O aviso de detalhamento 07, como explicado anteriormente, pode ser ignorado pois não define uma situação de instabilidade da estrutura, serve apenas para que o lançamento gráfico seja conferido, verificando se o pilar realmente deveria ter pé-direito duplo.

O aviso 02 passou a ser emitido após a solução dos problemas decorrentes do primeiro processamento, mas serve apenas para alertar o usuário que a viga em questão foi considerada como viga-parede devido à relação entre sua altura e seu vão teórico. Por conta disso, a viga possui peculiaridades no seu dimensionamento, mas elas são consideradas pelo *software*.

O caso de aviso 26 requer um pouco mais de atenção, pois é uma situação onde o Eberick deixa a cargo do usuário a verificação da segurança da viga em relação à instabilidade lateral através de procedimentos apropriados. A solução alternativa é aumentar a largura da viga.

Em trechos de vigas cuja zona comprimida não está travada por lajes, o Eberick utiliza as condições simplificadas sugeridas pelo item 15.10 da ABNT NBR 6118/2014 para verificação quanto à flambagem lateral. Quando as condições sugeridas não são atendidas, o aviso é emitido.

Longo (2021), argumenta que é possível utilizar a estimativa do valor do momento crítico proposta por Marshall (1969) considerando o coeficiente redutor da capacidade do momento crítico devido às incertezas sugerido por Park e Paulay (1975). O momento crítico (M_{cr}) é dado pela Equação 1:

$$M_{cr} = \frac{160 \cdot \phi \cdot f_{ck} \cdot b^3 \cdot d}{l} \quad (1)$$

Sendo ϕ o coeficiente redutor da capacidade do momento crítico devido às incertezas, que é igual a 0,5; f_{ck} é a resistência característica à compressão do concreto dada em MPa; b é a largura da alma da viga; d é a altura útil da viga; e l é o comprimento do vão livre, que é igual

a 2,6 m.

Caso o valor do momento fletor de cálculo máximo (M_{dx}) no trecho em questão seja inferior ao momento crítico, a segurança da viga quanto à instabilidade lateral está garantida.

Seja $M_{dx} = 4.414 \text{ kgf}\cdot\text{m} = 43,29 \text{ kN}\cdot\text{m}$ (valor que pode ser obtido no gráfico de momento fletor ou nos relatórios de cálculo da viga). Calculando o valor do momento crítico pela Equação 1, temos $M_{cr} = 1.168,27 \text{ kN}\cdot\text{m}$. Como $M_{dx} < M_{cr}$, a segurança da viga quanto à instabilidade lateral está garantida.

Com todas as verificações atendidas, a etapa seguinte foi realizar a otimização dos pilares, pois estes foram os elementos estruturais que apresentaram maior taxa de armadura dentro do projeto.

Devido à alteração das seções dos pilares de $15 \text{ cm} \times 30 \text{ cm}$ para $20 \text{ cm} \times 30 \text{ cm}$, a quantidade de barras de aço e suas bitolas já haviam diminuído consideravelmente. Essa diminuição pode ser observada em todos os lances dos pilares cujas armaduras foram calculadas no primeiro processamento, que foram os lances onde não ocorreu o erro D09.

A fim de reduzir ainda mais a área de aço dos pilares, foi proposto o aumento da área da seção transversal dos pilares no pavimento térreo. Como o trecho dos pilares entre o pavimento térreo e as sapatas fica coberto pelas lajes desse pavimento, a variação na dimensão dos pilares não interfere na arquitetura do projeto. Essa alteração, no entanto, só foi realizada em pilares que necessitavam de mais de quatro barras para garantir sua estabilidade, independente da bitola.

O resultado desse processo de otimização foi satisfatório, causando uma grande redução na área de aço. O pilar P1, por exemplo, que antes possuía seção de $30 \text{ cm} \times 30 \text{ cm}$ e estava comportando 10 barras de 16 mm, teve sua seção alterada para $30 \text{ cm} \times 40 \text{ cm}$ e passou a necessitar de 6 barras de 16 mm, uma redução de 40% na quantidade de barras de aço.

Com todas as alterações implementadas, foi realizado um novo processamento para reavaliar a estabilidade global da estrutura.

O deslocamento horizontal máximo no topo da edificação, que antes era de 0,72 cm na direção y, passou a ser de 0,26 cm, ficando bem abaixo do deslocamento limite calculado que é de 0,69 cm. O coeficiente Gama-Z máximo que antes era 1,51 na direção y passou a ser 1,09 (utilizando a mesma combinação do primeiro processamento) e ficou dentro do limite definido pelo Eberick.

Por fim, a variação nos deslocamentos no topo da estrutura sofreu uma grande redução em todas as direções, independente da natureza do carregamento que gerou os deslocamentos, conforme pode-se observar na Tabela 9.

Tabela 9 – Variações no deslocamento do topo da edificação após último processamento

Carregamento	Inicial	Final	Variação
Acidental	0.07	0.07	10.03%
Vento X+	0.52	0.54	4.59%
Vento X-	0.52	0.54	4.58%
Vento Y+	1.31	1.43	8.67%
Vento Y-	1.31	1.42	8.63%
Desaprumo X+	0.07	0.07	5.61%
Desaprumo X-	0.07	0.07	5.60%
Desaprumo Y+	0.12	0.13	9.39%
Desaprumo Y-	0.12	0.13	9.36%

Fonte: Autor (2023)

Desse modo, pode-se concluir que houve uma redução considerável na deslocabilidade da estrutura e, portanto, um aumento na sua estabilidade. A partir desses resultados, foram geradas as principais pranchas do projeto, que podem ser consultadas no Anexo A.

4 CONCLUSÕES

O ambiente acadêmico oferece ao estudante de engenharia civil a oportunidade de adquirir conhecimentos fundamentais sobre a teoria das estruturas, especialmente sobre as de concreto armado. Tais conhecimentos permitem que se entenda as metodologias de cálculo utilizadas em normas e manuais sobre estruturas, possibilitando o projeto de elementos isolados e edificações como um todo. A capacidade de projetar apenas por meio dos métodos analíticos tradicionais, no entanto, pode trazer limitações para o futuro engenheiro civil.

O conhecimento sobre a utilização de *softwares* de análise estrutural é essencial para o desenvolvimento profissional daquele que almeja tornar-se engenheiro calculista. A razão disso é que a automatização de rotinas de cálculo e verificações de segurança torna o processo de projetar estruturas muito mais rápido. Além disso, os modelos bi e tridimensionais gerados por esses *softwares* tornam tanto o dimensionamento quanto o detalhamento das estruturas mais simples e intuitivo.

Cada um dos vários *softwares* de análise estrutural disponíveis no mercado possui interface singular, diferindo na forma de entrada de dados em geral e nas configurações gerais de projeto, no lançamento de elementos, na análise de problemas, na apresentação das plantas de forma e de armaduras, etc. Por esse motivo, o conhecimento prévio sobre o *software* que se pretende utilizar pode tornar o projeto de estruturas muito mais ágil.

A falta de familiaridade com o *software* ocasionou uma série de dificuldades, dentre as quais

pode-se mencionar: (1) a demora expressiva para entender a melhor maneira de lançar e fazer alterações nos elementos estruturais já lançados; (2) dúvidas sobre quais das configurações inicialmente apresentadas pelo *software* deveriam ser mantidas e quais precisavam ser alteradas; e (3) quais as soluções mais adequadas para cada um dos problemas de dimensionamento que foram apresentados após cada processamento.

A superação das duas últimas dificuldades encontradas na utilização do *software* só foi possível graças ao conhecimento sobre os fundamentos da teoria das estruturas e das normas específicas. Além disso, esse conhecimento foi essencial em processos que o *software* não realiza, como no caso da verificação quanto à flambagem lateral de vigas. Desse modo, fica evidente a importância da combinação do conhecimento sobre os fundamentos da teoria das estruturas com o conhecimento sobre o *software* de análise estrutural, mostrando que é indispensável a análise realizada pelo engenheiro.

A partir dos argumentos apresentados, entende-se que os objetivos propostos, geral e específicos, foram alcançados com êxito.

REFERÊNCIAS

ABNT. **NBR 12721**: Avaliação de custos unitários de construção para incorporação imobiliária e outras disposições para condomínios edifícios — Procedimento. Rio de Janeiro: ABNT, 2006.

ABNT. **NBR 6118**: Projeto de estruturas de concreto — Procedimento. Rio de Janeiro: ABNT, 2014.

ABNT. **NBR 6120**: Ações para o cálculo de estruturas de edificações. Rio de Janeiro: ABNT, 2019.

ABNT. **NBR 8681**: Ações e segurança nas estruturas — Procedimento. Rio de Janeiro: ABNT, 2004.

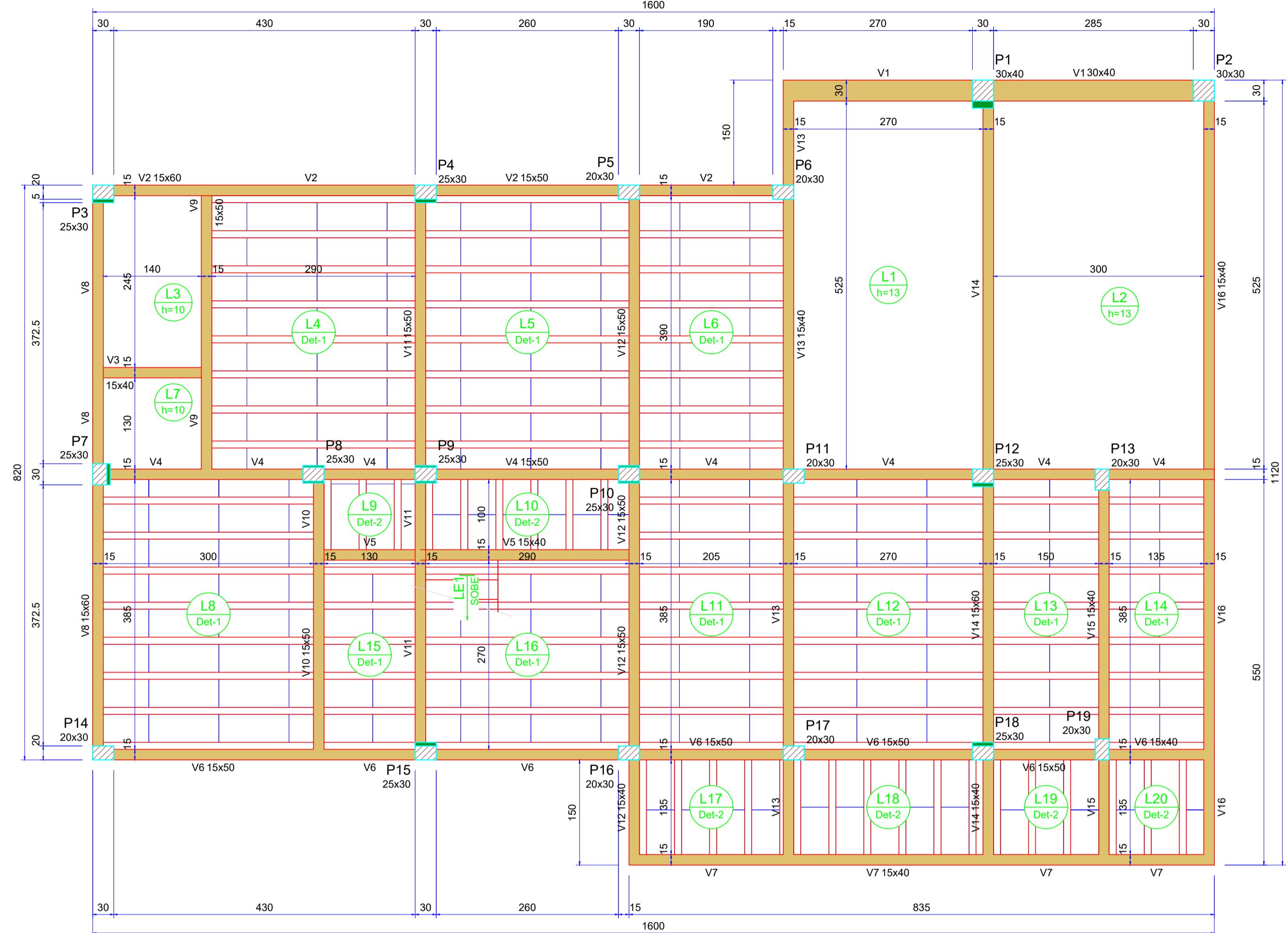
IBGE. **Produto interno bruto dos municípios**. IBGE, 2019. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/pe/caruaru/pesquisa/38/47001?tipo=ranking>. Acesso em: 4 ago. 2022.

LONGO, L. F. **Instabilidade lateral**: conclusões. QISuporte, 2021. Disponível em: <https://suporte.altoqi.com.br/hc/pt-br/articles/360003921533>. Acesso em: 24 abr. 2023.

SOARES, J. M. **Comunicação pessoal**. 2023.

SÜSSEKIND, J. C. **Curso de Concreto**: Volume I: Concreto Armado. Porto Alegre: Globo, 1980.

APÊNDICE A – PRANCHAS DO PROJETO ESTRUTURAL



Forma do pavimento Térreo

escala 1:50

Vigas	Nome	Seção (cm)	Elevação (cm)	Nível (cm)
V1	V1	30x40	0	70
V2	V2	15x60	0	70
V3	V3	15x50	0	70
V4	V4	15x50	0	70
V5	V5	15x40	0	70
V6	V6	15x50	0	70
V7	V7	15x40	0	70
V8	V8	15x60	0	70
V9	V9	15x50	0	70
V10	V10	15x50	0	70
V11	V11	15x50	0	70
V12	V12	15x40	0	70
V13	V13	15x50	0	70
V14	V14	15x40	0	70
V15	V15	15x60	0	70
V16	V16	15x40	0	70

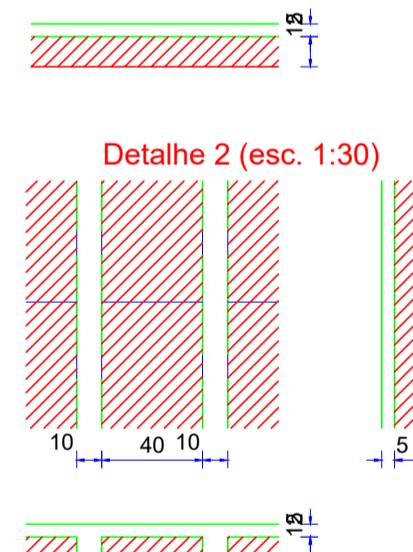
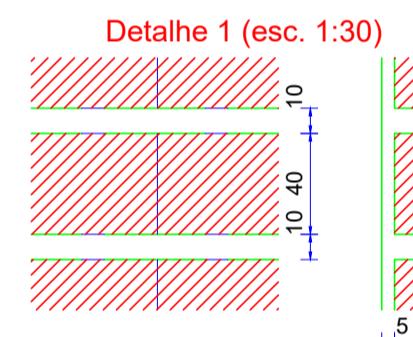
Blocos de enchimento				
Detalhe	Tipo	Nome	Dimensões(cm)	Quantidade
1/2	EPS Unidirecional	B12/40/100	12 40 100	276

Características dos materiais	
fck	Abatimento
(kgf/cm ²)	(cm)
250	5.00

Dimensão máxima do agregado = 19 mm

Pilares		
Nome	Seção (cm)	Elevação (cm)
P1	30x40	0
P2	30x30	0
P3	25x30	0
P4	25x30	0
P5	20x30	0
P6	20x30	0
P7	25x30	0
P8	25x30	0
P9	25x30	0
P10	25x30	0
P11	20x30	0
P12	25x30	0
P13	20x30	0
P14	20x30	0
P15	25x30	0
P16	20x30	0
P17	20x30	0
P18	25x30	0
P19	20x30	0
P20	25x30	0

Legenda dos pilares	
Pilar que passa	Pilar com mudança de seção
Viga	



Universidade Federal de Pernambuco
Centro Acadêmico do Agreste
Curso de Engenharia Civil
Aluno: Sillas de Andrade Dias

Descrição:
Formas do pavimento Térreo

Escala:
Indicada

Prancha:
1 / 26



Relação do aço				
	V2	V3	V5	V6
	V8	V9		
	DIAM (mm)	QUANT	C.UNIT (cm)	C.TOTAL (cm)
1	5.0	42	127	5334
2	5.0	47	137	6439
3	5.0	170	117	19890
4	5.0	74	97	7178
5	6.3	2	92	184
6	6.3	6	484	2904
7	6.3	6	324	1944
8	6.3	6	609	3654
9	6.3	6	814	4884
0	8.0	1	210	210
1	8.0	3	492	1476
2	8.0	1	566	566
3	8.0	2	172	344
4	8.0	2	221	442
5	8.0	3	600	1800
6	8.0	2	467	934
7	8.0	2	509	1018
8	8.0	2	829	1658
9	8.0	2	879	1758
0	8.0	4	414	1656
1	8.0	2	310	620
2	8.0	6	430	2580
3	8.0	1	121	121
4	8.0	1	116	116
5	8.0	2	456	912
6	8.0	1	275	275
7	8.0	3	192	576
8	8.0	3	461	1383
9	10.0	1	597	597
0	10.0	2	628	1256
1	10.0	3	645	1935
2	10.0	2	517	1034
3	10.0	1	215	215
4	10.0	2	552	1104
5	10.0	2	1004	2008
6	10.0	2	510	1020
7	10.0	2	643	1286
8	10.0	1	444	444
9	10.0	1	265	265
0	10.0	1	365	365
1	10.0	2	371	742
2	10.0	2	1200	2400
3	10.0	2	541	1082
4	10.0	2	1035	2070
5	10.0	2	493	986
6	10.0	2	165	330
7	10.0	1	230	230
8	10.0	1	240	240
9	10.0	2	1199	2398
0	10.0	2	509	1018
1	10.0	2	833	1666
2	10.0	2	300	600
3	10.0	1	143	143
4	10.0	2	882	1764

Resumo do aço

AÇO	DIAM (mm)	C. TOTAL (m)	PESO + 10 % (kg)
CA50	6.3	135.7	36.5
	8.0	184.5	80.1
	10.0	272	184.5
CA60	5.0	388.5	65.9
PESO TOTAL			

Volume de concreto (C-25) = 5.61 m³
Área de forma = 65.02 m²

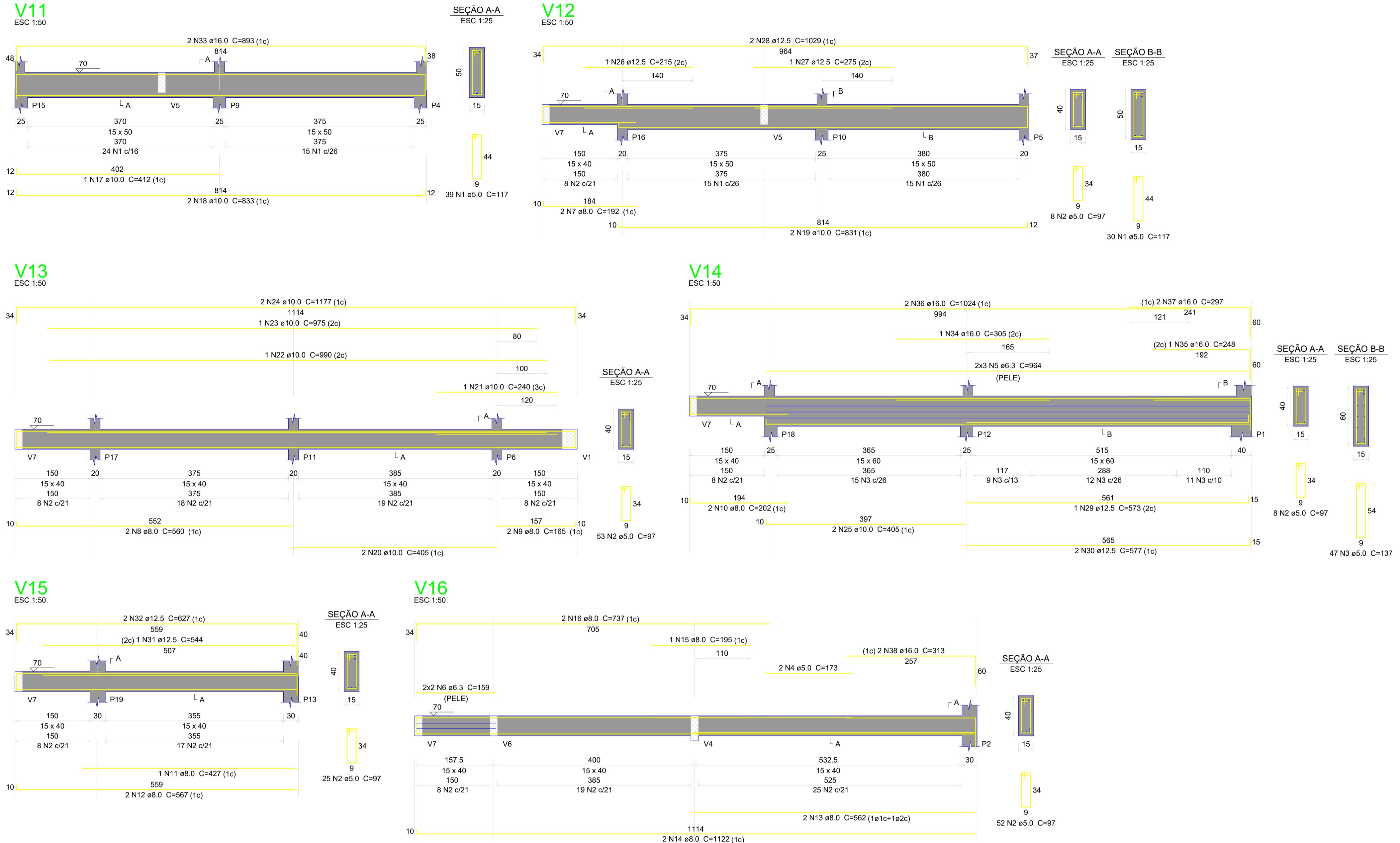


Universidade Federal de Pernambuco
Centro Acadêmico do Agreste
Curso de Engenharia Civil
Aluno: Síllas de Andrade Dias

Descrição:
Vigas do pavimento Térreo

Escala:
Indicada

Prancha:



