

UNIVERSIDADE DE CAXIAS DO SUL
ÁREA DO CONHECIMENTO DE CIÊNCIAS EXATAS E ENGENHARIAS
CURSO DE ENGENHARIA CIVIL

ISADORA BROCHETTO

**ANÁLISE ESTRUTURAL EM REGIME LINEAR ELÁSTICO
E LINEAR COM REDISTRIBUIÇÃO: ESTUDO COMPARATIVO EM VIGAS DE
CONCRETO ARMADO**

CAXIAS DO SUL

2023

ISADORA BROCHETTO

**ANÁLISE ESTRUTURAL EM REGIME LINEAR ELÁSTICO
E LINEAR COM REDISTRIBUIÇÃO: ESTUDO COMPARATIVO EM VIGAS DE
CONCRETO ARMADO**

Trabalho de Conclusão de Curso de Engenharia Civil da Universidade de Caxias do Sul, apresentado como requisito parcial para obtenção do título de Engenheiro Civil.

Orientador: Prof. Dr. Gustavo Ribeiro da Silva

CAXIAS DO SUL

2023

Dedico este trabalho à todas as pessoas que confiaram em mim e me incentivaram, ao longo da minha trajetória acadêmica. Esta conquista também é de vocês!

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente à Deus, pelos dons que me deu nesta existência e por ter me guiado pelo caminho certo durante esta trajetória com saúde e forças para chegar até o final.

Aos meus pais, Vanir e Neiva, os quais não mediram esforços e tornaram esta conquista possível, por todo carinho e apoio durante toda a minha vida. Às minhas irmãs, Aline e Francieli, pelos conselhos, amizade e atenção dedicada a mim. A todos, gratidão pela paciência nos inúmeros momentos de ansiedade e estresse.

Ao meu companheiro de vida e noivo Rafael, por compreender minha ausência em determinados momentos, pela paciência e por ser meu apoio emocional tornando o caminho mais leve e divertido.

Agradecimento especial ao professor e meu orientador Gustavo Ribeiro da Silva, por todos os ensinamentos, comentários e pelas valiosas contribuições dadas durante todo o processo. A todos os mestres que contribuíram com a minha formação acadêmica e profissional durante toda a minha vida.

A todos que participaram contribuindo de alguma forma, seja diretamente ou indiretamente, ao longo da minha trajetória acadêmica, o meu agradecimento.

RESUMO

A análise estrutural é uma das etapas mais importantes de um projeto estrutural, pois é através dela que é realizada a previsão de como determinada estrutura se comportará diante de todas as solicitações impostas a ela. Em vista disso, o presente estudo teve como objetivo central comparar tecnicamente e economicamente os resultados obtidos do dimensionamento de um conjunto de vigas de concreto armado, que constituem um edifício comercial de 4 pavimentos, por meio de duas situações de análise estrutural: linear elástica e linear com redistribuição. Para isso, o *software* utilizado no dimensionamento foi o Eberick, o qual os parâmetros de projeto, bem como as dimensões dos elementos estruturais e carregamentos foram mantidos os mesmos, diferindo apenas o método de análise empregado. Na análise linear elástica foram considerados todos os nós das vigas como rígidos e na análise redistribuída todos os nós semirrígidos, o qual foi considerado uma redistribuição de 25%, logo um coeficiente $\delta=0,75$, visto que a estrutura deste estudo é classificada como de nós fixos. Com os resultados obtidos foi realizado um comparativo de momentos fletores, deslocamentos, quantitativos de aço, custos e detalhamento das armaduras, no intuito de verificar como a redistribuição influencia no comportamento da estrutura e se é oportunizado uma diminuição nos custos e uma melhora na execução das armaduras. Os resultados indicaram que para o conjunto de vigas do edifício exemplo avaliadas neste estudo, a redistribuição gerou uma economia de armadura negativa, porém em contrapartida, a armadura positiva teve um aumento gerando assim um custo maior e assim não se obteve uma economia no custo total, pois através disso, se teve uma equivalência, o que fez com que os resultados não fossem economicamente mais atrativos, resultando numa redução de apenas 0,01% para a situação linear com redistribuição.

Palavras- chave: concreto armado; vigas; análise estrutural; redistribuição; linear elástico.

ABSTRACT

The structural analysis is one of the most important stages of a structural project, because it is through it that the prediction of how a certain structure will behave when facing all the stresses imposed on it is made. This way, the central objective of this study was to technically and economically compare the results obtained from the design of a set of reinforced concrete beams that constitute a 4 floors commercial building through two situations of structural analysis: linear and linear with redistribution. For this, the software used in the design was Eberick, in which the design parameters, as well as the dimensions of the structural elements and loadings were kept the same, differing only in the analysis method employed. In the elastic linear analysis, all beam nodes were considered as rigid and in the redistributed analysis, all semi-rigid nodes were considered, which was considered a redistribution of 25%, thus a coefficient $\delta=0.75$, since the structure of this study is classified as of fixed nodes. With the results obtained, a comparison of bending moments, displacements, steel quantities, costs, and reinforcement detailing was carried out in order to verify how the redistribution influences the behavior of the structure and if a reduction in costs and an improvement in the execution of the reinforcements is opportunized. The results indicated that for the set of beams of the example building evaluated in this study, the redistribution generated an economy of negative reinforcement, but in contrast, the positive reinforcement had an increase thus generating a higher cost and that's why no savings were obtained in the total cost, because through this, there was an equivalence, which made the results not economically more attractive, resulting in a reduction of only 0.01% for the linear situation with redistribution.

Keywords: reinforced concrete; beams; structural analysis; redistribution; elastic linear.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Fluxograma do estudo	18
Figura 2 – Áreas de influência para cálculo das reações de apoio	21
Figura 3 - Estádio Ia	26
Figura 4 - Estádio Ib	26
Figura 5 - Estádio II	27
Figura 6 - Estádio III	27
Figura 7 - Diagrama tensão-deformação do aço	33
Figura 8 - Redução do Momento Fletor M para δM	36
Figura 9 - Vão efetivo	38
Figura 10 - Domínios de estado-limite último de uma seção transversal	40
Figura 11 - Seção retangular com armadura simples	41
Figura 12 - Seção retangular com armadura dupla	43
Figura 13 - Esquema resistente para viga com armadura dupla	43
Figura 14 - Compatibilidade de deformações na seção da viga	44
Figura 15 – Croqui Pav. Térreo	52
Figura 16 - Croqui Pav. Tipo (3x)	53
Figura 17 - Croqui Pav. Cobertura	53
Figura 18 - Croqui Pav. Área Técnica	54
Figura 19 - Croqui do corte do edifício	55
Figura 20 - 3D da estrutura	56
Figura 21 - Fator de restrição à rotação	62
Figura 22 – Relatório de Redistribuição da Viga 1 do Pav. Térreo	63
Figura 23 - Localização da Viga 1 Pavimento Térreo	63
Figura 24 - Procedimento para resolução do Erro D212	64
Figura 25 - Vigas modificadas Pav. Térreo	66
Figura 26 - Vigas modificadas Pav. Tipo 2	66
Figura 27 - Vigas modificadas Pav. Tipo 3	67
Figura 28 - Vigas modificadas Pav. Cobertura	67
Figura 29 - Vigas modificadas Pav. Área Técnica	68

Figura 30 - Diagrama de Deslocamento Viga 8 Pav. Tipo 3	79
Figura 31 - Detalhamento simplificado Viga 3 (pavimento térreo).....	87
Figura 32 - Detalhamento Simplificado Viga 11 (pavimento tipo 1)	88

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Classe de Agressividade Ambiental (CAA)	24
Quadro 2 - Combinações de Serviço	29
Quadro 3 - Combinações Últimas	30
Quadro 4 - Coeficientes de redução no engaste	65

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Cobrimento nominal das armaduras (mm).....	25
Tabela 2 – Coeficiente $Y_f = Y_{f1} \cdot Y_{f3}$	31
Tabela 3 - Coeficiente Y_{f2}	32
Tabela 4 - Taxas mínimas de armadura de flexão para vigas.....	50
Tabela 5 - Diâmetro dos pinos de dobramento para estribos.....	51
Tabela 6 - Forças devido ao Vento Estático.....	58
Tabela 7 - Momentos Fletores Pav. Térreo.....	69
Tabela 8 - Momentos Fletores Pav. Tipo 1.....	70
Tabela 9 - Momentos Fletores Pav. Tipo 2.....	71
Tabela 10 - Momentos Fletores Pav. Tipo 3.....	72
Tabela 11 - Momentos Fletores Pav. Cobertura.....	73
Tabela 12 - Momentos Fletores Pav. Área Técnica.....	74
Tabela 13 - Comparativo quantitativo V3 Pav. Térreo.....	88
Tabela 14 - Comparativo quantitativo V11 Pav. Tipo 1.....	89

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 - Percentual de aumento e redução média MF para o Pav. Térreo.....	75
Gráfico 2 - Percentual de aumento e redução média MF para o Pav. Tipo 1	76
Gráfico 3 - Percentual de aumento e redução média MF para o Pav. Tipo 2	76
Gráfico 4 - Percentual de aumento e redução média MF para o Pav. Tipo 3	77
Gráfico 5 - Percentual de aumento e redução média MF para o Pav. Cobertura.....	77
Gráfico 6 - Percentual de aumento e redução média MF para o Pav. Área Técnica	78
Gráfico 7 - Comparativo de Aço (em quantidade de barras).....	81
Gráfico 8 – Percentual de Aumento e Redução de Área de Aço do Pav. Térreo.....	84
Gráfico 9 - Percentual de Aumento e Redução de Área de Aço do Pav. Tipo 1	84
Gráfico 10 - Percentual de Aumento e Redução de Área de Aço do Pav. Tipo 2	85
Gráfico 11 - Percentual de Aumento e Redução de Área de Aço do Pav. Tipo 3	85
Gráfico 12 - Percentual de Aumento e Redução de Área de Aço do Pav. Cobertura	86

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
cm	Centímetros
cm ² /m	Centímetros quadrados por metro
ELS	Estado Limite de serviço
ELU	Estado Limite último
kN	Quilo Newton
kN/m	Quilo Newton por metro
kN/m ²	Quilo Newton por metro quadrado
kN/m ³	Quilo Newton por metro cúbico
m	Metros
m ²	Metros Quadrados
mm	Milímetros
MPa	Mega Pascal
NBR	Norma Brasileira

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	16
1.1	TEMA DE PESQUISA	17
1.2	QUESTÃO DE PESQUISA.....	17
1.3	OBJETIVOS	17
1.3.1	Objetivo principal	17
1.3.2	Objetivos específicos	17
1.4	HIPÓTESE.....	17
1.5	PRESSUPOSTOS	17
1.6	DELIMITAÇÃO DA PESQUISA	18
1.7	DELINEAMENTO	18
2	REFERENCIAL TEÓRICO	19
2.1	VIGAS EM CONCRETO ARMADO	19
2.1.1	Esforços Solicitantes	20
2.1.2	Modelo Estrutural	22
2.1.3	Comportamento Mecânico dos Materiais	23
2.1.3.1	Durabilidade	23
2.1.3.2	Estádios de Deformação	25
2.2	ANÁLISE ESTRUTURAL	28
2.2.1	Estados Limites	28
2.2.1.1	Estado Limite de Serviço.....	28
2.2.1.2	Estado Limite Último.....	29
2.2.2	Análise Linear Elástica	32
2.2.3	Análise Linear com redistribuição	34
2.2.3.1	Redistribuição de Momentos Fletores	35
2.2.3.2	Coefficientes de Redistribuição e Limites.....	35
2.3	DIMENSIONAMENTO DE VIGAS	36
2.3.1	Condições de Apoio	36
2.3.1.1	Pré-dimensionamento de vigas	37
2.3.2	Dimensionamento à Flexão	39
2.3.2.1	Seção retangular com armadura simples	41
2.3.2.2	Seção retangular com armadura dupla	42

2.3.3	Dimensionamento ao Cisalhamento	44
2.3.3.1	Modelo de Cálculo I prescrito pela ABNT NBR 6118 (2014).....	45
2.3.3.2	Modelo de Cálculo II prescrito pela ABNT NBR 6118 (2014).....	46
2.4	DETALHAMENTO DE VIGAS	47
2.4.1	Armadura Longitudinal	47
2.4.2	Armadura Transversal	49
2.4.3	Armadura de Pele	49
2.4.4	Armadura Mínima	49
2.4.5	Armadura de Montagem	50
2.4.6	Comprimento de Ancoragem/Ganchos	51
3	METODOLOGIA DE PESQUISA	51
3.1	OBJETO DE ESTUDO	52
3.2	CARREGAMENTOS	56
3.2.1	Carregamento Vertical	57
3.2.2	Carregamento Horizontal	57
3.3	PARÂMETROS DE PROJETO	58
3.4	MODELOS DE ANÁLISE ESTRUTURAL.....	59
3.4.1	Modelo linear elástico	59
3.4.2	Modelo linear com redistribuição	59
4	ANÁLISE DOS RESULTADOS E DISCUSSÕES	60
4.1	VIGAS PELA ANÁLISE LINEAR ELÁSTICA	60
4.2	VIGAS PELA ANÁLISE LINEAR REDISTRIBUÍDA.....	60
4.2.1	Erro encontrado e coeficientes utilizados	61
4.3	COMPARATIVOS.....	68
4.3.1	Momentos Fletores	68
4.3.2	Deslocamentos	78
4.3.3	Quantitativos e Custos	80
4.3.4	Detalhamento	82
4.3.4.1	Áreas de Aço.....	83
4.3.4.2	Detalhamento Viga 3 (Pavimento térreo)	86
4.3.4.3	Detalhamento Viga 11 (Pavimento Tipo 1).....	88

5	CONSIDERAÇÕES FINAIS	90
	REFERÊNCIAS.....	92
	APÊNDICE A – PLANTAS DE FORMAS	94
	APÊNDICE B – DETALHAMENTOS DE VIGAS (situação linear elástica)	95
	APÊNDICE C – DETALHAMENTOS DE VIGAS (situação linear com redistribuição)	96
	APÊNDICE D – COMPARATIVO DIAGRAMA DE MOMENTOS FLETORES	97
	APÊNDICE E – COMPARATIVOS DESLOCAMENTOS (FLECHAS)	98
	APÊNDICE F – DESLOCAMENTOS (FLECHAS) TABELADOS.....	99
	APÊNDICE G – QUANTITATIVOS DE AÇO	105
	APÊNDICE H – QUANTITATIVOS DE CUSTOS	107
	APÊNDICE I – ÁREAS DE AÇO.....	109

1 INTRODUÇÃO

A análise estrutural possui um papel muito importante nos projetos de engenharia de estruturas, pois é através dela que pode-se prever o desempenho e realizar o correto dimensionamento dos elementos estruturais. Segundo Kassimali (2015, p. 5), “A engenharia estrutural é a ciência e a arte de planejamento, projeto e construção de estruturas seguras e econômicas que servirão aos seus propósitos destinados”. Com base nisso, a fim de garantir a integridade estrutural e reduzir os gastos nessa etapa é que surge a necessidade de um método de análise eficiente, para assim entregar ao cliente uma solução totalmente segura e econômica.

Os métodos de análise estrutural segundo a ABNT NBR 6118 (2014), são aplicados com o objetivo de determinar os efeitos que são causados através das ações submetidas na estrutura. Ainda, a norma estabelece alguns métodos que podem ser utilizados, dentre eles está o método de análise em regime linear elástico e linear com redistribuição, os quais serão aplicados no presente estudo.

A análise linear elástica considera o comportamento dos materiais no estado elástico-linear, ou seja, considera-se que após a sua deformação, causada por ações externas, o material volte ao seu estado inicial (ALVES; NASCIMENTO, 2016). Além disso, uma vez realizada esta análise, pode-se considerar uma redistribuição de esforços, a qual visa reproduzir um comportamento mais condizente com a realidade.

Através da redistribuição dos esforços é possível que se reduza os momentos fletores negativos nos apoios das vigas e conseqüentemente aumente-se os positivos. Isso ocorre pelo fato de que há a plastificação dos materiais na análise linear com redistribuição, o que ocasiona a migração de esforços para regiões menos carregadas, desta forma tem-se uma tendência de dimensionamento com uma maior economia no consumo do aço e um melhor detalhamento das armaduras (FONTES; PINHEIRO, 2005).

Diante disso, foram avaliadas um conjunto de vigas pertencentes à um edifício exemplo por meio de dois métodos de análise estrutural: linear elástico e linear com redistribuição. Através dessas análises foram comparados os diagramas de esforços, valores de flechas e custos com o quantitativo de aço, para assim constatar se houve, além de uma melhora no detalhamento das armaduras igualmente uma economia, oportunizando assim um benefício econômico para a obra final.

1.1 TEMA DE PESQUISA

Análise Estrutural de vigas.

1.2 QUESTÃO DE PESQUISA

O dimensionamento de vigas através da análise linear com redistribuição proporciona uma diminuição nos quantitativos de aço, possibilitando benefícios econômicos na execução da obra?

1.3 OBJETIVOS

O presente estudo foi baseado em objetivo principal e em objetivos específicos, conforme apresentados respectivamente nos itens 1.3.1 e 1.3.2.

1.3.1 Objetivo principal

Analisar aspectos técnicos e econômicos através do dimensionamento de um conjunto de vigas de concreto armado considerando duas situações de análise: linear elástica e linear com redistribuição.

1.3.2 Objetivos específicos

Os objetivos específicos do trabalho são:

- a) confrontar valores obtidos dos diagramas de esforços, flechas e quantitativos para as vigas em regime linear elástico e linear com redistribuição;
- b) estimar o custo de aço para as vigas em ambos os regimes;
- c) avaliar a influência nos detalhamentos das vigas e constatar quais benefícios são trazidos devido ao dimensionamento em ambos os regimes.

1.4 HIPÓTESE

A partir da análise estrutural linear com redistribuição do conjunto de vigas, é possível obter uma redução nos quantitativos de aço e uma melhora nos detalhamentos, ocasionando assim uma economia e facilitando a execução da obra.

1.5 PRESSUPOSTOS

As vigas foram avaliadas sob dois tipos de análise estrutural em que os parâmetros de cálculo serão mantidos os mesmos em ambas as situações.

O *software* escolhido para a análise estrutural das vigas atende os requisitos prescritos pela ABNT NBR 6118 (2014).

1.6 DELIMITAÇÃO DA PESQUISA

Visto que o foco do trabalho é analisar a influência da redistribuição dos momentos fletores através da análise linear com redistribuição nas vigas, não foi explorada a transferência de esforços para os pilares, desta forma não será abordado os resultados obtidos para o dimensionamento destes. Ainda, neste estudo foi considerado vigas apenas com seção retangular e classificadas como hiperestáticas, descartando peças estruturais que sejam isostáticas.

1.7 DELINEAMENTO

A apresentação deste estudo foi realizada através de 5 capítulos, o qual inicialmente trará a apresentação do tema, bem como os objetivos e demais diretrizes da pesquisa. A seguir, no capítulo 02, será desenvolvida a base teórica da pesquisa que servirá como o alicerce para a metodologia que será aplicada e posteriormente apresentada no capítulo 03. Em seguida, o estudo prossegue para o capítulo 04 com a etapa dos resultados que foram obtidos a partir da base teórica e da metodologia proposta, juntamente com a análise e discussão deles. Por fim, o estudo será finalizado com o capítulo de considerações finais, o qual se terá a conclusão do estudo e das análises realizadas.

Na Figura 1 consta o fluxograma do presente estudo.

Figura 1 - Fluxograma do estudo

Capítulo 01	<ul style="list-style-type: none"> • Introdução • Diretrizes de pesquisa
Capítulo 02	<ul style="list-style-type: none"> • Referencial Teórico: conceituação inicial sobre Vigas em concreto armado, seguido por uma base teórica sobre o tema Análise estrutural linear e linear com redistribuição e fundamentos do dimensionamento e detalhamento das vigas.
Capítulo 03	<ul style="list-style-type: none"> • Metodologia de Pesquisa
Capítulo 04	<ul style="list-style-type: none"> • Resultados • Análises e Discussões
Capítulo 05	<ul style="list-style-type: none"> • Considerações Finais • Referências Bibliográficas

Fonte: a autora (2023).

2 REFERENCIAL TEÓRICO

São apresentados neste capítulo os conceitos e aspectos técnicos necessários para a concretização do presente estudo, que se dará por meio de conteúdos de artigos, livros, teses e dissertações já publicadas sobre vigas de concreto armado, bem como métodos de dimensionamentos e detalhamentos e os modelos de análises estruturais linear e linear com redistribuição.

2.1 VIGAS EM CONCRETO ARMADO

O concreto é o material mais utilizado nas construções, sendo ele composto por cimento, agregados miúdos e graúdos, com ou sem a incorporação de aditivos químicos, que quando adicionado armaduras de aço à essa composição, tem-se um sistema classificado como concreto armado, o qual garante uma melhor sustentação se tratando do projeto estrutural, tendo em vista que o concreto e a armadura trabalham juntos e que cada um desempenha sua função distinta no dimensionamento de estruturas (COUTO *et al.*, 2013).

Por possuir uma boa resistência à compressão, mas não resistir à tração é necessário que com o concreto haja a presença de armaduras de aço, obtendo-se assim uma combinação de materiais eficientes para resistir à ambos os esforços, tração e compressão, em que a maioria dos elementos estruturais estão submetidos. É imprescindível que se tenha uma boa aderência entre a combinação concreto/armaduras, pois esta é a responsável pelo comportamento estrutural (PORTO; FERNANDES, 2015).

A ABNT NBR 6118 (2014) tem por definição que vigas são elementos lineares no qual o comprimento supera pelo menos três vezes a maior dimensão da seção transversal e que a flexão é o esforço preponderante em que essas barras estão submetidas.

Segundo Pinheiro, Muzardo e Santos (2003), em tese, é comum que nos edifícios de concreto armado as vigas sejam elementos que sirvam de apoio para as lajes e paredes, bem como conduzam as cargas desses elementos até os pilares, para assim descarregar no solo, através das fundações.

2.1.1 Esforços Solicitantes

As vigas são elementos que suportam seu peso próprio, as reações provenientes das lajes que se apoiam nelas, peso de paredes, e ainda, podem suportar ações de outros elementos, como vigas que se apoiam sobre outras vigas (SANTOS, 2006).

A ABNT NBR 6120 (2019) define as cargas para o cálculo de estruturas de edificações, bem como, o peso específico dos materiais constituintes. A partir dela é possível realizar o cálculo das cargas a serem aplicadas nas vigas para posterior dimensionamento e análise estrutural.

O peso próprio das vigas, segundo Araújo (2014), é considerado como uma carga linear e uniforme distribuída, podendo ser calculado a partir da Equação 1.

$$pp = \gamma_{ap} \times A_c \quad (1)$$

Onde:

pp = peso próprio da viga [kN/m];

γ_{ap} = peso específico aparente do concreto [kN/m³];

A_c = área da seção transversal da viga [m²].

Araújo (2014) define ainda que o peso das alvenarias apoiadas sobre as vigas também é considerado como cargas uniformes distribuídas e é dado pela Equação 2. Ainda, pode-se determinar o peso da alvenaria conforme a sua composição, assim como especificado pela ABNT NBR 6120 (2019), a qual determina o peso específico do revestimento por face em kN/m².

$$pa = \gamma_{ap} \times t \times H \quad (2)$$

Onde:

pa = peso da alvenaria apoiada na viga [kN/m];

γ_{ap} = peso específico aparente da alvenaria [kN/m³] (ABNT NBR 6120, 2019);

t = espessura da parede [m];

H = altura da parede [m].

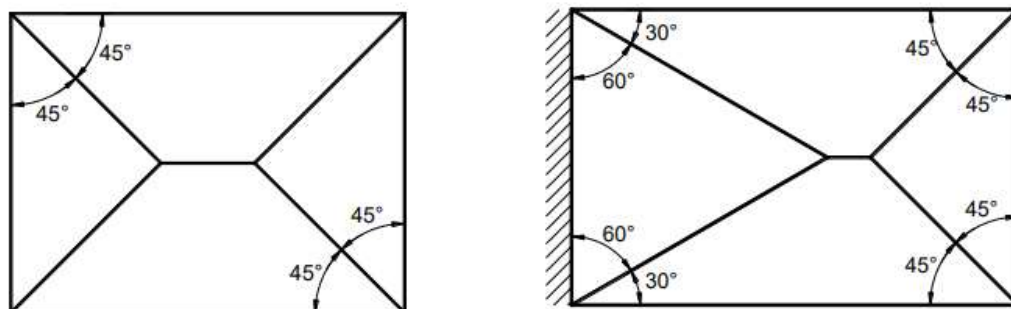
No cálculo das reações da laje nas bordas, a análise é realizada em função do seu tipo, podendo ser armada em uma direção ou em duas direções (armada em cruz) (BASTOS 2021).

A ABNT NBR 6118 (2014) item 14.7.6.1 prescreve que no cálculo das reações de apoio das lajes maciças retangulares com carga uniforme devem ser feitas as seguintes aproximações:

- as reações em cada apoio são as correspondentes às cargas atuantes nos triângulos ou trapézios determinados através do método das charneiras plásticas correspondentes à análise efetivada com os critérios de 14.7.4, sendo que essas reações podem ser, de maneira aproximada, consideradas uniformemente distribuídas sobre os elementos estruturais que lhes servem de apoio;
- quando a análise plástica não for efetuada, as charneiras podem ser aproximadas por retas inclinadas, a partir dos vértices, com os seguintes ângulos: 45° entre os apoios do mesmo tipo, 60° a partir do apoio considerado engastado se o outro for considerado simplesmente apoiado e 90° a partir do apoio quando a borda vizinha for livre.

A Figura 2 esboça o esquema que é prescrito pela ABNT NBR 6118 (2014), em que cada viga de apoio da laje irá receber a carga que estiver relacionada a ela nos triângulos ou trapézios, esquema este, válido para lajes armadas em duas direções, as quais serão tratadas neste trabalho.

Figura 2 – Áreas de influência para cálculo das reações de apoio



Fonte: BASTOS, 2021.

É possível que vigas se apoiem sobre outras vigas, ocasionando desta forma uma carga concentrada [kN] na viga principal com valor igual à reação de apoio da viga apoiada. Isso se deve ao fato de que, em virtude de a área de aplicação da força ser pequena quando comparada com o total da área da superfície do corpo, pode-se imaginar que haja uma única força concentrada e então aplicada em um único ponto específico do corpo (HIBBELER, 2006).

Normalmente, segundo Pinheiro, Muzardo e Santos (2003), as vigas trabalham à flexão e ao cisalhamento, transmitindo as ações para os elementos verticais, pilares e paredes estruturais, através das respectivas reações.

Ainda, Porto e Fernandes (2015), relatam que as vigas são dimensionadas para resistir esforços como momentos fletores, cortantes e eventualmente momentos de torção, sendo estes os resultantes de todas as cargas, sendo elas distribuídas e/ou concentradas, nas quais as vigas estão submetidas e devem resistir.

A ABNT NBR 6118 (2014) prescreve que para uma análise estrutural eficiente é necessário que modelos estruturais com as cargas reais sejam avaliados, sendo que para um projeto pode ser necessário mais de um modelo para realizar as devidas verificações.

2.1.2 Modelo Estrutural

Os esforços e deslocamentos para o dimensionamento dos elementos estruturais, vigas, lajes e pilares, são calculados por meio de *softwares* específicos os quais utilizam modelos estruturais, que se trata de uma espécie de protótipo desenvolvido com o intuito de simular a estrutura real no computador a fim de obter uma melhor proximidade e assim analisar corretamente a estrutura (KIMURA, 2018).

De acordo com a ABNT NBR 6118 (2014) o modelo estrutural de uma edificação de concreto armado é formado a partir de elementos como pilares, vigas e lajes, os quais formam sistemas estruturais resistentes que permitem uma representação clara de todos os caminhos em que serão percorridos pelas ações até os apoios da estrutura. Ainda, ela define que, no caso de modelos baseados no método dos elementos finitos, diferenças finitas ou analogia de grelha, entre outros, é necessário que haja uma eficiente discretização da estrutura, pois caso não seja eficaz, erros significativos podem ser causados na análise estrutural.

Além disso, segundo a ABNT NBR 6118 (2014, p.82), “O modelo estrutural deve representar a geometria dos elementos estruturais, os carregamentos atuantes, as condições de contorno, as características e respostas dos materiais, [...]”, sendo que as respostas podem ser representadas por diferentes tipos de análises estruturais.

Kimura (2018) define ainda que são inúmeros os modelos estruturais que podem ser aplicados na análise estrutural de edifícios de concreto armado, entre eles estão os modelos: métodos aproximados + vigas contínuas, vigas + pilares (pórtico

H), grelha somente de vigas, grelha de vigas e lajes, pórtico plano, pórtico espacial e elementos finitos.

Kripka (2020) descreve que, a fase de concepção estrutural e definição do tipo de modelo a ser abordado é uma das etapas de maior importância em projetos estruturais, uma vez que é baseada sobretudo no conhecimento e na experiência do projetista. Ele estabelece ainda que, caso o modelo escolhido seja demasiadamente simples, poderá não ser mais condizente com o comportamento real da estrutura que está sendo modelada. Diante disso, é necessário que sejam verificadas as condições de apoio em função do modelo estrutural escolhido para análise.

2.1.3 Comportamento Mecânico dos Materiais

A fim de garantir o bom comportamento mecânico dos materiais na combinação concreto e aço, é necessário que haja a firme ligação entre eles. Essa ligação se dá por meio da aderência, e é através dela que se garante que as barras de armadura, apresentem um alongamento igual ao das fibras vizinhas do concreto. O alongamento à tração do concreto é pequeno, quando comparado ao aço, e por isso, as barras de armadura absorvem as forças de tração, pois o concreto quando solicitado a esse tipo de esforço fatura, ocasionando assim em uma manifestação patológica (LEONHARDT; MONNIG, 1977).

Medeiros, Andrade e Helene (2011), relatam que é indispensável que se tenha uma separação nítida entre os ambientes agressivos a que uma estrutura de concreto armado está submetida, pois isso reflete diretamente na durabilidade e vida útil, evitando desta forma o aparecimento de manifestações patológicas e garantindo a segurança e integridade estrutural.

2.1.3.1 Durabilidade

A ABNT NBR 6118 (2014, p.13), define que durabilidade, “Consiste na capacidade de a estrutura resistir às influências ambientais previstas e definidas em conjunto pelo autor do projeto estrutural e pelo contratante, no início dos trabalhos de elaboração do projeto”.

Um fator muito importante em projetos de concreto armado é a classificação do ambiente quanto à sua agressividade. De acordo com Freitas Jr. (2013, p.36) em publicação na Revista Técnica, “a análise do ambiente em que a estrutura estará influi

diretamente nas especificações do concreto e das proteções para alcançar a durabilidade pretendida, [...]"

A ABNT NBR 6118 (2014), estabelece que para o dimensionamento de uma estrutura em concreto armado, o ambiente no qual a edificação será implementada seja classificado quanto à sua agressividade, estando essa associada às ações físicas e químicas, a qual independe das ações mecânicas, variações térmicas, retração hidráulica e outras previstas em fase de projeto. Com isso, a classe de agressividade ambiental (CAA), deve ser definida conforme Quadro 1.

Quadro 1 - Classe de Agressividade Ambiental (CAA)

Classe de Agressividade Ambiental	Agressividade	Classificação geral do tipo do ambiente para efeito de projeto	Risco de deterioração da estrutura
I	Fraca	Rural	Insignificante
		Submersa	
II	Moderada	Urbana (a,b)	Pequeno
III	Forte	Marinha (a)	Grande
		Industrial (a,b)	
IV	Muito Forte	Industrial (a,c)	Elevado
		Respingos de maré	

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

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

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

Fonte: Adaptado da ABNT NBR 6118:2014 (2022).

Outro fator que precisa ser analisado pelos projetistas é o cobrimento das armaduras. Segundo a ABNT NBR 6118 (2014), entende-se por cobrimento a espessura de concreto responsável pela proteção contra a corrosão das armaduras, sendo este executado da face externa da barra de aço até a camada mais externa no ambiente em que se localiza o elemento estrutural.

A espessura do cobrimento é especificada pela ABNT NBR 6118 (2014), conforme Tabela 1, o qual pode-se observar que ela varia de acordo com o elemento estrutural que está sendo projetado e a sua CAA.

Tabela 1 - Cobrimento nominal das armaduras (mm)

Tipo de estrutura	Componente ou elemento	Classe de Agressividade Ambiental (CAA)			
		I	II	III	IV c
Concreto Armado	Laje b	20	25	35	45
	Viga/Pilar	25	30	40	50
	Elementos estruturais em contato com o solo d	30	30	40	50
Concreto Protendido a	Laje	25	30	40	50
	Viga/Pilar	30	35	45	55

a Cobrimento nominal da bainha ou dos fios, cabos e cordoalhas. O cobrimento da armadura passiva deve respeitar os cobrimentos para concreto armado.

b Para a face superior de lajes e vigas que serão revestidas com argamassa de contrapiso, com revestimentos finais secos tipo carpete e madeira, com argamassa de revestimento e acabamento, como pisos de elevado desempenho, pisos cerâmicos, pisos asfálticos e outros, as exigências desta Tabela podem ser substituídas pelas de 7.4.7.5, respeitado um cobrimento nominal ≥ 15 mm.

c Nas superfícies expostas a ambientes agressivos, como reservatórios, estações de tratamento de água e esgoto, condutos de esgoto, canaletas de efluentes e outras obras em ambientes química e intensamente agressivos, devem ser atendidos os cobrimentos da classe de agressividade IV.

d No trecho dos pilares em contato com o solo junto aos elementos de fundação, a armadura deve ter cobrimento nominal ≥ 45 mm.

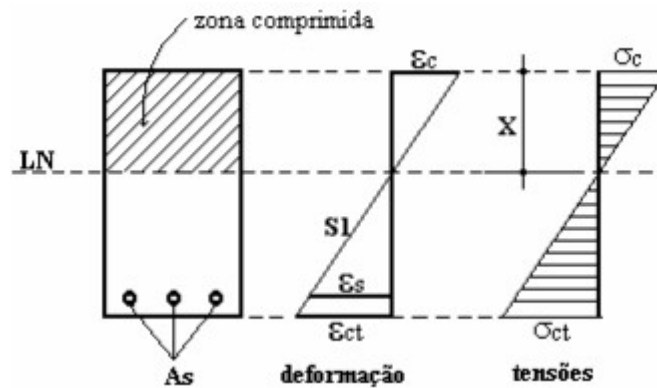
Fonte: Adaptado da ABNT NBR 6118:2014 (2022).

2.1.3.2 Estádios de Deformação

O estágio de deformação pode ser definido como as fases do comportamento que a estrutura manifesta quando esta for submetida a flexão e a carregamentos gradativamente crescentes. As tensões geradas por esses esforços passam por três etapas distintas, sendo o estágio I, subdivido em Ia e Ib, estágio II e estágio III (PARIZOTTO, 2017).

Conforme Pinheiro, Muzardo e Santos (2003), o Estádio Ia compreende o início do carregamento da estrutura, na qual as tensões são de baixa magnitude, e desta maneira, o concreto tem capacidade de resistência à esforços de tração. Parizotto (2017), complementa que neste estágio, os materiais trabalham em regime elástico e não há escoamento do aço nem fissuras no concreto, obtendo-se as tensões proporcionais às deformações. Camacho (2009), agrega ainda que a integridade da peça estrutural está garantida e a configuração inicial pode ser visualizada de acordo com a Figura 3.

Figura 3 - Estádio Ia

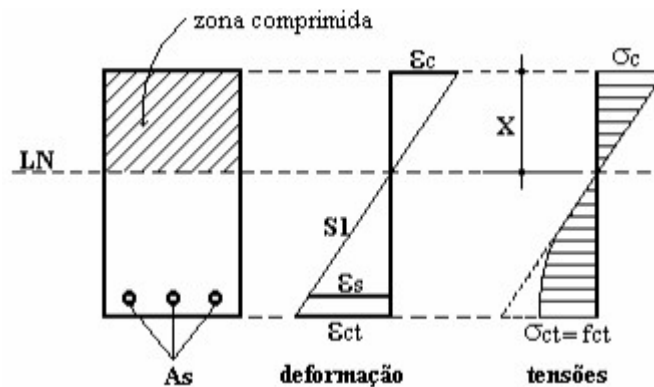


Fonte: CAMACHO (2009).

Por outro lado, no estágio Ib, não há a proporcionalidade das tensões com as deformações e o concreto não chega a fissurar, porém atinge o limite de resistência e por esse motivo o diagrama de tensões se plastifica (PARIZOTTO, 2017). Camacho (2009) complementa que por consequência do aumento de carga ao longo da seção as deformações aumentam e fazem com que ocorra a plastificação na zona tracionada, assim o diagrama de tensão deixa de ser linear e torna-se curvo, pois houve a plastificação.

Na Figura 4 é possível visualizar a configuração do Estádio Ib.

Figura 4 - Estádio Ib

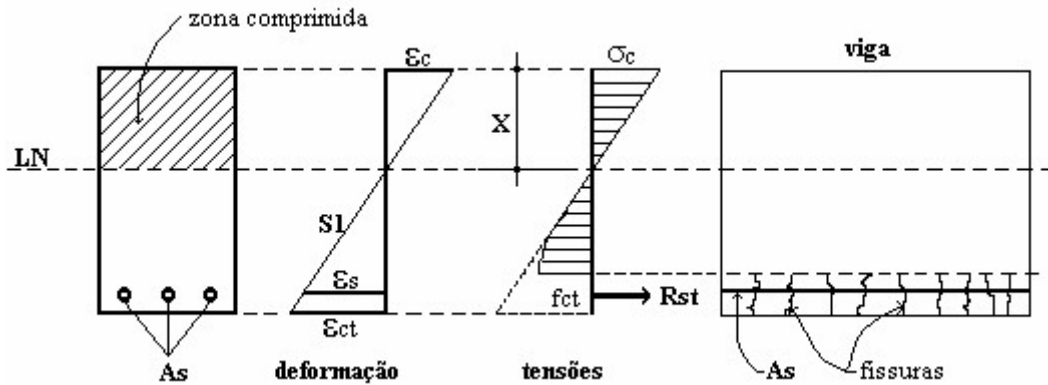


Fonte: CAMACHO (2009).

Segundo Pinheiro, Muzardo e Santos (2003), no Estádio II a seção fissura na região de tração pelo fato do concreto não mais resistir a esses esforços. Além disso, Camacho (2009) descreve que todo esforço de tração agora deve ser resistido pela armadura. Ademais, Parizotto (2017) declara que neste estágio ocorre a elevação da

linha neutra, pois há um alongamento maior na zona tracionada do que na zona comprimida. A configuração do Estádio II pode ser visualizada na Figura 5.

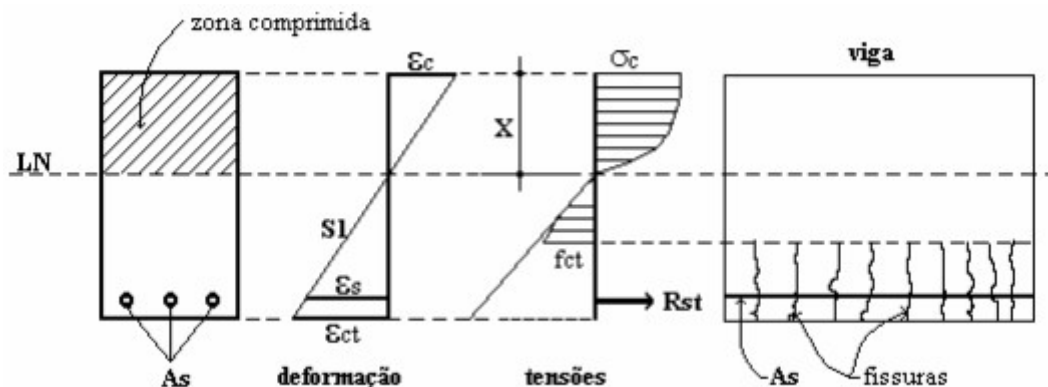
Figura 5 - Estádio II



Fonte: CAMACHO (2009).

Segundo Camacho (2009), o Estádio III é estabelecido como a fase em que o concreto comprimido está na ruptura ou no seu estado limite último por compressão. Ainda, Parizotto (2017) relata que o colapso da estrutura se dá pelo esmagamento do concreto ou pelo escoamento das armaduras na região tracionada, juntamente com a abertura de fissuras e a elevação da linha neutra. A configuração deste estágio pode ser visualizada na Figura 6.

Figura 6 - Estádio III



Fonte: CAMACHO (2009).

2.2 ANÁLISE ESTRUTURAL

A ABNT NBR 6118 (2014) define que a Análise Estrutural consiste em determinar os efeitos das ações em uma determinada estrutura, a fim de verificar os estados-limites últimos e de serviço. Além disso, através dela é possível estabelecer as distribuições de esforços internos, tensões, deformações e deslocamentos nos elementos estruturais.

Kassimali (2015) determina que Análise Estrutural é a previsão do desempenho da estrutura sob cargas estipuladas e sob outros efeitos externos, como movimentos dos apoios e mudanças de temperatura.

Na Análise Estrutural é necessário que seja considerada a influência de todas as ações que possam influenciar significativamente na segurança da estrutura, levando em consideração os estados limites últimos e os de serviço (ABNT NBR 6118, 2014).

2.2.1 Estados Limites

A ABNT NBR 8681 (2004) define estados limites como, “Estados a partir dos quais a estrutura apresenta desempenho inadequado às finalidades da construção.” Segundo ela, os estados podem ser nomeados como estados limites últimos ou estados limites de serviço.

2.2.1.1 Estado Limite de Serviço

De acordo com a ABNT NBR 6118 (2014) estados limites de serviço são aqueles referentes ao conforto do usuário e à durabilidade, além da aparência e boa utilização das estruturas.

Conforme a ABNT NBR 8681 (2004), no período de vida de uma estrutura, comumente são considerados estados limites de serviço definidos por danos ligeiros ou localizados comprometendo a estética da construção ou durabilidade, deformações excessivas afetando a utilização normal ou estética e vibrações excessivas ou desconfortável.

Ainda, é definido pela ABNT NBR 8681 (2004) que os estados limites de serviço ocorrem devido as ações cujas combinações podem ter três diferentes ordens de grandeza de permanência na estrutura, sendo elas: combinações quase permanentes, combinações frequentes e combinações raras.

Para o cálculo das solicitações, utiliza-se como suporte as equações dadas pela ABNT NBR 6118 (2014) presentes no Quadro 2, as quais são estabelecidas conforme cada tipo de combinação e que devem ser associadas de acordo com as características de cada projeto a ser dimensionado.

Quadro 2 - Combinações de Serviço

Combinações de serviço (ELS)	Descrição	Cálculo das Solicitações
Combinações quase permanentes	Todas as ações variáveis são consideradas com seus valores quase permanentes $\psi_2 F_{qk}$	$F_{d, serv} = \sum F_{gi, k} + \sum \psi_{2j} F_{qj, k}$
Combinações frequentes de serviço	A ação variável principal F_{q1} é tomada com seu valor frequente $\psi_1 F_{q1k}$ e todas as demais ações variáveis são tomadas com seus valores quase permanentes $\psi_2 F_{qk}$	$F_{d, serv} = \sum F_{gik} + \psi_1 F_{q1k} \sum \psi_{2j} F_{qjk}$
Combinações raras	A ação variável principal F_{q1} é tomada com seu valor característico F_{q1k} e todas as demais ações são tomadas com seus valores frequentes $\psi_1 F_{qk}$	$F_{d, serv} = \sum F_{gik} + F_{q1k} + \sum \psi_{1j} F_{qjk}$
<p>Onde: $F_{d, serv}$ = valor de cálculo das ações para combinações de serviço; F_{q1k} = valor característico das ações variáveis principais diretas; ψ_1 = fator de redução de combinação frequente para ELS; ψ_2 = fator de redução de combinação quase permanente para ELS.</p>		

Fonte: Adaptado da ABNT NBR 6118:2014 (2022).

2.2.1.2 Estado Limite Último

Conforme a ABNT NBR 8681 (2004), estados limites últimos são aqueles em que pela sua simples ocorrência, causam a paralisação do uso da construção estando diretamente relacionados ao colapso, ou a qualquer outra forma de ruína estrutural.

Em projetos estruturais, geralmente devem ser considerados os estados limites últimos relacionados a perda de equilíbrio, global ou parcial, ruptura ou deformação plástica excessiva dos materiais, transformação da estrutura, instabilidade por deformação e instabilidade dinâmica (ABNT NBR 8681, 2004).

As combinações últimas podem ser classificadas como normal, especial ou de construção e excepcional, as quais permitem que o cálculo das solicitações seja feito por meio das equações presentes no Quadro 3.

Quadro 3 - Combinações Últimas

(continua)

Combinações Últimas (ELU)	Descrição	Cálculo das Solicitações
Normais	Esgotamento da capacidade resistente para elementos estruturais de concreto armado ^a	$F_d = Y_g F_{gk} + Y_{\varepsilon g} F_{\varepsilon gk} + Y_q + (F_{q1k} + \sum \psi_{0j} F_{qjk}) + Y_{\varepsilon q} \psi_{0\varepsilon} F_{\varepsilon qk}$
	Esgotamento da capacidade resistente para elementos estruturais de concreto protendido	Deve ser considerada, quando necessário, a força de protensão como carregamento externo com os valores P _k ^{máx} e P _k ^{mín} para a força desfavorável e favorável.
	Perda do equilíbrio como corpo rígido	$S(F_{sd}) \geq S(F_{nd})$ $F_{sd} = Y_{gs} G_{sk} + R_d$ $F_{nd} = Y_{gn} G_{nk} + Y_q Q_{nk} - Y_{qs} Q_{s,min} ;$ <p>Onde: $Q_{nk} = Q_{1k} + \sum \psi_{0j} Q_{jk}$</p>
Especiais ou de construção ^b		$F_d = Y_g F_{gk} + Y_{\varepsilon g} F_{\varepsilon gk} + Y_q (F_{q1k} + \sum \psi_{0j} F_{qjk}) + Y_{\varepsilon q} \psi_{0\varepsilon} F_{\varepsilon qk}$
Excepcionais ^b		$F_d = Y_g F_{gk} + Y_{\varepsilon g} F_{\varepsilon gk} + F_{q1exc} + Y_q \sum \psi_{0j} F_{qjk} + Y_{\varepsilon q} \psi_{0\varepsilon} F_{\varepsilon qk}$
<p>Onde:</p> <p>F_d= valor de cálculo das ações para combinação última;</p> <p>F_{gk}= representa ações permanentes diretas;</p> <p>F_{εk}= representa as ações indiretas permanentes como a retração F_{εgk} e variáveis como a temperatura F_{εqk};</p> <p>F_{qk}= representa as ações variáveis diretas das quais F_{q1k} é escolhida principal.</p> <p>Y_g, Y_{εg}, Y_q, Y_{εq} = coeficientes ver Tabela 2;</p> <p>Ψ_{0j}, Ψ_{0ε}= coeficientes ver Tabela 3;</p> <p>F_{sd}= representa as ações estabilizantes;</p> <p>F_{nd}= representa as ações não estabilizantes;</p> <p>G_{sk}= valor característico da ação permanente estabilizante;</p> <p>R_d= esforço resistente considerado estabilizante, quando houver;</p> <p>G_{nk}= valor característico da ação permanente instabilizante;</p> <p>Q_{nk}= valor característico das ações variáveis instabilizantes;</p> <p>Q_{1k}= valor característico da ação variável instabilizante considerada principal;</p> <p>Ψ_{0j} e Q_{jk}= demais ações variáveis instabilizantes, consideradas com seu valor reduzido;</p> <p>Q_{s,min}= valor característico mínimo da ação variável estabilizante que acompanha obrigatoriamente uma ação variável instabilizante.</p>		

(conclusão)

^a no caso geral, devem ser consideradas inclusive combinações onde o efeito favorável das cargas permanentes seja reduzido pela consideração de $\gamma_g = 1,0$. No caso de estruturas usuais de edifícios, essas combinações que consideram γ_g reduzido (1,0) não precisam ser consideradas.

^b Quando F_{q1k} ou F_{q1exc} atuarem em tempo muito pequeno ou tiverem probabilidade de ocorrência muito baixa, ψ_{0j} pode ser substituído por ψ_{2j} . Este pode ser o caso para ações sísmicas e situação de incêndio.

Fonte: Adaptado da ABNT NBR 6118:2014 (2022).

As ações devem ser majoradas conforme os coeficientes estabelecidos pela ABNT NBR 6118 (2014), a qual considera que $Y_f = Y_{f1} \cdot Y_{f2} \cdot Y_{f3}$. Os valores estão apresentados nas Tabelas 2 e 3.

Tabela 2 – Coeficiente $Y_f = Y_{f1} \cdot Y_{f3}$

Combinações de Ações	Ações							
	Permanentes (g)		Variáveis (q)		Protensão (p)		Recalques de apoio e retração	
	D	F	G	T	D	F	D	F
Normais	1,4 ^a	1,0	1,4	1,2	1,2	0,9	1,2	0
Especiais ou de Construção	1,3	1,0	1,2	1,0	1,2	0,9	1,2	0
Excepcionais	1,2	1,0	1,0	0	1,2	0,9	0	0

Onde:

D é desfavorável; F é favorável; G representa cargas variáveis e T é temperatura.

^a Para as cargas permanentes de pequena variabilidade, como o peso próprio das estruturas, especialmente as pré-moldadas, esse coeficiente pode ser reduzido para 1,3.

Fonte: Adaptado da ABNT NBR 6118:2014 (2022).

Tabela 3 - Coeficiente Yf2

Ações		Yf2		
		ψ_0	ψ_1	ψ_2
Cargas acidentais de edifícios	Locais em que não há predominância de pesos de equipamentos que permanecem fixos por longos períodos, nem de elevadas concentrações de pessoas ^a	0,5	0,4	0,3
	Locais em que há predominância de pesos de equipamentos que permanecem fixos por longos períodos, ou de elevada concentração de pessoas ^b	0,7	0,6	0,4
	Biblioteca, arquivos, oficinas e garagens	0,8	0,7	0,6
Vento	Pressão dinâmica do vento nas estruturas em geral	0,6	0,3	0
Temperatura	Variações uniformes de temperatura em relação à média anual local	0,6	0,5	0,3

a Edifícios residenciais;

b Edifícios Comerciais, de escritórios, estações e edifícios públicos.

Fonte: Adaptado da ABNT NBR 6118:2014 (2022).

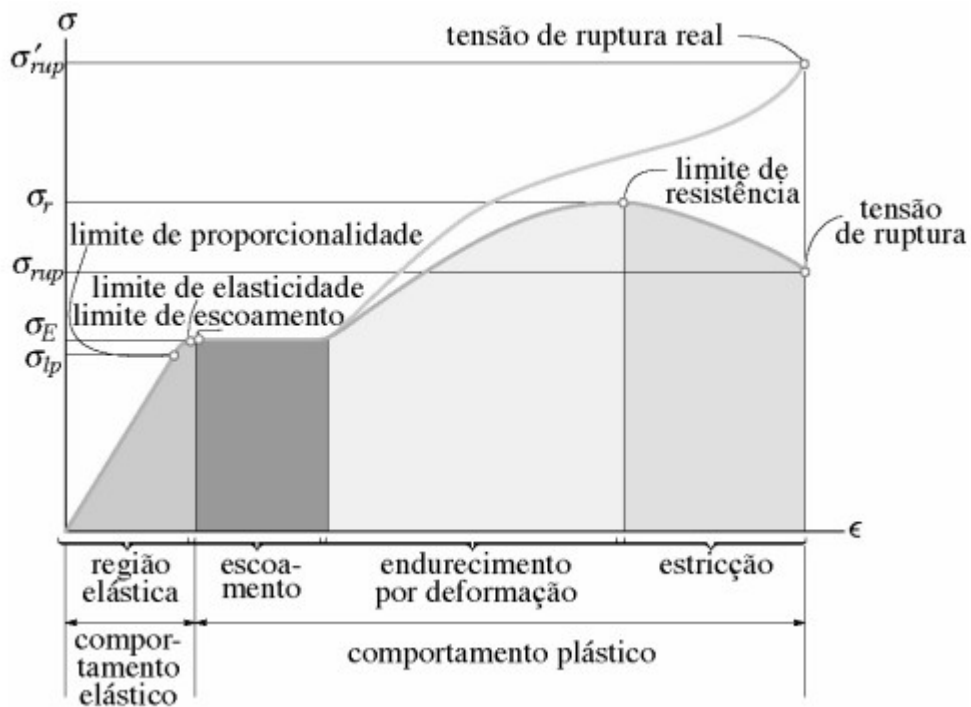
2.2.2 Análise Linear Elástica

Segundo Alves e Nascimento (2016), um material tem comportamento linear quando no diagrama tensão-deformação há uma linha reta. Ainda, os autores

descrevem que para o material ser considerado elástico, o corpo quando descarregado, deve retornar a sua posição original sem deformação residual. Através da combinação das condições de linearidade e elasticidade, é possível classificar o material como elástico linear, pois há a proporcionalidade da tensão e deformação dentro da região elástica, obedecendo desta forma a Lei de Hooke.

Segundo Hibbeler (2006), a curva do diagrama tensão deformação do aço é a indicada na Figura 7. É possível compreender que através da visualização do diagrama característico do aço, se tem quatro tipos de comportamento que o material apresenta durante o ensaio de tração/compressão.

Figura 7 - Diagrama tensão-deformação do aço



Fonte: HIBBELER (2006).

De acordo com Hibbeler (2006), o comportamento elástico do material acontece na região sombreada clara da Figura 7, a qual pode-se observar que de fato, a curva é uma reta, fazendo com que a tensão seja proporcional a deformação, melhor dizendo, há um material classificado como linearmente elástico.

A ABNT NBR 6118 (2014), admite na análise linear que os materiais possuem um comportamento elástico-linear, no qual os valores para o módulo de elasticidade inicial (E_{ci}) podem ser estimados pelas Equações 3 e 4, quando não forem realizados ensaios, as quais consideram a resistência do concreto a ser projetado, devendo

ainda ser considerado o módulo de elasticidade secante (E_{cs}) e um valor de 0,2 para o coeficiente de Poisson (ν).

Para concretos com f_{ck} de 20 MPa a 50 MPa:

$$E_{ci} = \alpha_e \cdot 5600 \cdot \sqrt{f_{ck}} \quad (3)$$

Para concretos com f_{ck} de 55 MPa a 90 MPa:

$$E_{ci} = 21,5 \cdot 10^3 \cdot \alpha_e \cdot \left(\frac{f_{ck}}{10} + 1,25 \right)^{1/3} \quad (4)$$

Onde:

$\alpha_e = 1,2$ para basalto e diabásio;

$\alpha_e = 1,0$ para granito e gnaisse;

$\alpha_e = 0,9$ para calcário;

$\alpha_e = 0,7$ para arenito.

O módulo de elasticidade secante (E_{cs}) pode ser estimado através da Equação 5.

$$E_{cs} = \alpha_i \cdot E_{ci} \quad (5)$$

Onde:

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

Segundo a ABNT NBR 6118 (2014) ainda, os resultados de uma análise do tipo linear são geralmente utilizados para a verificação de estados limites de serviço (ELS), podendo ser utilizados como base para o dimensionamento dos elementos no estado limite último (ELU), mesmo que este apresente a plastificação dos materiais, desde que haja a garantia da ductilidade mínima das peças.

2.2.3 Análise Linear com redistribuição

Na Análise linear com redistribuição, segundo a ABNT NBR 6118 (2014), utilizam-se os efeitos das ações determinadas por uma análise linear, no entanto com uma redistribuição na estrutura, para as combinações de carregamento do ELU. Nessa situação, as condições de equilíbrio e ductilidade devem ser satisfeitas.

Ainda, segundo a ABNT NBR 6118 (2014), neste tipo de análise, é necessário que todos os esforços internos sejam recalculados, a fim de garantir o equilíbrio estrutural. Os efeitos da redistribuição, têm de ser considerados em todo o âmbito do

projeto estrutural, incluindo as condições de ancoragem e corte de armaduras e as forças a ancorar. Ela determina ainda que, é desejável que nas verificações em serviço não haja a redistribuição de esforços.

2.2.3.1 Redistribuição de Momentos Fletores

Por meio do cálculo plástico em estruturas compostas de concreto armado, é possível realizar a redistribuição dos momentos fletores atuantes na estrutura, ou seja, se terá no dimensionamento diagramas de momentos fletores diferentes dos dados pelo cálculo elástico. É essencial que seja respeitado o equilíbrio estático e que em nenhuma seção, onde se terá uma rótula plástica, seja ultrapassada a sua capacidade de rotação, a fim de que a estrutura adeque-se ao diagrama de momentos adotados (SILVA, 1977).

Além disso, ainda segundo Silva (1977), através do chamado efeito hiperestático de plasticidade, é possível que a estrutura seja dimensionada para diagramas de momentos fletores mais convenientes, pois haverá a migração das solicitações de onde o concreto plastificou para as regiões onde isso ainda não aconteceu, facilitando desta forma os detalhamentos das armaduras das vigas.

2.2.3.2 Coeficientes de Redistribuição e Limites

Em vigas, é fundamental que se garanta boas condições de utilidade e que os limites da posição da linha neutra (x/d) sejam respeitados conforme as prescrições definidas pela ABNT NBR 6118 (2014).

A capacidade de rotação dos elementos é função da posição da linha neutra no ELU, quanto menor for x/d , maior será essa capacidade. Com isso, a fim de proporcionar o adequado comportamento estrutural, a posição da linha neutra deve obedecer aos seguintes limites:

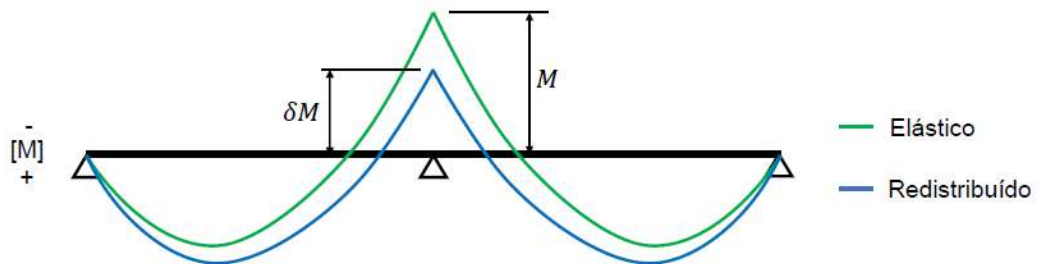
- a) $x/d \leq 0,45$, para concretos com $f_{ck} \leq 50$ MPa;
- b) $x/d \leq 0,35$, para concretos com $50 \text{ MPa} < f_{ck} \leq 90$ MPa.

No caso de uma redistribuição, a qual reduz um momento fletor M para δM , conforme a Figura 8, a profundidade da linha neutra deve ser limitada a partir dos limites a seguir:

- a) $x/d \leq (\delta - 0,44) / 1,25$, para concretos com $f_{ck} \leq 50$ MPa;

b) $x/d \leq (\delta - 0,56) / 1,25$, para concretos com $50 \text{ MPa} < f_{ck} \leq 90 \text{ MPa}$.

Figura 8 - Redução do Momento Fletor M para δM



Fonte: a autora (2023).

Ainda, o coeficiente de redistribuição deve obedecer aos seguintes limites:

- a) $\delta \geq 0,90$, para estruturas de nós móveis;
- b) $\delta \geq 0,75$, para outros casos.

2.3 DIMENSIONAMENTO DE VIGAS

O dimensionamento das vigas consiste em resistir aos esforços de flexão e cisalhamento, sendo estes os esforços predominantes. Para isso, é necessário que sejam verificadas as condições de apoio da estrutura e que seja realizado o pré-dimensionamento desses elementos.

2.3.1 Condições de Apoio

Para que a estrutura de uma edificação permaneça na posição desejada sob todas as ações dos carregamentos, é necessário que os elementos estruturais sejam conectados a outros membros por meio de apoios ou no caso de pilares, fixados em uma fundação, para assim garantir a integridade da estrutura (LEET; UANG; GILBERT, 2010).

Segundo Corrêa (2015), a função básica dos vínculos ou apoios é restringir o grau de liberdade das estruturas através das reações nas direções dos movimentos impedidos, além de que eles têm a função de ligar os elementos que integram a estrutura e transmitir as cargas ou forças.

Os vínculos externos ou também chamados apoios, são classificados, conforme as considerações de Correia e Lima (2019), em apoios de primeiro, de segundo ou de terceiro gênero. O apoio de primeiro gênero ou também chamado de apoio simples reage à um único esforço, sendo vertical ou horizontal. O apoio de

segundo gênero ou rótula, pode reagir aos dois tipos de esforços, tanto vertical como horizontal. Já o apoio de terceiro gênero ou engaste tem a capacidade de reagir à esforços horizontais, verticais e de momentos.

Segundo Vieira e Torres (2018), as estruturas podem ser classificadas quanto ao seu grau de liberdade em hipostáticas, isostáticas e hiperestáticas. As estruturas hipostáticas são aquelas cujo somatório de restrições de seus apoios e vínculos não são suficientes para o equilíbrio estático, sendo assim, esse tipo de estrutura não pode ser utilizada em projetos, pois seu equilíbrio é instável.

Segundo Hibbeler (2011), estruturas isostáticas são aquelas no qual o número de reações de apoio ou vínculos é igual ao número de equações fornecidas pelas condições de equilíbrio da estática, ou seja, há vínculos em número estritamente necessário para impedir todos os movimentos possíveis da estrutura.

Quanto às estruturas hiperestáticas, Hibbeler (2011) estabelece que são aquelas em que o número de reações de apoio ou vínculos é superior ao número de equações fornecidas pelas condições de equilíbrio estático, ou seja, há um número superior ao necessário para impedir todos os movimentos possíveis da estrutura.

Ainda, em estruturas hiperestáticas as equações de equilíbrio da estática não são suficientes para o cálculo das reações de apoio sendo necessário métodos mais complexos como por exemplo: método das forças, dos deslocamentos e processo de Cross (VIEIRA, TORRES, 2018).