Relação do aço

	V11	V14	V12	V15	V13	V16
AÇO						
CA60	1	5.0	69	117	8073	
	2	5.0	146	97	14162	
	3	5.0	47	137	6439	
	4	5.0	2	173	346	
CA50	5	6.3	6	96	5784	
	6	6.3	4	159	636	
	7	8.0	2	192	384	
	8	8.0	2	260	1120	
	9	8.0	2	165	373	
	10	8.0	2	202	404	
	11	8.0	1	427	427	
	12	8.0	2	567	1124	
	13	8.0	2	122	2244	
	14	8.0	2	195	195	
	15	8.0	1	737	1474	
	16	8.0	2	412	412	
	17	10.0	1	833	1666	
	18	10.0	2	831	1662	
	19	10.0	2	405	810	
	20	10.0	2	240	240	
	21	10.0	1	990	990	
	22	10.0	1	975	975	
	23	10.0	1	275	275	
	24	10.0	2	1777	2354	
	25	10.0	2	405	810	
	26	12.5	1	215	215	
	27	12.5	1	275	275	
	28	12.5	2	1029	2058	
	29	12.5	1	573	573	
	30	12.5	2	577	1154	
	31	12.5	1	544	544	
	32	12.5	2	627	1254	
	33	16.0	2	893	1786	
	34	16.0	1	305	305	
	35	16.0	2	248	248	
	36	16.0	2	1024	2048	
	37	16.0	2	297	594	
	38	16.0	2	313	626	

Resumo do aço

AÇO	DIAM (mm)	C.TOTAL (m)	PESO + 10 % (kg)
CA50	6.3	64.2	17.3
	8.0	88.4	38.4
	10.0	99.2	67.3
	12.5	60.8	64.4
	16.0	56.1	97.3
CA60	5.0	290.2	49.2
PESO TOTAL (kg)			
CA50	284.6		
CA60	49.2		

Volume de concreto (C-25) = 3.65 m³

Área de forma = 41.81 m²

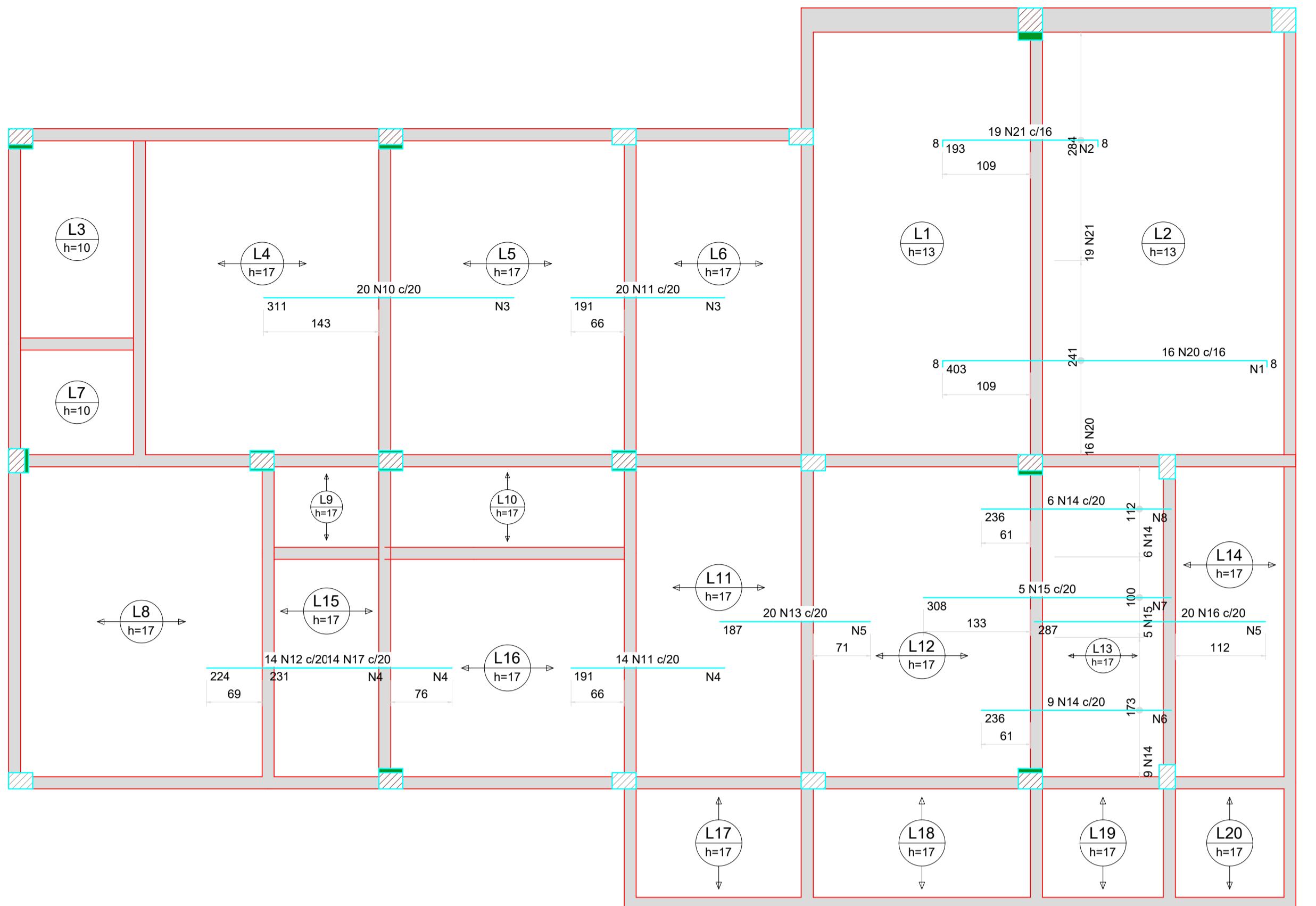


Universidade Federal de Pernambuco
Centro Acadêmico do Agreste
Curso de Engenharia Civil
Aluno: Sillas de Andrade Dias

Descrição:
Vigas do pavimento Térreo

Escala:
Indicada

Prancha:
3 / 26

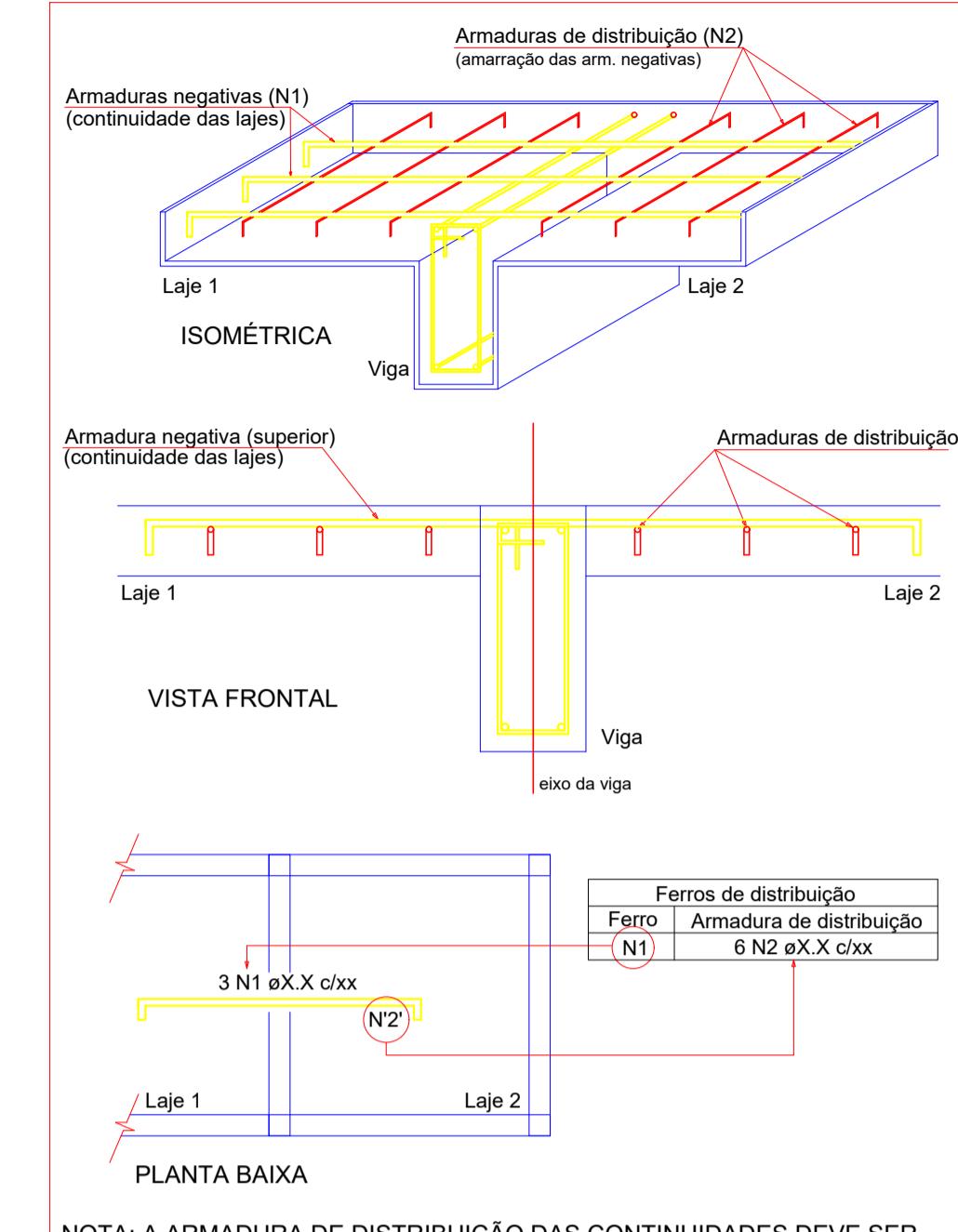


Armação negativa das lajes do pavimento Térreo (Eixo X)

escala 1:50

Armaduras de distribuição	
Armadura	Armadura de distribuição
N20	21 N1 ø5.0 c/20 C=249
N21	10 N2 ø5.0 c/20 C=299
N10	16 N3 ø5.0 c/20 C=405
N11	10 N3 ø5.0 c/20 C=405
N12	12 N4 ø5.0 c/20 C=285
N13	10 N5 ø5.0 c/20 C=400
N14	10 N4 ø5.0 c/20 C=285
N15	16 N7 ø5.0 c/20 C=100
N16	12 N8 ø5.0 c/20 C=120
N17	15 N5 ø5.0 c/20 C=400
	12 N4 ø5.0 c/20 C=285

DETALHE DA ARMADURA SUPERIOR DE CONTINUIDADE DA LAJE
E MONTAGEM DA ARMADURA DE DISTRIBUIÇÃO

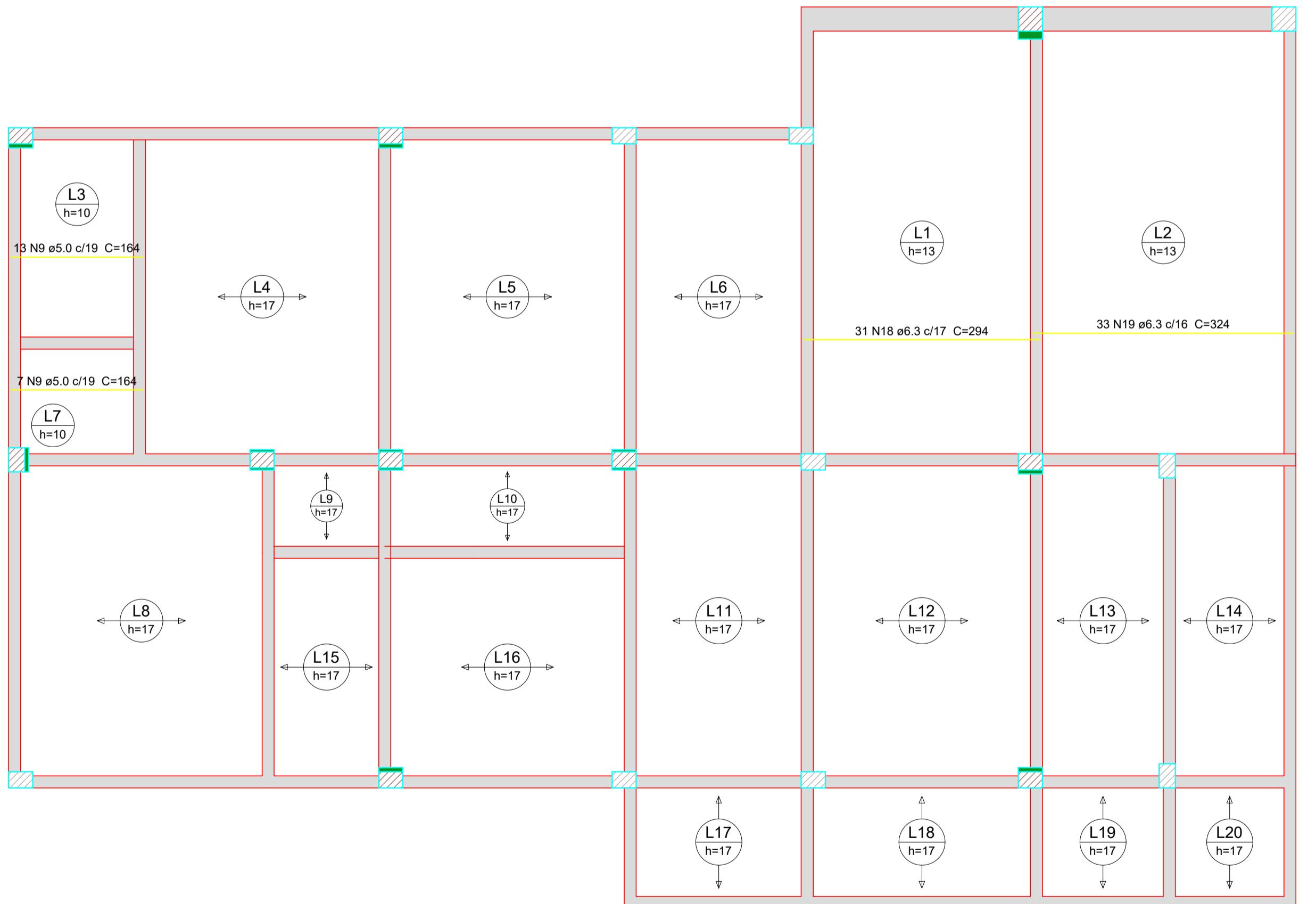


NOTA: A ARMADURA DE DISTRIBUIÇÃO DAS CONTINUIDADES DEVE SER ININTERRUPTA E COM TRASPASSE (CASO HAJA EMENDAS).

Relação do aço			
Negativos X		Positivos X	
AÇO	N	DIAM (mm)	QUANT
CA60	1	5.0	21
	2	5.0	10
	3	5.0	26
	4	5.0	34
	5	5.0	25
	6	5.0	12
	7	5.0	16
	8	5.0	12
	9	5.0	20
	10	5.0	14
	11	6.3	31
	12	6.3	14
	13	6.3	20
	14	6.3	15
	15	6.3	5
	16	6.3	20
	17	6.3	14
	18	6.3	31
	19	6.3	33
	20	8.0	16
	21	8.0	19

Resumo do aço		
AÇO	DIAM (mm)	C.TOTAL (m)
CA50	6.3	534.5
	8.0	105.4
CA60	5.0	469.2
PESO TOTAL (kg)		75.6
CA50	189.6	
CA60	79.6	

Volume de concreto (C-25) = 10.96 m³
Área de forma = 34.99 m²



Armação positiva das lajes do pavimento Térreo (Eixo X)

escala 1:50

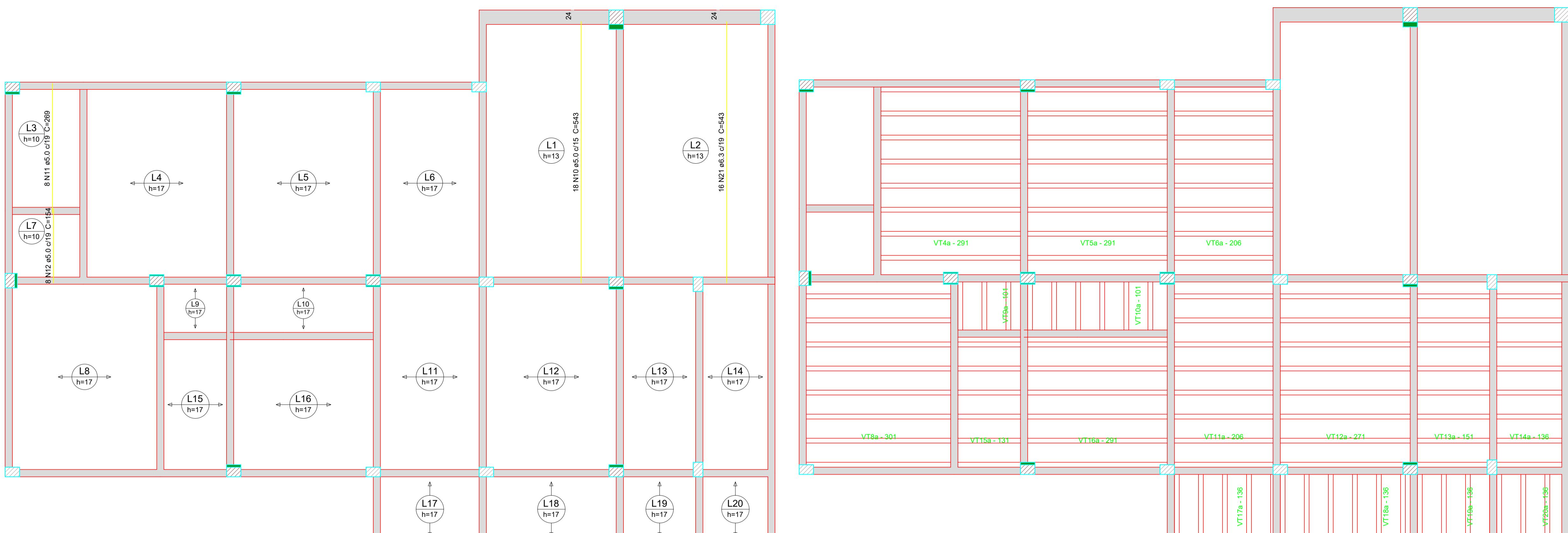


Universidade Federal de Pernambuco
Centro Acadêmico do Agreste
Curso de Engenharia Civil
Aluno: Sillas de Andrade Dias

Descrição:
Lajes do pavimento Térreo

Escala:
Indicada

Prancha:
4 / 26

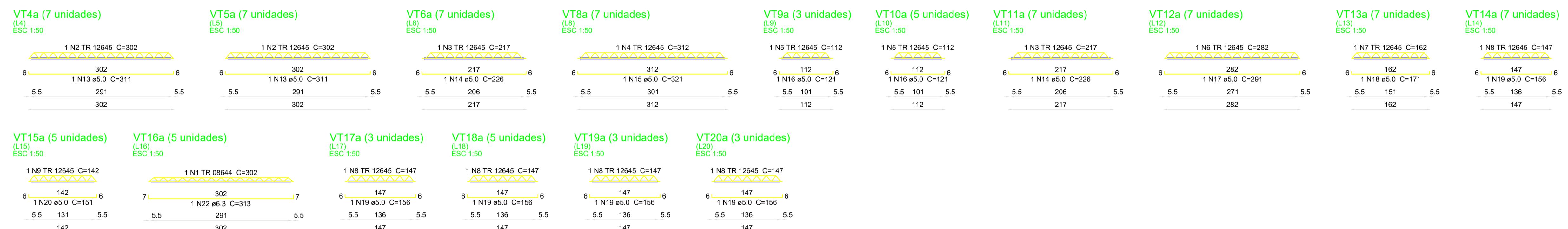


Armação positiva das lajes do pavimento Térreo (Eixo Y)

escala 1:50

Planta de vigetas pré-moldadas

escala 1:50



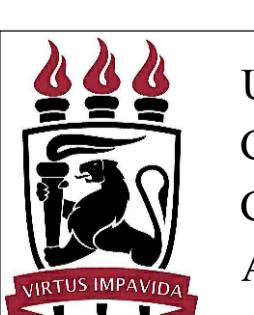
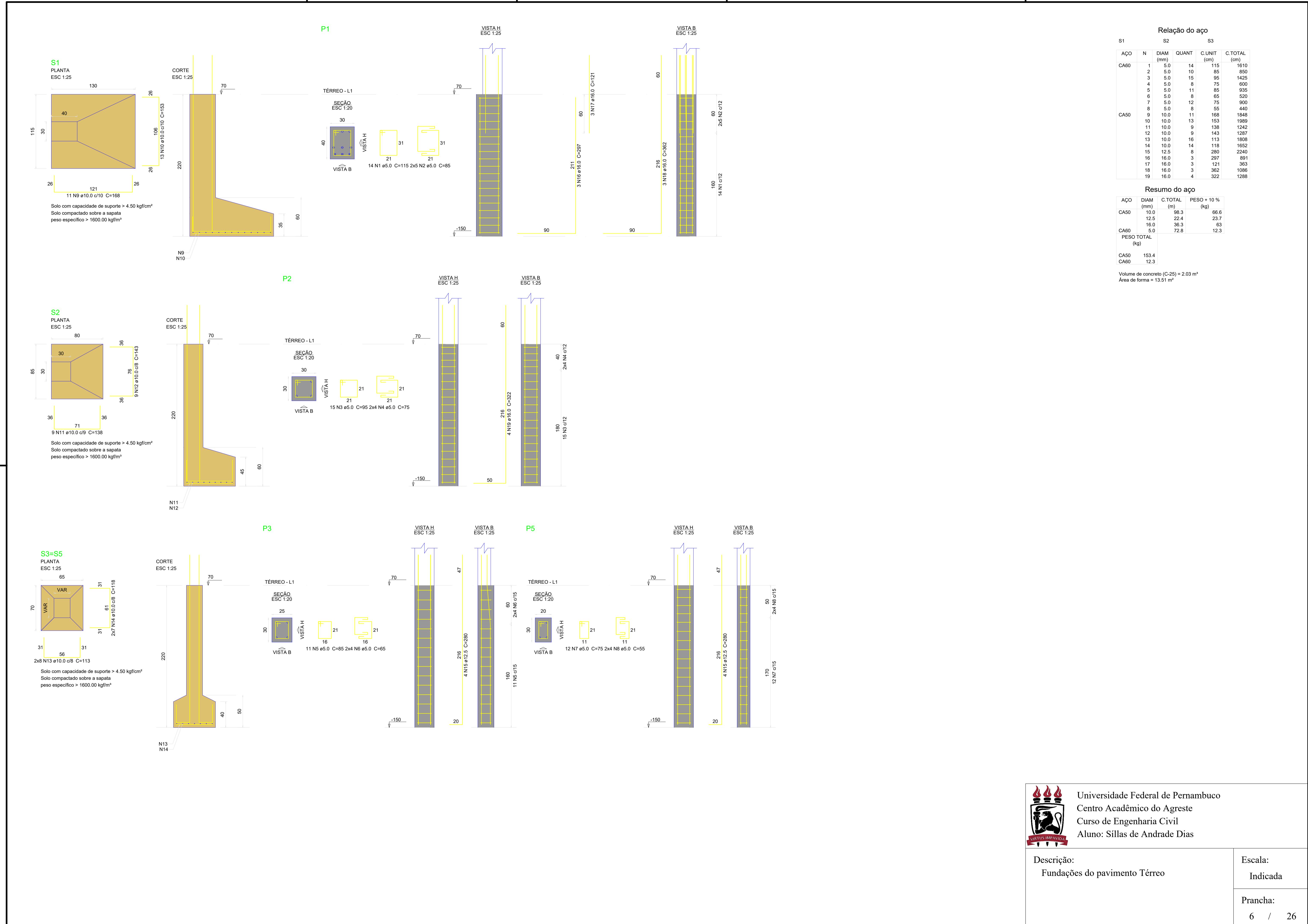
Universidade Federal de Pernambuco
Centro Acadêmico do Agreste
Curso de Engenharia Civil
Aluno: Sillas de Andrade Dias

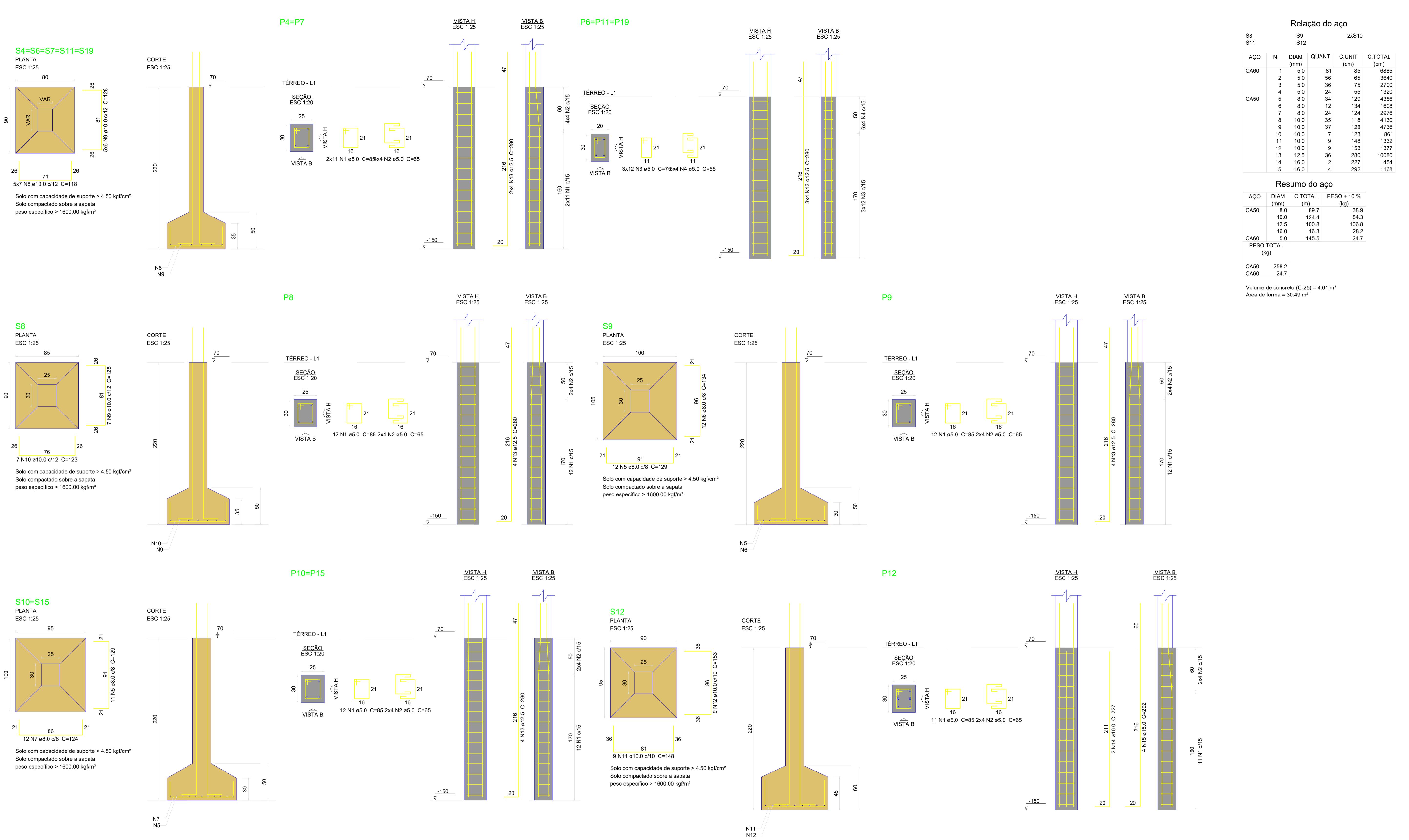
Descrição:
Lajes do pavimento Térreo

Escala:
Indicada

Prancha:

5 / 26



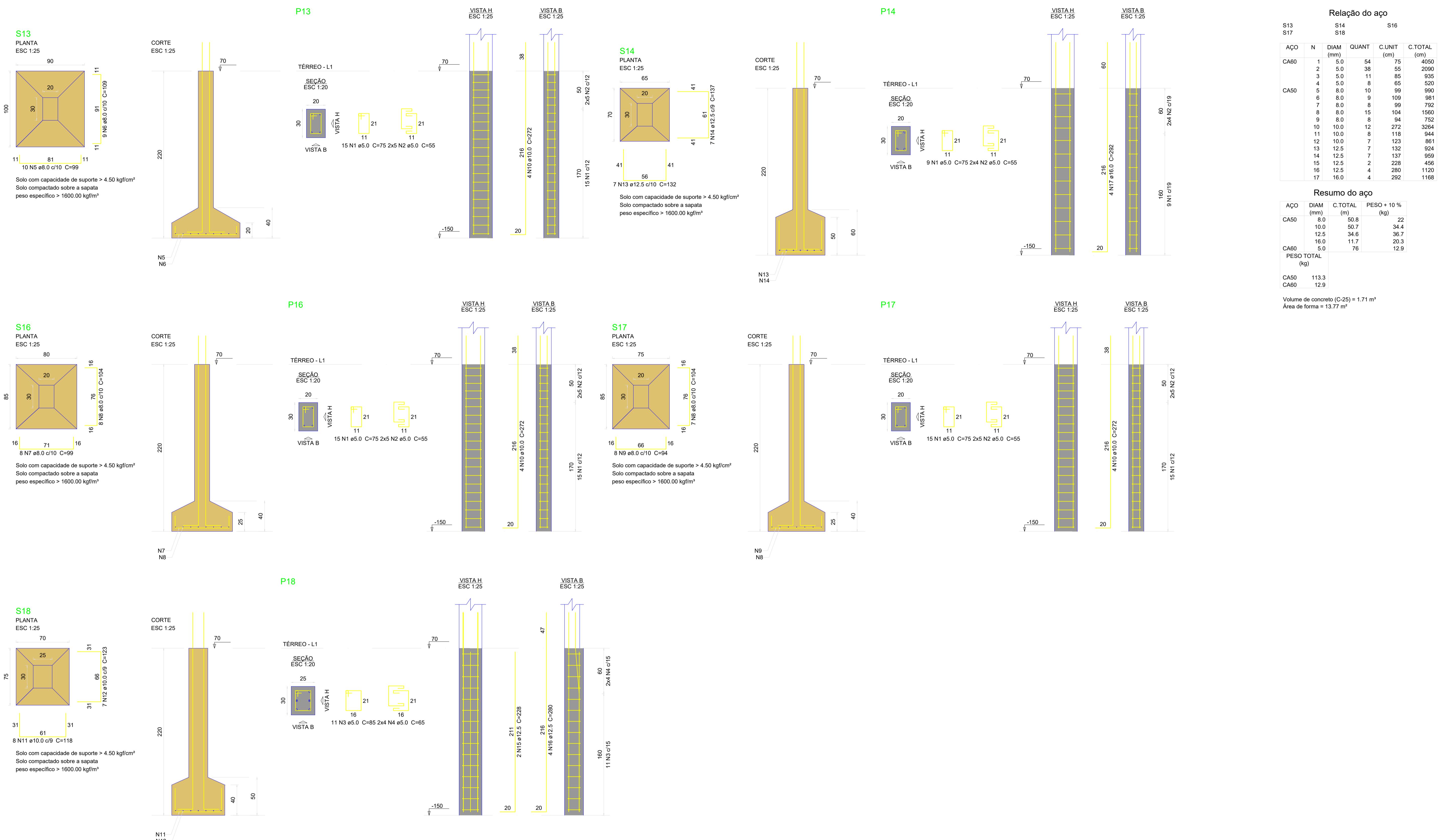


Universidade Federal de Pernambuco
Centro Acadêmico do Agreste
Curso de Engenharia Civil
Aluno: Sillas de Andrade Dias

Descrição:
Fundações do pavimento Térreo

Escala:
Indicada

Prancha:
7 / 26



Relação do aço

		S13	S17	S14	S18	S16
AÇO	N	DIAM (mm)	QUANT	C.UNIT (cm)	C.UNIT (cm)	C.TOTAL (cm)
CA60	1	5.0	54	75	75	4050
	2	5.0	38	55	55	2090
	3	5.0	11	85	85	935
	4	5.0	8	65	65	520
CA50	5	8.0	10	99	99	990
	6	8.0	8	99	99	792
	7	8.0	8	104	104	1560
	8	8.0	8	94	94	752
	9	8.0	12	272	272	3244
	10	10.0	8	118	118	944
	11	10.0	8	123	123	961
	13	12.5	7	132	132	924
	14	12.5	7	137	137	959
	15	12.5	2	228	228	456
	16	12.5	4	280	280	1120
	17	16.0	4	292	292	1168

Resumo do aço

AÇO	DIAM (mm)	C.TOTAL (m)	PESO + 10 % (kg)
CA50	8.0	50.8	22
	10.0	50.7	34.4
	12.5	34.6	36.7
	16.0	11.7	20.3
CA60	5.0	76	12.9

PESO TOTAL (kg)

CA50: 113.3
CA60: 12.9

Volume de concreto (C-25) = 1.71 m³
Área de forma = 13.77 m²



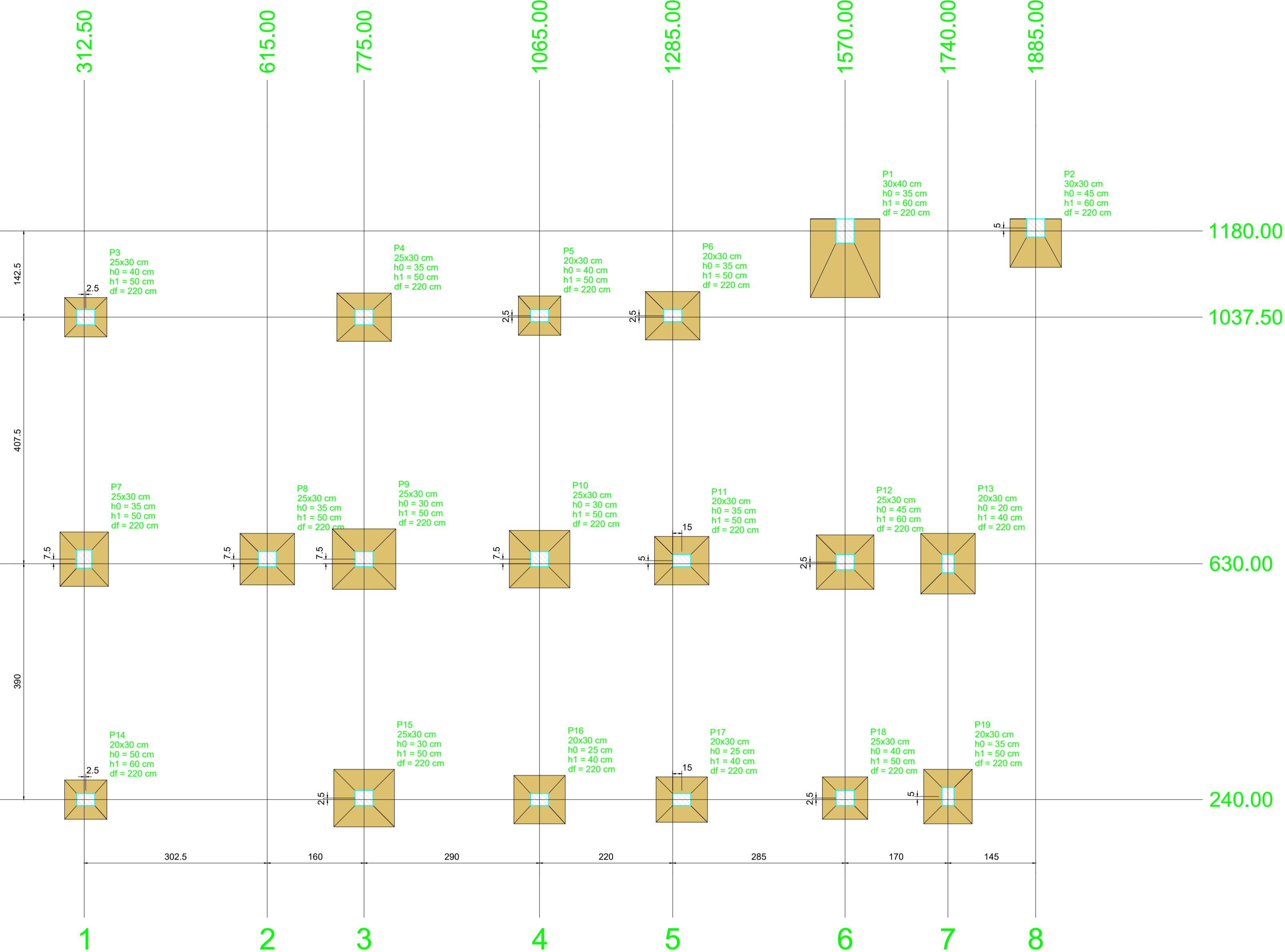
Universidade Federal de Pernambuco
Centro Acadêmico do Agreste
Curso de Engenharia Civil
Aluno: Sillas de Andrade Dias
VIRTUS IMPVIDA

Descrição:
Fundações do pavimento Térreo

Escala:
Indicada

Prancha:

8 / 26



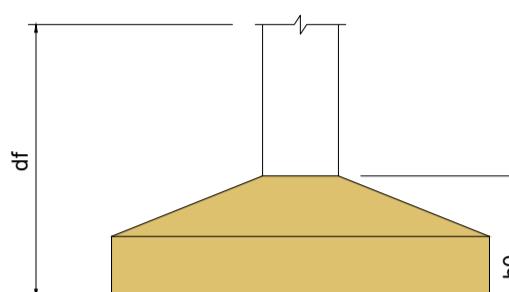
Planta de locação

escala 1:50

Pilar Nome	Seção (cm)	Lado B (cm)	Lado H (cm)	Fundação		
				h0 / ha	h1 / hb	df
P1	30x40	130	115	35	60	220
P2	30x30	80	85	45	60	220
P3	25x30	65	70	40	50	220
P4	25x30	80	90	35	50	220
P5	20x30	65	70	40	50	220
P6	20x30	80	90	35	50	220
P7	25x30	80	90	35	50	220
P8	25x30	85	90	35	50	220
P9	25x30	105	100	30	50	220
P10	25x30	85	100	30	50	220
P11	20x30	80	90	35	50	220
P12	25x30	90	65	45	60	220
P13	20x30	90	100	20	40	220
P14	20x30	65	70	50	60	220
P15	25x30	95	100	30	50	220
P16	20x30	80	85	25	40	220
P17	20x30	75	85	25	40	220
P18	25x30	70	75	40	50	220
P19	20x30	80	90	35	50	220

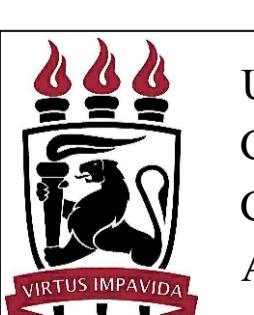
Locação no eixo X Coordenadas (cm)	Nome								
		312.50	315.00	615.00	775.00	1065.00	1285.00	1300.00	1570.00
312.50	P7								
315.00	P3, P14								
615.00	P8								
775.00	P4, P9, P15								
1065.00	P5, P10, P16								
1285.00	P1								
1300.00	P1, P17								
1570.00	P1, P12, P18								
1740.00	P13, P19								
1885.00	P2								

Locação no eixo Y Coordenadas (cm)	Nome																		
		1185.00	1180.00	1040.00	P5, P6	1037.50	P3, P4	637.50	P7, P8, P9, P10	635.00	P11	632.50	P12	630.00	P13	245.00	P16, P18	242.50	P15, P18



Planta de locação

escala 1:50

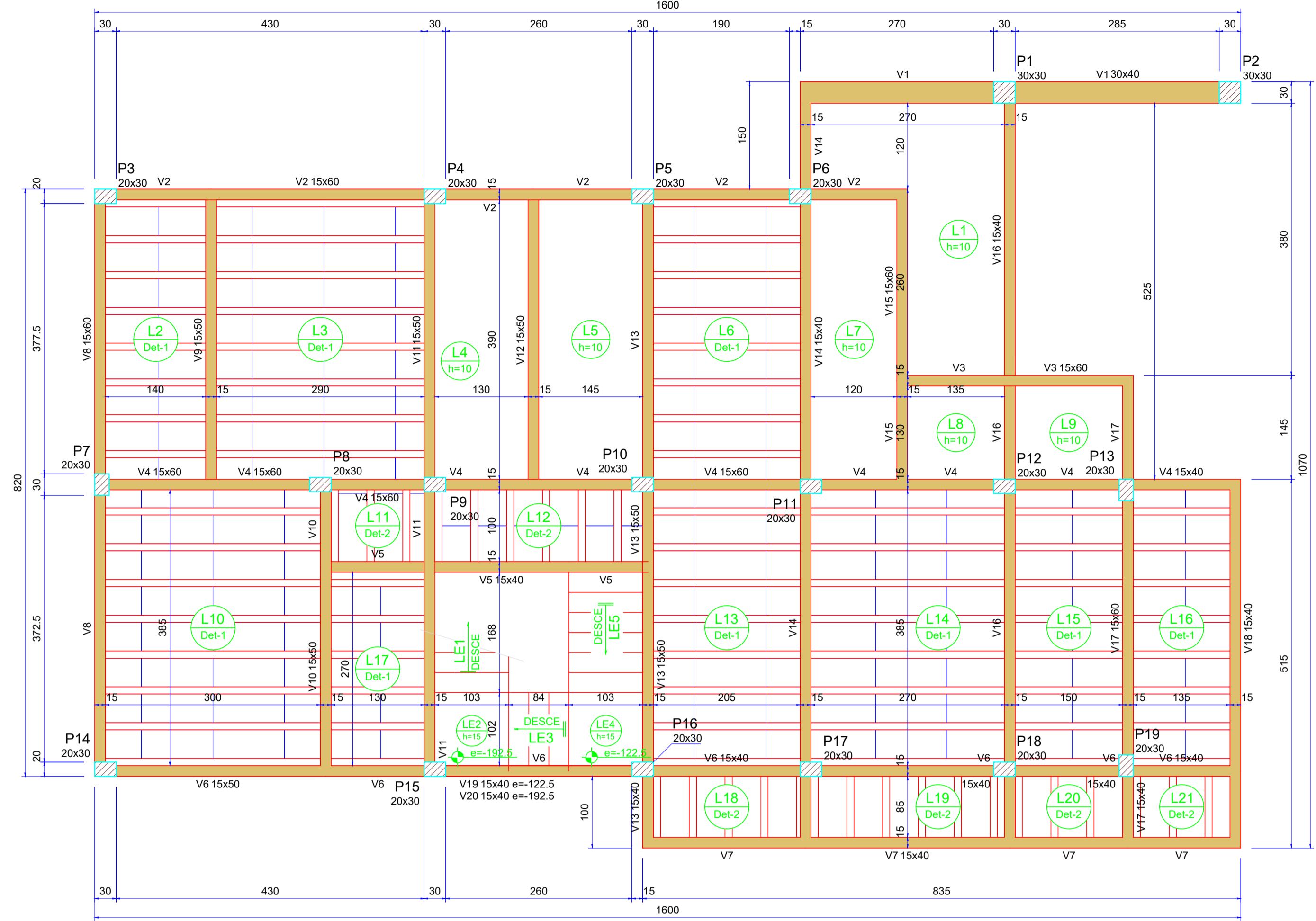


Universidade Federal de Pernambuco
Centro Acadêmico do Agreste
Curso de Engenharia Civil
Aluno: Sillas de Andrade Dias

Descrição:
Locação

Escala:
Indicada

Prancha:
9 / 26



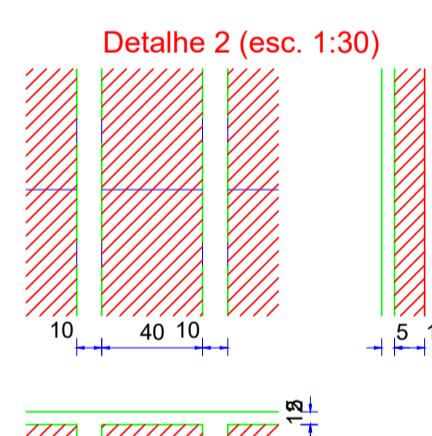
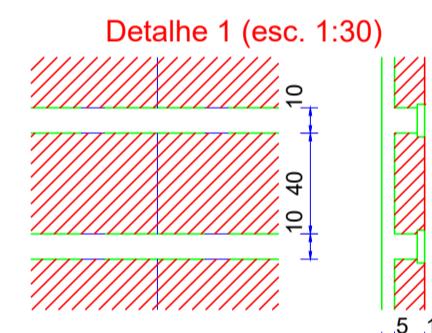
Vigas	Nome	Seção (cm)	Elevação (cm)	Nível (cm)
V1	V1	30x40	0	385
V2	V2	15x60	0	385
V3	V3	15x60	0	385
V4	V4	15x40	0	385
V5	V5	15x40	0	385
V6	V6	15x50	0	385
V7	V7	15x40	0	385
V8	V8	15x60	0	385
V9	V9	15x50	0	385
V10	V10	15x50	0	385
V11	V11	15x50	0	385
V12	V12	15x50	0	385
V13	V13	15x50	0	385
V14	V14	15x40	0	385
V15	V15	15x60	0	385
V16	V16	15x40	0	385
V17	V17	15x40	0	385
V18	V18	15x40	0	385
V19	V19	15x40	-122.5	262.5
V20	V20	15x40	-192.5	192.5