2.3.1.1 Pré-dimensionamento de vigas

A ABNT NBR 6118 (2014) determina que a seção transversal das vigas deve obedecer ao limite de largura igual a 12 cm, porém em casos excepcionais pode-se reduzir esse valor, desde que obedeça ao mínimo absoluto de 10 cm.

Segundo Nascimento (2014) é usual que por questões estéticas e aproveitamento de espaços, que as larguras das vigas sejam adotadas em função da largura das alvenarias, para assim elas ficarem embutidas nas paredes.

Pinheiro, Muzardo e Santos (2003) definem que a altura das vigas pode ser estimada através de um pré-dimensionamento, o qual considera o vão efetivo da viga. Para vigas contínuas a altura pode ser calculada através da Equação 6, para vigas bi-apoiadas Equação 7 e para vigas em balanço Equação 8.

$$h_{est} = l_{ef}/12 \quad (6)$$

$$h_{est} = l_{ef}/10 \quad (7)$$

$$h_{est} = l_{ef}/5 \quad (8)$$

Onde:

h_{est} = altura estimada para a viga;

l_{ef} = vão efetivo da viga.

O vão efetivo da viga, segundo a ABNT NBR 6118 (2014) pode ser calculado por meio da Equação 9.

$$l_{ef} = l_0 + a_1 + a_2 \quad (9)$$

Onde:

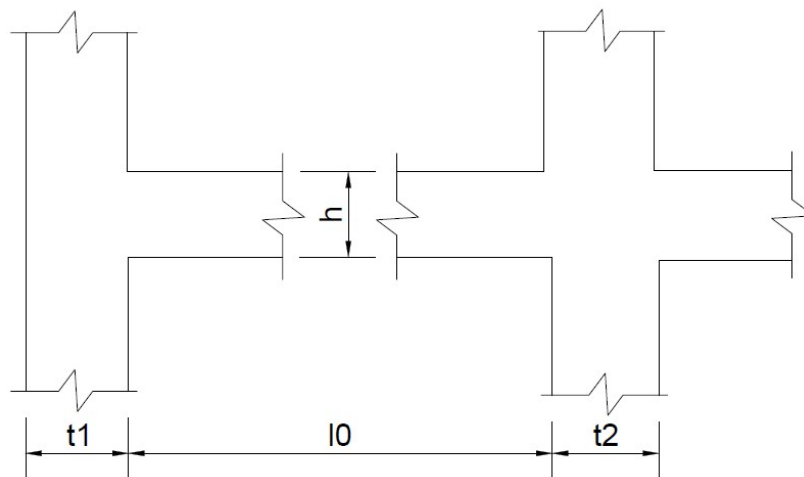
l_{ef} = vão efetivo da viga;

l_0 = vão entre pilares;

a_1 = ao menor valor entre ($t_1/2$ e $0,3xh$) conforme Figura 9;

a_2 = ao menor valores entre ($t_2/2$ e $0,3xh$) conforme Figura 9.

Figura 9 - Vão efetivo



Fonte: Adaptado de ABNT NBR 6118:2014 (2022).

2.3.2 Dimensionamento à Flexão

O dimensionamento à flexão de um elemento de concreto armado é realizado no Estado Limite Último, o qual corresponde à ruína por ruptura, por deformação plástica excessiva do aço ou por instabilidade. As hipóteses básicas para esse dimensionamento são prescritas pela ABNT NBR 6118 (2014) conforme a seguir:

- a) as seções transversais se mantêm planas após a deformação;
- b) a deformação das barras passivas aderentes ou o acréscimo de deformação das barras ativas aderentes em tração ou compressão deve ser o mesmo do concreto em seu entorno;
- c) as tensões de tração no concreto, normais à seção transversal, devem ser desprezadas no ELU;
- d) a distribuição de tensões no concreto é feita de acordo com o diagrama parábola-retângulo, com tensão de pico igual a $0,85 f_{cd}$. O diagrama pode ser substituído pelo retângulo de profundidade $y = \lambda x$, onde o valor do parâmetro λ pode ser tomado igual a: $\lambda = 0,8$, para $f_{ck} \leq 50$ MPa ou $\lambda = 0,8 - (f_{ck} - 50)/400$, para $f_{ck} > 50$ MPa.

Onde a tensão constante atuante até a profundidade y pode ser tomada igual a: $\alpha_c f_{cd}$, no caso da largura da seção, medida paralelamente à linha neutra, não diminuir a partir desta para a borda comprimida ou $0,9 \alpha_c f_{cd}$, no caso contrário.

Sendo:

$\alpha_c = 0,85$, para concretos de classes até C50;

$\alpha_c = 0,85 * [1,0 - (f_{ck} - 50)/200]$ para concretos de classes de C50 até C90.

- e) a tensão nas armaduras deve ser obtida a partir dos diagramas tensão-deformação;
- f) o estado-limite último é caracterizado quando a distribuição das deformações na seção transversal pertencer a um dos domínios definidos na Figura 10, onde ϵ_{c2} e ϵ_{cu} são definidos conforme a seguir:

Para concretos de classes até C50:

$$\epsilon_{c2} = 2,0 \text{ ‰};$$

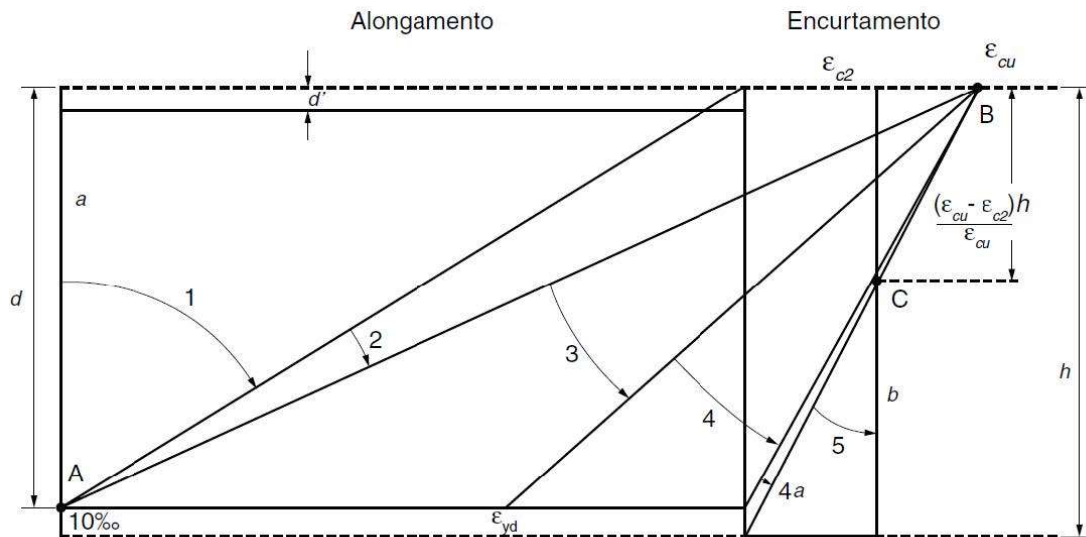
$$\epsilon_{cu} = 3,5 \text{ ‰}.$$

Já para concretos de classes C55 até C90:

$$\epsilon_{c2} = 2,0 \text{ ‰} + 0,085 \text{ ‰} * (f_{ck} - 50)^{0,53};$$

$$\epsilon_{cu} = 2,6 \text{‰} + 35 \text{‰} * [(90 - f_{ck}) / 100]^4.$$

Figura 10 - Domínios de estado-limite último de uma seção transversal



Fonte: Adaptado de ABNT NBR 6118:2014 (2022).

Onde:

Ruptura convencional por deformação plástica excessiva:

Reta A: tração uniforme;

Domínio 1: tração não uniforme, sem compressão;

Domínio 2: flexão simples ou composta sem ruptura à compressão do concreto ($\epsilon_c < \epsilon_{cu}$ e com o máximo alongamento permitido);

Ruptura convencional por encurtamento-limite do concreto:

Domínio 3: flexão simples (seção subarmada) ou composta com ruptura à compressão do concreto e com escoamento do aço ($\epsilon_s \geq \epsilon_{yd}$);

Domínio 4: flexão simples (seção superarmada) ou composta com ruptura à compressão do concreto e aço tracionado sem escoamento ($\epsilon_s < \epsilon_{yd}$);

Domínio 4a: flexão composta com armaduras comprimidas;

Domínio 5: compressão não uniforme, sem tração;

Reta b: compressão uniforme.

2.3.2.1 Seção retangular com armadura simples

Para o dimensionamento à flexão de vigas com seção retangular é necessário, segundo Araújo (2010) que seja calculado o momento fletor limite conforme Equação 10.

$$M_{d,lim} = 0,25 b d^2 f_{cd} \quad (10)$$

Onde:

b = largura da seção;

d = altura útil (distância do centroide da armadura até a borda comprimida);

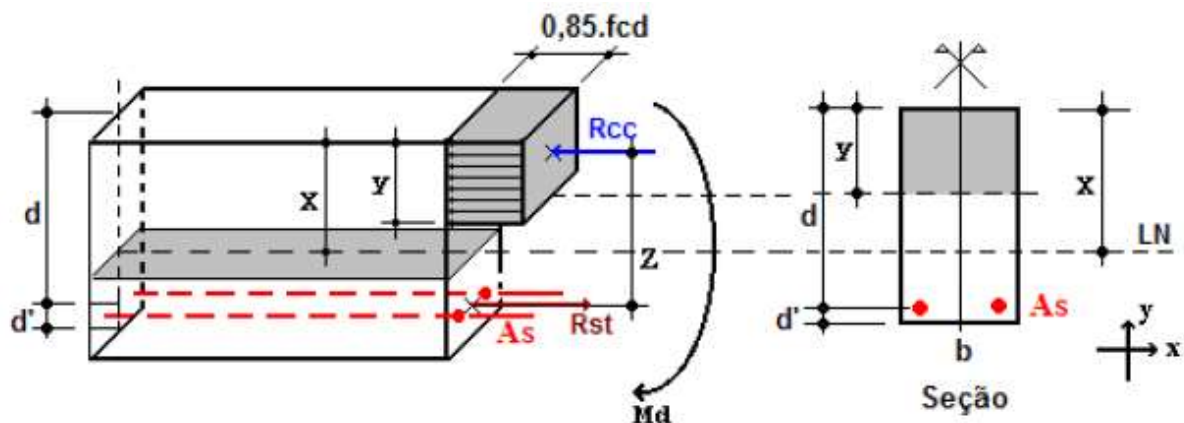
f_{cd} = resistência de cálculo do concreto.

Araújo (2010) estabelece ainda que, para que haja armadura simples na seção da viga é preciso que a seguinte relação seja atendida: $M_d < M_{d,lim}$, sendo que M_d trata-se do momento fletor solicitante de cálculo e $M_{d,lim}$ é o momento fletor limite calculado conforme Equação 10.

A armadura simples que é calculada refere-se a armadura de tração, localizada na parte inferior da seção da viga, sendo que na região comprimida, cabe ao concreto equilibrar as resultantes de compressão (R_{cc}).

Conforme Camacho (2015) tendo uma seção de viga com armadura simples, na qual atua um momento fletor de cálculo (M_d), pode-se representar esta conforme a Figura 11.

Figura 11 - Seção retangular com armadura simples



Fonte: CAMACHO (2015).

Camacho (2015) define ainda que pelo fato de se ter adotado o diagrama retangular de tensões para o concreto foi possível definir a Equação 11 e 12 de equilíbrio estático:

$$0,85 f_{cd} b y - A_s f_{yd} = 0 \quad (11)$$

$$0,85 f_{cd} b y \left(d - \frac{y}{2} \right) = M_d \quad (12)$$

A partir das Equações 11 e 12, resultou-se então na Equação 13, referente ao cálculo do valor de y , e na Equação 14, referente à área de aço necessária na seção da viga. Estas equações são válidas para os domínios de deformação 2 e 3, pois adotou-se $\sigma_s = f_{yd}$ e $\sigma_{cd} = 0,85 f_{cd}$.

$$y = d \left(1 - \sqrt{1 - \frac{M_d}{0,425 b d^2 f_{cd}}} \right) \quad (13)$$

$$A_s = \frac{0,85 f_{cd} b y}{f_{yd}} \quad (14)$$

Onde:

y = altura das resultantes de compressão do concreto;

d = altura útil (distância do centroide da armadura até a borda comprimida);

M_d = momento fletor solicitante de cálculo;

b = largura da seção;

f_{cd} = resistência de cálculo do concreto;

f_{yd} = resistência do aço.

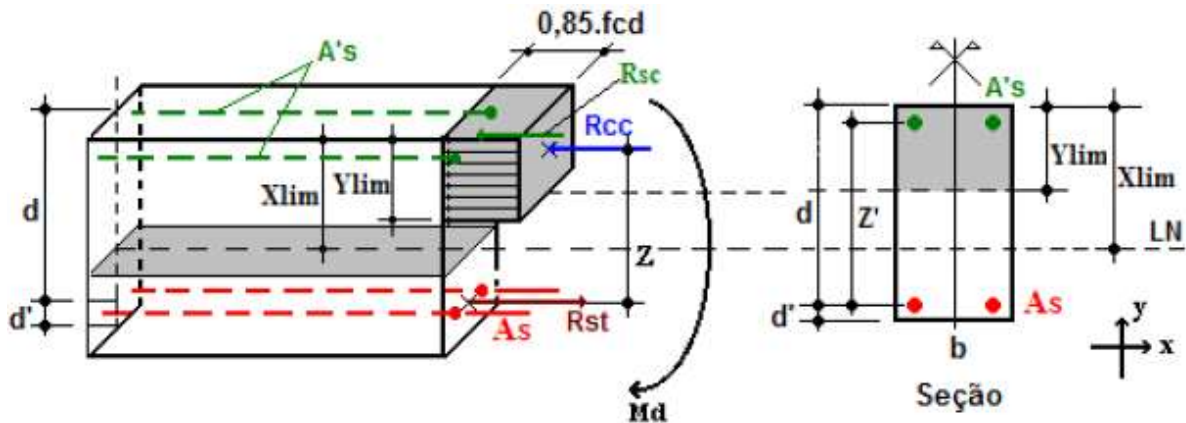
2.3.2.2 Seção retangular com armadura dupla

Araújo (2010) define que, para que uma seção de viga demande de armadura dupla, é necessário que a seguinte relação seja atendida: $M_d > M_{d,lim}$, sendo que M_d trata-se do momento fletor solicitante de cálculo e $M_{d,lim}$ é o momento fletor limite já descrito na Equação 10.

Além da armadura na região tracionado, é utilizado uma área de aço na região comprimida, desta forma, a seção da viga ficará com área de aço (A_s e A'_s) em ambas as extremidades da seção (CAMACHO, 2015).

Ainda, segundo Camacho (2015), isolando uma seção de uma viga com armadura dupla e escrevendo os esforços atuantes resulta-se na seção retangular apresentada na Figura 12.

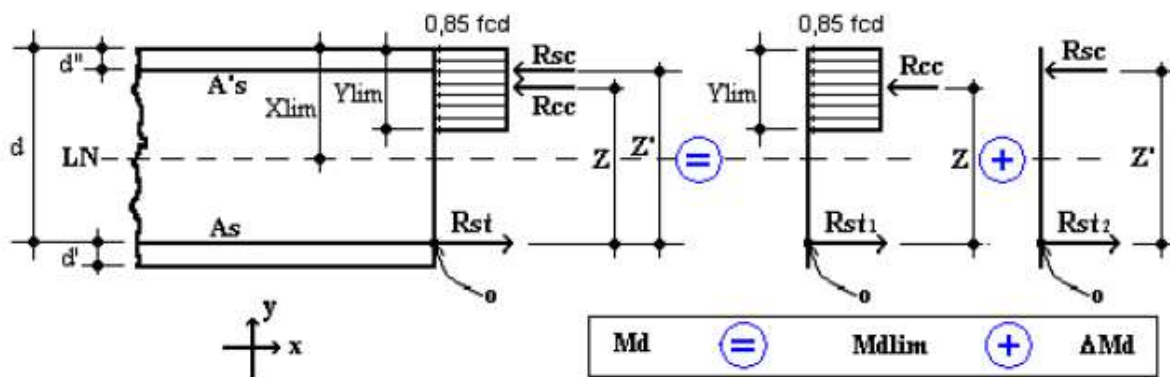
Figura 12 - Seção retangular com armadura dupla



Fonte: CAMACHO (2015).

Utilizando o princípio da superposição dos efeitos, é possível reescrever os esforços atuantes conforme na Figura 13.

Figura 13 - Esquema resistente para viga com armadura dupla



Fonte: CAMACHO (2015).

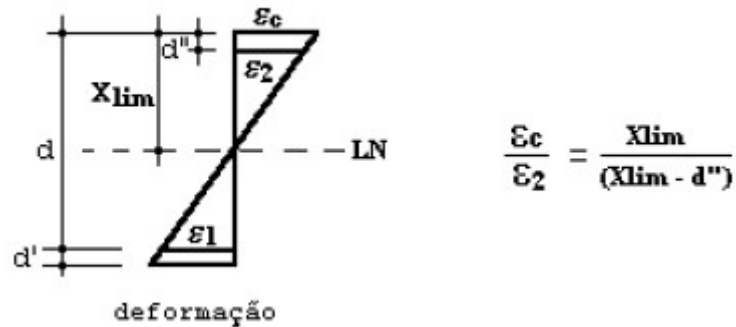
A partir do esquema da Figura 13 é possível resultar nas Equações 15 e 16 de equilíbrio estático:

$$0,85 f_{cd} b y_{lim} + A'_s \sigma_2 - A_s f_{yd} = 0 \quad (15)$$

$$0,85 f_{cd} b y_{lim} \left(d - \frac{y_{lim}}{2} \right) + A'_s \sigma_2 (d - d'') = M_d \quad (16)$$

Pelo fato de se ter mais incógnitas do que equações linearmente independentes, busca-se uma nova equação que pode ser obtida através das relações de compatibilidade de deformações conforme Figura 14.

Figura 14 - Compatibilidade de deformações na seção da viga



Fonte: CAMACHO (2015).

Resultando assim no valor da deformação específica na armadura comprimida ε_2 conforme Equação 17.

$$\varepsilon_2 = 0,0035 \frac{\gamma_{lim} - 0,8 d''}{\gamma_{lim}} \quad (17)$$

Enfim, para determinar as áreas de aço necessárias na seção da viga pode-se utilizar as Equações 18 e 19.

$$A_s' = \frac{M_d - M_{d,lim}}{f_{yd}(d - d'')} \quad (18)$$

$$A_s = \frac{0,85 f_{cd} b \gamma_{lim}}{f_{yd}} + \frac{M_d - M_{d,lim}}{f_{yd}(d - d'')} \quad (19)$$

Onde:

A_s' = área de aço na região comprimida;

A_s = área de aço na região tracionada;

d = altura útil (distância do centroide da armadura até a borda comprimida);

d'' = distância do centroide da armadura até a borda mais tracionada.

M_d = momento fletor solicitante de cálculo;

$M_{d,lim}$ = momento fletor limite;

f_{cd} = resistência de cálculo do concreto;

f_{yd} = resistência do aço.

2.3.3 Dimensionamento ao Cisalhamento

No dimensionamento das vigas, após realizado o cálculo das armaduras longitudinais para os momentos fletores, é realizado o cálculo da armadura transversal para resistência às forças cortantes.

Para que um elemento estrutural comporte-se de maneira satisfatória deve-se realizar as seguintes verificações quanto a resistência:

$$V_{sd} \leq V_{rd2}$$

$$V_{sd} \leq V_{rd}$$

Onde:

V_{sd} = força cortante solicitante de cálculo;

V_{rd2} = força cortante resistente de cálculo, relativa à ruína das diagonais comprimidas de concreto;

V_{rd3} = força cortante resistente de cálculo, relativa à ruína por tração diagonal;

A ABNT NBR 6118 (2014) admite dois modelos para o cálculo das armaduras transversais denominados Modelo de Cálculo I (treliça clássica de Ritter- Morsch) e Modelo de Cálculo II (treliça generalizada).

2.3.3.1 Modelo de Cálculo I prescrito pela ABNT NBR 6118 (2014)

O modelo de cálculo I é baseado na teoria de Ritter-Morsch que define que a inclinação das diagonais de compressão da treliça devem ser tomadas com ângulo igual a 45° em relação ao eixo longitudinal do elemento estrutural e a inclinação da armadura referente ao esforço cisalhante deve ficar entre os limites de 45° e 90 °.

Neste modelo faz-se a verificação da compressão diagonal do concreto conforme Equação 20.

$$V_{rd2} = 0,27 \alpha_{v2} f_{cd} b_w d \quad (20)$$

Onde:

α_{v2} = $(1 - f_{ck}/250)$ [MPa];

f_{cd} = resistência de cálculo à compressão do concreto;

b_w = é a menor largura da seção, compreendida ao longo da altura útil d ;

d =é a altura útil da seção, igual à distância da borda comprimida ao centro de gravidade da armadura de tração.

Para o cálculo da armadura transversal utiliza-se a Equação 21, a qual considera a soma da parcela de força cortante resistida por mecanismos complementares ao modelo em treliça (V_c) com a parcela de força cortante resistida pela armadura transversal (V_{sw}).

$$V_{rd} = V_c + V_{sw} \quad (21)$$

Onde:

$$V_{sw} = (A_{sw}/s) 0,9 d f_{ywd} (\sin \alpha + \cos \alpha);$$

$V_c = 0$, em elementos estruturais tracionados quando a linha neutra se situa fora da seção;

$V_c = V_{c0}$ na flexão simples e na flexo-tração com a linha neutra cortando a seção;

$V_c = V_{c0} (1 + M_0/M_{sd,max}) \leq 2 V_{c0}$ na flexo-compressão;

Onde:

$$V_{c0} = 0,6 f_{ctd} b_w d$$

$$f_{ctd} = f_{ctk,inf}/\gamma_c$$

2.3.3.2 Modelo de Cálculo II prescrito pela ABNT NBR 6118 (2014)

O modelo de cálculo II é baseado na analogia da treliça generalizada, a qual mantém a limitação da inclinação da armadura de cisalhamento entre os limites de 45° e 90° permitindo diagonais comprimidas com inclinação variável entre 30° e 45°.

Neste modelo faz-se a verificação da compressão diagonal do concreto conforme Equação 22.

$$V_{rd2} = 0,54 \alpha_{v2} f_{cd} b_w d \sin^2 \theta (\cot \alpha + \cot \theta) \quad (22)$$

Onde:

$$\alpha_{v2} = (1 - f_{ck}/250) \text{ [MPa];}$$

f_{cd} = resistência de cálculo à compressão do concreto;

b_w = é a menor largura da seção, compreendida ao longo da altura útil d ;

d = é a altura útil da seção, igual à distância da borda comprimida ao centro de gravidade da armadura de tração.

Para o cálculo da armadura transversal, utiliza-se a Equação 21, descrita para o modelo I, porém a formulação V_{sw} é determinada pela Equação 23.

$$V_{sw} = \left(\frac{A_{sw}}{s} \right) 0,9 d f_{ywd} (\cot \alpha + \cot \theta) \sin \alpha \quad (23)$$

Onde:

$V_c = 0$, em elementos estruturais tracionados quando a linha neutra se situa fora da seção;

$V_c = V_{c1}$ na flexão simples e na flexo-tração com a linha neutra cortando a seção;

$$V_c = V_{c1} (1 + M_0/M_{sd,max}) \leq 2 V_{c1} \text{ na flexo- compress\~{a}o;}$$

Onde:

$$V_{c1} = V_{c0} \text{ quando } V_{sd} \leq V_{c0}$$

$V_{c1} = 0$ quando $V_{sd} = V_{rd2}$, interpolando-se linearmente para valores intermediários.

2.4 DETALHAMENTO DE VIGAS

Tendo calculadas as áreas de aço necessárias nas vigas para resistir aos esforços de flexão e cisalhamento, parte-se para o detalhamento destes elementos. Etapa esta, que requer total atenção, pois este será o instrumento de comunicação entre o projetista e o executor da estrutura, devendo desta forma se ter um detalhamento totalmente claro de modo que facilite a leitura e evite erros na hora da execução.

2.4.1 Armadura Longitudinal

A armadura longitudinal é dimensionada de modo que resista aos esforços dos momentos fletores. Ela é disposta paralelamente à superfície das vigas, segundo o seu eixo longitudinal e conforme a ABNT NBR 6118 (2014) os valores para os espaçamentos mínimos entre as faces das barras devem ser igual ou superior ao maior dos seguintes valores:

- a) na direção horizontal (a_h): 20 mm; diâmetro da barra, do feixe ou da luva; 1,2 vez a dimensão máxima característica do agregado graúdo;
- b) na direção vertical (a_v): 20 mm; diâmetro da barra, do feixe ou da luva; 0,5 vez a dimensão máxima característica do agregado graúdo.

A ABNT NBR 6118 (2014), define ainda que os esforços de tração junto aos apoios de vigas simples ou contínuas devem ser resistidos por armaduras longitudinais que atendam a mais severa das seguintes condições:

- a) no caso de ocorrência de momentos positivos, as armaduras obtidas através do dimensionamento da seção;
- b) em apoios extremos, para garantir a ancoragem da diagonal de compressão, armaduras capazes de resistir a uma força de tração $F_{sd} = (a/d) V_d + N_d$, onde V_d é a força cortante no apoio e N_d é a força de tração eventualmente existente;

- c) em apoios extremos e intermediários, por prolongamento de uma parte da armadura de tração do vão ($A_{s,v\tilde{a}o}$), correspondente ao máximo momento positivo do tramo ($M_{v\tilde{a}o}$), de modo que:

$$A_{s,apoio} \geq 1/3 (A_{s,v\tilde{a}o}), \text{ se } M_{apoio} \text{ for nulo ou negativo e de valor absoluto } |M_{apoio}| \leq 0,5 M_{v\tilde{a}o};$$

$$A_{s,apoio} \geq 1/4 (A_{s,v\tilde{a}o}), \text{ se } M_{apoio} \text{ for negativo e de valor absoluto } |M_{apoio}| > 0,5 M_{v\tilde{a}o}.$$

Segundo a ABNT NBR 6118 (2014) ainda, em apoios extremos, as barras longitudinais dimensionadas devem ser ancoradas a partir da face do apoio, com comprimentos iguais ou superiores ao maior dos valores, sendo eles: comprimento de ancoragem necessário (calculado conforme Equação 24); a ($r + 5,5 \varphi$), onde r é o raio de curvatura dos ganchos e a 60 mm.

$$l_{b,nec} = \alpha_{lb} \frac{A_{s,calc}}{A_{s,ef}} \geq l_{b,min} \quad (24)$$

Onde:

$\alpha = 1,0$ para barras sem gancho;

$\alpha = 0,7$ para barras tracionadas com gancho, com cobrimento no plano normal ao do gancho $\geq 3 \varphi$;

$\alpha = 0,7$ quando houver barras transversais soldadas;

$\alpha = 0,5$ quando houver barras transversais soldadas e gancho com cobrimento normal no plano normal ao do gancho $\geq 3 \varphi$;

l_b = comprimento de ancoragem básico, calculado conforme Equação 25;

$l_{b,min}$ = maior valor entre $0,3 l_b$, 10φ e 100 mm.

$$l_b = \frac{\varphi}{4} \frac{f_{yd}}{f_{bd}} \geq 25\varphi \quad (25)$$

E em casos de apoios intermediários, o comprimento de ancoragem pode ser igual a 10φ , desde que não haja qualquer possibilidade de ocorrência de momentos positivos na região dos apoios, quando houver, as barras devem ser contínuas ou emendadas sobre o apoio.

2.4.2 Armadura Transversal

A armadura transversal, destinada a resistir os esforços de tração provocados por forças cortantes podem ser constituídas por estribos, combinados ou não com barras dobradas ou telas soldadas (ABNT NBR 6118, 2014).

Segundo a ABNT NBR 6118 (2014) os estribos devem ser fechados através de um ramo horizontal, envolvendo as barras longitudinais e ancorados na face oposta. O diâmetro deve ser maior ou igual a 5 mm, sem exceder 1/10 da largura da alma da viga. Quando a barra for lisa, o diâmetro não pode ser superior a 12 mm.

Ainda segundo as prescrições normativas da ABNT NBR 6118 (2014) o espaçamento mínimo entre os estribos deve ser suficiente para permitir a passagem do vibrador, a fim de garantir um bom adensamento da massa. O espaçamento máximo deve atender as seguintes condições: se $V_d \leq 0,67 V_{rd2}$, então $S_{m\acute{a}x} = 0,6 d \leq 300$ mm; já se $V_d > 0,67 V_{rd2}$, então $S_{m\acute{a}x} = 0,3 d \leq 200$ mm.

Além disso, o espaçamento transversal entre os ramos não pode exceder os seguintes valores: se $V_d \leq 0,20 V_{rd2}$, então $S_{t,m\acute{a}x} = d \leq 800$ mm; já se $V_d > 0,20 V_{rd2}$, então $S_{t,m\acute{a}x} = 0,6 d \leq 350$ mm.

2.4.3 Armadura de Pele

A armadura de pele são barras longitudinais que são posicionadas no interior da viga com a função de controlar a fissuração. De acordo com ABNT NBR 6118 (2014) a mínima armadura lateral deve ser 0,10 % $A_{c,alma}$ em cada face da alma da viga e composta por barras de CA-50 ou CA-60, espaçadas não mais que 20 cm e ancoradas de maneira adequada nos apoios, não sendo necessário uma armadura superior a 5 cm²/m por face. Em vigas com altura igual ou inferior a 60 cm, pode ser dispensada a utilização dessa armadura.

2.4.4 Armadura Mínima

Segundo a ABNT NBR 6118 (2014) a armadura mínima de tração, deve ser determinada pelo dimensionamento da seção a um momento fletor mínimo conforme a Equação 26.

$$M_{d,min} = 0,8 W_0 f_{ctk,sup} \quad (26)$$

Onde:

W_0 = módulo da resistência da seção transversal bruta de concreto, relativo à fibra mais tracionada;

$f_{ctk,sup}$ = resistência característica superior do concreto à tração.

Por outro lado, pode-se considerar atendida a armadura mínima se forem respeitadas as taxas mínimas de armadura conforme a Tabela 4.

Tabela 4 - Taxas mínimas de armadura de flexão para vigas

Forma da seção	Valores de $\rho_{min}^a (A_{s, min}/A_c) \%$							
	20	25	30	35	40	45	50	55
Retangular	0,150	0,150	0,150	0,164	0,179	0,194	0,208	0,211
Retangular	60	65	70	75	80	85	90	
	0,219	0,226	0,233	0,239	0,245	0,251	0,256	

^a Os valores de ρ_{min} estabelecidos nesta Tabela pressupõem o uso de Aço CA-50, $d/h=0,8$ e $Y_c=1,4$ e $Y_s=1,15$. Caso esses fatores sejam diferentes ρ_{min} deve ser recalculado.

Fonte: Adaptado da ABNT NBR 6118:2014 (2022).