Blocos de enchimento				
Detalhe	Tipo	Nome	Dimensões(cm)	Quantidade
1/2	EPS Unidirecional	B12/40/100	12 40 100	210

Características dos materiais	
f_{ck} 250	Abatimento 5,00
Dimensão máxima do agregado = 19 mm	

Pilares		
Nome	Seção (cm)	Elevação (cm)
P1	30x30	0
P2	30x30	0
P3	20x30	0
P4	20x30	0
P5	20x30	0
P6	20x30	0
P7	20x30	0
P8	20x30	0
P9	20x30	0
P10	20x30	0
P11	20x30	0
P12	20x30	0
P13	20x30	0
P14	20x30	0
P15	20x30	0
P16	20x30	0
P17	20x30	0
P18	20x30	0
P19	20x30	0
P20	20x30	0

Legenda dos pilares	Legenda das vigas e paredes

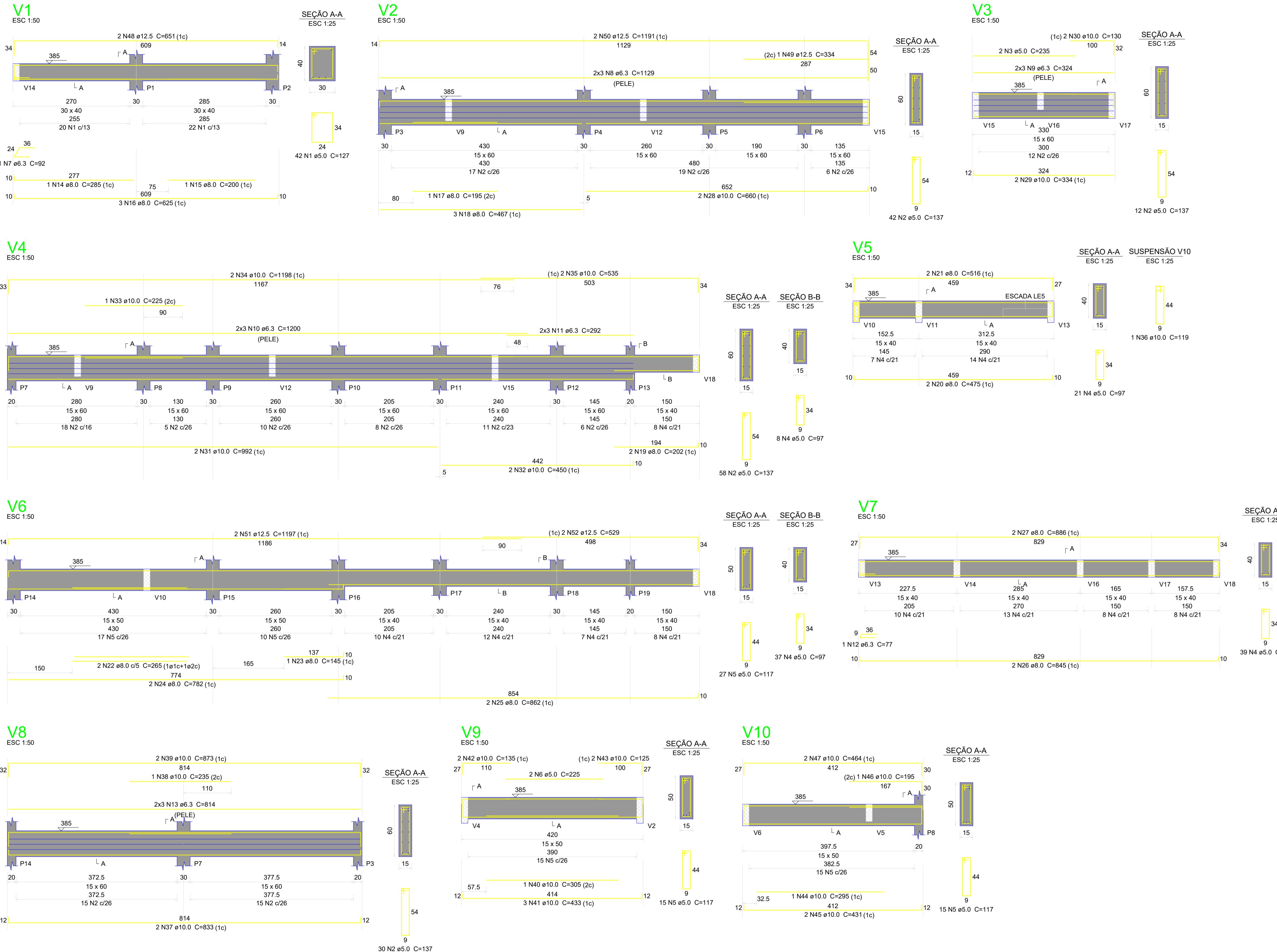


Universidade Federal de Pernambuco
Centro Acadêmico do Agreste
Curso de Engenharia Civil
Aluno: Sillas de Andrade Dias

Descrição:
Formas do pavimento Superior

Escala:
Indicada

Prancha:
10 / 26



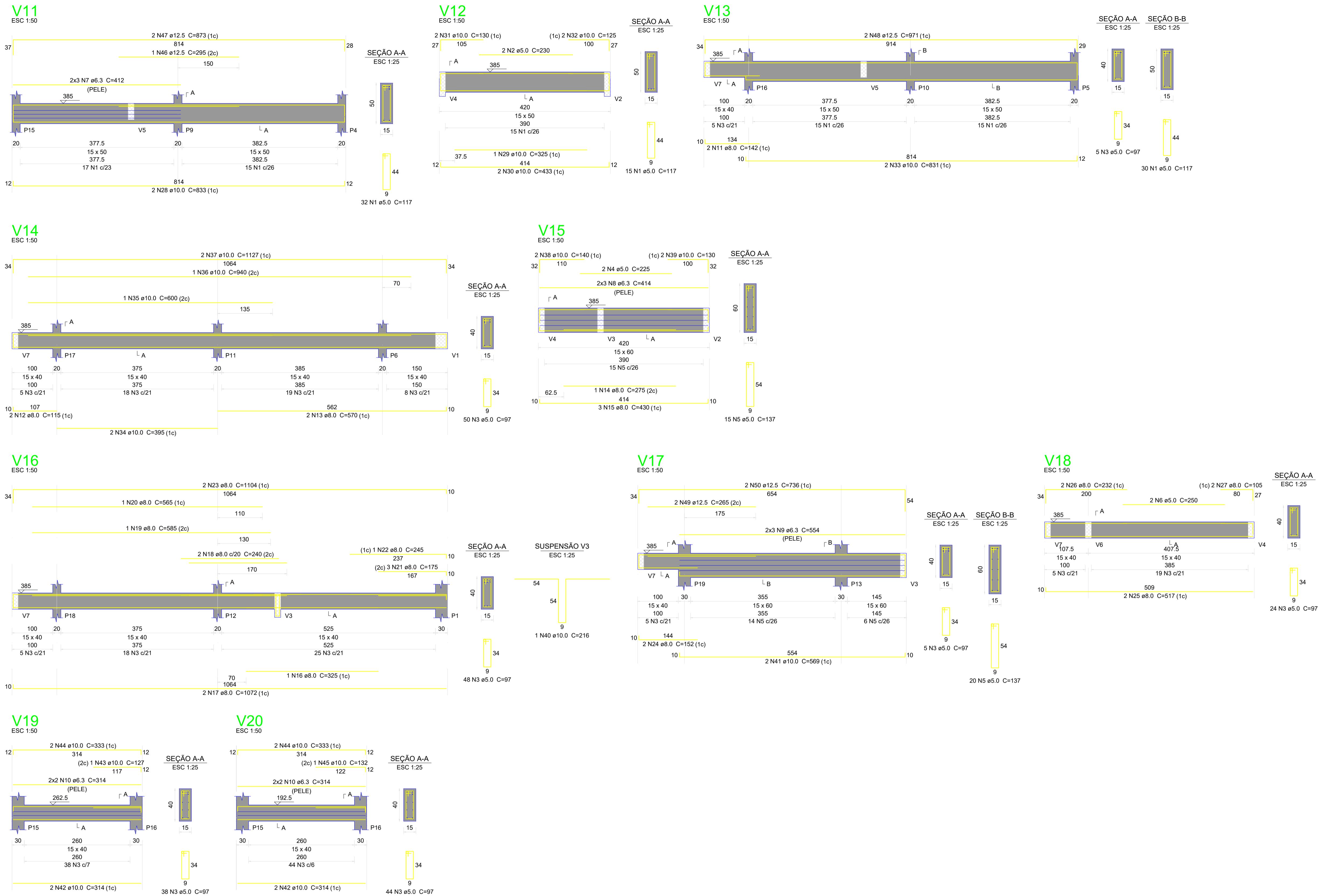
Universidade Federal de Pernambuco
Centro Acadêmico do Agreste
Curso de Engenharia Civil
Aluno: Sillas de Andrade Dias

Descrição:
Vigas do pavimento Superior

Escala:
Indicada

Prancha:

11 / 26

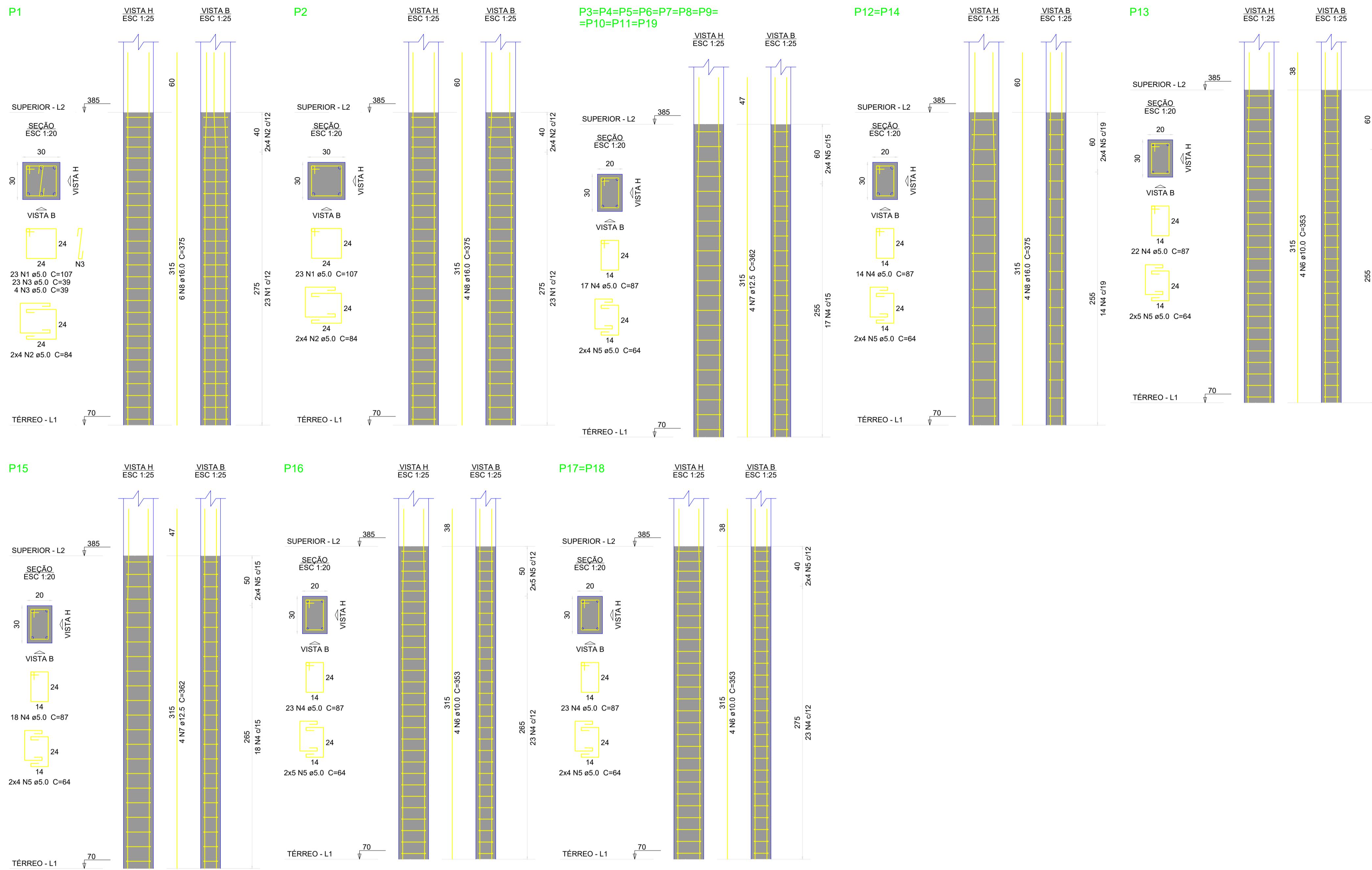


Universidade Federal de Pernambuco
Centro Acadêmico do Agreste
Curso de Engenharia Civil
Aluno: Sillas de Andrade Dias

Descrição:
Vigas do pavimento Superior

Escala:
Indicada

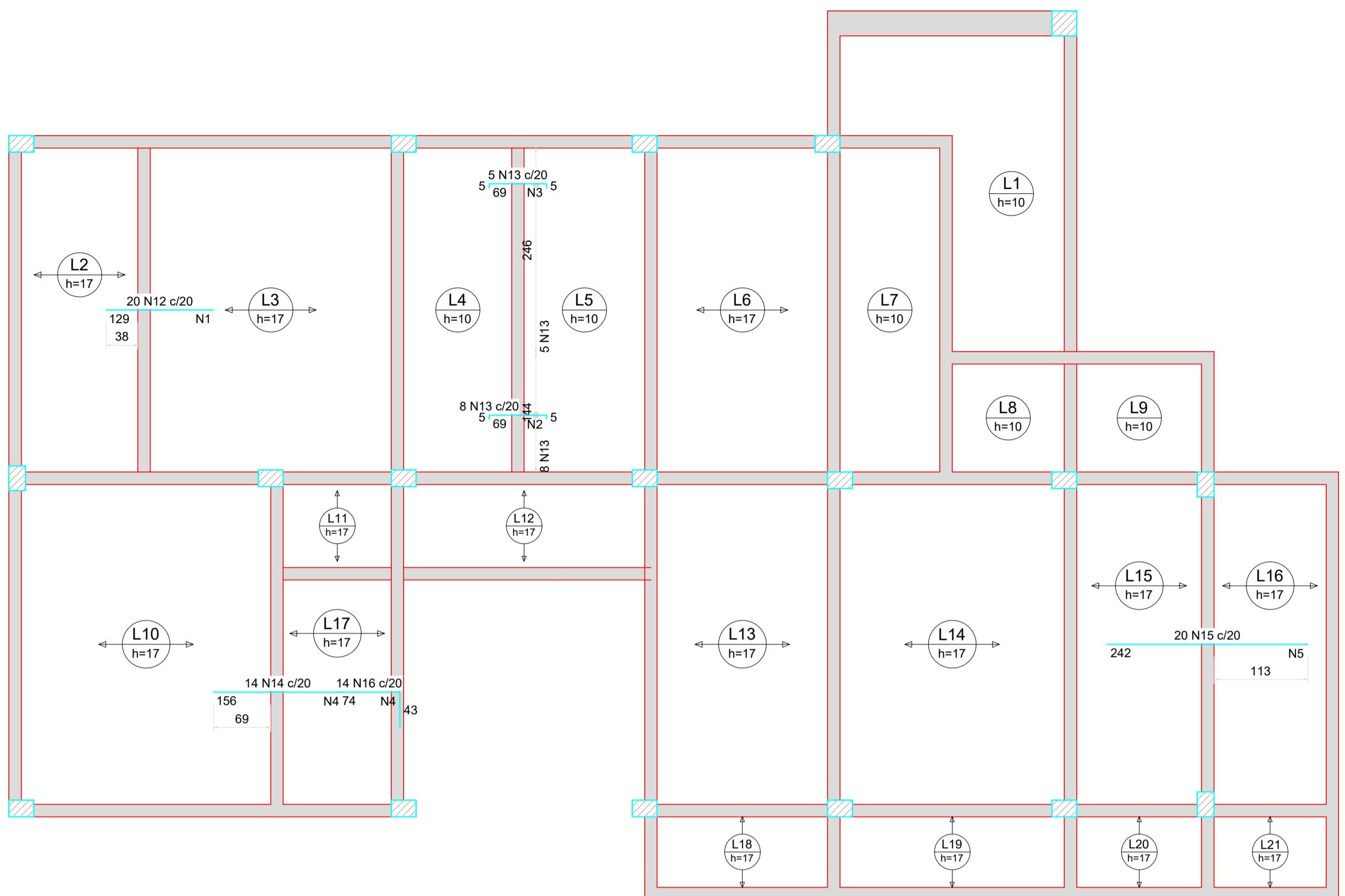
Prancha:
12 / 26



Relação do aço	
	P2
	P13
	2xP17
	10xP3
	P15

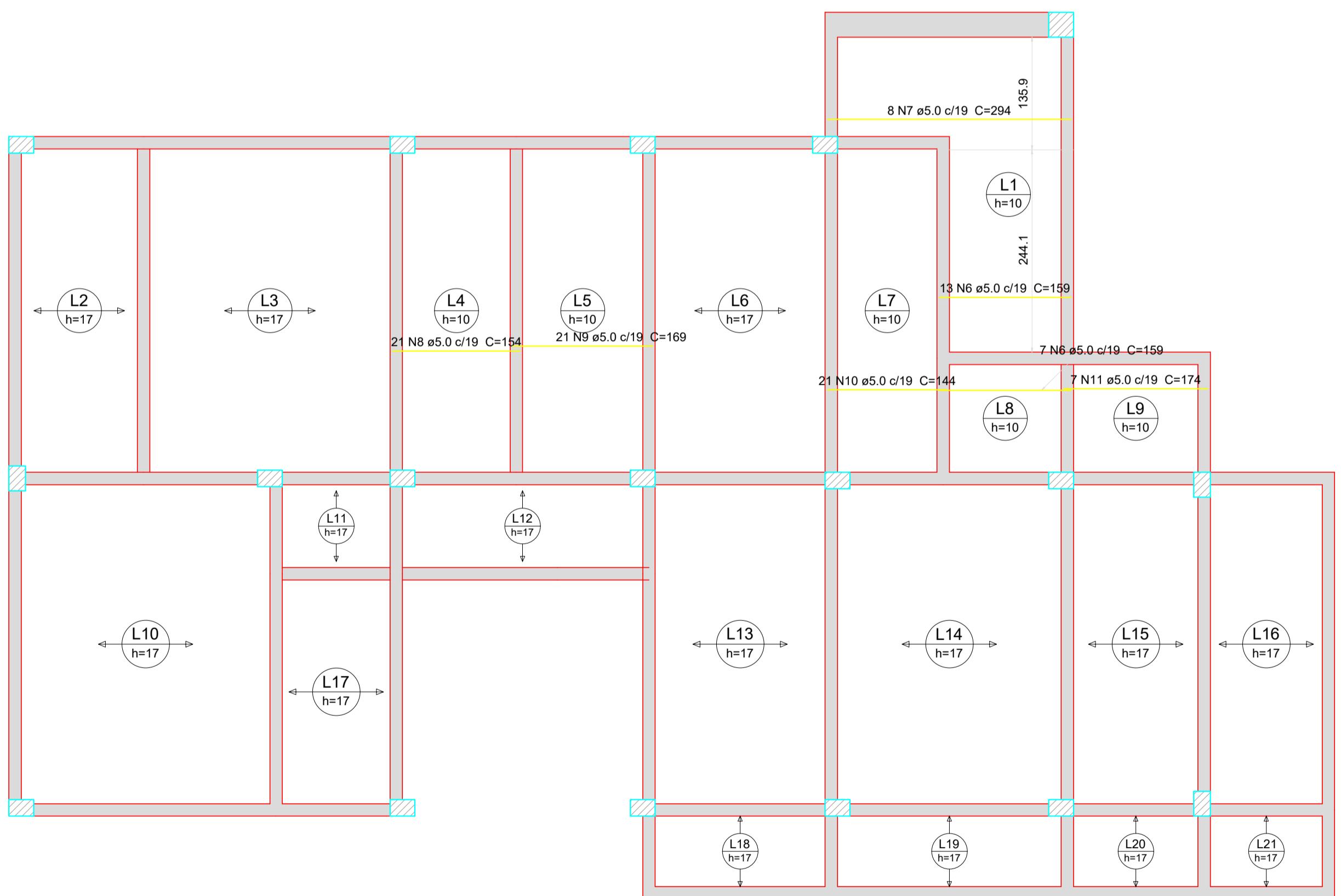
Resumo do aço		
DIAM (mm)	C.TOTAL (m)	PESO + 10 % (kg)
10.0	56.5	38.3
12.5	159.3	168.8
16.0	67.5	117.2
5.0	429.9	72.9
TOTAL		

$$\text{concreto (C-25)} = 3.78 \text{ m}^3$$
$$\text{ma} = 61.11 \text{ m}^2$$



Armação negativa das lajes do pavimento Superior (Eixo X)

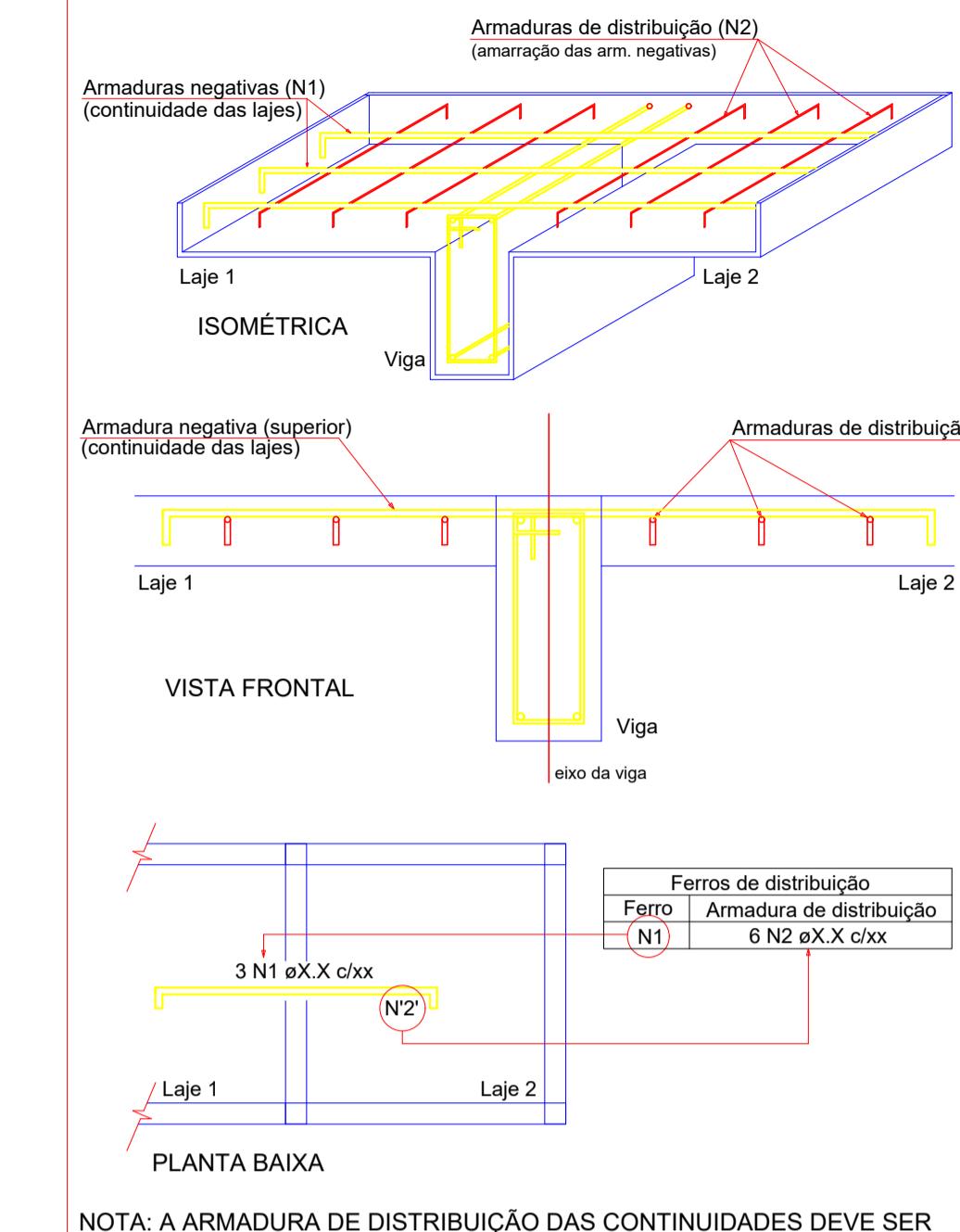
escala 1:50



Armação positiva das lajes do pavimento Superior (Eixo X)

escala 1:50

DETALHE DA ARMADURA SUPERIOR DE CONTINUIDADE DA LAJE E MONTAGEM DA ARMADURA DE DISTRIBUIÇÃO



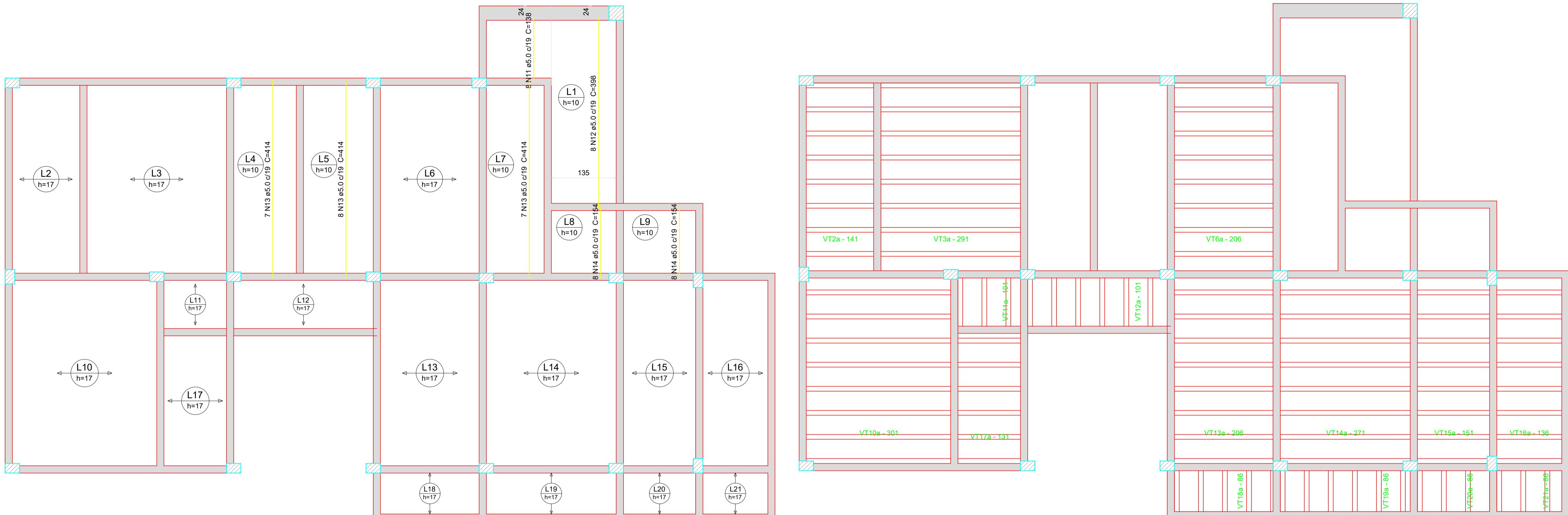
NOTA: A ARMADURA DE DISTRIBUIÇÃO DAS CONTINUIDADES DEVE SER ININTERRUPTA E COM TRASPASSO (CASO HAJA EMENDAS).

Relação do aço					
Negativos X		Positivos X			
AÇO	N	DIAM (mm)	QUANT	C.UNIT (cm)	C.TOTAL (cm)
CA60	1	5.0	7	405	2835
	2	5.0	4	152	608
	3	5.0	4	101	404
	4	5.0	12	285	3420
	5	5.0	13	400	5200
	6	5.0	20	159	3180
	7	5.0	8	294	2352
	8	5.0	21	154	3234
	9	5.0	21	169	3549
	10	5.0	21	144	3024
CA50	11	5.0	7	174	1218
	12	6.3	20	129	2580
	13	6.3	13	76	988
	14	6.3	14	156	2184
	15	6.3	20	242	4840
	16	6.3	14	116	1624

Resumo do aço

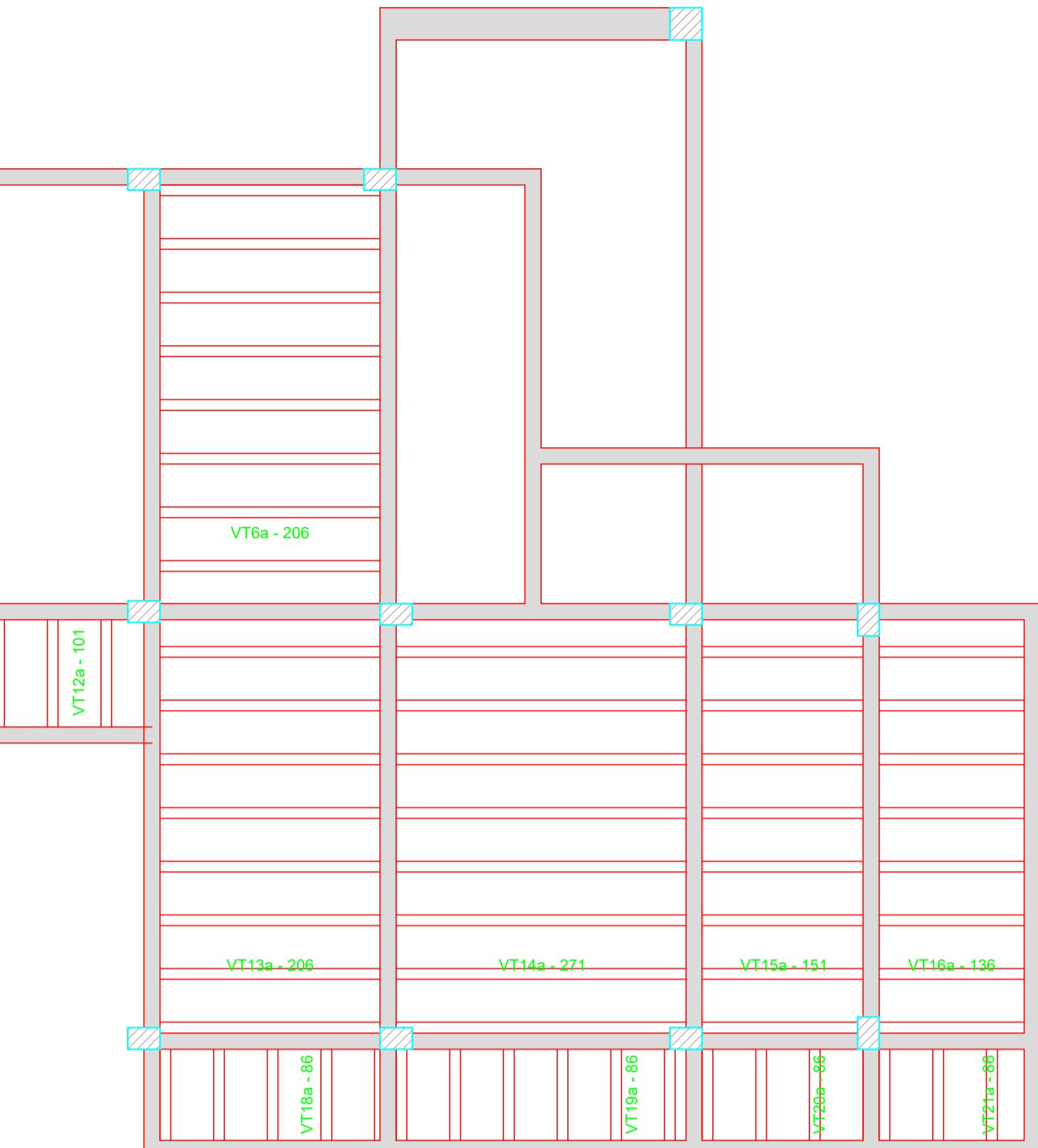
AÇO	DIAM (mm)	C.TOTAL (m)	PESO + 10 % (kg)
CA50	6.3	122.2	32.9
CA60	5.0	290.3	49.2
PESO TOTAL (kg)			
CA50 32.9			
CA60 49.2			

Volume de concreto (C-25) = 7.96 m³
Área de forma = 25.71 m²



Armação positiva das lajes do pavimento Superior (Eixo Y)

escala 1:50



Relação do aço		
Positivos Y	7xVT2a	7xVT3a
7xT6a	7xVT10a	3xVT11a
5xVT12a	7xVT13a	7xVT14a
7xVT15a	7xVT16a	5xVT17a
3xVT18a	3xVT19a	3xVT20a

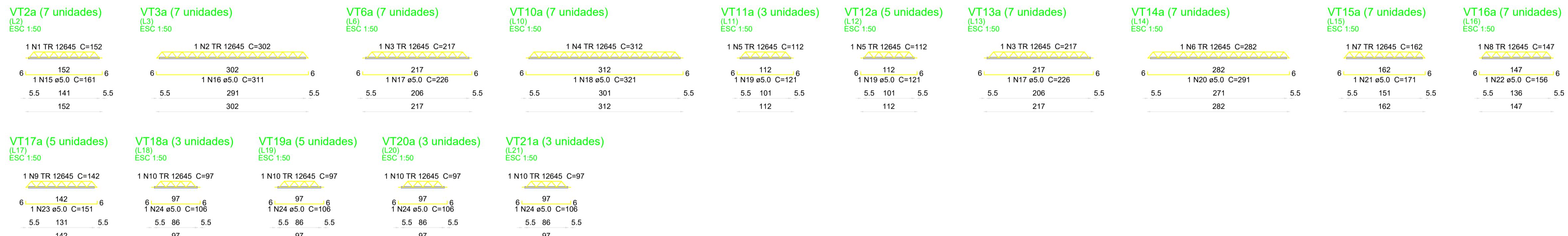
AÇO	N	DIAM (mm)	QUANT	C.UNIT (cm)	TOTAL (cm)
CA60	1	TR 12645	7	152	1064
	2	TR 12645	7	302	2114
	3	TR 12645	14	217	3038
	4	TR 12645	7	312	2164
	5	TR 12645	8	886	886
	6	TR 12645	7	292	174
	7	TR 12645	7	162	1134
	8	TR 12645	7	147	1029
	9	TR 12645	5	142	710
	10	TR 12645	14	97	1358
	11	5.0	8	138	1104
	12	5.0	22	414	9108
	13	5.0	16	154	2464
	14	5.0	7	161	1127
	15	5.0	7	311	2177
	16	5.0	7	226	3164
	17	5.0	7	321	2247
	18	5.0	8	121	968
	19	5.0	7	291	2037
	20	5.0	7	171	1197
	21	5.0	7	156	1092
	22	5.0	5	151	755
	23	5.0	5	151	755
	24	5.0	14	106	1484

Resumo do aço

AÇO	DIAM (mm)	C.TOTAL (m)	PESO + 10 % (kg)
CA60	TR 12645	155.1	151.8
	5.0	321.1	54.4

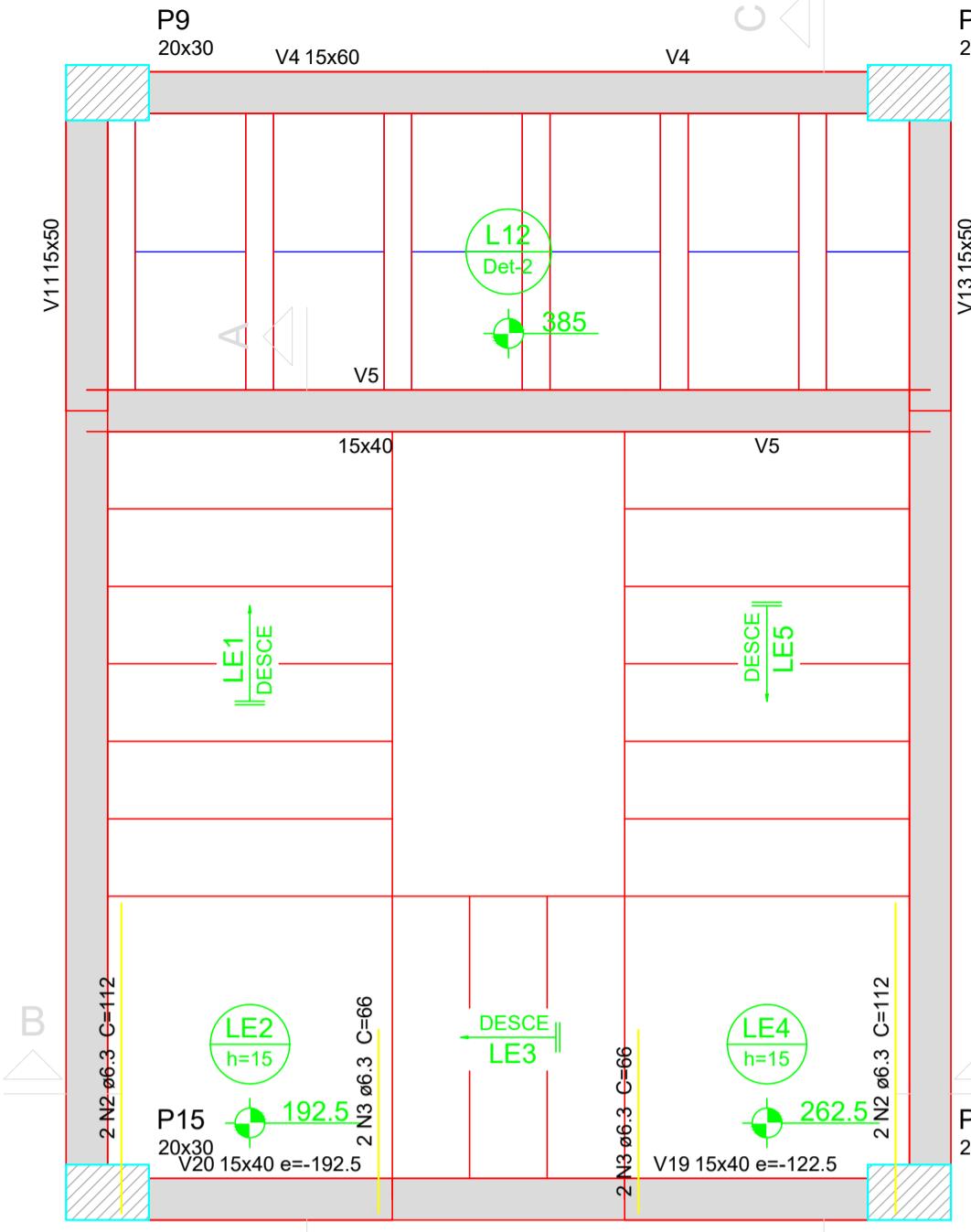
PESO TOTAL (kg)

CA60 206.2



Universidade Federal de Pernambuco
Centro Acadêmico do Agreste
Curso de Engenharia Civil
Aluno: Sillas de Andrade Dias

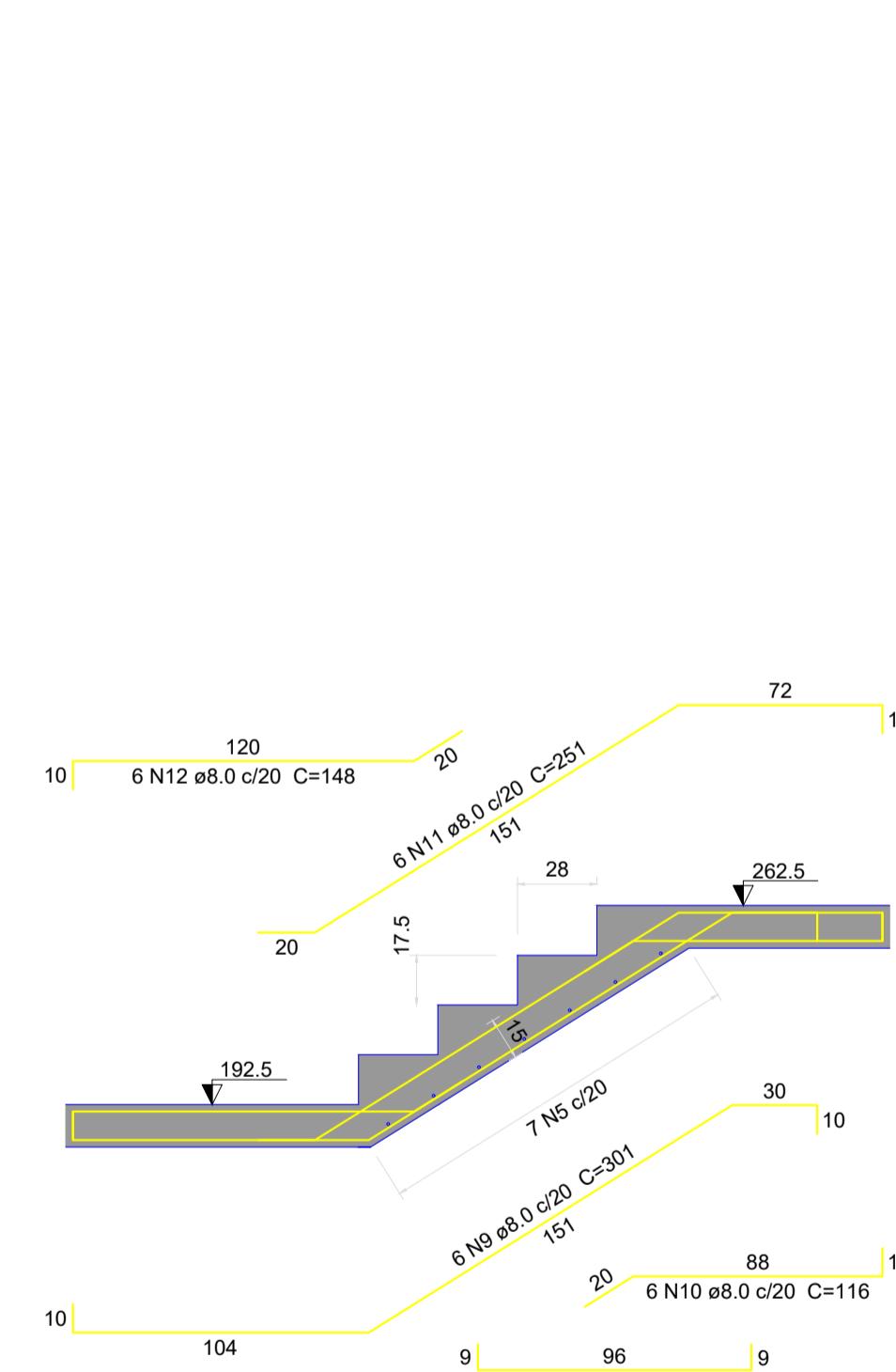
Descrição:	Lajes do pavimento Superior	Escala:	Indicada
Prancha:			