Em elementos lineares submetidos à força cortante, deve conter armadura transversal mínima com taxa geométrica conforme a Equação 27.

$$\rho_{sw} = \frac{A_{sw}}{b_w s \sin \alpha} \geq 0,2 \frac{f_{ct,m}}{f_{ywk}} \quad (27)$$

Onde:

A_{sw} = área da seção transversal dos estribos;

s = espaçamento dos estribos, medido segundo o eixo longitudinal do elemento estrutural;

α = inclinação dos estribos em relação ao eixo longitudinal do elemento estrutural;

b_w = largura média da alma, medida ao longo da altura útil da seção;

f_{ywk} = resistência característica ao escoamento do aço da armadura transversal;

$f_{ct,m}$ = resistência média à tração do concreto.

2.4.5 Armadura de Montagem

Segundo Araújo (2014), quando não houver armaduras necessárias ao equilíbrio da peça, deve-se acrescentar barras longitudinais adicionais nas arestas

dos estribos, a fim de permitir a amarração deles. O diâmetro destas barras deve ser maior ou igual ao diâmetro do estribo.

2.4.6 Comprimento de Ancoragem/Ganchos

A ancoragem dos estribos deve ser garantida por meio de ganchos ou barras longitudinais soldadas (ABNT NBR 6118, 2014). Os ganchos podem ser semicirculares ou em ângulo de 45° (interno), com ponta reta de comprimento igual a $5 \phi_t$, porém não inferior a 5 cm ou em ângulo reto, com ponta reta de comprimento maior ou igual a $10 \phi_t$, porém não inferior a 7 cm.

O diâmetro interno da curvatura dos estribos deve ser no mínimo igual ao valor dado pela Tabela 5.

Tabela 5 - Diâmetro dos pinos de dobramento para estribos

Bitola (mm)	Tipo de Aço		
	CA-25	CA-50	CA-60
≤ 10	3 ϕ_t	3 ϕ_t	3 ϕ_t
$10 < \phi < 20$	4 ϕ_t	5 ϕ_t	-
≥ 20	5 ϕ_t	8 ϕ_t	-

Fonte: Adaptado da ABNT NBR 6118:2014 (2022).

3 METODOLOGIA DE PESQUISA

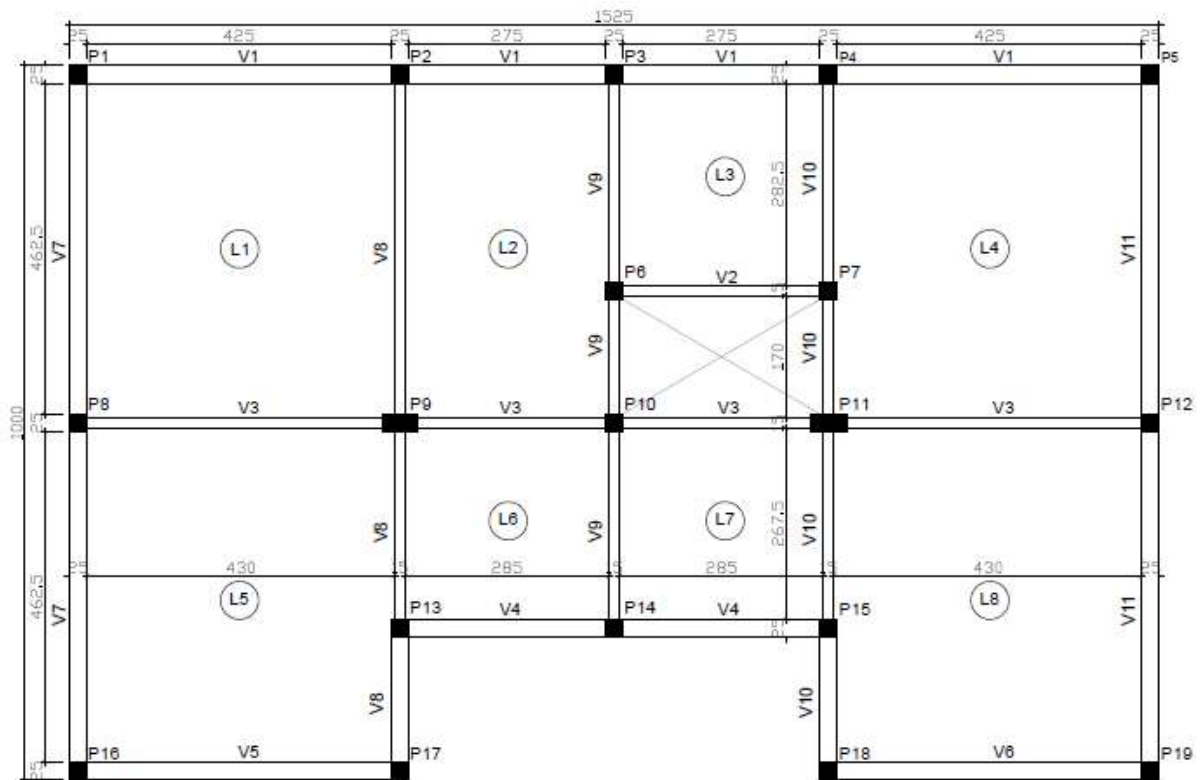
Neste capítulo são apresentados os métodos e especificações técnicas utilizadas para a concretização do presente estudo. Para isso, são dimensionadas um conjunto de vigas com seção retangular, as quais são avaliadas por meio de dois modelos de análise estrutural, linear elástico e linear com redistribuição que seguem os métodos de dimensionamento já apresentados neste trabalho no item 2.3 Dimensionamento de Vigas.

3.1 OBJETO DE ESTUDO

Para o desenvolvimento deste estudo, foi considerado um edifício exemplo de concreto armado localizado em área urbana e com pequeno risco de deterioração da estrutura. O edifício é composto por 04 pavimentos de uso exclusivamente comercial, sendo composto por 1 pavimento térreo, 3 pavimentos tipos, 1 pavimento cobertura e 1 pavimento cobertura de área técnica.

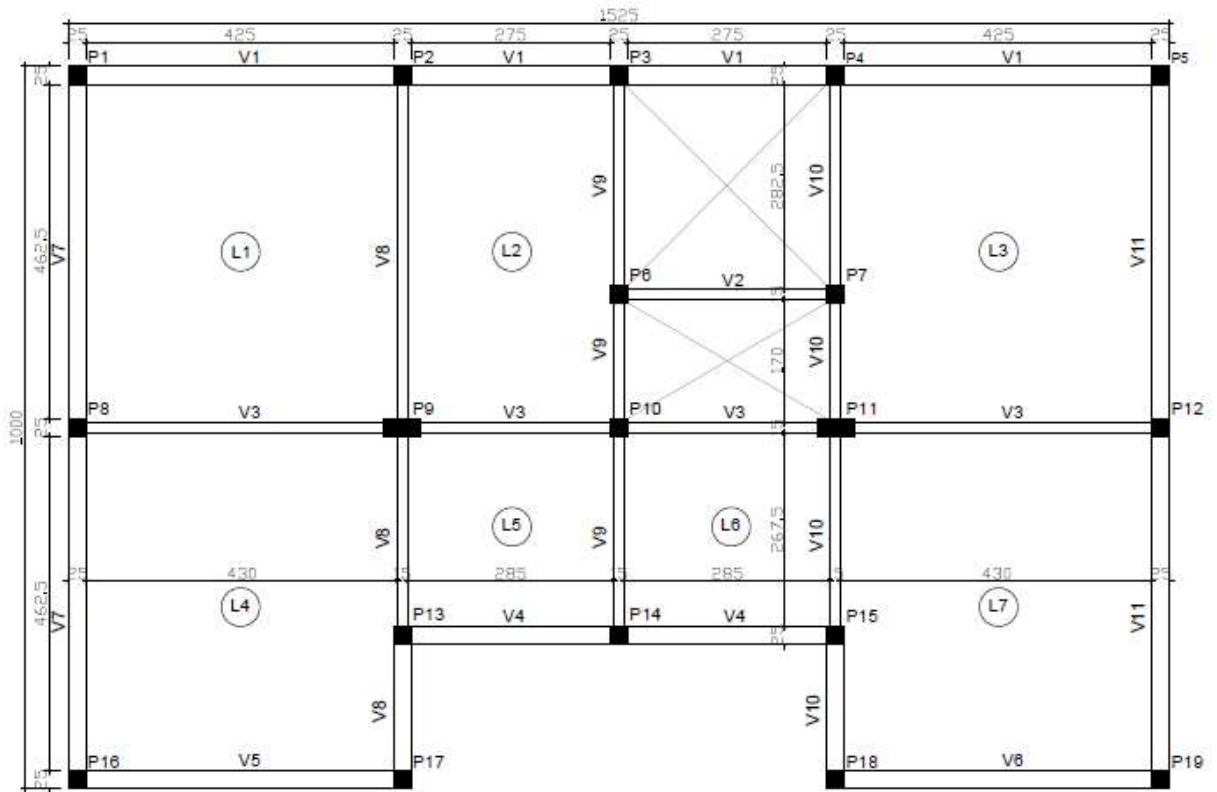
Nas Figuras 15, 16, 17 e 18 estão apresentados um croqui do Pavimento térreo, tipo (3x), cobertura e área técnica respectivamente, onde podem ser visualizados o posicionamento de cada pilar, laje e viga a partir da sua numeração.

Figura 15 – Croqui Pav. Térreo



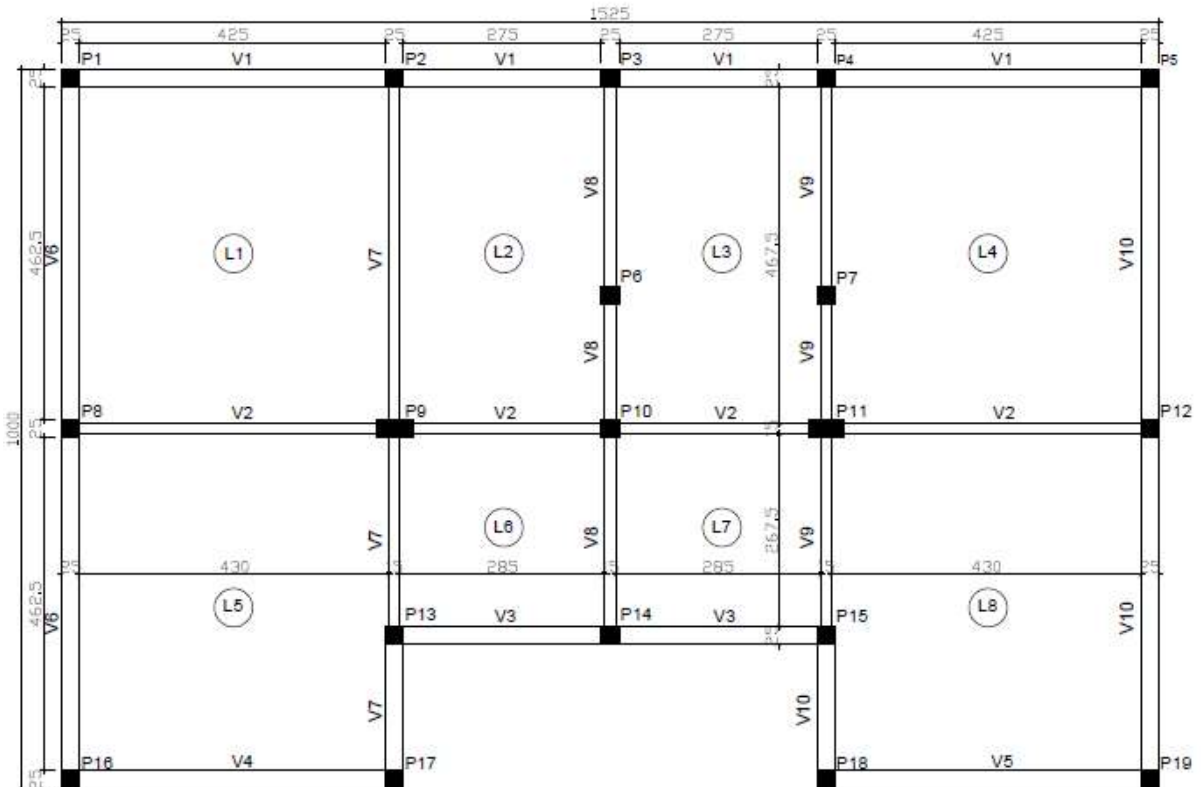
Fonte: a autora (2023).

Figura 16 - Croqui Pav. Tipo (3x)



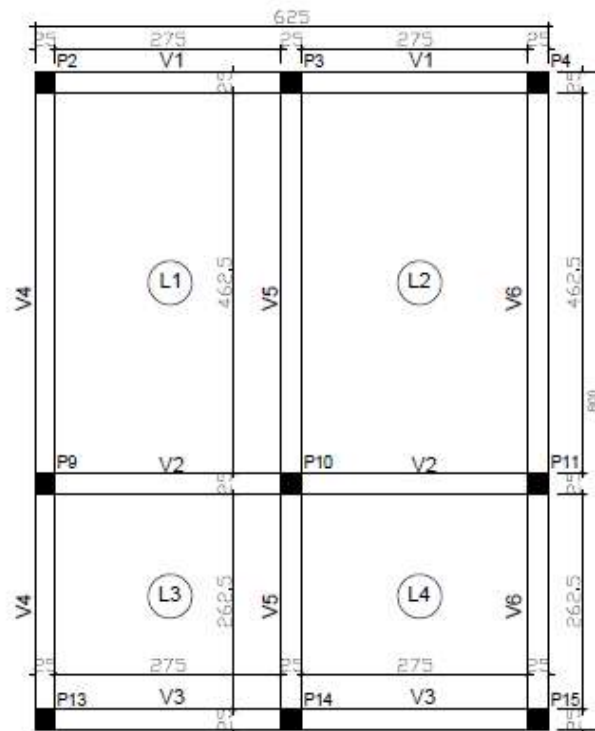
Fonte: a autora (2023).

Figura 17 - Croqui Pav. Cobertura



Fonte: a autora (2023).

Figura 18 - Croqui Pav. Área Técnica

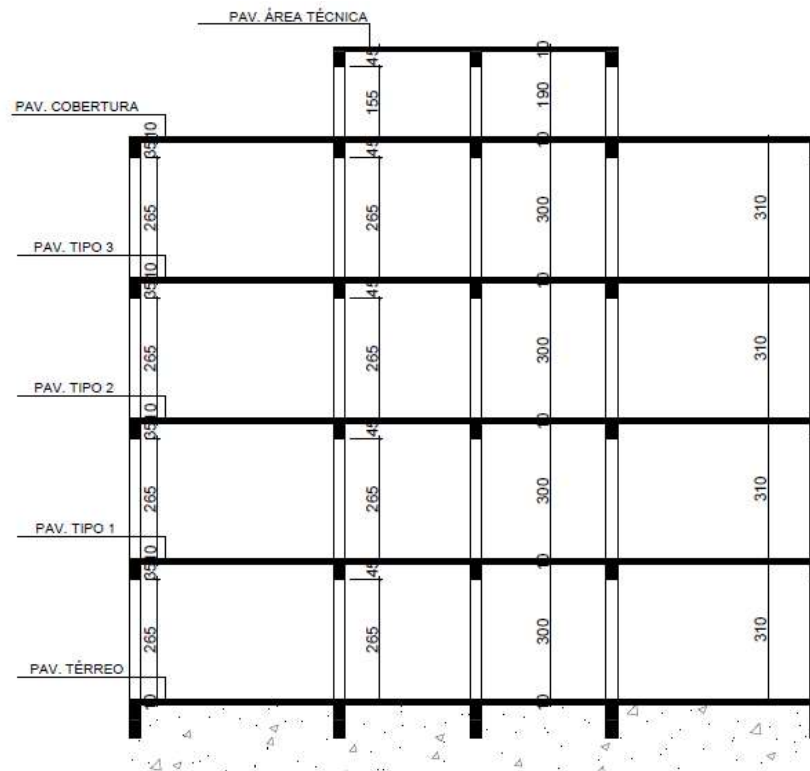


Fonte: a autora (2023).

As dimensões dos elementos estruturais do Pavimento Térreo, Tipo (3x), Cobertura e Cobertura da Área Técnica podem ser visualizadas a partir da planta de formas apresentada no Apêndice A.

Na Figura 19 está apresentado um croqui, onde pode-se visualizar como é a estrutura do edifício em corte.

Figura 19 - Croqui do corte do edifício

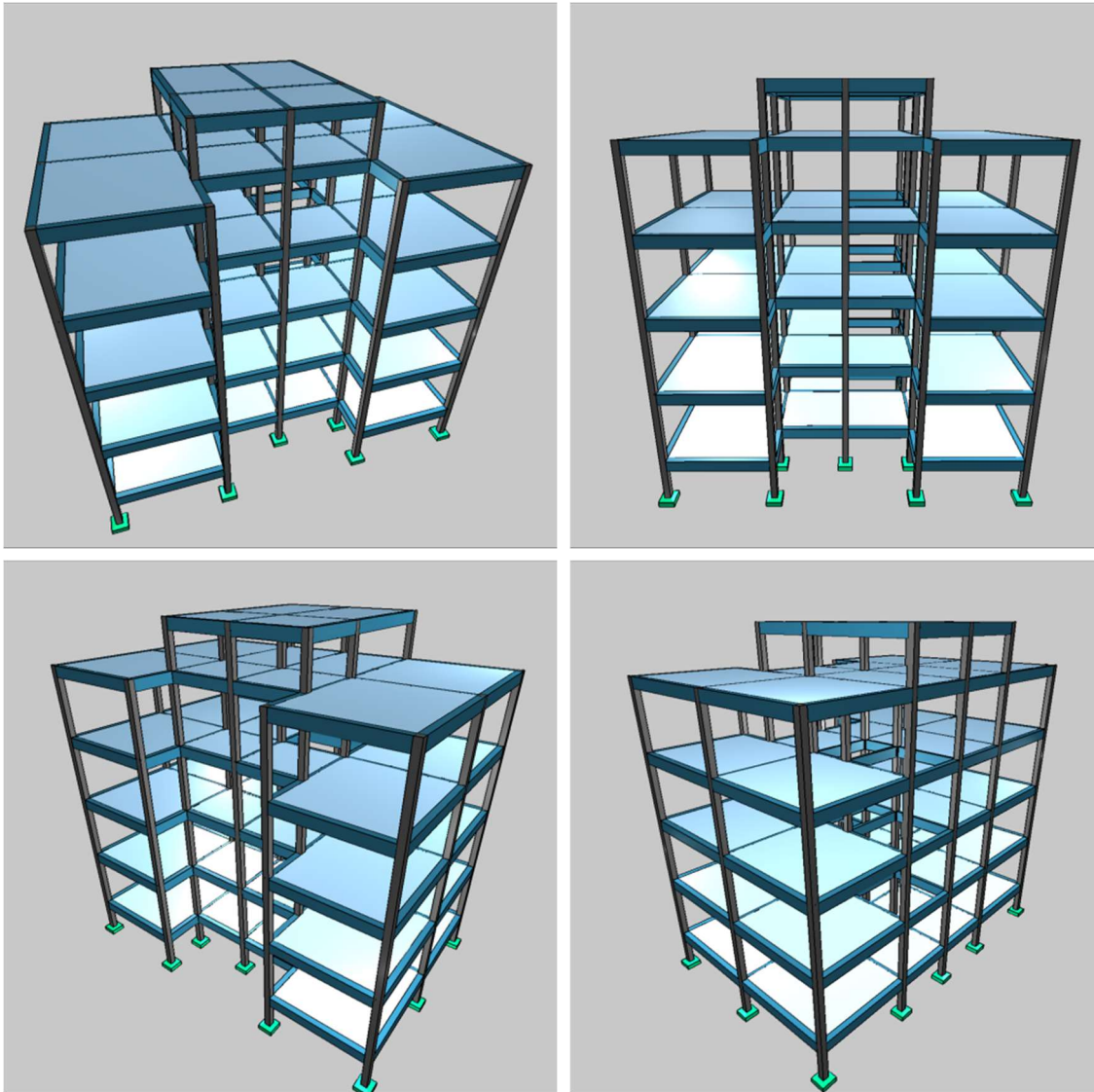


Fonte: a autora (2023).

A altura dos elementos estruturais, bem como, o pé direito das paredes e altura total do edifício estão apresentadas no Apêndice A.

O 3D da estrutura pode ser visualizado a partir da Figura 20, a qual apresenta vistas frontais do edifício e uma vista posterior.

Figura 20 - 3D da estrutura



Fonte: a autora (2023).

3.2 CARREGAMENTOS

Os carregamentos atuantes no pórtico da estrutura em questão podem ser divididos em carregamento vertical e horizontal. O carregamento vertical é proveniente do peso próprio e outras cargas que atuam diretamente na viga, como o peso de paredes e reações das lajes. Já as cargas horizontais, são provenientes de forças das ações do vento e desaprumo do pórtico.

3.2.1 Carregamento Vertical

O carregamento vertical das vigas será calculado com base nos pesos específicos determinados pela ABNT NBR 6120 (2019) as quais sobre elas tem apoiadas, paredes de alvenaria apoiadas com 25 cm de espessura (externas), 15 cm de espessura (internas) e um pé direito de 310 cm. Considerou-se a altura do pé direito para o cálculo das cargas de paredes, não descontando-se a altura das vigas a fim de simplificar o processo de lançamento de cargas no *software*.

As paredes são compostas de blocos cerâmicos maciços com um peso específico aparente de $18,0 \text{ kN/m}^3$. Desta forma, o peso da alvenaria distribuído sobre as vigas tem o valor de $13,95 \text{ kN/m}$ em paredes com 25 cm de espessura e $8,37 \text{ kN/m}$ em paredes com 15 cm de espessura.

Para o cálculo do carregamento referente ao peso próprio das vigas, considerou-se um peso específico aparente do concreto armado de 25 kN/m^3 .

A carga proveniente das reações das lajes foram obtidas a partir de lajes de 10 cm de espessura, as quais foram consideradas a continuidade delas quando possível. Para as cargas acidentais, considerou-se o valor de $2,5 \text{ kN/m}^2$ referente à edifícios de uso comercial, sendo que para as lajes da área técnica foi considerado uma carga de $3,0 \text{ kN/m}^2$ e para as lajes da cobertura (com acesso a manutenção) uma carga de $1,0 \text{ kN/m}^2$.

3.2.2 Carregamento Horizontal

Para o cálculo do carregamento horizontal no pórtico da estrutura referente as forças do vento, o *software* considera as especificações técnicas da ABNT NBR 6123 (1988). Para isso, é necessário que sejam configurados alguns parâmetros de entrada.

A velocidade do vento é escolhida por meio da isopleta da velocidade básica v_0 (m/s) presente na ABNT NBR 6123 (1988), logo, com base na localização da edificação (região norte do Rio Grande do Sul), determinou-se o valor de $v_0 = 42 \text{ m/s}$. Considerou-se o tipo de análise do vento como estático.

O fator S_1 , referente à topografia da edificação, por se tratar de um terreno plano, considerou-se o valor de $S_1 = 1,0$. O fator S_2 , que é referente à rugosidade do terreno e dimensões da edificação, será utilizado uma Categoria II (terrenos abertos em nível, com poucos obstáculos isolados) e uma dimensão vertical ou horizontal,

menor que 20 m. Já o fator S3, é um fator estatístico e considera o grau de segurança requerido e a vida útil da edificação, assim, foi considerado o valor de S3= 1,0 já que o edifício é de uso comercial, com alto fator de ocupação.

Desta forma, o *software* determinou as forças horizontais devido ao vento estático no pórtico, conforme Tabela 6.

Tabela 6 - Forças devido ao Vento Estático

Pavimento	Vento X+ X-		Vento Y+ Y-	
	Fachada (cm)	Forças (tf)	Fachada (cm)	Forças (tf)
Pav. Cobertura Área Técnica	775.00	1.10	625.00	0.81
Pav. Cobertura	975.00	2.52	1500.00	3.94
Pav. Tipo 03	975.00	3.21	1500.00	5.95
Pav. Tipo 02	975.00	2.98	1500.00	5.54
Pav. Tipo 01	975.00	2.61	1500.00	4.84
Pav. Térreo	975.00	0.30	1500.00	0.55

Fonte: a autora (2023).

3.3 PARÂMETROS DE PROJETO

Em ambos os modelos de análise estrutural foram utilizados os mesmos parâmetros de projeto, para assim ser possível realizar o estudo comparativo proposto neste trabalho. Assim, foram utilizados os parâmetros a seguir mencionados.

O concreto utilizado foi o C25 (resistência à compressão característica $f_{ck}=25$ MPa). Referente ao aço, utilizou-se o CA-50 (resistência ao escoamento de $f_y=500$ MPa) e o CA-60 (resistência ao escoamento de $f_y= 600$ MPa).

Os coeficientes de ponderação considerados são os especificados na ABNT NBR 6118 (2014) a qual considera que para o concreto seja utilizado um coeficiente de $Y_c=1,4$ e para o aço $Y_s=1,15$. Ambos os coeficientes, consideram combinações de cálculo normal.

Referente ao coeficiente de majoração das ações, utilizou-se o valor de $Y_f=1,4$, o qual considera que os efeitos das ações são desfavoráveis para a estrutura.

Já para os coeficientes de combinação referente às cargas acidentais de edifícios, utilizou-se os valores de $\Psi_0= 0,7$, $\Psi_1= 0,6$ e $\Psi_2= 0,4$ ambos os referentes a locais em que há predominância de pesos de equipamentos que permanecem fixos por longos períodos, ou de elevada concentração de pessoas.

O cobrimento utilizado para as vigas será de 3,0 cm, visto que a edificação localiza-se em área urbana com pequeno risco de deterioração estrutural (CAA II).

O diâmetro máximo do agregado basalto utilizado na dosagem do concreto foi de 19 mm, visto que este valor influirá na distribuição das barras longitudinais da seção das vigas.

O módulo de elasticidade inicial (E_{ci}) considerado foi de 33600 MPa, por se tratar de um concreto composto de agregado basalto (1,2) e possuir uma resistência de $f_{ck}=25$ MPa. Já no módulo de elasticidade secante (E_{cs}) considerou-se o valor de 28896 MPa, o qual levou-se em consideração o valor de $\alpha_i=0,86 \leq 1,0$ e o módulo de elasticidade inicial previamente calculado.

3.4 MODELOS DE ANÁLISE ESTRUTURAL

As análises foram realizadas através do uso do *software* Eberick, o qual se fará o dimensionamento primeiramente pela análise linear elástica e posteriormente será aplicada uma redistribuição dos esforços no nó da viga desejado.

3.4.1 Modelo linear elástico

O conjunto de vigas pertencentes à edificação foram analisadas por meio da análise linear elástica, a qual visa-se obter os esforços para dimensionamento das peças no estado limite último (ELU). Como resultado também, foram obtidos os deslocamentos elásticos fornecendo um parâmetro para a avaliação dos deslocamentos reais da estrutura.

3.4.2 Modelo linear com redistribuição

Após realizada a análise estrutural do modelo linear elástico e os devidos ajustes nos detalhamentos, foi inserida uma redistribuição de 25% no nó das vigas desejado, desta forma um coeficiente de $\delta=0,75$, visto que a estrutura deste estudo é classificada como de nós fixos. Neste caso, a profundidade da linha neutra foi limitada por $x/d \leq (\delta - 0,44) / 1,25$ pelo fato da resistência do concreto projetado neste estudo ser menor que 50 MPa ($f_{ck}=25$ MPa).

Feito isso, foi realizada a análise dos diagramas de esforços obtidos, bem como demais itens pertinentes do objetivo deste estudo e uma profunda verificação no detalhamento obtido por meio deste modelo redistribuído.

4 ANÁLISE DOS RESULTADOS E DISCUSSÕES

Neste capítulo estão apresentados os resultados obtidos a partir do dimensionamento das vigas pelos dois tipos de análise estrutural, linear elástica e linear com redistribuição, bem como, as inconsistências, dificuldades e soluções encontradas no decorrer do presente estudo.

4.1 VIGAS PELA ANÁLISE LINEAR ELÁSTICA

No lançamento da estrutura no *software*, para este caso, considerou-se todas as vinculações das vigas como rígidas. Após o processamento, relatou-se que não houve nenhuma inconsistência ou erros relativos ao dimensionamento.

Ainda, relatou-se através da verificação de estabilidade que o *software* realiza, um coeficiente Gama z (γ_z) de 1,06, desta forma, a estrutura em questão é classificada como uma estrutura de nós fixos.

Os detalhamentos das vigas para este tipo de análise podem ser verificados no Apêndice B no qual constam o detalhamento das vigas de cada pavimento do edifício.

4.2 VIGAS PELA ANÁLISE LINEAR REDISTRIBUÍDA

No lançamento da estrutura no *software*, para este caso, considerou-se todas as vinculações das vigas como semirrígidas a fim de simular uma plastificação nos nós causando assim a redistribuição de esforços desejada.

O *software* permite que seja configurado uma porcentagem de redução no engaste para nós semirrígidos, desta forma, como a estrutura apresentou um coeficiente Gama z (γ_z) de 1,08, configurou-se o valor de 25%, pelo fato da estrutura ser classificada como de nós fixos e estar limitada à essa porcentagem de redistribuição conforme a ABNT NBR 6118 (2014), assim como citado no item 2.2.3.2 Coeficientes de Redistribuição e Limites.

Após o processamento da estrutura, relatou-se o surgimento de alguns erros, o que impedia o dimensionamento de algumas das vigas pertencentes ao edifício. Com isso, buscou-se auxílio em materiais e publicações da Alto QI (desenvolvedora do *software* Eberick).

4.2.1 Erro encontrado e coeficientes utilizados

Com todos os nós das vigas configurados como semirrígidos e com 25% de redistribuição encontrou-se, através do processamento da estrutura, o erro “D212 – Redistribuição acima de 25% em uma estrutura nós fixos”.

A partir disso, buscou-se informações sobre o erro e foi constatado, através dos relatórios gerados pelo próprio *software*, que estava ocorrendo a redistribuição de uma porcentagem maior do que a limitada pela norma para uma estrutura de nós fixos. Isso se deu ao fato de que, a porcentagem configurada, não é a porcentagem que será redistribuída de momento fletor, e sim a porcentagem de redução de rigidez, que é a forma com que o *software* procede para a redistribuição de esforços em nós semirrígidos.

A ABNT NBR 6118 (2014) não cita em seu conteúdo sobre vinculações semirrígidas, ela apenas cita os limites dos coeficientes que podem ser utilizados para a redistribuição de esforços. Já a ABNT NBR 9062 (2017) relata que em ligações semirrígidas a rigidez ao momento fletor de uma ligação viga-pilar é determinada pela sua relação momento-rotação e que a resposta não linear das ligações podem ser obtidas com base na análise linear, a qual utiliza a rigidez secante (R_{sec}).