Armação positiva da escada E1

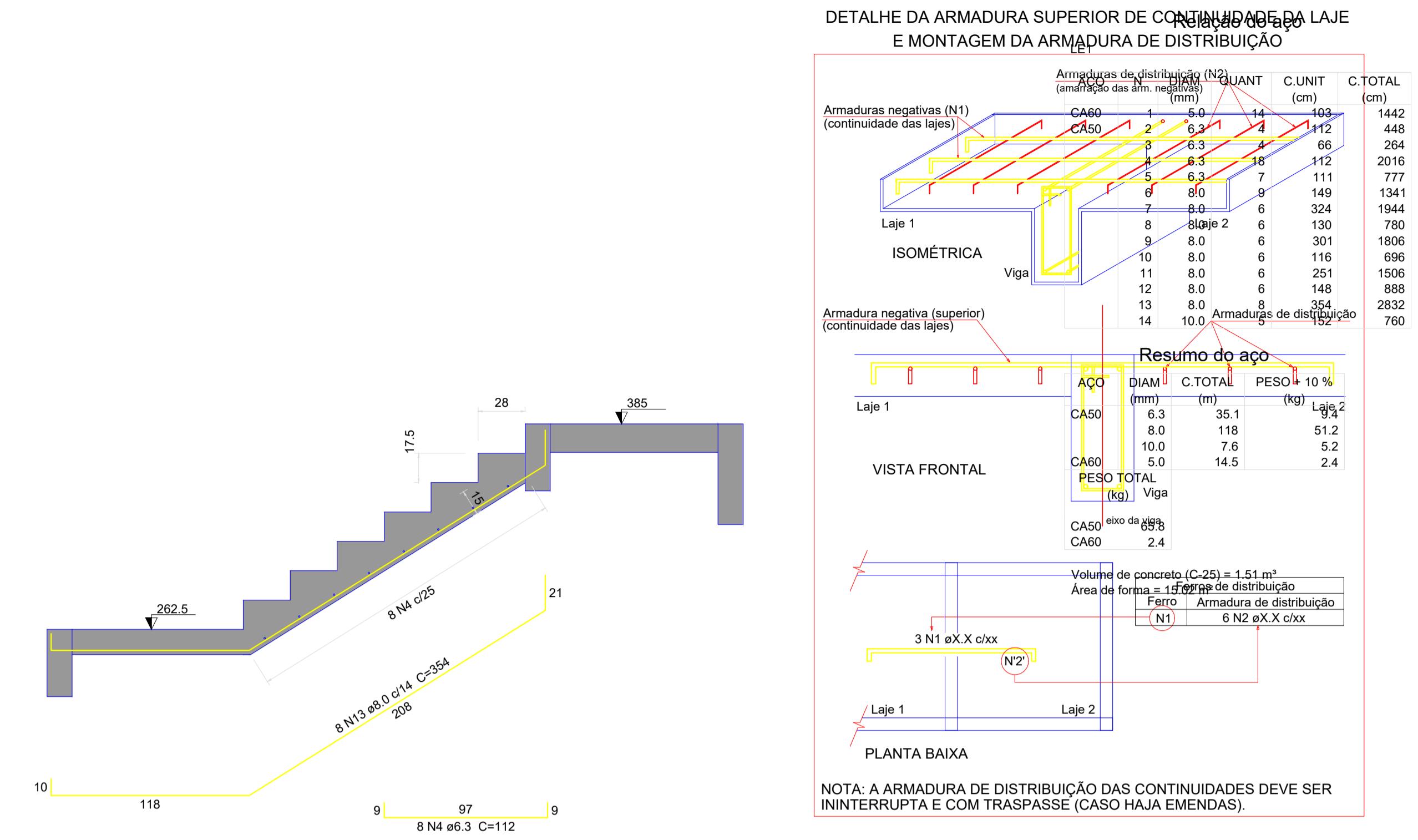
Corte A-A (LE1)

Corte C-C (LE5)

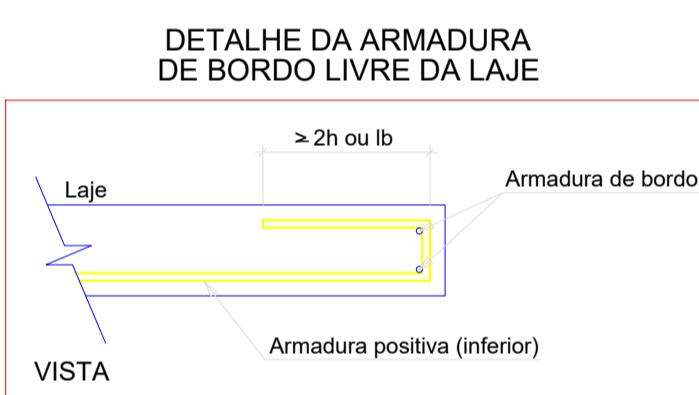
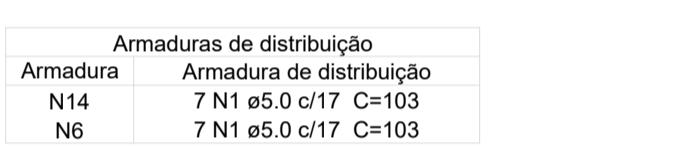


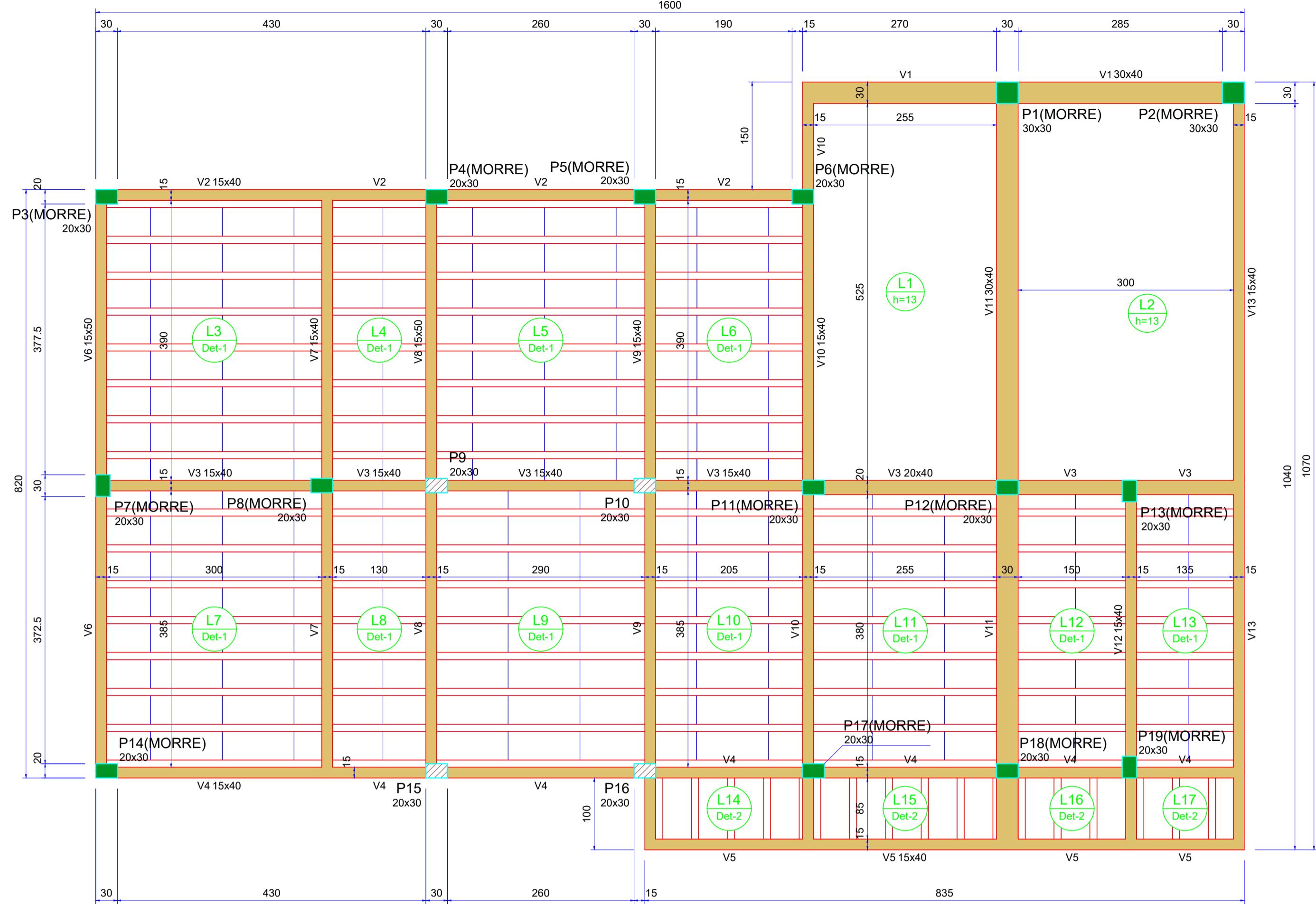
Armação negativa da escada E1

Corte B-B (LE3)



NOTA: A ARMADURA DE DISTRIBUIÇÃO DAS CONTINUIDADES DEVE SER ININTERRUPTA E COM TRASPASSO (CASO HAJA EMENDAS).





Forma do pavimento Coberta

escala 1:50

Vigas			
Nome	Seção (cm)	Elevação (cm)	Nível (cm)
V1	30x40	0	7
V2	15x40	0	7
V3	15x40	0	7
	20x40	0	7
V4	15x40	0	7
V5	15x40	0	7
V6	15x50	0	7
V7	15x40	0	7
V8	15x50	0	7
V9	15x40	0	7
V10	15x40	0	7
V11	30x40	0	7
V12	15x40	0	7
V13	15x40	0	7

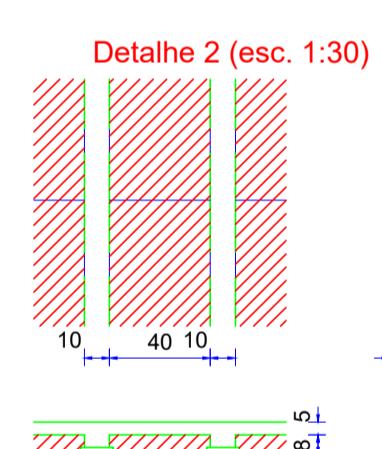
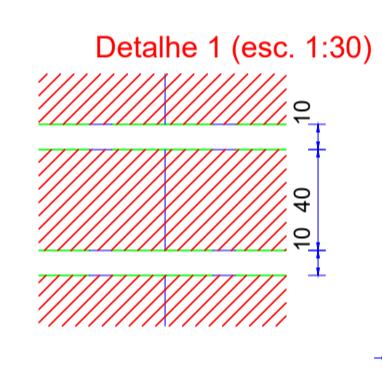
Blocos de enchimento						Quantidade	
Detalhe	Tipo	Nome	Dimensões(cm)				
			hb	bx	by		
1/2	EPS Unidirecional	B8/40/100	8	40	100	256	

Características dos materiais	
fck (kgf/cm ²)	Abatimento (cm)
250	5.00

Dimensão máxima do agregado = 19 mm

Pilares			
Nome	Seção (cm)	Elevação (cm)	Nível (cm)
P1	30x30	0	7
P2	30x30	0	7
P3	20x30	0	7
P4	20x30	0	7
P5	20x30	0	7
P6	20x30	0	7
P7	20x30	0	7
P8	20x30	0	7
P9	20x30	0	7
P10	20x30	0	7
P11	20x30	0	7
P12	20x30	0	7
P13	20x30	0	7
P14	20x30	0	7
P15	20x30	0	7
P16	20x30	0	7
P17	20x30	0	7
P18	20x30	0	7
P19	20x30	0	7

Legenda dos pilares	Legenda das vigas e paredes
 Pilar que morre	 Viga
 Pilar que passa	

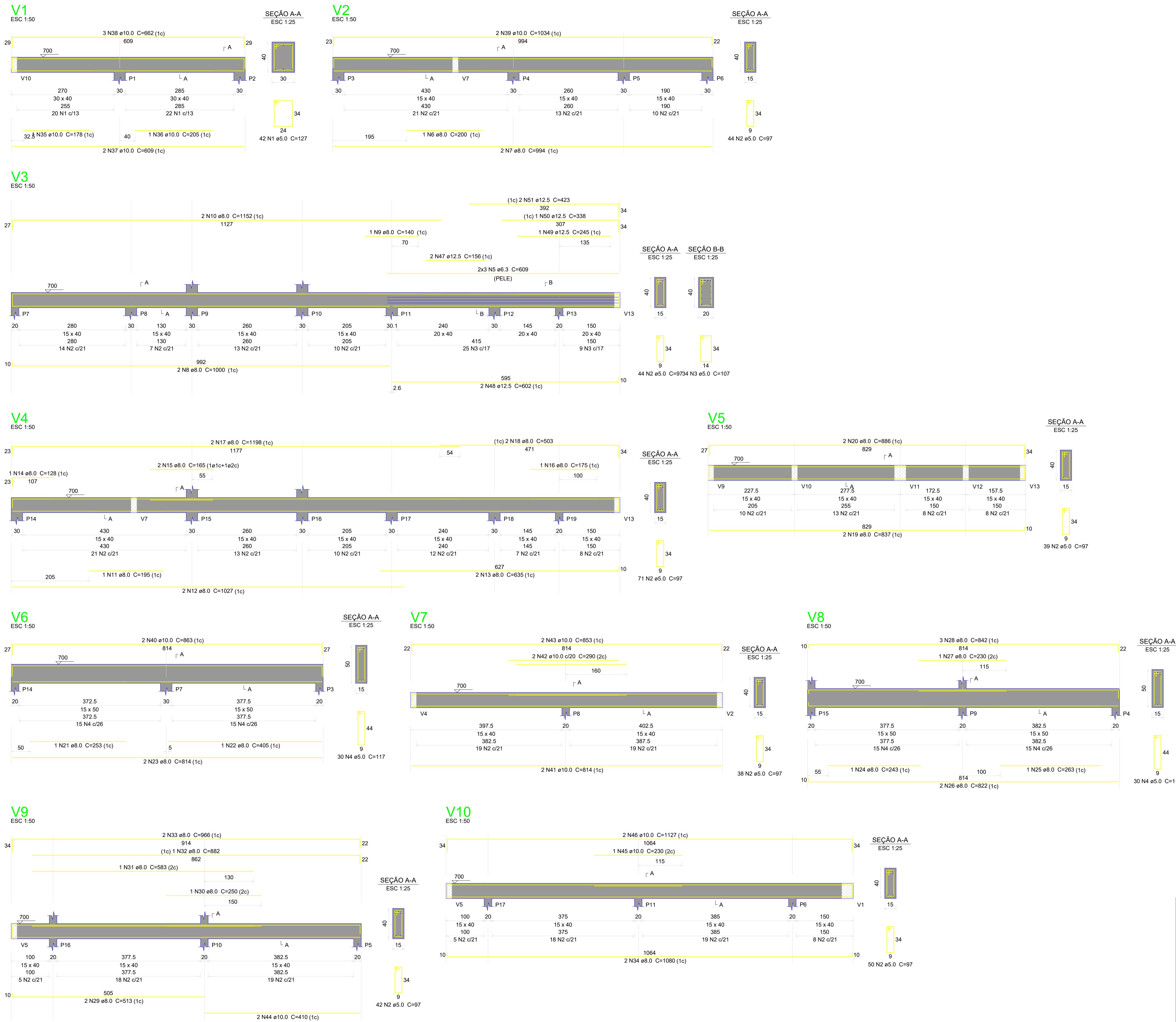


Universidade Federal de Pernambuco
Centro Acadêmico do Agreste
Curso de Engenharia Civil
Aluno: Síllas de Andrade Dias

Descrição:
Formas do pavimento Coberta

Escala:
Indicada

Prancha:



Relação do aço				
	V2	V3	V5	V6
	V8	V9		
	DIAM (mm)	QUANT	C.UNIT (cm)	C.TOTAL (cm)
1	5.0	42	127	5334
2	5.0	328	97	31816
3	5.0	34	107	3638
4	5.0	60	117	7020
5	6.3	6	609	3654
6	8.0	1	200	200
7	8.0	2	994	1988
8	8.0	2	1000	2000
9	8.0	1	140	140
0	8.0	2	1152	2304
1	8.0	1	195	195
2	8.0	2	1027	2054
3	8.0	2	635	1270
4	8.0	1	128	128
5	8.0	2	165	330
6	8.0	1	175	175
7	8.0	2	1198	2396
8	8.0	2	503	1006
9	8.0	2	837	1674
0	8.0	2	886	1772
1	8.0	1	253	253
2	8.0	1	405	405
3	8.0	2	814	1628
4	8.0	1	243	243
5	8.0	1	263	263
6	8.0	2	822	1644
7	8.0	1	230	230
8	8.0	3	842	2526
9	8.0	2	513	1026
0	8.0	1	250	250
1	8.0	1	583	583
2	8.0	1	882	882
3	8.0	2	966	1932
4	8.0	2	1080	2160
5	10.0	1	178	178
6	10.0	1	205	205
7	10.0	2	609	1218
8	10.0	3	662	1986
9	10.0	2	1034	2068
0	10.0	2	863	1726
1	10.0	2	814	1628
2	10.0	2	290	580
3	10.0	2	853	1706
4	10.0	2	410	820
5	10.0	1	230	230
6	10.0	2	1127	2254
7	12.5	2	156	312
8	12.5	2	602	1204
9	12.5	1	245	245
0	12.5	1	338	338
1	12.5	2	423	846

Resumo do aço		
AM (m)	C.TOTAL (m)	PESO + 10 % (kg)
6.3	36.6	9.8
8.0	316.6	137.4
0.0	146	99
2.5	29.5	31.2
5.0	478.1	81.1

	(kg)
CA50	277.5
CA60	81.1

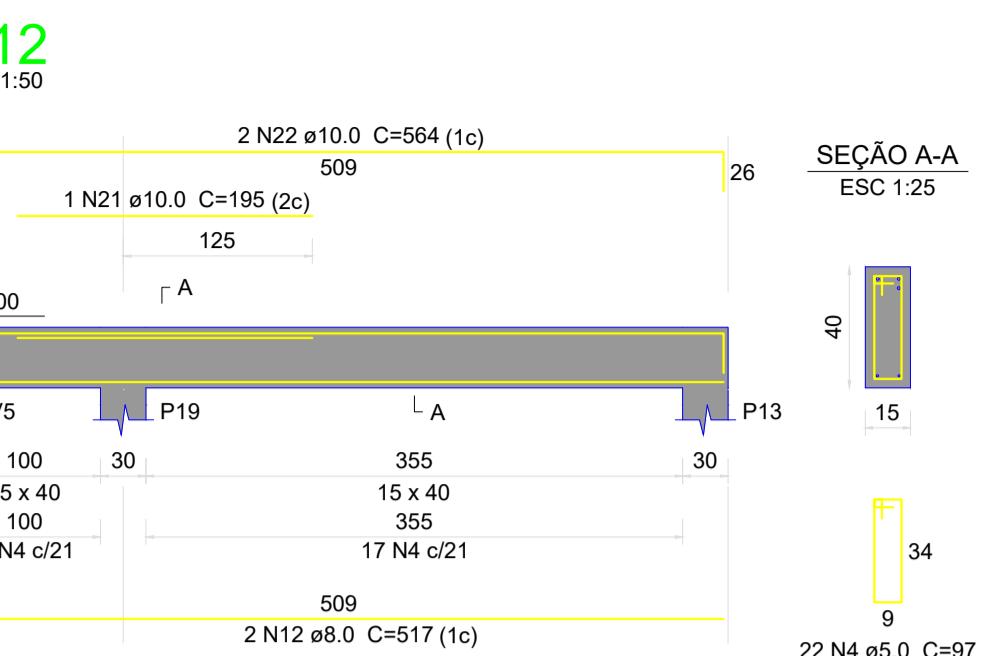
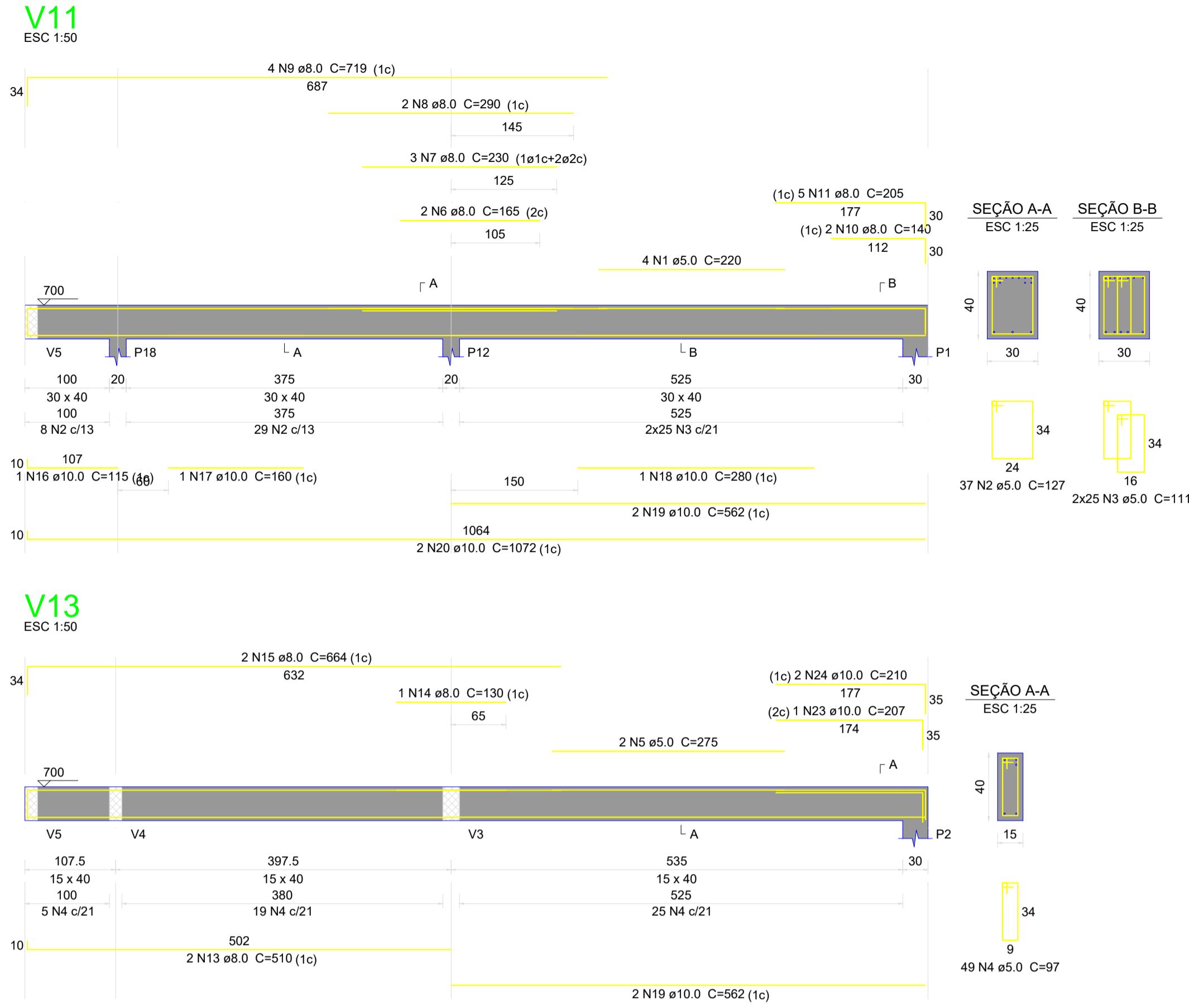


Universidade Federal de Pernambuco
Centro Acadêmico do Agreste
Cursos de Engenharia Civil
Cunho: Síllas de Andrade Dias