Ainda, a ABNT NBR 9062 (2017) especifica o fator de restrição à rotação α_R que é estabelecido em função do fator de rigidez relativo entre a rigidez da ligação e a rigidez do elemento por ela conectado, conforme explícito na Equação 28.

$$\alpha_R = \frac{\theta_1}{\theta_2} = \left[1 + \frac{3(EI_{sec})}{R_{sec} L_{ef}} \right]^{-1} \quad (28)$$

Onde:

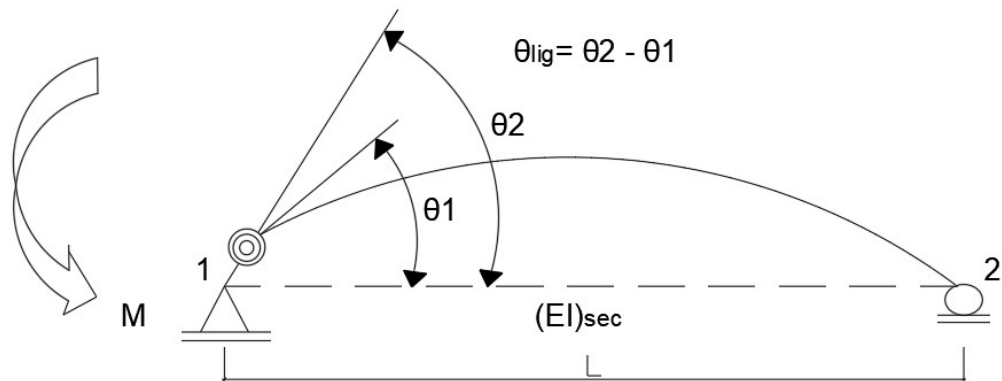
$(EI)_{sec}$ = rigidez secante da viga considerada na análise estrutural;

L_{ef} = vão efetivo entre os centros de giros nos apoios da viga;

R_{sec} = rigidez secante ao momento fletor da ligação viga-pilar.

Como pode-se observar através da Equação 28, este fator de restrição à rotação α_R é obtido através da razão da rotação θ_1 da extremidade em relação à rotação combinada θ_2 do elemento e da ligação, em virtude do momento da extremidade, conforme a Figura 21

Figura 21 - Fator de restrição à rotação



Fonte: Adaptado da ABNT NBR 9062:2017 (2023).

Desta forma, a ABNT NBR 9062 (2017) considera que a não linearidade física deve ser levada em conta mediante a redução da rigidez dos elementos estruturais com base nos diagramas de momento normal curvatura. Ela relata ainda que, esta não linearidade pode ser considerada através de uma aproximação linear com o uso da rigidez secante da relação momento-normal-curvatura conforme a ABNT NBR 6118 (2014).

E, ainda, o fator de restrição a rigidez relatado pela ABNT NBR 9062 (2017) pode ser associado ao próprio coeficiente de redistribuição δ especificado pela ABNT NBR 6118 (2014).

Sendo assim, o *software* considera a não linearidade física e por isso reduz a rigidez que influencia nos momentos e em sua redistribuição, pois a relação entre a redução na rigidez e no momento final não é linear e o valor obtido é aproximado.

Para exemplificar o erro ocorrido, a seguir na Figura 22 está ilustrado o relatório do erro para a Viga 1 do Pavimento Térreo, a qual tem a sua localização conforme apresentado no croqui da Figura 23.

Figura 22 – Relatório de Redistribuição da Viga 1 do Pav. Térreo

Redistribuição de momentos e condições de utilidade**Pavimento Pav. Térreo - Viga V1 - Erro D212**

Trecho	Posição da linha neutra (LN) no ELU		Coeficientes de redistribuição de momentos fletores	
	Nó Inicial	Nó Final	Nó Inicial	Nó Final
1	$x/d = 0.09$ (lim = $(\Delta - 0.44)/1.25 = 0.38$) OK	$x/d = 0.10$ (lim = $(\Delta - 0.44)/1.25 = 0.29$) OK	Delta = 0.91 (lim = 0.75) OK	Delta = 0.80 (lim = 0.75) OK
2	$x/d = 0.10$ (lim = $(\Delta - 0.44)/1.25 = 0.24$) OK	$x/d = 0.05$ (lim = $(\Delta - 0.44)/1.25 = 0.38$) OK	Delta = 0.74 (lim = 0.75) Erro D212	Delta = 0.91 (lim = 0.75) OK
3	$x/d = 0.05$ (lim = $(\Delta - 0.44)/1.25 = 0.39$) OK	$x/d = 0.10$ (lim = $(\Delta - 0.44)/1.25 = 0.24$) OK	Delta = 0.92 (lim = 0.75) OK	Delta = 0.74 (lim = 0.75) Erro D212
4	$x/d = 0.10$ (lim = $(\Delta - 0.44)/1.25 = 0.28$) OK	$x/d = 0.09$ (lim = $(\Delta - 0.44)/1.25 = 0.38$) OK	Delta = 0.79 (lim = 0.75) OK	Delta = 0.91 (lim = 0.75) OK

Fonte: Eberick (2023).

Figura 23 - Localização da Viga 1 Pavimento Térreo



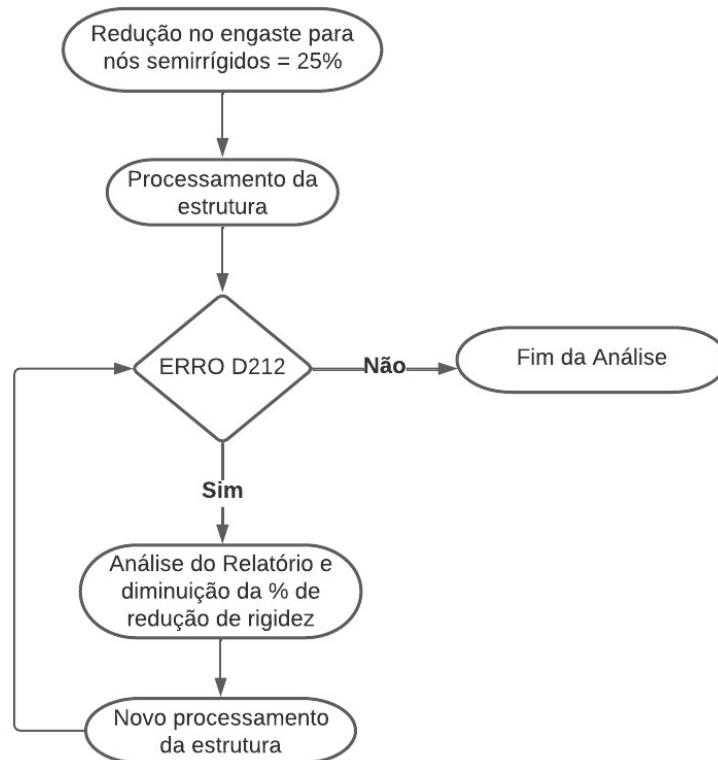
Fonte: a autora (2023).

Foi possível notar a partir da Figura 22 que ambos os trechos da viga passaram pela verificação da linha neutra (LN) não apresentando inconsistências. Nos trechos 2 e 3, observou-se que ocorreu o erro D212 nos coeficientes de redistribuição de momentos fletores, e percebeu-se que no caso do trecho 2 e também para o trecho 3, o *software* estava redistribuindo os esforços com um coeficiente delta (δ) no valor de 0,74, ou seja, 26%.

O limite do coeficiente, como já citado neste trabalho, para estruturas de nós fixos, é de 25%, isto é, 0,75. Quando obtidos valores delta abaixo de 0,75 o *software* gerava o erro D212.

Desta forma, tomou-se como base o procedimento da Figura 24 para resolução dos erros.

Figura 24 - Procedimento para resolução do Erro D212



Fonte: a autora (2023).

Logo, para resolver o erro, foi preciso considerar porcentagens menores de redução de rigidez nas demais vigas que estavam apresentando o erro D212. No Quadro 4 são apresentadas as vigas que foram modificadas, bem como a porcentagem que foi utilizada no processamento da estrutura.

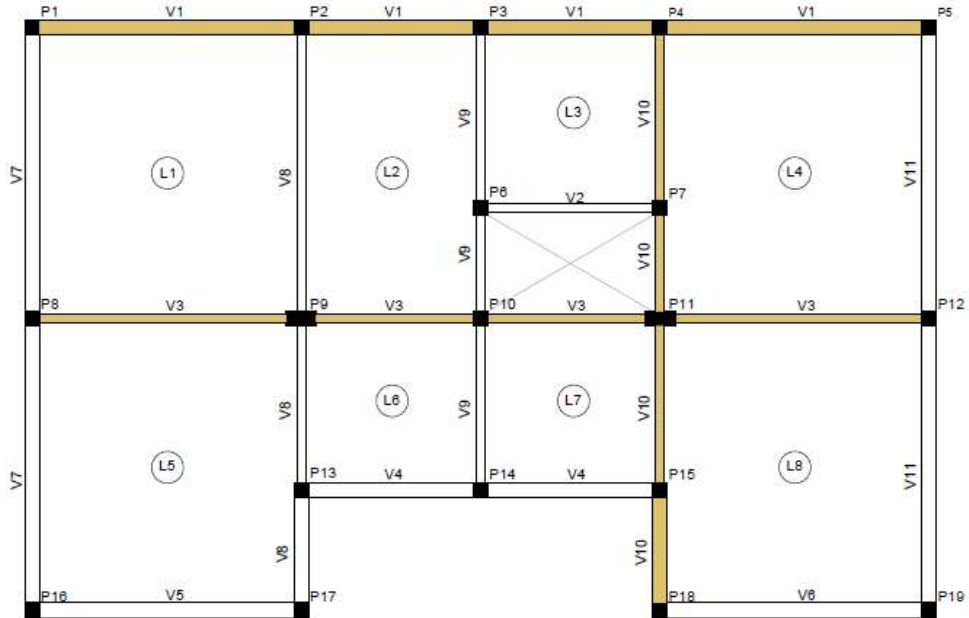
Quadro 4 - Coeficientes de redução no engaste

PAVIMENTO TÉRREO		
VIGA	TRECHO	REDUÇÃO NO ENGASTE
V1	2, inicial	24%
	3, final	24%
V3	2, inicial	24%
	3, final	23%
V10	3, final	23%
PAVIMENTO TIPO 2		
VIGA	TRECHO	REDUÇÃO NO ENGASTE
V8	2, final	24%
PAVIMENTO TIPO 3		
VIGA	TRECHO	REDUÇÃO NO ENGASTE
V3	3, final	23%
V3	4, inicial	23%
V8	2, final	22%
PAVIMENTO COBERTURA		
VIGA	TRECHO	REDUÇÃO NO ENGASTE
V1	2, final	21%
	3, inicial	21%
V3	2, inicial	24%
V7	2, final	12%
	3, inicial	12%
V8	2, final	16%
	3, inicial	16%
V9	2, final	18%
	3, final	18%
	4, inicial	18%
PAVIMENTO ÁREA TÉCNICA		
VIGA	TRECHO	REDUÇÃO NO ENGASTE
V1	1, final	14%
	2, inicial	14%
V2	1, final	15%
	2, inicial	15%
V4	1, final	24%
V5	1, final	8%
	2, inicial	8%
V6	1, final	19%
	2, inicial	19%

Fonte: a autora (2023).

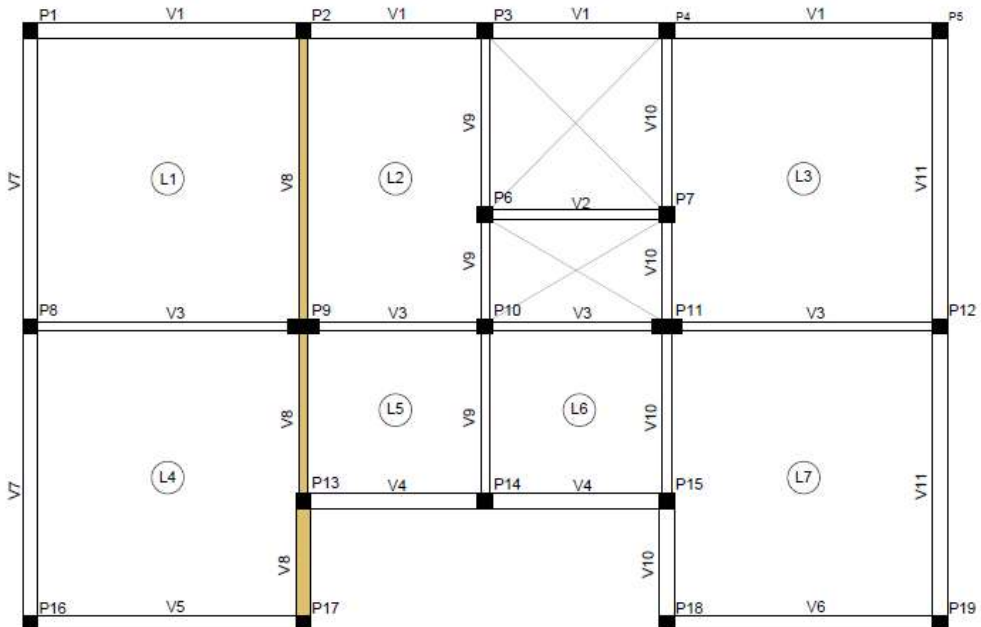
As vigas modificadas têm a sua localização conforme o destaque das Figuras 25, 26, 27, 28 e 29 que seguem.

Figura 25 - Vigas modificadas Pav. Térreo



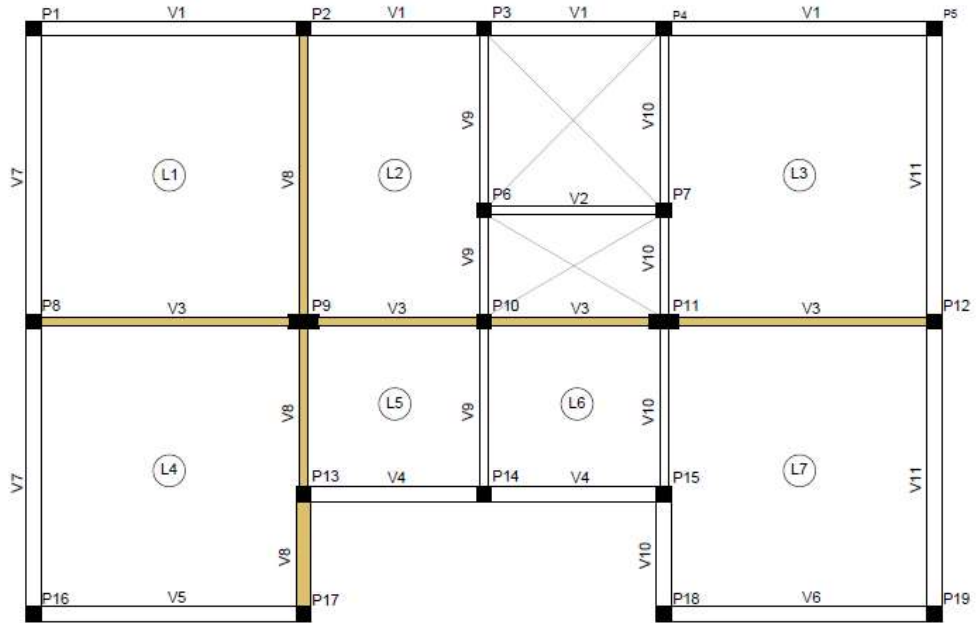
Fonte: a autora (2023).

Figura 26 - Vigas modificadas Pav. Tipo 2



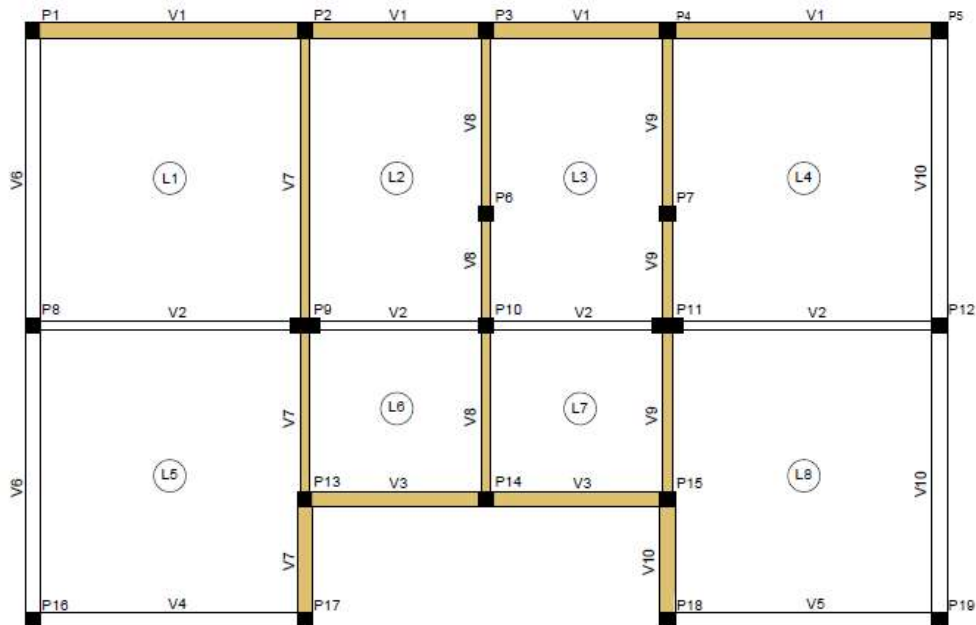
Fonte: a autora (2023).

Figura 27 - Vigas modificadas Pav. Tipo 3



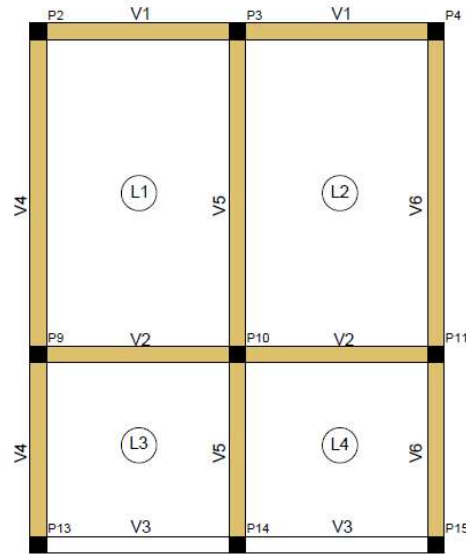
Fonte: a autora (2023).

Figura 28 - Vigas modificadas Pav. Cobertura



Fonte: a autora (2023).

Figura 29 - Vigas modificadas Pav. Área Técnica



Fonte: a autora (2023).

As demais vigas foram processadas com 25% de redução no engaste. Todas as vigas passaram pela verificação de limites de redistribuição para nós semirrígidos no processamento da estrutura. Com as alterações do Quadro 4, todas as vigas de todos os pavimentos foram processadas sem erros.

Além disso, não foram dispensadas as verificações nos nós semirrígidos que o *software* oferece, como o erro de abertura das fissuras em seção com redistribuição e a dispensa de limites de redistribuição se atendida LN e abertura de fissuras. Assim, a estrutura foi processada e verificada da forma mais completa e precisa, tendo em vista as possibilidades que o *software* apresenta.

Os detalhamentos das vigas para este tipo de análise podem ser verificados no Apêndice C no qual constam o detalhamento das vigas de cada pavimento do edifício.

4.3 COMPARATIVOS

Com a estrutura do edifício exemplo processada, pelos dois métodos de análise estrutural, procedeu-se para o estudo dos comparativos dos diagramas de momentos fletores, deslocamentos (flechas), quantitativos, custos e detalhamentos das vigas.

4.3.1 Momentos Fletores

Os diagramas de momentos fletores foram tabulados para cada caso de análise estrutural. Neste, comparou-se os momentos máximos, negativos e positivos, obtidos através do dimensionamento da estrutura pelo *software*.

Todos os diagramas de momentos fletores, para cada caso de análise, estão apresentados lado a lado no Apêndice D.

Nas Tabelas 7, 8, 9, 10, 11 e 12 constam os valores máximos tabelados de momentos fletores em cada viga de cada pavimento e em cada situação de análise, bem como a diferença numérica encontrada, a qual tem-se com sinal negativo (-) uma redução e com sinal (+) um aumento de momento fletor.

Tabela 7 - Momentos Fletores Pav. Térreo

(continua)

PAVIMENTO	TÉRREO					
	Linear Elástico		Linear com redistribuição		Diferença	
	MF negativos [kgf.m;cm]	MF positivos [kgf.m;cm]	MF negativos [kgf.m;cm]	MF positivos [kgf.m;cm]	MF negativos [kgf.m;cm]	MF positivos [kgf.m;cm]
V1	5080	3731	4580	4409	-500	+678
	5987	965	4828	1420	-1159	+455
	2906	1002	2617	1450	-289	+448
	6098	3670	4885	4343	-1213	+673
	5001	-	4524	-	-477	-
V2	2474	1005	2028	892	-446	-113
	2446	1206	2012	1251	-434	+45
	-	1037	-	911	-	-126
V3	5264	3513	4770	4290	-494	+777
	7675	1358	6000	1604	-1675	+246
	2832	1122	2368	1248	-464	+126
	7731	3509	6062	4257	-1669	+748
	5253	-	4745	-	-508	-
V4	2946	1221	2674	1168	-272	-53
	3689	1764	2855	1967	-834	+203
	2988	1758	2715	1965	-273	+207
	-	1186	-	1134	-	-52
V5	5490	4011	4806	4622	-684	+611
	5740	-	4976	-	-764	-
V6	5713	4008	4952	4620	-761	+612
	5514	-	4830	-	-684	-
V7	6836	4308	6424	5014	-412	+706
	9041	4343	7275	5042	-1766	+699
	6782	-	6406	-	-376	-
V8	4638	3816	4196	3475	-442	-341
	4644	2290	3941	2586	-703	+296
	6058	1652	4923	1956	-1135	+304
	5278	2789	4821	3276	-457	+487
V9	4024	1827	3619	1763	-405	-64
	3755	2157	3255	2274	-500	+117
	4439	2115	3667	2062	-772	-53
	4044	1560	3635	1750	-409	+190
	-	2292	-	2420	-	+128
	-	1753	-	1603	-	-150
V10	4520	3773	4081	3391	-439	-382

(conclusão)

	4711	2203	3880	2501	-831	+298
	4252	1802	3838	2171	-414	+369
	4838	3485	4124	2782	-714	-703
	4231	1828	3891	1902	-340	+74
	-	2458	-	2697	-	+239
	-	1465	-	1366	-	-99
V11	6674	4269	6335	5004	-339	+735
	8909	4281	7201	5007	-1708	+726
	6634	-	6332	-	-302	-

Fonte: a autora (2023).

Tabela 8 - Momentos Fletores Pav. Tipo 1

(continua)

PAVIMENTO	TIPO 1					
	Linear Elástico		Linear com redistribuição		Diferença	
Viga	MF negativos	MF positivos	MF negativos	MF positivos	MF negativos	MF positivos
	[kgf.m;cm]	[kgf.m;cm]	[kgf.m;cm]	[kgf.m;cm]	[kgf.m;cm]	[kgf.m;cm]
V1	5542	3608	5044	4476	-498	+868
	5990	1056	4905	1593	-1085	+537
	3440	813	3129	1335	-311	+522
	6512	4014	5370	4768	-1142	+754
V2	5539	-	5098	-	-441	-
	2734	1329	2334	1229	-400	-100
	2739	1361	2348	1376	-391	+15
V3	-	1335	-	1228	-	-107
	5465	3531	5231	4770	-234	+1239
	8270	926	7187	1399	-1083	+473
	3147	1658	2876	2230	-271	+572
	8623	1366	7368	1743	-1255	+377
V4	5525	3687	5279	4993	-246	+1306
	3336	1530	3119	1549	-217	+19
	3832	1919	3103	2133	-729	+214
	3400	1908	3157	2145	-243	+237
V5	-	1478	-	1514	-	+36
	5740	4027	5134	4636	-606	+609
V6	6122	-	5419	-	-703	-
	6087	4021	5379	4634	-708	+613
V7	5765	-	5158	-	-607	-
	7372	4443	6965	5155	-407	+712
	9142	4486	7475	5183	-1667	+697
V8	7345	-	6979	-	-366	-
	5208	4025	5245	4309	37	+284
	4401	2740	4206	3241	-195	+501
	8544	1197	7501	2109	-1043	+912
V9	7137	4144	6869	5342	-268	+1198
	4342	2284	3948	2208	-394	-76
	4056	2436	3570	2538	-486	+102

(conclusão)

	4311	2427	3712	2494	-599	+67
	3970	1847	3690	2092	-280	+245
	-	2561	-	2421	-	-140
V10	4846	4125	4520	3943	-326	-182
	4062	2936	3731	3170	-331	+234
	4994	3685	4446	3199	-548	-486
	4307	2425	3778	2373	-529	-52
	3986	2418	3746	2313	-240	-105
V11	7150	4379	6883	5135	-267	+756
	9026	4466	7459	5226	-1567	+760
	7253	-	7003	-	-250	-

Fonte: a autora (2023).

Tabela 9 - Momentos Fletores Pav. Tipo 2

(continua)

PAVIMENTO	TIPO 2					
	Linear Elástico		Linear com redistribuição		Diferença	
	MF negativos [kgf.m;cm]	MF positivos [kgf.m;cm]	MF negativos [kgf.m;cm]	MF positivos [kgf.m;cm]	MF negativos [kgf.m;cm]	MF positivos [kgf.m;cm]
V1	5283	3763	4790	4456	-493	+693
	5459	902	4516	1499	-943	+597
	3381	614	2983	1220	-398	+606
	6125	3931	5062	4702	-1063	+771
	5225	-	4807	-	-418	-
V2	2307	874	2007	887	-300	+13
	2298	1095	2020	1206	-278	+111
	-	884	-	883	-	-1
V3	4977	3521	4694	4348	-283	+827
	7906	1384	6221	1741	-1685	+357
	2771	704	2435	777	-336	+73
	8392	932	6358	1183	-2034	+251
	5015	3660	4728	4502	-287	+842
V4	2879	987	2693	1121	-186	+134
	3397	1681	2759	1951	-638	+270
	2932	1678	2743	1955	-189	+277
	-	946	-	1080	-	+134
V5	5247	3977	4721	4602	-526	+625
	5722	-	5055	-	-667	-
V6	5687	3969	5032	4593	-655	+624
	5273	-	4743	-	-530	-
V7	6578	4137	6172	4902	-406	+765
	8249	4169	6687	4944	-1562	+775
	6594	-	6215	-	-379	-
V8	3973	2527	3755	2634	-218	+107
	3417	1747	3052	2171	-365	+424
	7852	1489	6260	1862	-1592	+373
	6454	4032	5870	4730	-584	+698
V9	3437	1430	3222	1473	-215	+43
	3369	1946	2943	2128	-426	+182

(conclusão)

	3779	1830	3129	1888	-650	+58
	2993	859	2832	1240	-161	+381
	-	1910	-	1973	-	+63
	-	1762	-	1654	-	-108
V10	3906	2455	3645	2507	-261	+52
	3500	1712	3040	2119	-460	+407
	4354	1633	3780	2024	-574	+391
	3817	2473	3215	2269	-602	-204
	3023	1372	2882	1548	-141	+176
	-	1978	-	2082	-	+104
	-	1683	-	1600	-	-83
V11	6379	4105	6096	4893	-283	+788
	8169	4172	6674	5014	-1495	+842
	6561	-	6261	-	-300	-

Fonte: a autora (2023).

Tabela 10 - Momentos Fletores Pav. Tipo 3

(continua)

PAVIMENTO	TIPO 3					
	Linear Elástico		Linear com redistribuição		Diferença	
	MF negativos [kgf.m;cm]	MF positivos [kgf.m;cm]	MF negativos [kgf.m;cm]	MF positivos [kgf.m;cm]	MF negativos [kgf.m;cm]	MF positivos [kgf.m;cm]
V1	4769	3786	4254	4432	-515	+646
	4902	818	3947	1379	-955	+561
	2925	429	2546	1055	-379	+626
	5666	4005	4557	4772	-1109	+767
	4518	-	4190	-	-328	-
V2	1596	262	1414	373	-182	+111
	1539	914	1401	1063	-138	+149
	-	279	-	353	-	+74
V3	4532	3502	4186	4235	-346	+733
	7600	1174	5601	1480	-1999	+306
	2222	630	1898	942	-324	+312
	8155	3710	6269	4472	-1886	+762
	4416	-	4183	-	-233	-
V4	2299	261	2148	438	-151	+177
	2830	1431	2220	1743	-610	+312
	2312	1451	2146	1772	-166	+321
	-	252	-	432	-	+180
V5	4464	4115	4002	4686	-462	+571
	4974	-	4400	-	-574	-
V6	4985	4111	4374	4692	-611	+581
	4442	-	3999	-	-443	-
V7	5393	4058	4925	4876	-468	+818
	7420	4011	5753	4829	-1667	+818
	5523	-	5078	-	-445	-
V8	2535	879	2598	1276	63	+397
	2669	1068	2341	1484	-328	+416

(conclusão)

	7279	1246	6648	1867	-631	+621
	5706	3991	5095	5607	-611	+1616
V9	2405	501	2103	502	-302	+1
	2583	1553	2155	1746	-428	+193
	3162	1061	2404	1108	-758	+47
	1905	1437	1794	1570	-111	+133
	-	893	-	794	-	-99
		2570	792	2323	954	-247
V10	2713	1029	2238	1191	-475	+162
	3641	623	2966	974	-675	+351
	3194	1520	2518	1935	-676	+415
	2074	1104	1911	1178	-163	+74
	-	1501	-	1714	-	+213
	-	755	-	709	-	-46
V11	5261	4014	4910	4841	-351	+827
	7419	4113	5797	4961	-1622	+848
	5466	-	5099	-	-367	-

Fonte: a autora (2023).

Tabela 11 - Momentos Fletores Pav. Cobertura

(continua)

PAVIMENTO	COBERTURA					
	Linear Elástico		Linear com redistribuição		Diferença	
	MF negativos [kgf.m;cm]	MF positivos [kgf.m;cm]	MF negativos [kgf.m;cm]	MF positivos [kgf.m;cm]	MF negativos [kgf.m;cm]	MF positivos [kgf.m;cm]
V1	1955	1738	1761	1909	-194	+171
	1887	1125	1580	1615	-307	+490
	3311	1098	2691	1782	-620	+684
	1892	1013	1838	1472	-54	+459
	1461	-	1476	-	15	-
V2	2221	2430	2099	2762	-122	+332
	4873	563	3680	922	-1193	+359
	999	559	1004	702	5	+143
	3981	1761	3424	2314	-557	+553
	1629	-	1745	-	116	-
V3	1922	1304	1664	1656	-258	+352
	2485	1336	1859	1687	-626	+351
	1732	-	1558	-	-174	-
V4	1376	1284	1291	1464	-85	+180
	1701	-	1565	-	-136	-
V5	1740	1292	1591	1463	-149	+171
	1368	-	1286	-	-82	-
V6	1817	1206	1617	1454	-200	+248
	2333	2041	1816	2282	-517	+241

(conclusão)

	2239	-	2039	-	-200	-
V7	959	483	978	635	19	+152
	1611	1038	1172	1402	-439	+364
	6819	3967	7130	5671	311	+1704
	5256	-	4313	-	-943	-
V8	1457	1241	1271	1993	-186	+752
	966	699	612	1058	-354	+359
	3178	1203	3350	1251	172	+48
	1078	-	908	569	-170	-
V9	962	320	970	200	8	-120
	1806	1465	1235	594	-571	-871
	2697	1657	2626	2103	-71	+446
	2927	-	2428	2069	-499	-
	1675	-	1213	-	-462	-
V10	1855	1390	1680	1567	-175	+177
	1852	1329	1515	1650	-337	+321
	1915	-	1806	-	-109	-

Fonte: a autora (2023).