Descrição:
Vigas do pavimento Coberta

Escala:
Indicada

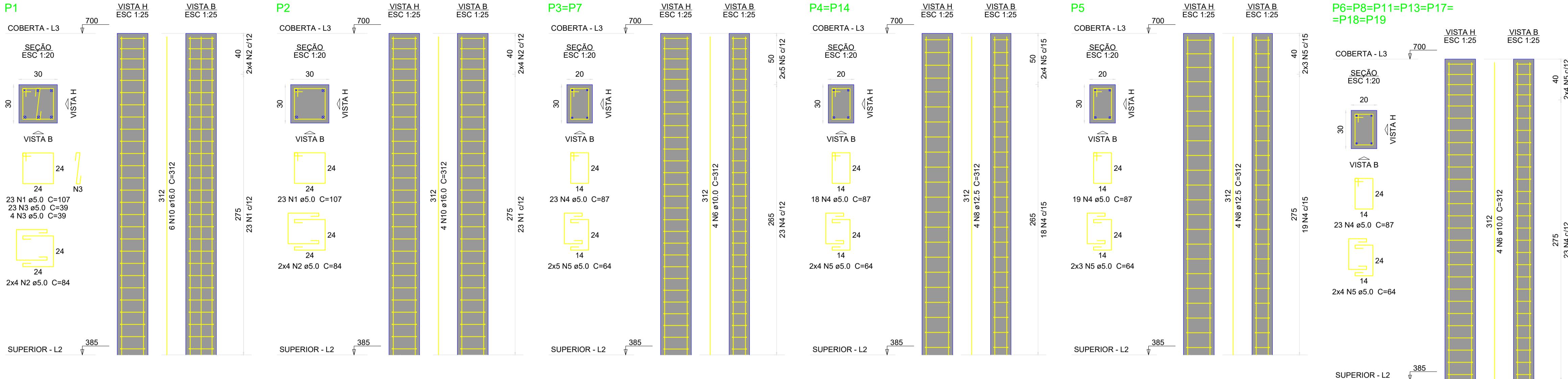
Prancha:
18 / 2



Relação do aço					
	V11	V12	V13		
AÇO	N	DIAM (mm)	QUANT	C.UNIT (cm)	C.TOTAL (cm)
CA60	1	5.0	4	220	880
	2	5.0	37	127	4699
	3	5.0	50	111	5550
	4	5.0	71	97	6887
	5	5.0	2	275	550
CA50	6	8.0	2	165	330
	7	8.0	3	230	690
	8	8.0	2	290	580
	9	8.0	4	719	2876
	10	8.0	2	140	280
	11	8.0	5	205	1025
	12	8.0	2	517	1034
	13	8.0	2	510	1020
	14	8.0	1	130	130
	15	8.0	2	664	1328
	16	10.0	1	115	115
	17	10.0	1	160	160
	18	10.0	1	280	280
	19	10.0	4	562	2248
	20	10.0	2	1072	2144
	21	10.0	1	195	195
	22	10.0	2	564	1128
	23	10.0	1	207	207
	24	10.0	2	210	420

Resumo do aço		
AÇO	DIAM (mm)	C.TOTAL (m)
CA50	8.0	93
	10.0	69
CA60	5.0	185.7
PESO TOTAL (kg)		31.5
CA50	87.1	
CA60	31.5	

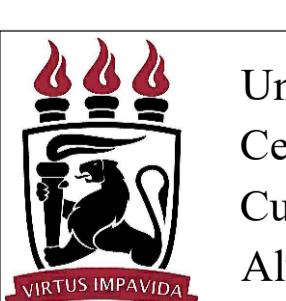
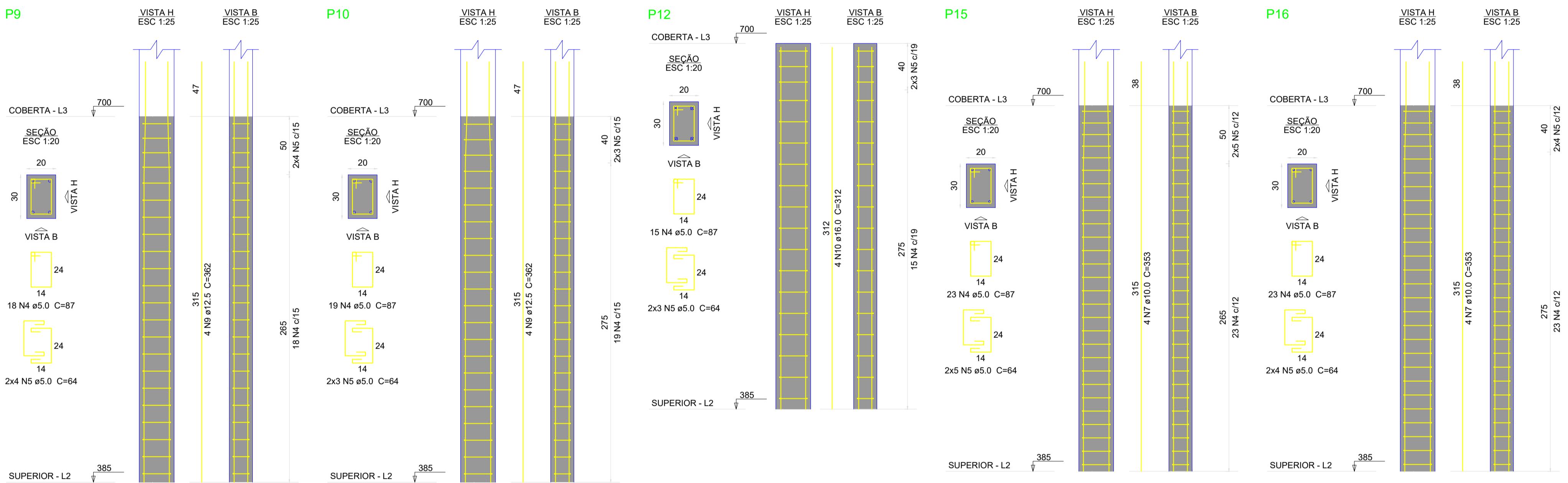
Volume de concreto (C-25) = 2.1 m³
Área de forma = 20.05 m²



Relação do aço					
P1	2xP4	P2	7xP3	2xP3	P12
P9	P10	P9	P10	P15	P16
P1	2xP4	P2	7xP3	2xP3	P12
P6=P8=P11=P13=P17=	P18=P19				

Resumo do aço					
AÇO	DIAM (mm)	QUANT	C.UNIT (cm)	C.UNIT (cm)	C.TOTAL (cm)
CA60	1	5.0	46	107	4922
	2	5.0	16	84	1344
	3	5.0	27	39	1053
	4	5.0	360	87	31320
	5	5.0	136	66	8704
	6	10.0	36	312	11232
	7	10.0	8	353	2844
	8	12.5	12	312	3744
	9	12.5	8	362	2896
	10	16.0	14	312	4368

VOLUME DE CONCRETO (C-25) = 3.78 m³
ÁREA DE FORMA = 61.11 m²



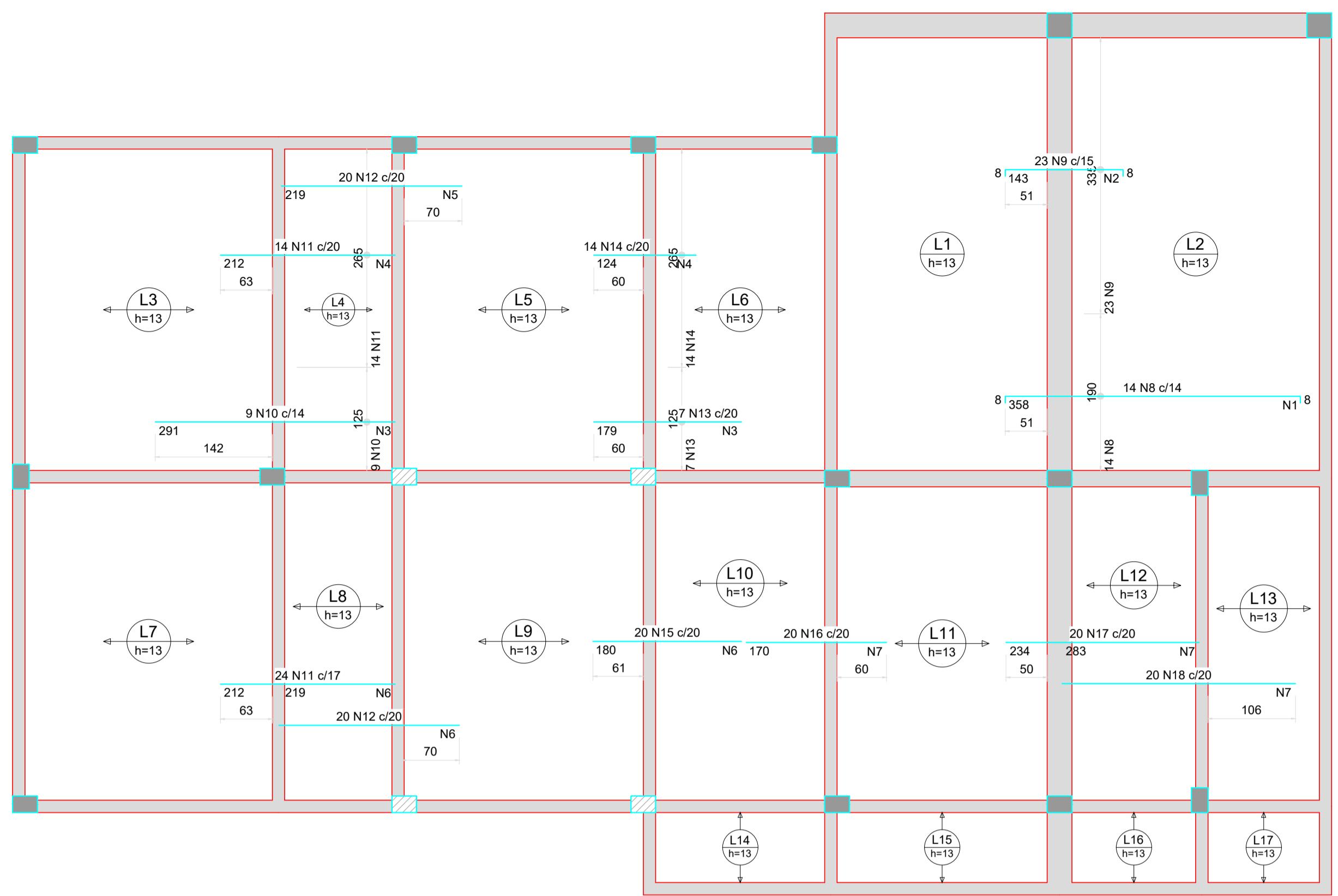
Universidade Federal de Pernambuco
Centro Acadêmico do Agreste
Curso de Engenharia Civil
Aluno: Sillas de Andrade Dias

Descrição:
Pilares do pavimento Coberto

Escala:
Indicada

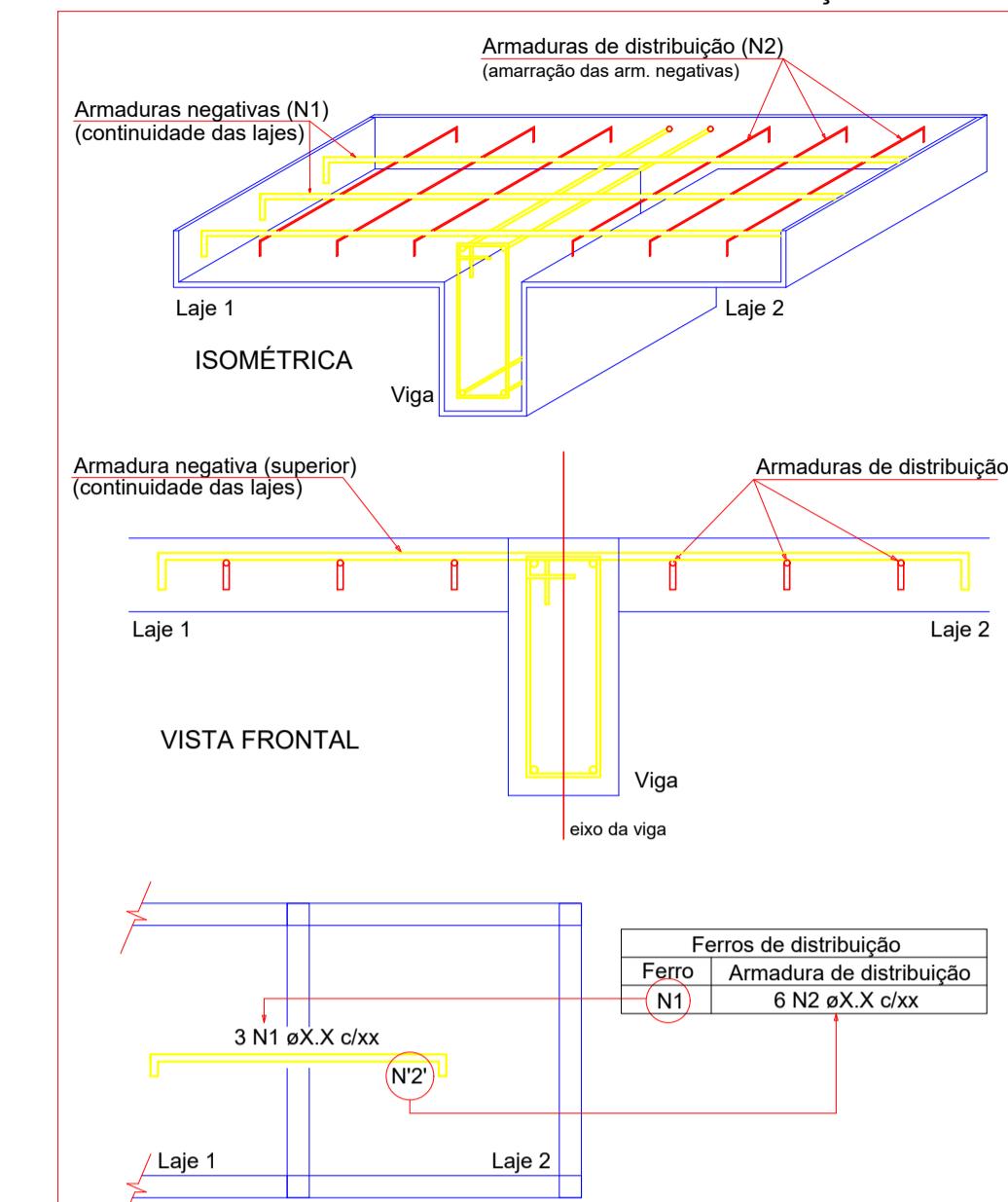
Prancha:

20 / 26



Armadura de distribuição	Armadura de distribuição
N8	18 N1 ø5.0 c/20 C=200
N9	8 N2 ø5.0 c/20 C=350
N10	15 N3 ø5.0 c/20 C=133
N11	11 N4 ø5.0 c/20 C=273
N12	11 N5 ø5.0 c/20 C=405
N13	9 N3 ø5.0 c/20 C=133
N14	7 N4 ø5.0 c/20 C=273
N15	11 N6 ø5.0 c/20 C=400
N16	9 N6 ø5.0 c/20 C=400
N17	9 N7 ø5.0 c/20 C=398
N18	12 N7 ø5.0 c/20 C=398
	15 N7 ø5.0 c/20 C=398

DETALHE DA ARMADURA SUPERIOR DE CONTINUIDADE DA LAJE
E MONTAGEM DA ARMADURA DE DISTRIBUIÇÃO



NOTA: A ARMADURA DE DISTRIBUIÇÃO DAS CONTINUIDADES DEVE SER ININTERRUPTA E COM TRASPASSE (CASO HAJA EMENDAS).

Relação do aço					
Negativos X		Positivos X			
AÇO	N	DIAM (mm)	QUANT	C.UNIT (cm)	C.TOTAL (cm)
CA60	1	5.0	18	200	3600
	2	5.0	8	350	2800
	3	5.0	24	133	3192
	4	5.0	53	273	14469
	5	5.0	11	405	4455
	6	5.0	31	400	12400
	7	5.0	36	398	14328
CA50	8	6.3	14	371	5194
	9	6.3	7	156	3588
	10	6.3	9	261	2619
	11	6.3	38	212	6064
	12	6.3	40	219	8760
	13	6.3	7	179	1253
	14	6.3	14	124	1736
	15	6.3	20	180	3600
	16	6.3	20	170	3400
	17	6.3	20	234	4680
	18	6.3	20	283	5660
	19	6.3	27	318	8586

Resumo do aço		
AÇO	DIAM (mm)	C.TOTAL (m)
CA50	6.3	571.4
CA60	5.0	552.5

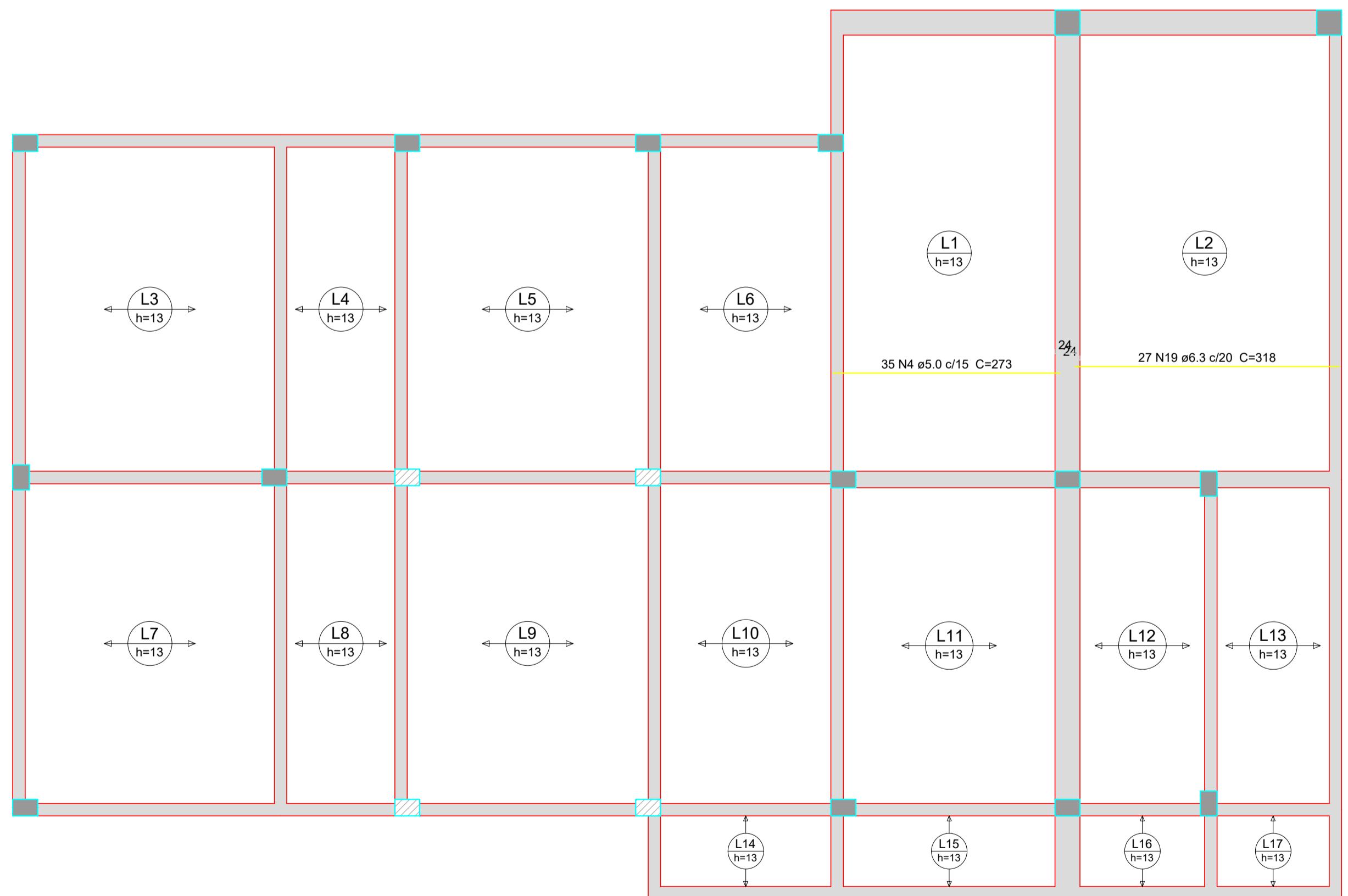
PESO TOTAL (kg)
CA50 153.8
CA60 93.7

Volume de concreto (C-25) = 9.65 m³

Área de forma = 29.04 m²

Armação negativa das lajes do pavimento Coberta (Eixo X)

escala 1:50



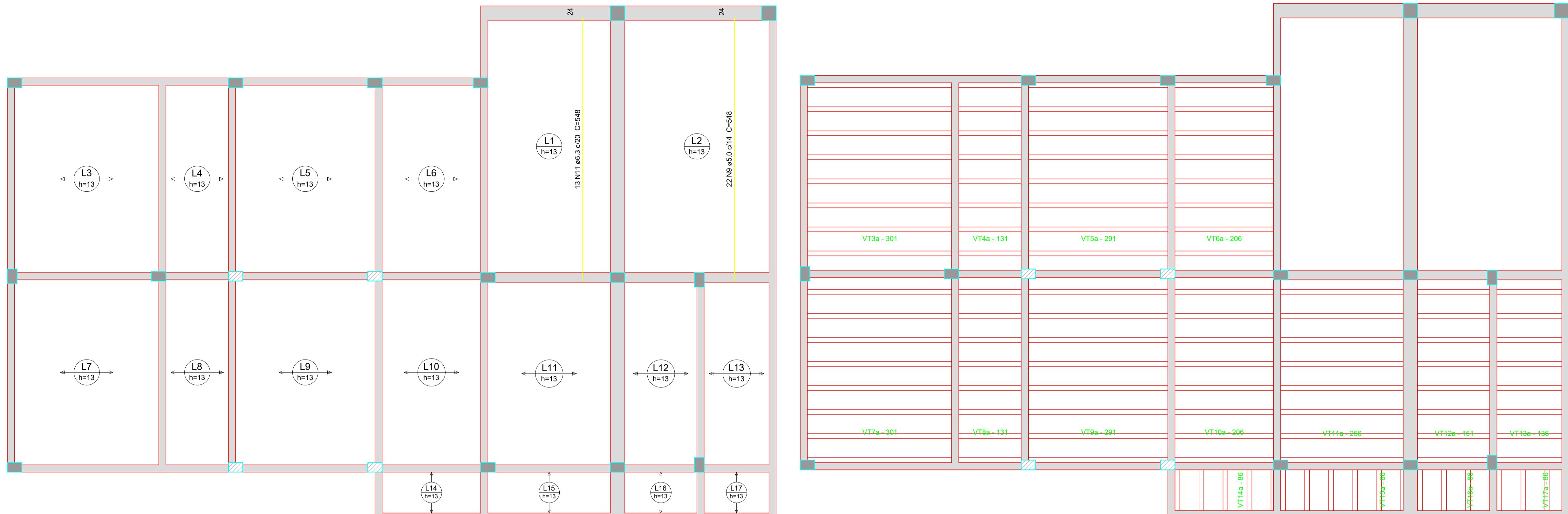
Armação positiva das lajes do pavimento Coberta (Eixo X)

escala 1:50



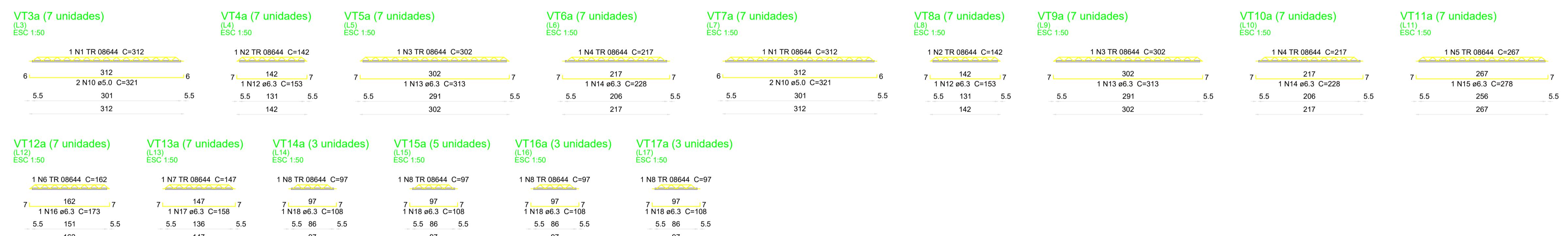
Universidade Federal de Pernambuco
Centro Acadêmico do Agreste
Curso de Engenharia Civil
Aluno: Sillas de Andrade Dias