Tabela 12 - Momentos Fletores Pav. Área Técnica

(continua)

PAVIMENTO	ÁREA TÉCNICA					
	Linear Elástico		Linear com redistribuição		Diferença	
Viga	MF negativos	MF positivos	MF negativos	MF positivos	MF negativos	MF positivos
	[kgf.m;cm]	[kgf.m;cm]	[kgf.m;cm]	[kgf.m;cm]	[kgf.m;cm]	[kgf.m;cm]
V1	0	380	146	320	146	-60
	1423	530	1140	555	-283	25
	-	470	265	503	-	33
	-	269	-	223	-	-46
V2	544	921	582	1048	38	127
	1272	877	1030	1039	-242	162
	646	-	649	-	3	-
V3	787	453	657	478	-130	25
	563	449	445	495	-118	46
	589	-	502	-	-87	-
V4	763	287,5	555	292	-208	4,5
	1918	1060	1524	1277	-394	217
	1119	-	972	-	-147	-
V5	428	307	344	423	-84	116
	3353	2571	3055	2771	-298	200
	1799	-	1577	-	-222	-
V6	357	212	267	306	-90	94

	2015	1237	1565	1422	-450	185
	680	-	644	-	-36	-

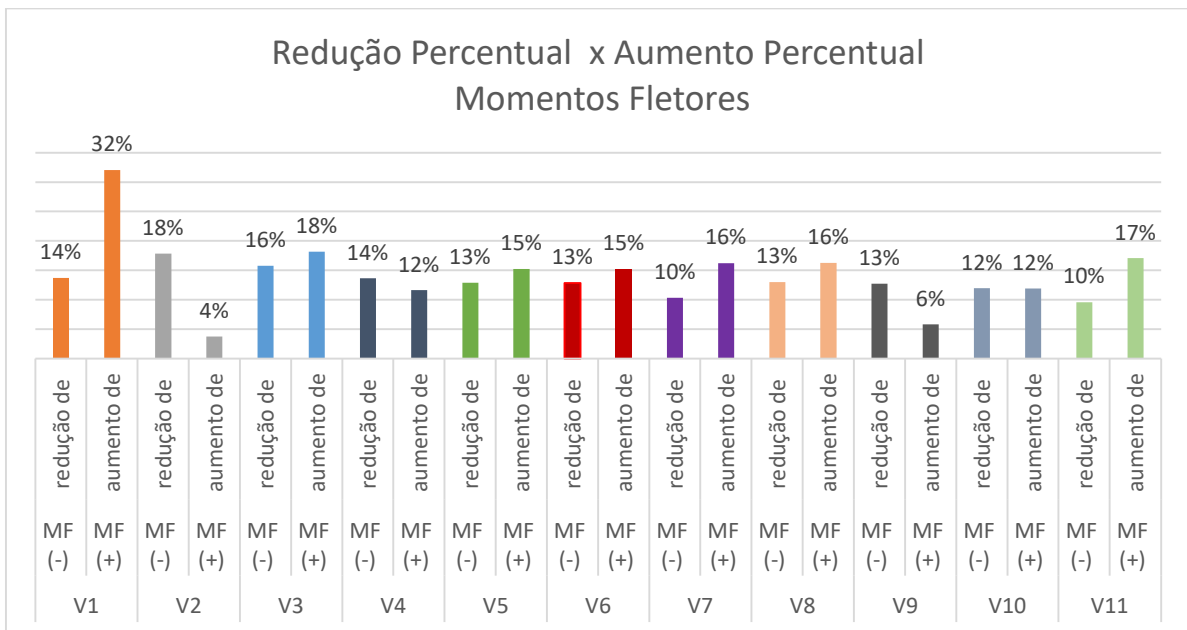
(conclusão)

Fonte: a autora (2023).

Analisando as tabelas, pode-se verificar que na maioria dos casos se teve uma diminuição dos momentos fletores negativos e conseqüentemente um aumento dos positivos, causando assim a redistribuição de esforços proposta neste estudo, salvo algumas poucas exceções as quais houve o aumento dos negativos e redução dos positivos e que foram notadas a sua ocorrência nos apoios extremos e centrais.

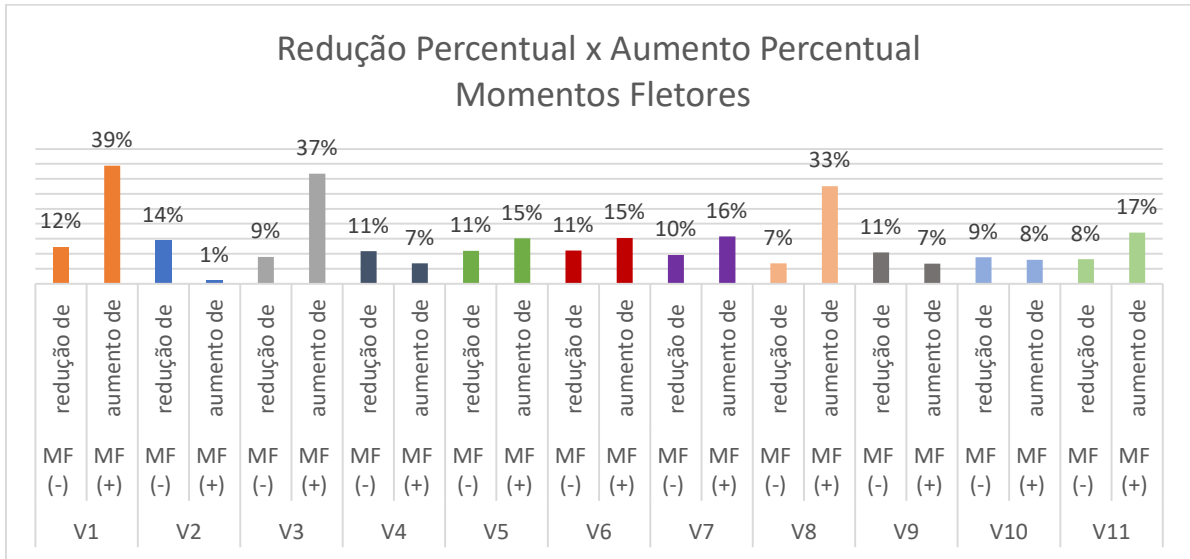
Verificou-se ainda em termos de porcentagens que a redução do momento fletor negativo não foi proporcional ao aumento do momento fletor positivo, conforme apresentado nos Gráficos 1, 2, 3, 4, 5 e 6 os quais indicam uma média percentual dos aumentos e reduções dos momentos fletores em cada trecho das vigas para cada pavimento.

Gráfico 1 - Percentual de aumento e redução média MF para o Pav. Térreo



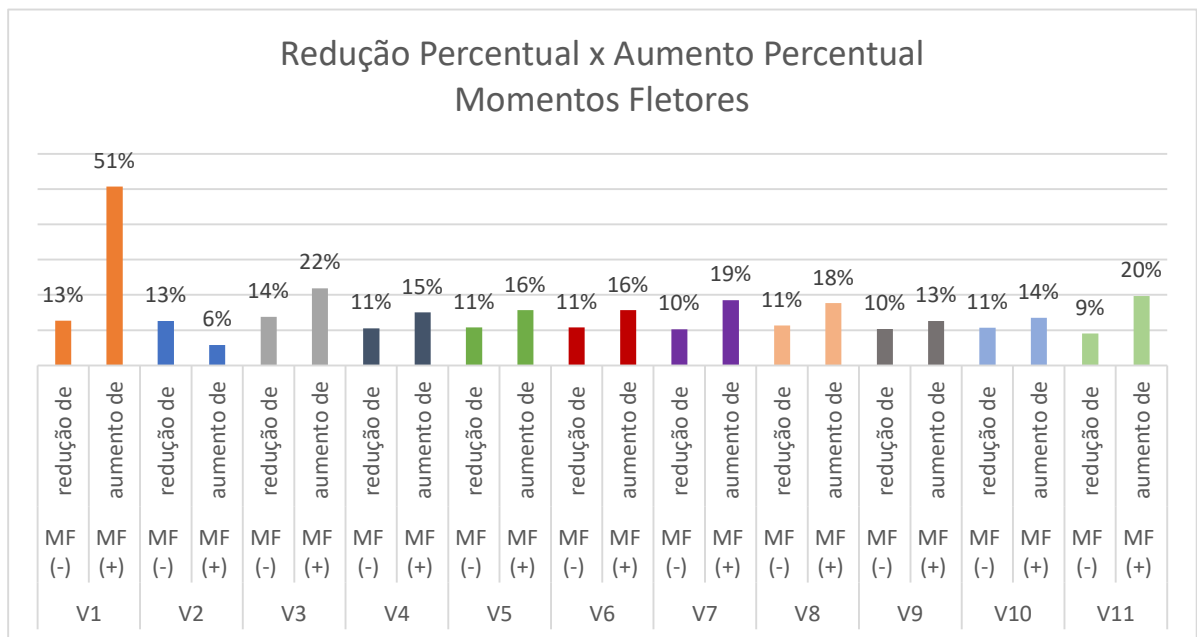
Fonte: a autora (2023).

Gráfico 2 - Percentual de aumento e redução média MF para o Pav. Tipo 1



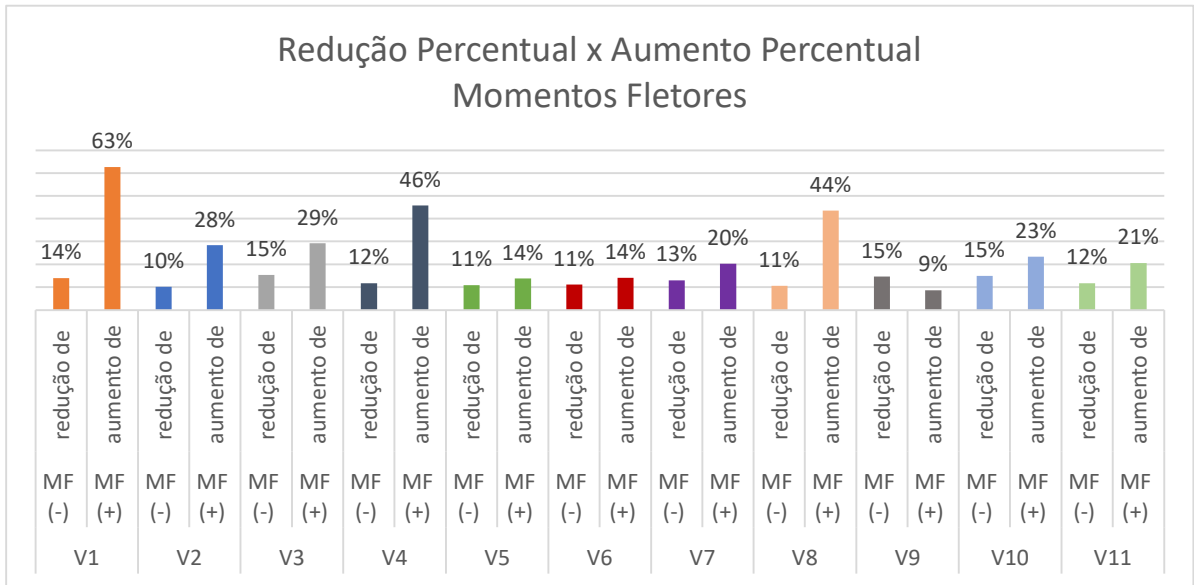
Fonte: a autora (2023).

Gráfico 3 - Percentual de aumento e redução média MF para o Pav. Tipo 2



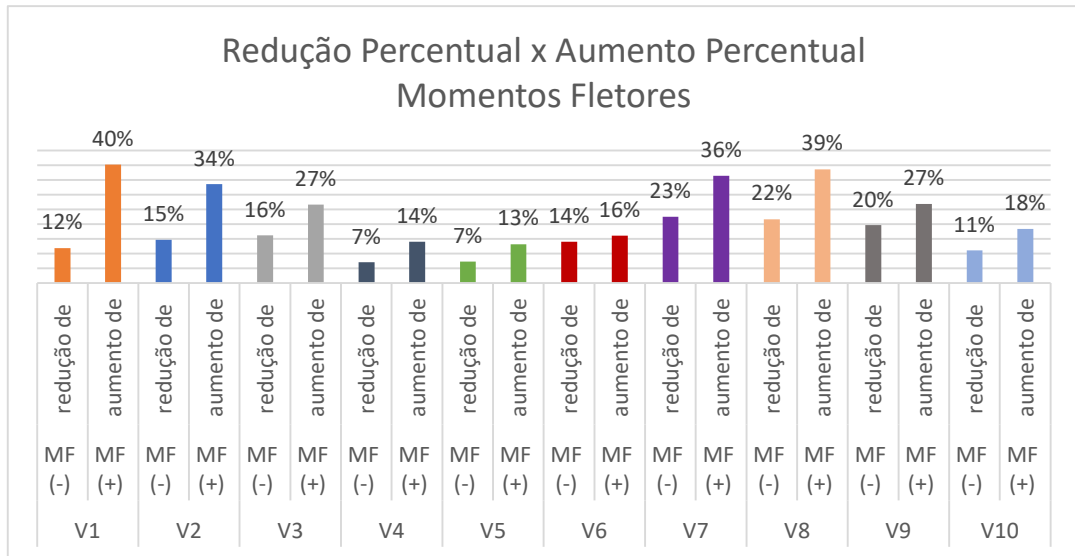
Fonte: a autora (2023).

Gráfico 4 - Percentual de aumento e redução média MF para o Pav. Tipo 3



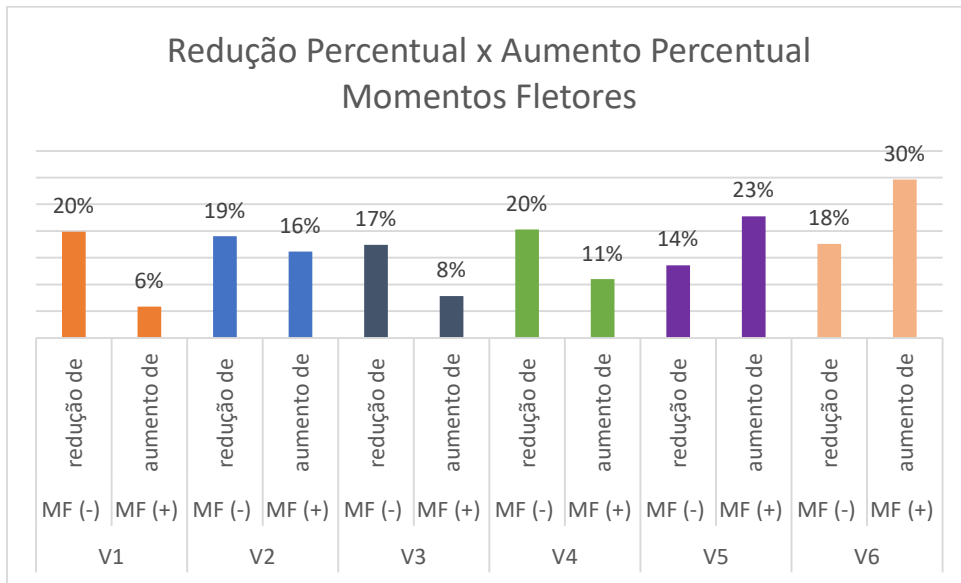
Fonte: a autora (2023).

Gráfico 5 - Percentual de aumento e redução média MF para o Pav. Cobertura



Fonte: a autora (2023).

Gráfico 6 - Percentual de aumento e redução média MF para o Pav. Área Técnica



Fonte: a autora (2023).

4.3.2 Deslocamentos

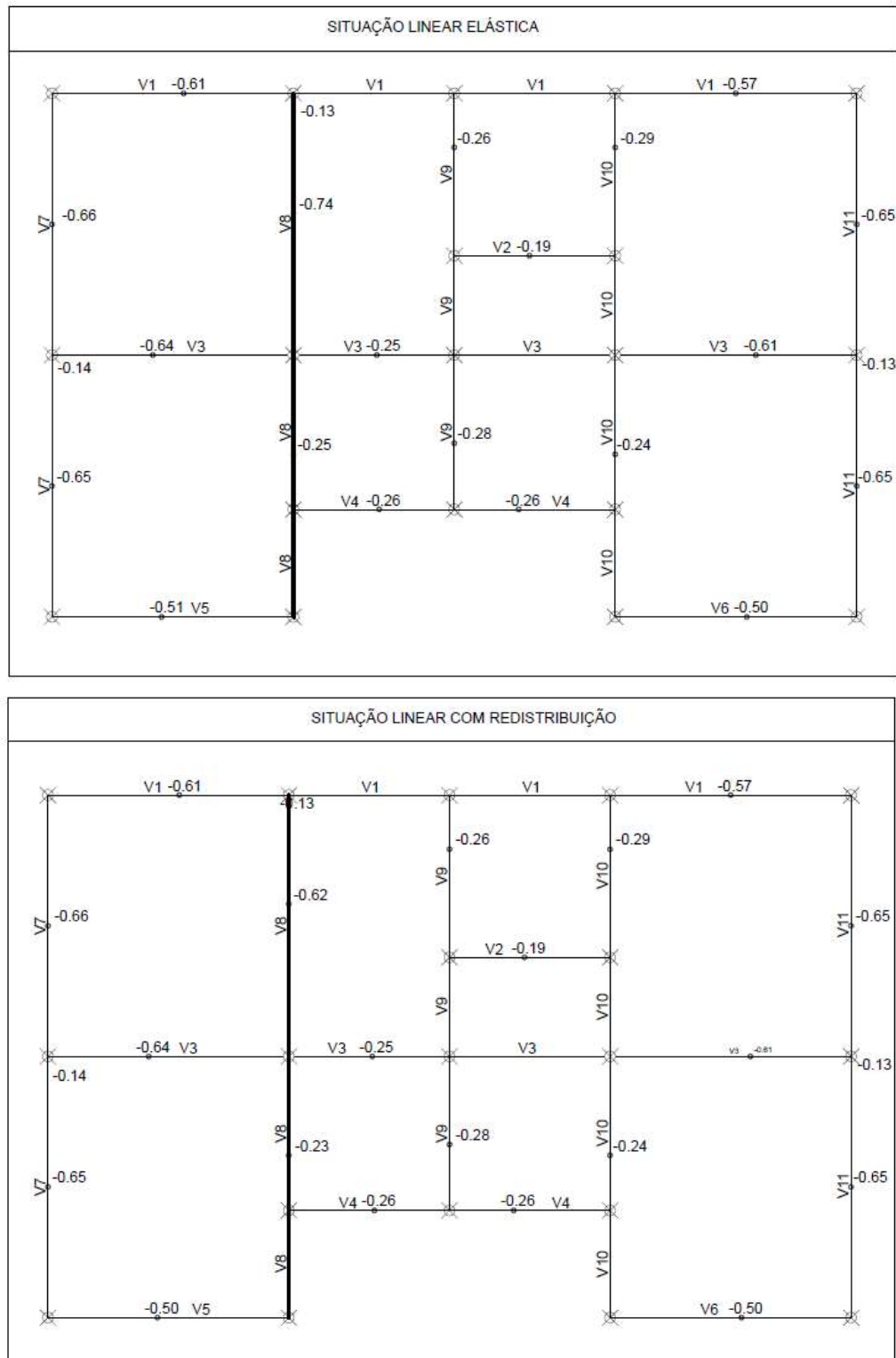
O *software* gera um diagrama de deslocamentos que contempla a visualização dos elementos em planta, os quais indicam o local onde ocorre o deslocamento máximo e o respectivo valor de flecha.

Os diagramas para cada situação de análise estão apresentados no Apêndice E. No Apêndice F estão apresentados os valores dos deslocamentos tabelados para cada situação de análise em cada pavimento e em cada trecho de viga.

A partir dos dados tabulados do Apêndice F, verificou-se que no Pavimento Térreo não houve alteração nos valores das flechas. No Pavimento Tipo 1 houve algumas alterações, a maior delas foi na Viga 8 a qual reduziu a sua flecha de 0,63 (linear elástico) para 0,56 (linear com redistribuição), totalizando uma diferença de 0,07 o que equivale à 11% de redução.

No Pavimento Tipo 2, houve mínima variação nos valores de flechas. Já no Pavimento Tipo 3, foi percebido na viga 8 a maior redução de todos os pavimentos, a qual reduziu em 0,12 a sua flecha equivalendo à uma redução de 16% conforme diagrama de deslocamentos apresentado na Figura 30 para esta viga.

Figura 30 - Diagrama de Deslocamento Viga 8 Pav. Tipo 3



Fonte: a autora (2023).

No Pavimento Cobertura foi constatado um aumento de flecha na viga 8 de 23%, mas ainda, trata-se de um aumento de 0,05, não sendo um aumento significativo

nesta análise. No Pavimento Área Técnica ocorreram mínimos aumentos, não sendo significativos também.

Sendo assim, verificou-se que houveram mínimas variações de flechas, quando comparadas as duas situações de análise, desta forma, a redistribuição não influenciou de forma negativa no dimensionamento da estrutura e pelo contrário, fez com que houvesse uma redução de deslocamento, principalmente em locais críticos da estrutura, como foi o caso da viga 8 do pavimento Tipo 3.

Nos casos em que houve aumento da flecha, foram aumentos mínimos de 0,01, exceto para a viga 8 do pavimento cobertura a qual obteve um aumento de 0,05, sendo desta forma considerado um aumento não significativo.

4.3.3 Quantitativos e Custos

Para avaliar os quantitativos de aço e custos o *software* disponibiliza diversas opções que podem ser utilizadas na execução das armaduras, tendo em vista a quantidade de aço necessária para cada viga em questão. Desta forma, é escolha do projetista optar pela quantidade e bitola a ser detalhada, pois o *software* oferece as opções que podem ser utilizadas levando em conta as limitações normativas de detalhamento, assim como especificado no item 2.4 Detalhamento de Vigas.

Assim, a fim de oferecer um detalhamento simplificado e otimizado fez-se a escolha das armaduras com base nas suas quantidades, procurando evitar-se uma quantidade não maior do que 3 barras na seção, para não comprometer os limites de espaçamentos, facilitar a execução, manuseio e evitar o acúmulo de barras na seção.

No Apêndice G estão apresentados os quantitativos de aço em barras e em comprimento para cada pavimento do edifício em ambas as situações de análise propostas neste estudo.

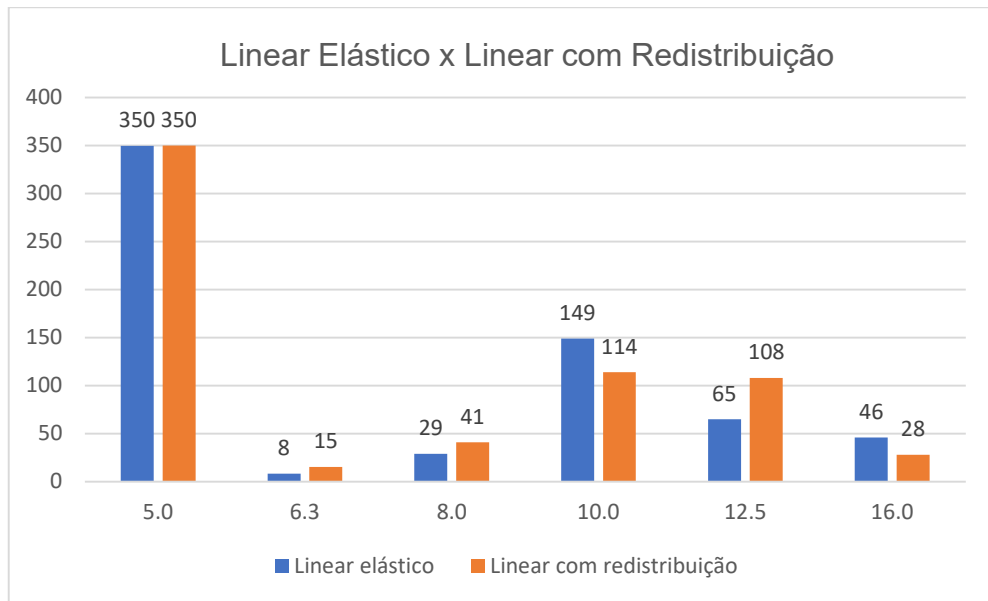
Pode-se verificar a partir do somatório dos quantitativos de cada pavimento que a quantidade de barras do diâmetro de 5.0 mm permaneceu igual para ambos os casos de análise, pois estas referem-se as armaduras dos estribos. Percebeu-se também que, houve um aumento de barras dos diâmetros de 6.3 mm, 8.0 mm e 12.5 mm.

Quanto às barras dos diâmetros de 10.0 mm e 16.0 mm houve uma redução nas suas quantidades, isso ocorreu devido à redução dos momentos fletores negativos, o que ocasionou barras com comprimentos reduzidos e em menores

quantidades. Passando as de diâmetro 10.0 mm para 8.0 mm e as de 16.0 mm para 12.5 mm.

A seguir Gráfico 7 onde é possível observar o aumento total e redução das quantidades de aço em barras conforme os seus diâmetros para cada caso de análise.

Gráfico 7 - Comparativo de Aço (em quantidade de barras)



Fonte: a autora (2023).

Foi estimado ainda o custo de aço com base nos quantitativos obtidos para cada caso de análise. A partir de um orçamento realizado junto à empresa Superaço Ind. e Com. Ltda, teve-se os custos com base no orçamento com data de 11 de Abril de 2023, conforme as Tabelas que constam no Apêndice H.

A partir dos dados das tabelas do Apêndice H de custos, pode-se verificar que houve uma pequena redução de custo no pavimento térreo, tipo 1 e tipo 3 para a situação de análise linear redistribuída. Enquanto que, no pavimento tipo 2 e cobertura, houve um aumento no custo. E o pavimento área técnica, permaneceu igual em ambos os casos de análise.

O aumento de custo no pavimento tipo 2 ocorreu devido ao acréscimo de barras de diâmetro 12.5 mm, pois na análise linear para os momentos fletores positivos, verificou-se que as vigas que resistiam aos esforços com barras de diâmetro 10.0 mm, passaram a demandar de barras de diâmetro 12.5 mm no caso linear redistribuído, isso pelo fato do aumento dos momentos fletores positivos.

Verificou-se ainda que esse aumento de custo no pavimento Tipo 2 ocorreu devido ao acréscimo dos momentos fletores positivos, o que demandou de uma

quantidade maior de barras nesta região, passando de 10.0 mm (dimensionado pela análise linear) para 12.5 mm (dimensionado pela análise linear redistribuída) na maioria das vigas deste pavimento.

Com relação ao aumento de custo no pavimento cobertura, observou-se que este ocorreu para as barras de diâmetro 8.0, isso devido a alteração de seção que teve de ser realizada na viga 8 deste pavimento, pois no caso linear redistribuído a mesma não estava respeitando o limite da posição da linha neutra (assim como especificado no item 2.2.3.2 Coeficientes de Redistribuição e Limites), tendo assim que aumentar a altura da seção. Desta forma, a seção da viga 8 passou de 25x45 cm para 25x60 cm, necessitando assim de armadura de pele de diâmetro 8.0 mm, a qual se deve o aumento de custo para este pavimento.

Como resultado, obteve-se um custo total de R\$ 27.792,12 no caso linear elástico e R\$ 27.789,93 no caso linear com redistribuição totalizando uma redução de apenas 0,01% sendo diferença de R\$ 2,19.

Praticamente, em ambos os casos de análise não se teve diferença com relação aos custos, o que pode-se constatar é que houve uma redução de barras de diâmetro 16.0 mm que poderiam ocasionar uma redução no custo, pelo fato de terem um custo superior com relação aos demais diâmetros, porém com essas reduções as vigas passaram a demandar de um diâmetro menor só que em maior quantidade, assim ocorreu o aumento significativo das barras de diâmetro 12.5 mm. Logo, com a redução de barras de 16.0 mm aumentou-se as de 12.5 mm equivalendo-se ali os custos.

4.3.4 Detalhamento

O detalhamento das vigas foram gerados pelo *software* e editados a fim de disponibilizar um detalhamento otimizado reduzindo assim a demanda de mão de obra para a montagem das vigas. A edição foi realizada através da extensão que o Eberick disponibiliza, o QI Editor de Armaduras.

Assim, para fins de comparação visual, neste subcapítulo serão apresentados o detalhamento das Vigas: V3 do pavimento térreo e V11 do pavimento Tipo 1 em específico, os quais serão discutidos e analisados para verificação de possível melhora no detalhamento quando realizada a redistribuição de esforços nas vigas.

O detalhamento completo destas vigas e das demais podem ser visualizados nos Apêndices B e C para cada caso de análise. Vale ressaltar que, os detalhamentos

comparados neste estudo, para ambas as situações de análise, já estão na sua versão editada, ou seja, ambos já foram editados e melhorados para uma execução simples e descomplicada.

Ainda, foram apresentadas neste subcapítulo as áreas de aço de cada viga que foram geradas pelo *software* para cada caso de análise a fim de verificar o aumento e redução de armaduras.

4.3.4.1 Áreas de Aço

Para fins de verificação do aumento e redução, foram tabuladas as áreas de aço de cada viga, desta forma, pôde-se verificar a real influência conforme cada situação de análise para cada viga dimensionada. As áreas de aço positivas somadas para os vãos e negativas para os nós das vigas, estão apresentadas no Apêndice I.

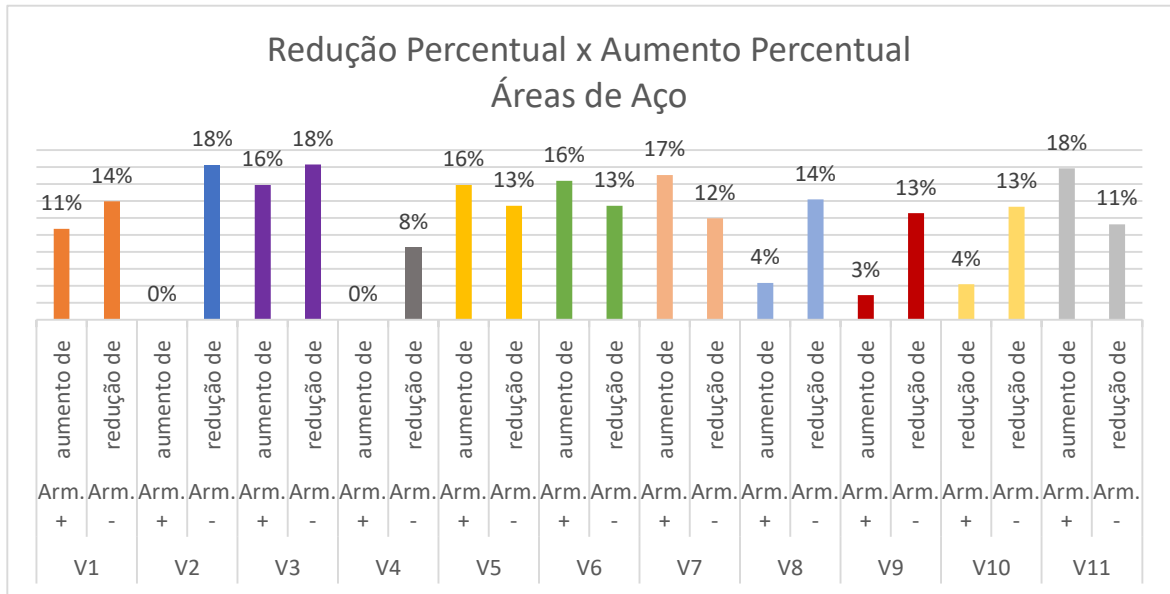
Por meio do Apêndice I, pode-se verificar que houve um aumento de área de aço referente as armaduras positivas para ambos os pavimentos, exceto para a área técnica, conforme esperava-se, pois os momentos fletores positivos aumentaram, desta forma a área de aço teve de ser aumentada para assim os esforços resistirem as solicitações.

Na área técnica, tanto as armaduras positivas como as negativas permaneceram iguais, pois como as vigas deste pavimento não são tão solicitadas, como a dos outros pavimentos, a armadura que o *software* dimensionou foi a mínima, desta forma, permaneceu a mesma para todas as vigas.

Já nas armaduras negativas, percebeu-se que houve uma redução nas áreas, o que também já se esperava, pois os momentos fletores negativos reduziram, desta forma a solicitação reduziu e as áreas de aço puderam ser menores para estes casos.

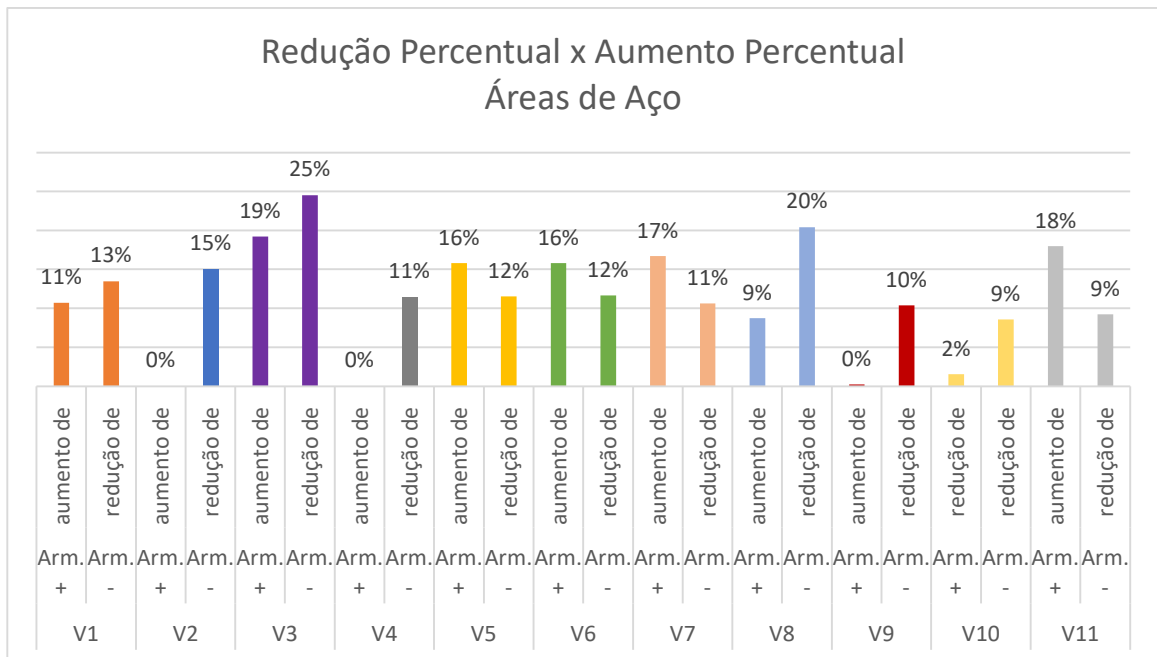
Verificou-se ainda o aumento e a redução percentual das áreas de aço as quais podem ser observadas através dos Gráficos 8, 9, 10, 11 e 12 apresentados para cada Pavimento da edificação, exceto para o Pavimento Área Técnica, o qual não obteve diferença nas suas áreas.

Gráfico 8 – Percentual de Aumento e Redução de Área de Aço do Pav. Térreo



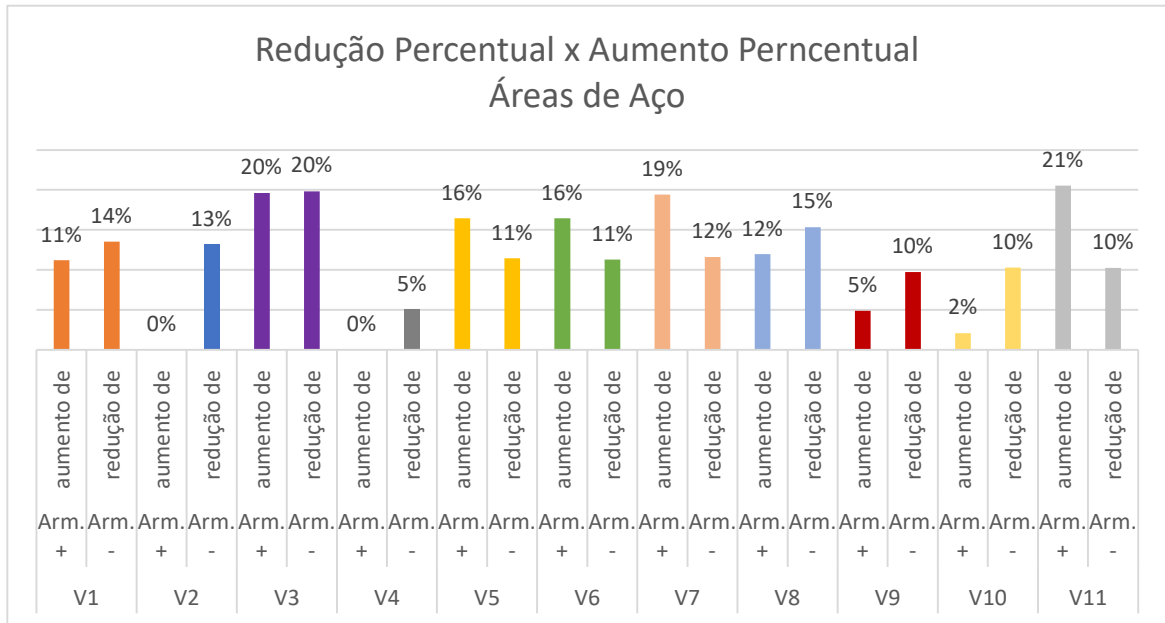
Fonte: a autora (2023).

Gráfico 9 - Percentual de Aumento e Redução de Área de Aço do Pav. Tipo 1



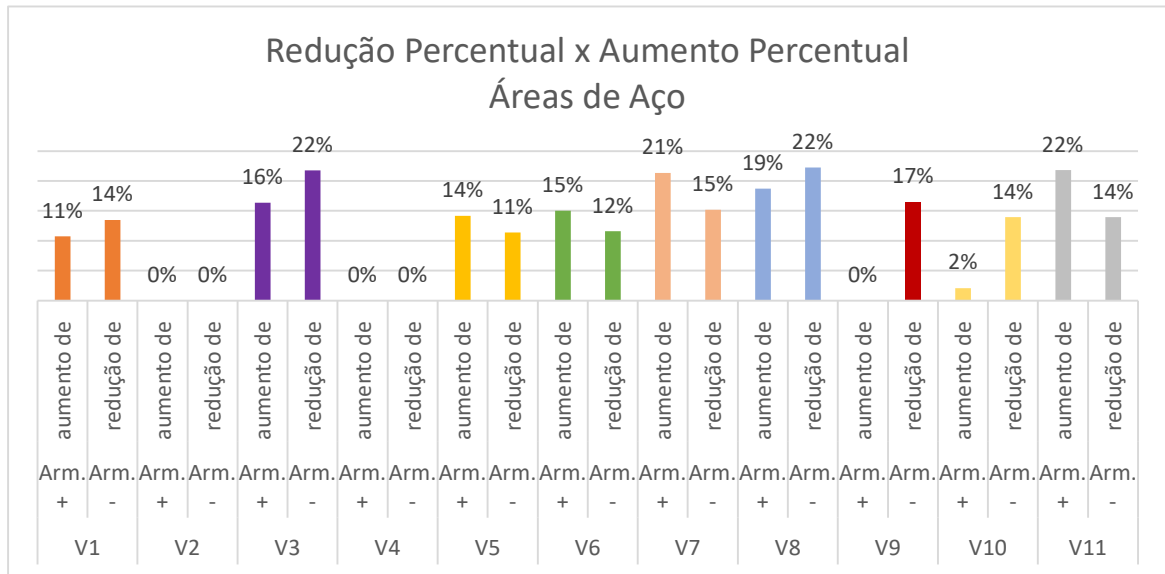
Fonte: a autora (2023).

Gráfico 10 - Percentual de Aumento e Redução de Área de Aço do Pav. Tipo 2



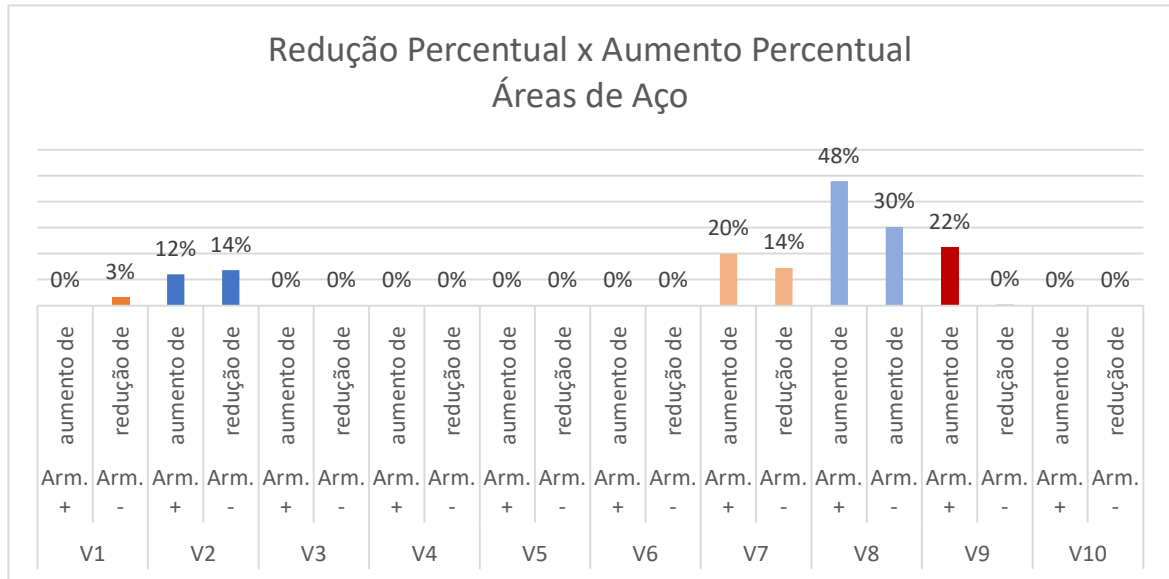
Fonte: a autora (2023).

Gráfico 11 - Percentual de Aumento e Redução de Área de Aço do Pav. Tipo 3



Fonte: a autora (2023).

Gráfico 12 - Percentual de Aumento e Redução de Área de Aço do Pav. Cobertura



Fonte: a autora (2023).

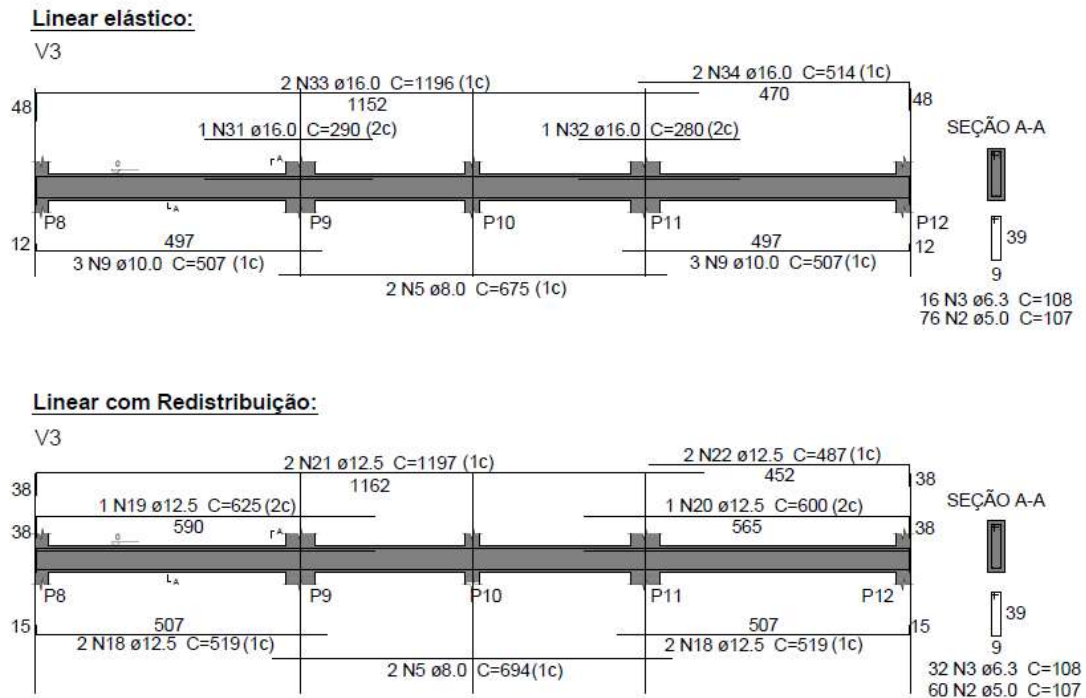
Logo, através dos gráficos pode-se observar em geral que as diferenças encontradas em termos de porcentagens não foram distantes, em alguns casos se teve uma redução significativa, porém em outros o aumento foi muito maior do que a redução, o que faz com que, nos quantitativos finais, assim como discutido no item 4.3.3 Quantitativos e Custos deste trabalho, se tenha uma equivalência de custos, não obtendo assim uma diferença considerável e que traga economia na execução destas armaduras pela análise linear com redistribuição.

Pode-se observar também que, através do Gráfico 12 referente ao pavimento cobertura, as vigas V3, V4, V5, V6 e V10 não obtiveram aumento nem redução percentual em suas áreas de aço, isso é justificado pelo fato dessas vigas demandarem de armadura mínima e não serem vigas tão solicitadas como as demais que geram uma área de aço maior.

4.3.4.2 Detalhamento Viga 3 (Pavimento térreo)

O detalhamento simplificado da Viga 3 do pavimento térreo pode ser visualizado na Figura 31, para ambos os casos de análise estrutural realizada no presente estudo.

Figura 31 - Detalhamento simplificado Viga 3 (pavimento térreo)



Fonte: a autora (2023).

Através da Figura 31 pode-se verificar que no caso linear com redistribuição para resistir aos esforços negativos, a viga que antes necessitava de barras de diâmetro 16.0 mm passou a demandar de barras de diâmetro 12.5 mm.

Com relação aos esforços positivos, a viga no caso linear elástico estava dimensionada com barras de diâmetro 10.0 mm e para o vão central barras de diâmetro 8.0 mm. Quando realizada a redistribuição de momentos fletores, os momentos que antes estavam sendo resistidos pela armadura negativa, passaram a ser aplicados na região positiva, ou seja, houve a redistribuição de esforços, de regiões mais solicitadas para as menos solicitadas, assim, conseqüentemente, houve o aumento da armadura positiva, passando a ser de diâmetro 12.5 mm nos vãos extremos e para o vão central, como o aumento de momento fletor foi pequeno a viga permaneceu com a armadura de diâmetro 8.0 mm.

Pode-se verificar que para esta viga, houve uma diminuição significativa das barras de diâmetro 16.0 mm ocasionando uma certa economia, porém, em contrapartida, as barras de 12.5 mm aumentaram, totalizando um custo de R\$ 991,02 com ferragem pela análise linear e R\$ 879,46 pela análise linear com redistribuição,

obtendo-se uma redução no custo de 11% o que equivale a R\$ 111,56 conforme a Tabela 7.

Tabela 13 - Comparativo quantitativo V3 Pav. Térreo

PAVIMENTO TERREO VIGA 3				
Diam.	Linear elástico		Linear com redistribuição	
	Quant (barras)	Custo R\$	Quant (barras)	Custo R\$
5.0	7	R\$ 128,79	6	R\$ 101,58
6.3	2	R\$ 47,78	4	R\$ 95,56
8.0	2	R\$ 76,82	2	R\$ 76,82
10.0	3	R\$ 171,39	-	R\$ -
12.5	-	R\$ -	7	R\$ 605,50
16.0	4	R\$ 566,24	-	R\$ -
TOTAL		R\$ 991,02		R\$ 879,46

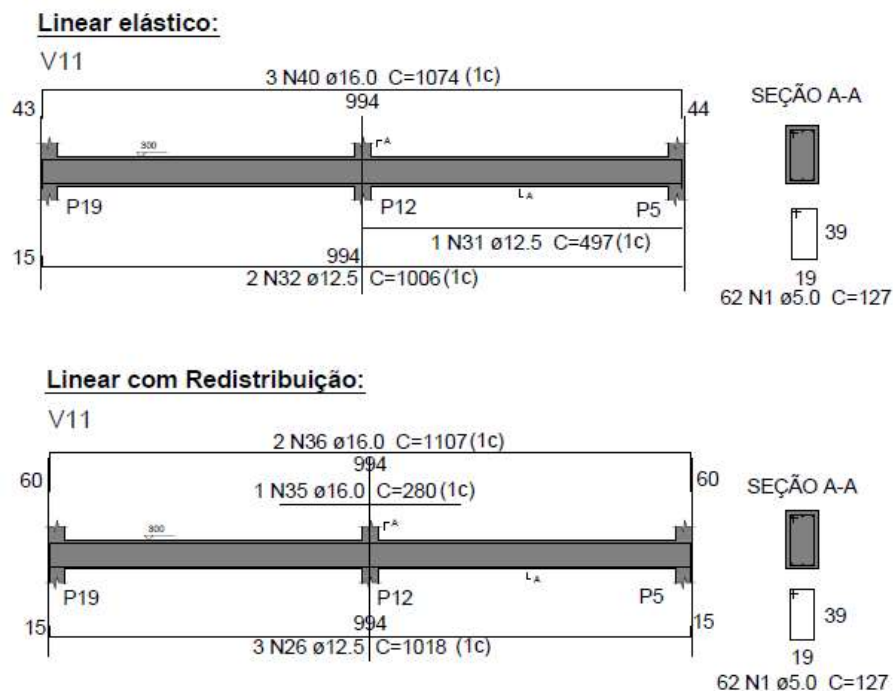
Fonte: a autora (2023).

Quanto ao detalhamento em si, de ambas as situações de análise, não verificou-se melhora neste quesito.

4.3.4.3 Detalhamento Viga 11 (Pavimento Tipo 1)

O detalhamento simplificado da Viga 11 do pavimento tipo 1 pode ser visualizado na Figura 32, para ambos os casos de análise estrutural realizada no presente estudo.

Figura 32 - Detalhamento Simplificado Viga 11 (pavimento tipo 1)



Fonte: a autora (2023).

A partir do detalhamento pode-se perceber que no caso linear com redistribuição houve a diminuição de armadura para os momentos negativos, passando de 3 barras de diâmetro 16.0 mm para 2 barras de diâmetro 16.0 mm + 1 barra localizada no pilar central, P12.

Para os momentos fletores positivos, houve o aumento de armadura, onde pela análise linear os esforços eram resistidos por 2 barras de 12.5mm, quando redistribuído, passaram a necessitar do acréscimo de 1 barra deste mesmo diâmetro, passando a ser resistido por 3 barras de 12.5mm.

Os quantitativos e custos com relação a ferragem da viga 11 podem ser visualizados na Tabela 8.

Tabela 14 - Comparativo quantitativo V11 Pav. Tipo 1

PAVIMENTO TIPO 1 VIGA 11						
Diam.	Linear elástico			Linear com redistribuição		
	Quant (barras)	C. Total (m)	Custo R\$	Quant (barras)	C. Total (m)	Custo R\$
5.0	7	78,8	R\$ 124,67	7	78,8	R\$ 124,67
6.3	-	-	R\$ -	-	-	R\$ -
8.0	-	-	R\$ -	-	-	R\$ -
10.0	-	-	R\$ -	-	-	R\$ -
12.5	3	25,1	R\$ 259,50	3	30,6	R\$ 259,50
16.0	3	32,3	R\$ 424,68	3	25	R\$ 424,68
TOTAL			R\$ 808,85			R\$ 808,85

Fonte: a autora (2023).

Pode-se verificar que para ambas as situações de análise o custo encontrado foi o mesmo de R\$ 808,85, pois as vigas obtiveram a mesma quantidade de barras, o que mudou de um caso para o outro foi o comprimento linear das barras, as quais na condição redistribuída as de diâmetro 16.0 mm foram reduzidas e as de diâmetro 12.5 mm foi um pouco superior.

Nesta viga é possível constatar o que já se tem entendido, que ao reduzir os momentos fletores negativos a armadura nesta região reduz, porém a positiva aumenta, ou seja, esta viga confirma os resultados que foram discutidos no item 4.3.4 Quantitativos e Custos, o qual a diferença encontrada para as situações de análise não foram significativas, praticamente equivalendo-se as alterações de bitola com relação aos custos.

Quanto ao detalhamento em si, de ambas as situações de análise, não verificou-se melhora neste quesito.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente trabalho teve como objetivo analisar aspectos técnicos e econômicos de um conjunto de vigas de concreto armado de um edifício exemplo por meio de duas análises: linear elástica e linear com redistribuição.

Através do dimensionamento das vigas por meio da análise linear redistribuída, foi verificado a ocorrência do erro D212 e percebido que o *software* realizava a redução da rigidez que influenciava posteriormente na redistribuição dos momentos fletores e não reduzia diretamente os momentos fletores, assim como suposto em princípio. Logo, através desse erro foi preciso reduzir a porcentagem de redução de rigidez, para assim as vigas atenderem as prescrições normativas previstas pela ABNT NBR 6118 (2014) e assim a estrutura foi processada e verificada da forma mais completa e precisa, tendo em vista as possibilidades que o *software* apresenta.

Por meio do comparativo de momentos fletores, foi possível verificar que a redistribuição proposta por este trabalho foi realizada, e o que já se previa aconteceu de fato, pois os momentos fletores negativos foram reduzidos e conseqüentemente os positivos tiveram seus valores aumentados, ocasionando assim a plastificação dos materiais e resultando na migração dos esforços para as regiões menos carregadas.

Pelo comparativo dos deslocamentos foi verificado que houveram mínimas variações de flechas, sendo assim a redistribuição de momentos fletores não influenciou de forma negativa, pelo contrário, fez com que houvesse, em alguns casos, deslocamentos reduzidos, principalmente em locais críticos da estrutura.

No comparativo referente aos quantitativos de aço e custos, verificou-se uma diferença não significativa, desta forma, o dimensionamento da estrutura do presente estudo através do método de análise linear redistribuída não trouxe benefícios econômicos, pois verificou-se que à medida que os momentos fletores negativos diminuía e a armadura para resistir à estes esforços também, ocorria conseqüentemente o aumento dos momentos positivos e de suas armaduras, para assim resistirem aos esforços. Diante disso, se teve uma equivalência de custos e quantitativos, o que justifica a redução de apenas 0,01% de custos para o método de análise linear redistribuído.

Ainda, não foram constatados grandes benefícios nos detalhamentos por meio da redistribuição de esforços, já que os detalhamentos foram modificados através da extensão do *software*, o QI Editor de Armaduras, proporcionando assim uma maior

facilidade na execução das armaduras. O que pode ser percebido foi o alívio das tensões na região comprimida das seções das vigas evitando assim um possível congestionamento de armaduras de aço sobre os apoios.

Por fim, conclui-se que os objetivos deste estudo foram alcançados, as vigas foram dimensionadas através dos dois métodos de análise propostas e foi possível concluir que através da redistribuição tem-se uma diminuição de momentos fletores negativos e por consequência um aumento nos positivos, o que pode gerar uma economia nos quantitativos de aço, porém para a estrutura proposta por este estudo, as diferenças encontradas não foram significativas e a diminuição das áreas de aço negativas foram transferidas para as positivas, obtendo-se a equivalência de quantitativos. Sugere-se para trabalhos futuros, o dimensionamento das vigas com seção T, a fim de buscar uma economia de custos e uma melhora nos detalhamentos oportunizando, além de uma economia no aço, um aumento de produtividade na execução.

REFERÊNCIAS

- ALVES, Gustavo Z.; NASCIMENTO, Arthur R. Análise plástica de vigas contínuas em concreto armado. **Revista Uningá**. Maringá, v. 28, p. 24-32, 2016. Disponível em: <https://revista.uninga.br/uningareviews/article/view/1897>. Acesso em: 30 setembro, 2022.
- ARAÚJO E SILVA, Paulo José. C. **Redistribuição de momentos fletores em estruturas hiperestáticas**. Rio de Janeiro, 1977.
- ARAÚJO, José Milton. **Curso de concreto armado**. 3. ed. Rio Grande: Dunas, 2010.
- ARAÚJO, José Milton. **Curso de concreto armado**. 4. ed. Rio Grande: Dunas, 2014.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6118**: Projeto de estruturas de concreto - procedimento. 3. ed. Rio de Janeiro, 2014.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6123**: Forças devidas ao vento em edificações. 2. ed. Rio de Janeiro, 1988.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 8681**: Ações e segurança nas estruturas – procedimento. 1. ed. Rio de Janeiro, 2004.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 9062**: Projeto e Execução de estruturas de concreto pré-moldado. 3. ed. Rio de Janeiro, 2017.
- BASTOS, Paulo Sergio. **Fundamentos do concreto armado**. São Paulo, 2019.
- BASTOS, Paulo Sergio. **Lajes de concreto armado**. São Paulo, 2021.
- CAMACHO, Jefferson Sidney. **Concreto armado I estados limites de serviço: fissuração – deformação**. São Paulo, 2009.
- CAMACHO, Jefferson Sidney. **Estudo das vigas: flexão normal simples**. São Paulo, 2015.
- CORRÊA, Patricia. **Notas de aula: teoria das estruturas**. Rio de Janeiro, 2015.
- CORREIA, João Victor F. B.; LIMA, Mislaine Moura. **Introdução aos conceitos de análise de sistemas estruturais planos e espaciais compostos de elementos unidimensionais**. Aracaju, 2019.
- COUTO, José Antônio Santos *et al.* **O concreto como material de construção**. Cadernos de Graduação - Ciências Exatas e Tecnologias. Sergipe, 2013.
- FONTES, Fernando F.; PINHEIRO, Libânio M. **Análise Linear com redistribuição e análise plástica de vigas de edifícios**. São Paulo, 2005.
- HIBBELER, R. C. **Estática: mecânica para engenharia**. 12. ed. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2011.
- HIBBELER, R. C. **Resistência dos materiais**. 5. ed. São Paulo, 2006.

- KASSIMALI, Aslam. **Análise estrutural**. 5. ed. São Paulo: Cengage Learning, 2015.
- KIMURA, Alio. **Informática aplicada a estruturas de concreto armado**. 2. ed. São Paulo: Oficina de textos, 2018.
- KRIPKA, Moacir. **Análise estrutural para Engenharia Civil e Arquitetura**. 3. ed. São Paulo: Oficina de textos, 2020.
- LEET, Kenneth M.; UANG, Chia-Ming; GILBERT, Anne M. **Fundamentos da análise estrutural**. 3. ed. Porto Alegre: AMGH, 2010.
- LEONHARDT, Fritz; MONNIG, Eduardo. **Construções de concreto**. 1. ed. Rio de Janeiro: Interciência, 1977.
- MEDEIROS, Marcelo Henrique F.; ANDRADE, Jairo José O.; HELENE, Paulo. **Durabilidade e Vida Útil das Estruturas de Concreto**. Cap. 22. IBRACON. 2011.
- NASCIMENTO, Clever Roberto. **Estruturas de concreto armado: lançamento estrutural e pré-dimensionamento**. 2014.
- PARIZOTTO, Liana. **Concreto Armado**. Porto Alegre: SAGAH, 2017.
- PINHEIRO, Libânio M.; MUZARDO, Cassiane D.; SANTOS, Sandro P. **Estruturas de concreto**. Cap. 15. São Paulo, 2003.
- PORTO, Thiago Bomjardim; FERNANDES, Danielle Stefane Gualberto. **Curso básico de concreto armado**. São Paulo, 2015.
- REVISTA TÉCNICA. Ambientes agressivos. São Paulo, ed.196. p.36. 2013.
- SANTOS, Daniel. **Análise de vigas de concreto armado utilizando modelos de bielas e tirantes**. São Paulo, 2006.
- VIEIRA, Rodrigo C.; TORRES, Ana Paula V. **Estruturas hiperestáticas**. Londrina: Editora e distribuidora educacional S. A., 2018.