Descrição: Lajes do pavimento Coberta	Escala: Indicada
Prancha:	21 / 26



Armação positiva das lajes do pavimento Coberta (Eixo Y)

Planta de vigotas pré-moldadas

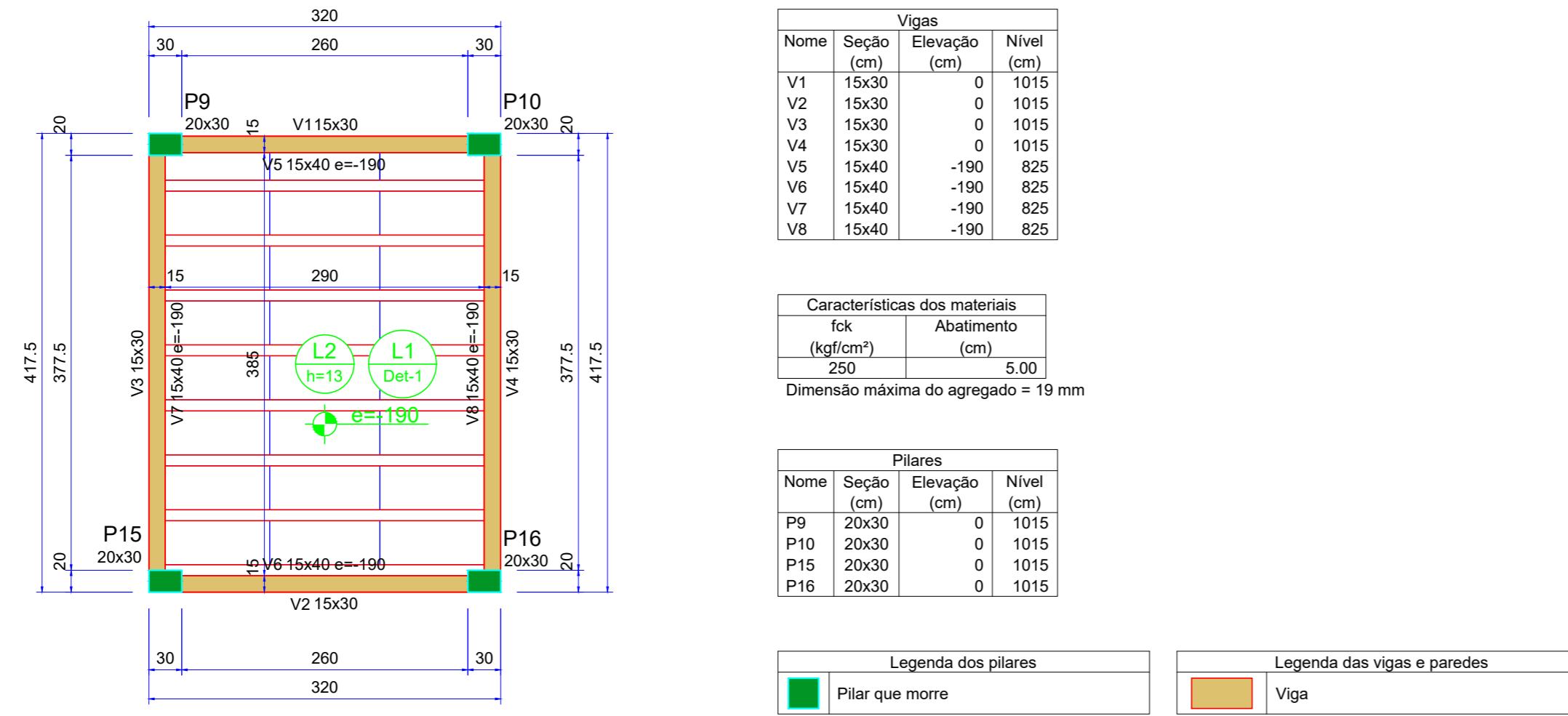


Universidade Federal de Pernambuco
Centro Acadêmico do Agreste
Curso de Engenharia Civil
Aluno: Síllas de Andrade Dias

Descrição:
Lajes do pavimento Coberta

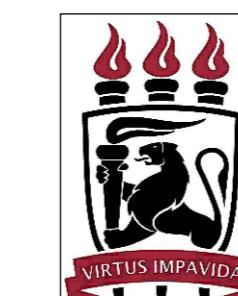
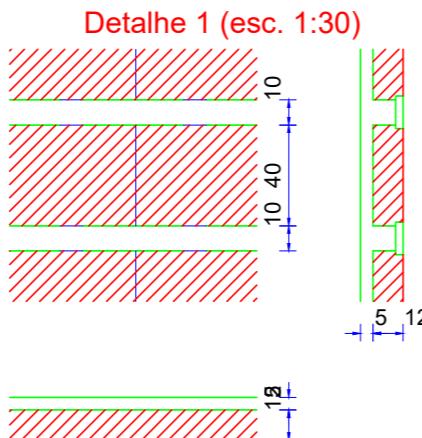
Escala:
Indicada

Prancha:



Forma do pavimento Ático

escala 1:50

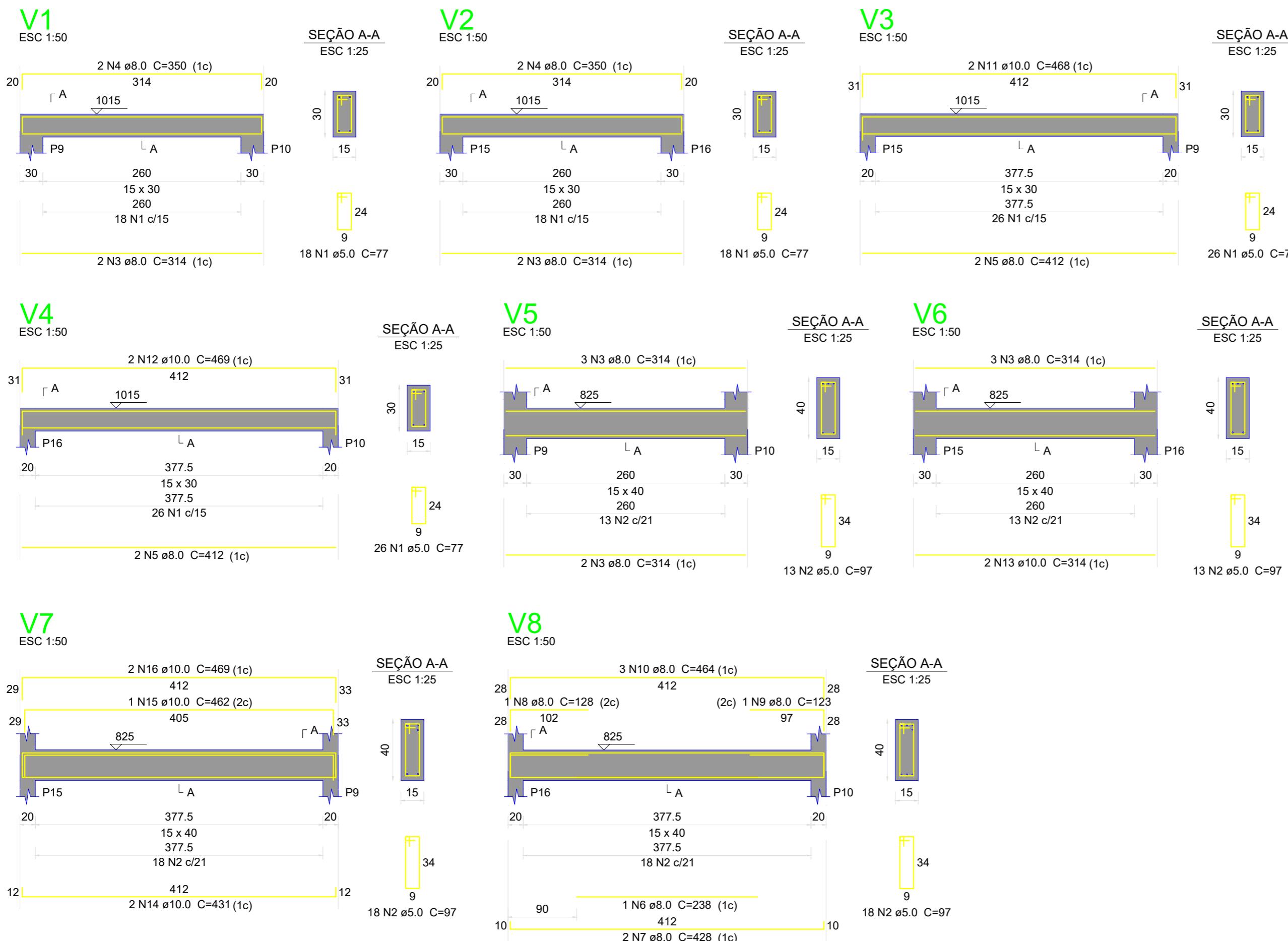


Universidade Federal de Pernambuco
Centro Acadêmico do Agreste
Curso de Engenharia Civil
Aluno: Síllas de Andrade Dias

Descrição:
Formas do pavimento Ático

Escala:
Indicada

Prancha:
23 / 26



Relação do aço		V1 V4 V7	V2 V5 V8	V3 V6	
AÇO	N	DIAM (mm)	QUANT	C.UNIT (cm)	C.TOTAL (cm)
CA60	1	5.0	88	77	6776
	2	5.0	62	97	6014
CA50	3	8.0	12	314	3768
	4	8.0	4	350	1400
	5	8.0	4	412	1648
	6	8.0	1	238	238
	7	8.0	2	428	856
	8	8.0	1	128	128
	9	8.0	1	123	123
	10	8.0	3	464	1392
	11	10.0	2	468	936
	12	10.0	2	469	938
	13	10.0	2	314	628
	14	10.0	2	431	862
	15	10.0	1	462	462
	16	10.0	2	469	938

Resumo do aço			
AÇO	DIAM (mm)	C.TOTAL (m)	PESO + 10 % (kg)
CA50	8.0	95.6	41.5
CA60	10.0	47.7	32.3
PESO TOTAL (kg)			21.7
CA50	73.8		
CA60	21.7		

Volume de concreto (C-25) = 1.34 m³
 Área de forma = 17.85 m²

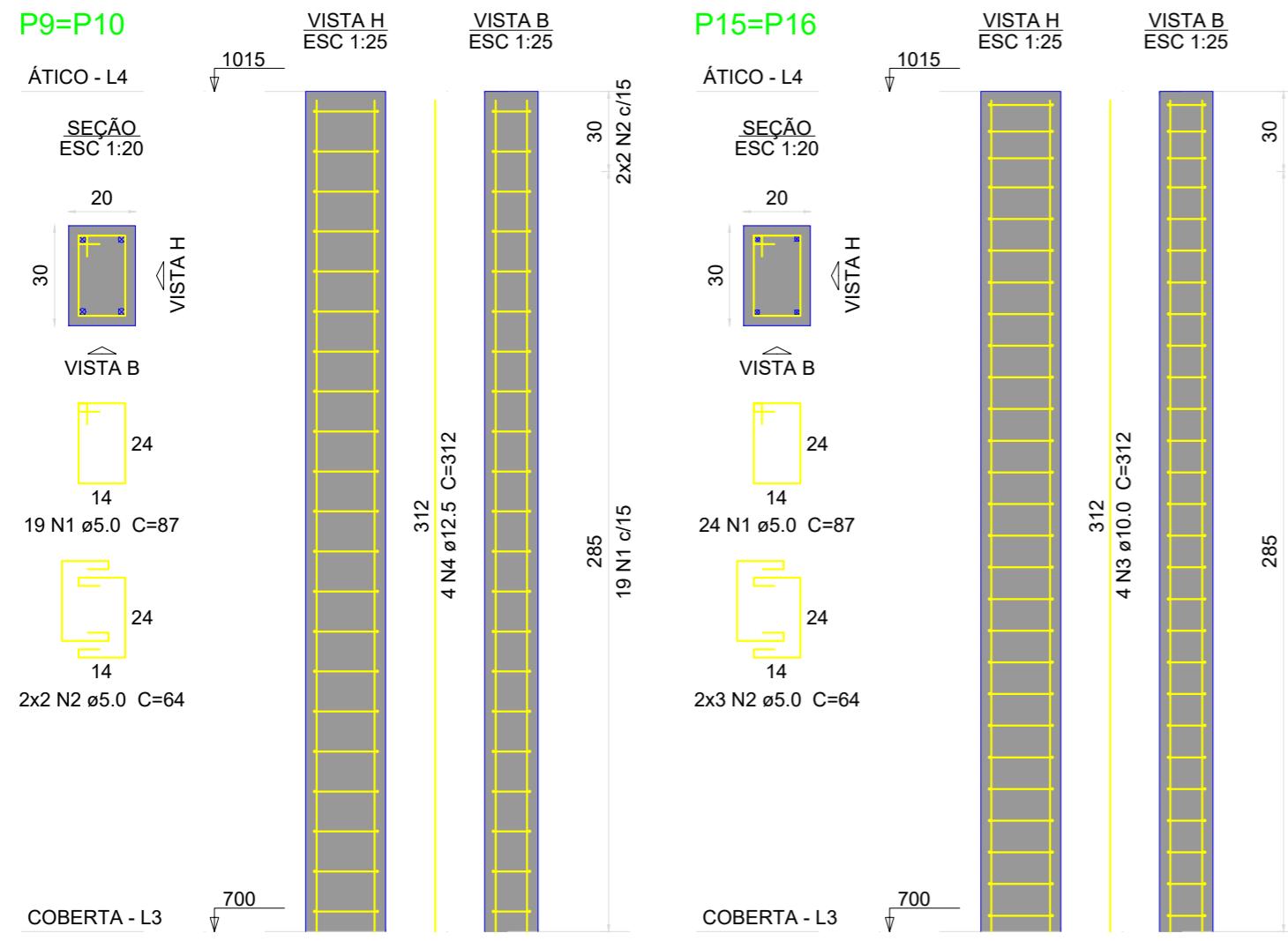


Universidade Federal de Pernambuco
 Centro Acadêmico do Agreste
 Curso de Engenharia Civil
 Aluno: Síllas de Andrade Dias

Descrição:
 Vigas do pavimento Ático

Escala:
 Indicada

Prancha:
 24 / 26



Relação do aço

2xP9		2xP15				
AÇO	N	DIAM (mm)	QUANT	C.UNIT (cm)	C.TOTAL (cm)	
CA60	1	5.0	86	87	7482	
CA50	2	5.0	20	64	1280	
CA50	3	10.0	8	312	2496	
CA50	4	12.5	8	312	2496	

Resumo do aço

AÇO	DIAM (mm)	C.TOTAL (m)	PESO + 10 % (kg)
CA50	10.0	25	16.9
CA50	12.5	25	26.4
CA60	5.0	87.7	14.9
PESO TOTAL (kg)			
CA50	43.4		
CA60	14.9		

Volume de concreto (C-25) = 0.76 m³

Área de forma = 12.6 m²

Universidade Federal de Pernambuco
Centro Acadêmico do Agreste
Curso de Engenharia Civil
Aluno: Síllas de Andrade Dias



Descrição:

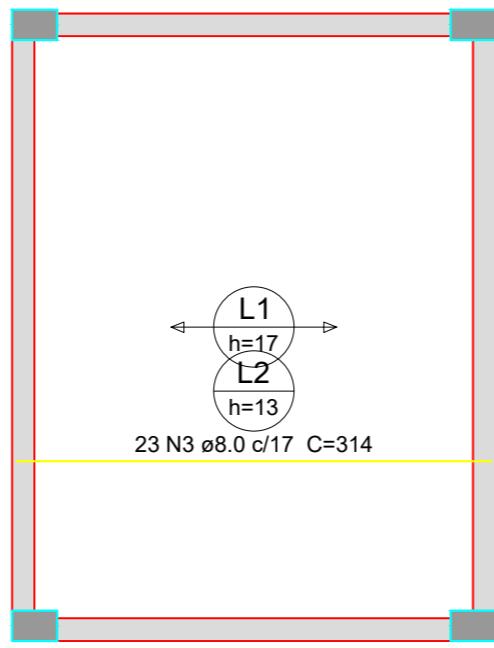
Pilares do pavimento Ático

Escala:

Indicada

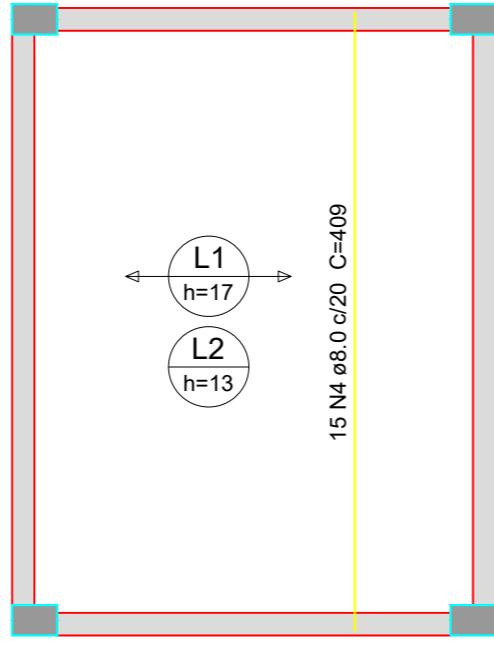
Prancha:

25 / 26



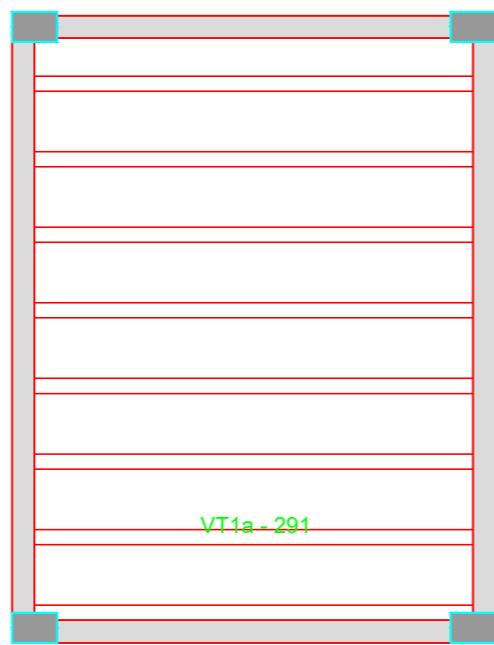
Armação positiva das lajes do pavimento Ático (Eixo X)

escala 1:50



Armação positiva das lajes do pavimento Ático (Eixo Y)

escala 1:50



Planta de vigotas pré-moldadas

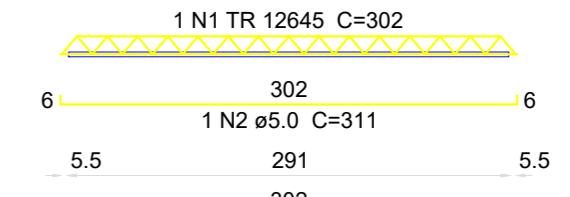
escala 1:50

Relação do aço						
Positivos X		Positivos Y		7xVT1a		
AÇO	N	DIAM (mm)	QUANT	C.UNIT (cm)	C.TOTAL (cm)	
CA60	1	TR 12645	7	302	2114	
	2	5.0	7	311	2177	
CA50	3	8.0	23	314	7222	
	4	8.0	15	409	6135	

Resumo do aço			
AÇO	DIAM (mm)	C.TOTAL (m)	PESO + 10 % (kg)
CA50	8.0	133.6	58
CA60	TR 12645	21.2	20.7
	5.0	21.8	3.7
PESO TOTAL (kg)			
CA50	58		
CA60	24.4		

Volume de concreto (C-25) = 2.2 m³
Área de forma = 11.1 m²

VT1a (7 unidades)
(L1)
ESC 1:50



Universidade Federal de Pernambuco
Centro Acadêmico do Agreste
Curso de Engenharia Civil
Aluno: Síllas de Andrade Dias

Descrição:

Lajes do pavimento Ático

Escala:

Indicada

Prancha:

26 / 26

SÍLLAS DE ANDRADE DIAS

**CONCEPÇÃO E CÁLCULO DO PROJETO ESTRUTURAL DE UMA RESIDÊNCIA
UNIFAMILIAR DE ALTO PADRÃO NA CIDADE DE CARUARU**

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

Área de concentração: Estruturas.

Aprovado em 10 de maio de 2023.

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Prof. Dr. José Moura Soares (Orientador)
Universidade Federal de Pernambuco

Prof. Dr. Roberto Evaristo de Oliveira Neto (Avaliador)
Universidade Federal de Pernambuco

BSc. Engenharia Civil Washington Martinez Bezerra da Silva (Avaliador)