APÊNDICE A – PLANTAS DE FORMAS

		Lajes				
Nome	Tipo	Altura (cm)	Peso próprio (kgf/m ²)	Sobrecarga (kgf/m ²)		Localizada
				Adicional	Acidental	
L1	Maciça	10	250	0	250	-
L2	Maciça	10	250	0	250	-
L3	Maciça	10	250	0	250	-
L4	Maciça	10	250	0	250	-
L5	Maciça	10	250	0	250	-
L6	Maciça	10	250	0	250	-
L7	Maciça	10	250	0	250	-
L8	Maciça	10	250	0	250	-

COBRIMENTOS CONSIDERADOS NAS ARMADURAS

1) COBRIMENTOS DAS ARMADURAS: CONSIDERA-SE QUE A OBRA TERÁ ADEQUADO CONTROLE DE QUALIDADE NAS MEDIDAS DOS ELEMENTOS ESTRUTURAIS E COBRIMENTO DA ARMADURA

CLASSE DE AGRESSIVIDADE AMBIENTAL: II - Moderada - Área Urbana

ELEMENTOS DE FUNDAÇÃO: 3,0cm
 PILARES: 3,0cm
 VIGAS: 3,0cm
 LAJES MACIÇAS: 2,5cm

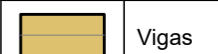
Vigas		Pilares	
Nome	Seção (cm)	Nome	Seção (cm)
V1	25x45	P1	25x25
V2	15x45	P2	25x25
V3	15x45	P3	25x25
V4	25x45	P4	25x25
V5	25x45	P5	25x25
V6	25x45	P6	25x25
V7	25x45	P7	25x25
V8	25x45	P8	25x25
V9	15x45	P9	25x50
V10	15x45	P10	25x25
V11	25x45	P11	25x50
		P12	25x25
		P13	25x25
		P14	25x25
		P15	25x25
		P16	25x25
		P17	25x25
		P18	25x25
		P19	25x25

ESPECIFICAÇÕES TÉCNICAS DOS ELEMENTOS ESTRUTURAIS

1) CONVENÇÃO DOS PILARES:

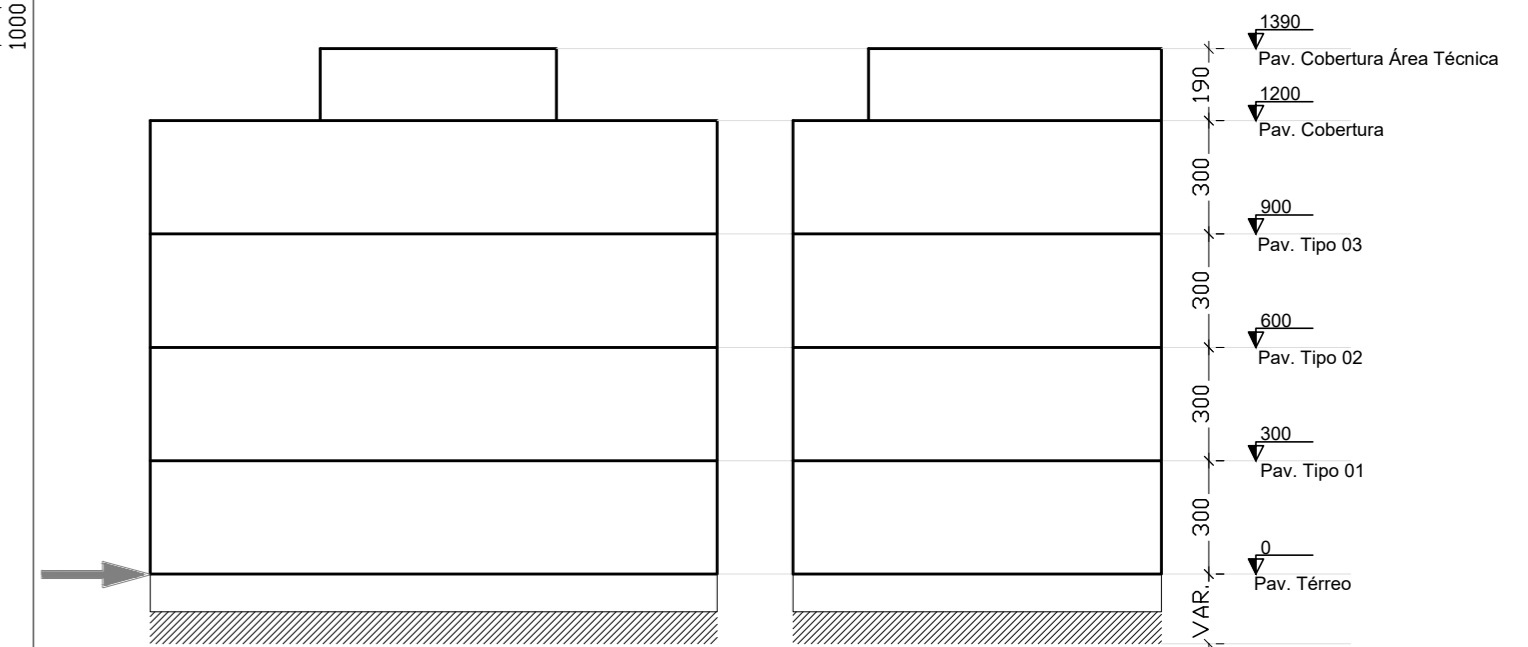
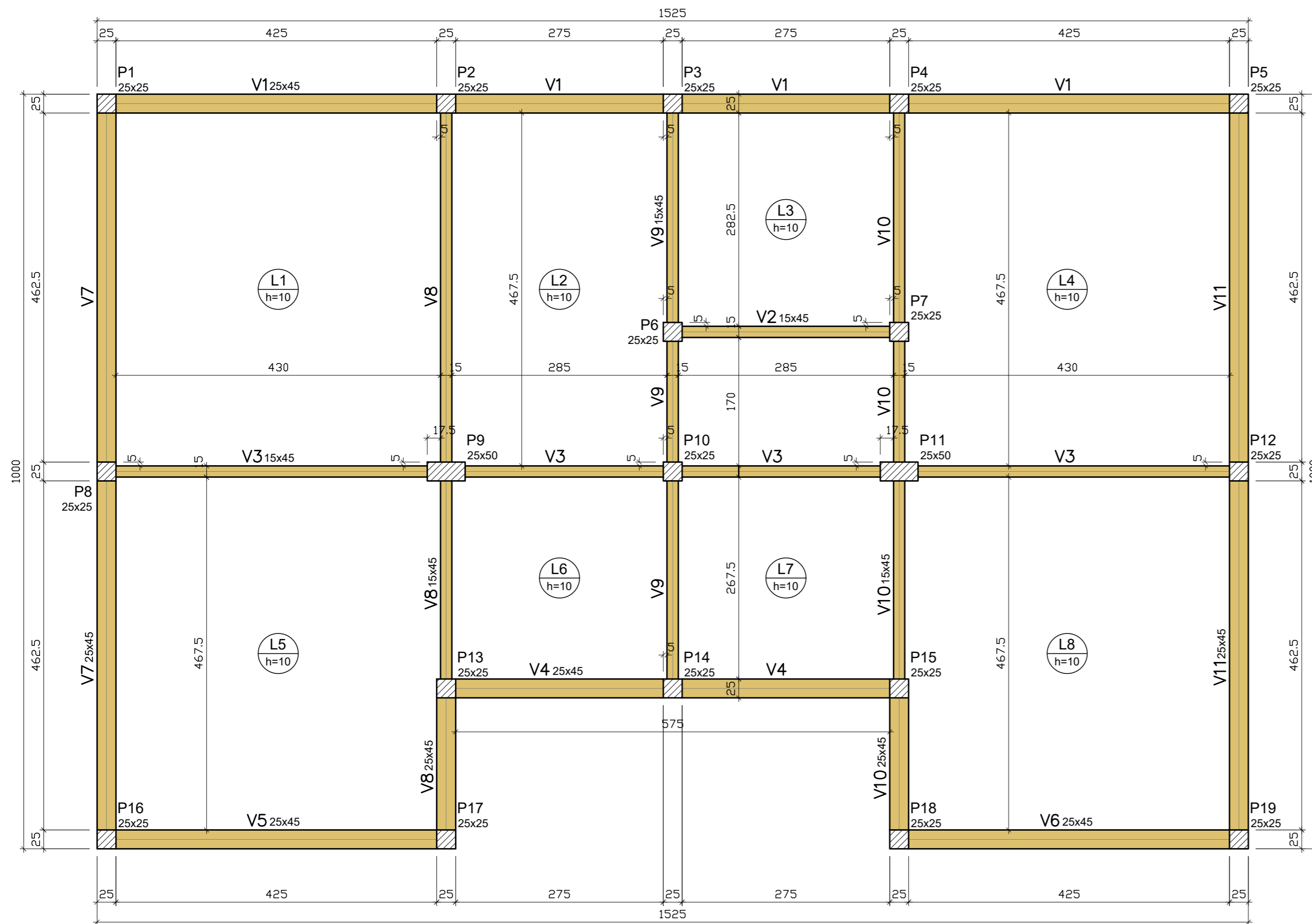
- PILAR QUE NASCE
- PILAR QUE CONTINUA
- PILAR QUE MORRE
- PILAR COM MUDANÇA DE SEÇÃO
- Seção que continua
- Seção que morre

Legenda das vigas e paredes



Características dos materiais	
f _{ck} (kgf/cm ²)	E _{cs} (kgf/cm ²)
250	289800

Dimensão máxima do agregado = 19 mm



CORTE ESQUEMÁTICO
Sem Escala

PLANTA DE FORMAS PAV. TÉRREO

Escala 1/50



Universidade de Caxias do sul

Trabalho de Conclusão de Curso
Curso: Engenharia Civil

Projeto: ESTRUTURAL
 Assunto: PLANTA DE FORMAS PAVIMENTO TÉRREO
 Acadêmica: Isadora Brochetto
 Orientador: Prof. Dr. Gustavo Ribeiro da Silva

Data: JUN / 2023
Escala: 1: 50

ESTRUTURAL
01

Lajes						
Nome	Tipo	Dados		Sobrecarga (kgf/m ²)		
		Altura (cm)	Peso próprio (kgf/m ²)	Adicional	Acidental	Localizada
L1	Maciça	10	250	0	250	-
L2	Maciça	10	250	0	250	-
L3	Maciça	10	250	0	250	-
L4	Maciça	10	250	0	250	-
L5	Maciça	10	250	0	250	-
L6	Maciça	10	250	0	250	-
L7	Maciça	10	250	0	250	-

Vigas		Pilares	
Nome	Seção (cm)	Nome	Seção (cm)
V1	25x45	P1	25x25
V2	15x45	P2	25x25
V3	15x45	P3	25x25
V4	25x45	P4	25x25
V5	25x45	P5	25x25
V6	25x45	P6	25x25
V7	25x45	P7	25x25
V8	25x45	P8	25x25
V9	15x45	P9	25x50
V10	15x45	P10	25x25
V11	25x45	P11	25x50
		P12	25x25
		P13	25x25
		P14	25x25
		P15	25x25
		P16	25x25
		P17	25x25
		P18	25x25
		P19	25x25

COBRIMENTOS CONSIDERADOS NAS ARMADURAS

1) COBRIMENTOS DAS ARMADURAS: CONSIDERA-SE QUE A OBRA TERÁ ADEQUADO CONTROLE DE QUALIDADE NAS MEDIDAS DOS ELEMENTOS ESTRUTURAIS E COBRIMENTO DA ARMADURA

CLASSE DE AGRESSIVIDADE AMBIENTAL: II - Moderada - Área Urbana

ELEMENTOS DE FUNDAÇÃO: 3,0cm
 PILARES: 3,0cm
 VIGAS: 3,0cm
 LAJES MACIÇAS: 2,5cm

ESPECIFICAÇÕES TÉCNICAS DOS ELEMENTOS ESTRUTURAIS

1) CONVENÇÃO DOS PILARES:

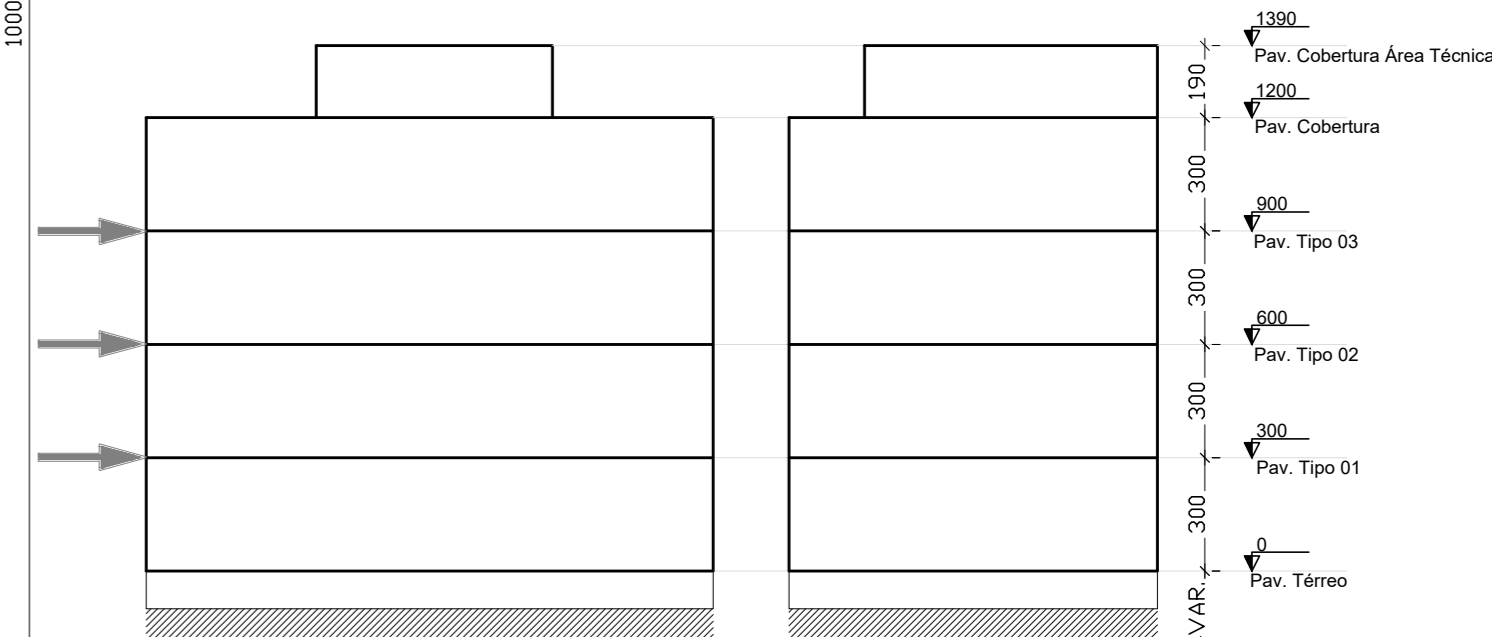
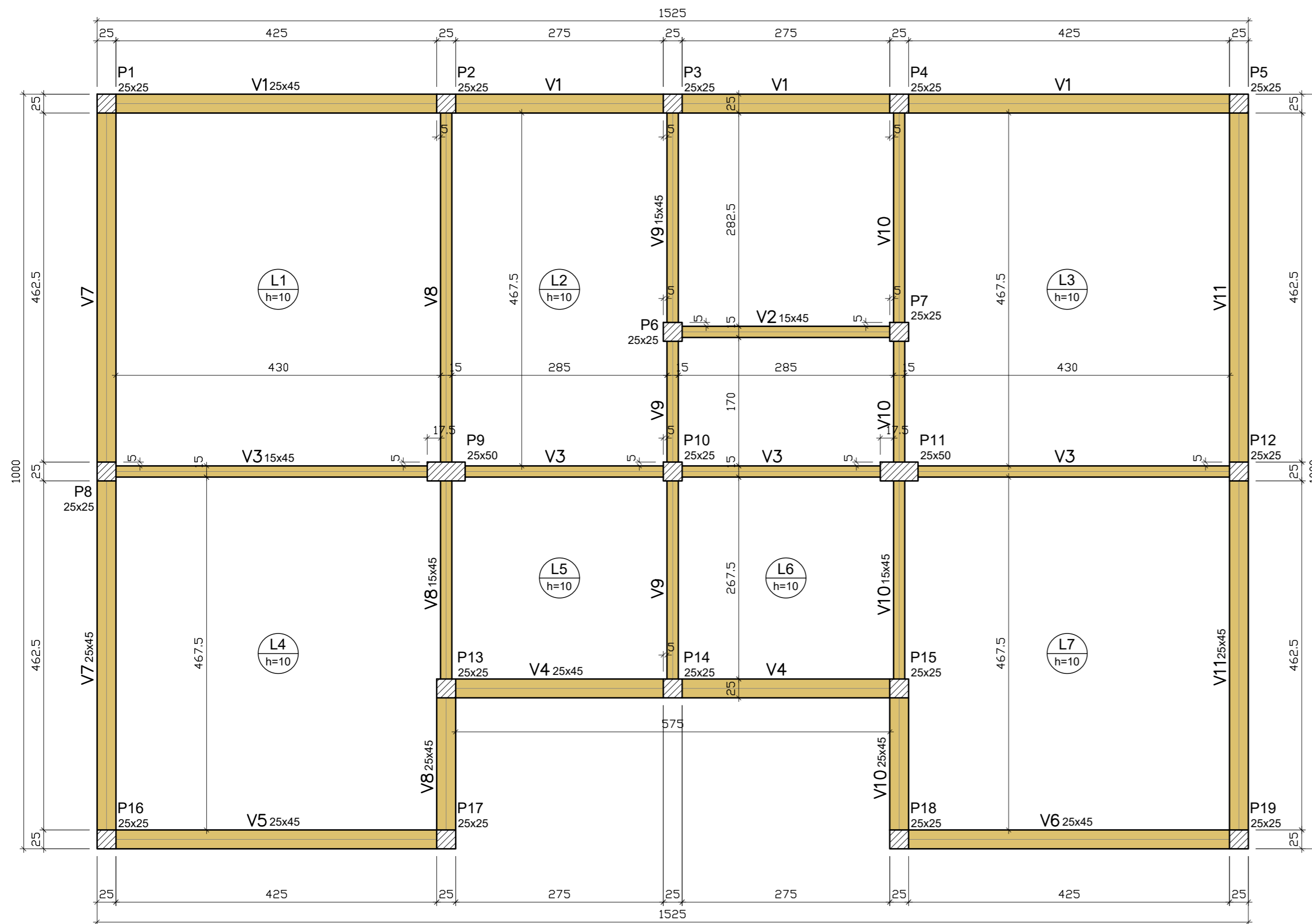
- PILAR QUE NASCE
 - PILAR QUE CONTINUA
 - PILAR QUE MORRE
 - PILAR COM MUDANÇA DE SEÇÃO
- Seção que continua
Seção que morre

Legenda das vigas e paredes

Vigas

Características dos materiais	
f _{ck} (kgf/cm ²)	E _{cs} (kgf/cm ²)
250	289800

Dimensão máxima do agregado = 19 mm



CORTE ESQUEMÁTICO
Sem Escala

PLANTA DE FORMAS PAV. TIPO (3X)

Escala 1/50



Universidade de Caxias do sul

Trabalho de Conclusão de Curso
Curso: Engenharia Civil

Projeto: ESTRUTURAL
 Assunto: PLANTA DE FORMAS PAVIMENTO TIPO (3X)
 Acadêmica: Isadora Brochetto
 Orientador: Prof. Dr. Gustavo Ribeiro da Silva

Data: JUN / 2023
Escala: 1: 50

ESTRUTURAL
02

Lajes						
Nome	Tipo	Altura (cm)	Peso próprio (kgf/m ²)	Sobrecarga (kgf/m ²)		
				Adicional	Acidental	Localizada
L1	Maciça	10	250	182	100	-
L2	Maciça	10	250	0	300	-
L3	Maciça	10	250	0	300	-
L4	Maciça	10	250	0	100	-
L5	Maciça	10	250	0	100	-
L6	Maciça	10	250	0	300	-
L7	Maciça	10	250	0	300	-
L8	Maciça	10	250	0	100	-

Vigas		Pilares	
Nome	Seção (cm)	Nome	Seção (cm)
V1	25x45	P1	25x25
V2	15x45	P2	25x25
V3	25x45	P3	25x25
V4	25x45	P4	25x25
V5	25x45	P5	25x25
V6	25x45	P6	25x25
V7	25x45	P7	25x25
V8	15x45	P8	25x25
V9	25x45	P9	25x50
V10	25x45	P10	25x25
		P11	25x50
		P12	25x25
		P13	25x25
		P14	25x25
		P15	25x25
		P16	25x25
		P17	25x25
		P18	25x25
		P19	25x25

COBRIMENTOS CONSIDERADOS NAS ARMADURAS

1) COBRIMENTOS DAS ARMADURAS: CONSIDERA-SE QUE A OBRA TERÁ ADEQUADO CONTROLE DE QUALIDADE NAS MEDIDAS DOS ELEMENTOS ESTRUTURAIS E COBRIMENTO DA ARMADURA

CLASSE DE AGRESSIVIDADE AMBIENTAL: II - Moderada - Área Urbana

ELEMENTOS DE FUNDAÇÃO: 3,0cm
 PILARES: 3,0cm
 VIGAS: 3,0cm
 LAJES MACIÇAS: 2,5cm

ESPECIFICAÇÕES TÉCNICAS DOS ELEMENTOS ESTRUTURAIS

1) CONVENÇÃO DOS PILARES:

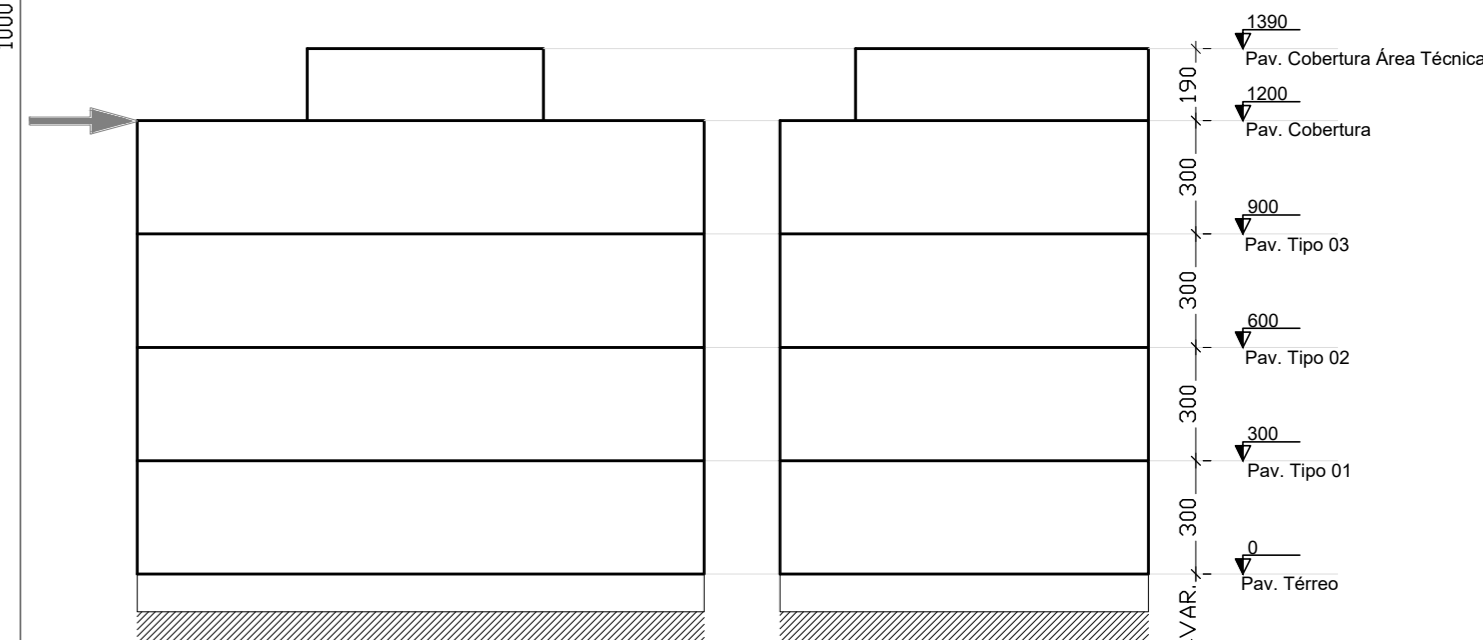
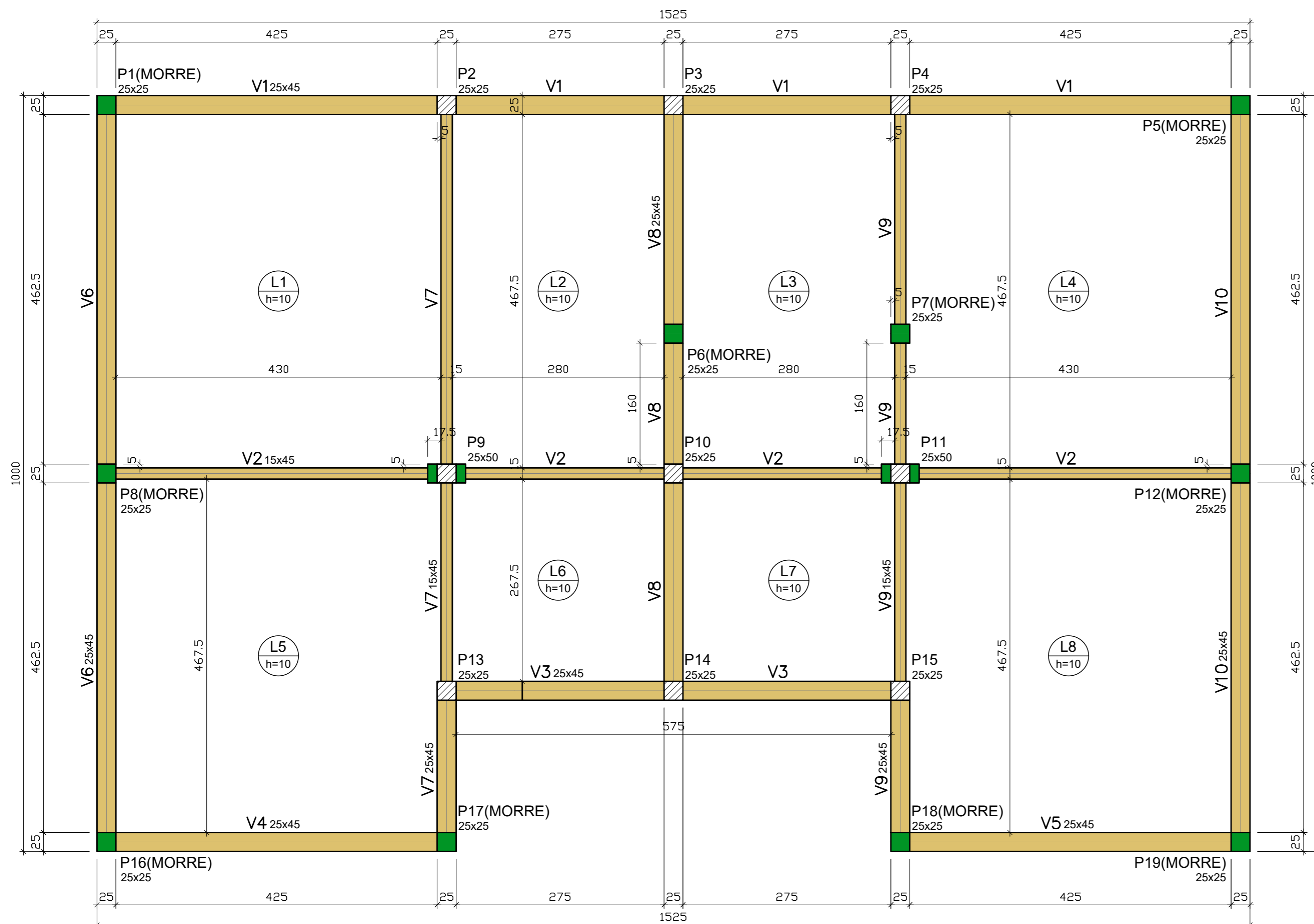
- PILAR QUE NASCE
 - PILAR QUE CONTINUA
 - PILAR QUE MORRE
 - PILAR COM MUDANÇA DE SEÇÃO
- Seção que continua
Seção que morre

Legenda das vigas e paredes

Vigas

Características dos materiais	
f _{ck} (kgf/cm ²)	E _{cs} (kgf/cm ²)
250	289800

Dimensão máxima do agregado = 19 mm



CORTE ESQUEMÁTICO
Sem Escala

PLANTA DE FORMAS PAV. COBERTURA

Escala 1/50



Universidade de Caxias do sul

Trabalho de Conclusão de Curso
Curso: Engenharia Civil

Projeto: ESTRUTURAL
 Assunto: PLANTA DE FORMAS PAVIMENTO COBERTURA
 Acadêmica: Isadora Brochetto
 Orientador: Prof. Dr. Gustavo Ribeiro da Silva

Data: JUN / 2023
Escala: 1: 50

ESTRUTURAL
03

Lajes						
Nome	Tipo	Dados		Sobrecarga (kgf/m ²)		
		Altura (cm)	Peso próprio (kgf/m ²)	Adicional	Acidental	Localizada
L1	Maciça	10	250	0	100	-
L2	Maciça	10	250	0	100	-
L3	Maciça	10	250	0	100	-
L4	Maciça	10	250	0	100	-

Vigas		Pilares	
Nome	Seção (cm)	Nome	Seção (cm)
V1	25x45	P2	25x25
V2	25x45	P3	25x25
V3	25x45	P4	25x25
V4	25x45	P9	25x25
V5	25x45	P10	25x25
V6	25x45	P11	25x25
		P13	25x25
		P14	25x25
		P15	25x25





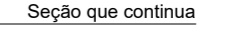
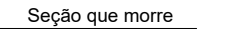
COBRIMENTOS CONSIDERADOS NAS ARMADURAS

1) COBRIMENTOS DAS ARMADURAS: CONSIDERA-SE QUE A OBRA TERÁ ADEQUADO CONTROLE DE QUALIDADE NAS MEDIDAS DOS ELEMENTOS ESTRUTURAIS E COBRIMENTO DA ARMADURA

CLASSE DE AGRESSIVIDADE AMBIENTAL: II - Moderada - Área Urbana
 ELEMENTOS DE FUNDAÇÃO: 3,0cm
 PILARES: 3,0cm
 VIGAS: 3,0cm
 LAJES MACIÇAS: 2,5cm

ESPECIFICAÇÕES TÉCNICAS DOS ELEMENTOS ESTRUTURAIS

1) CONVENÇÃO DOS PILARES:

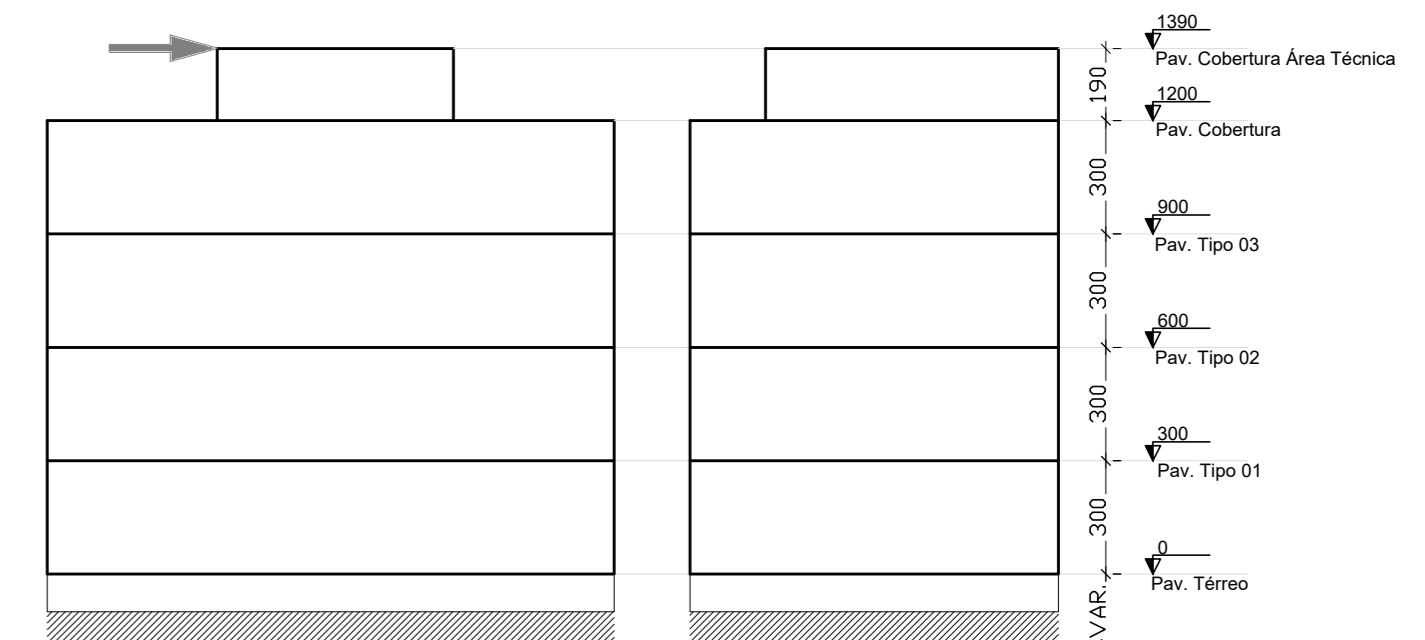
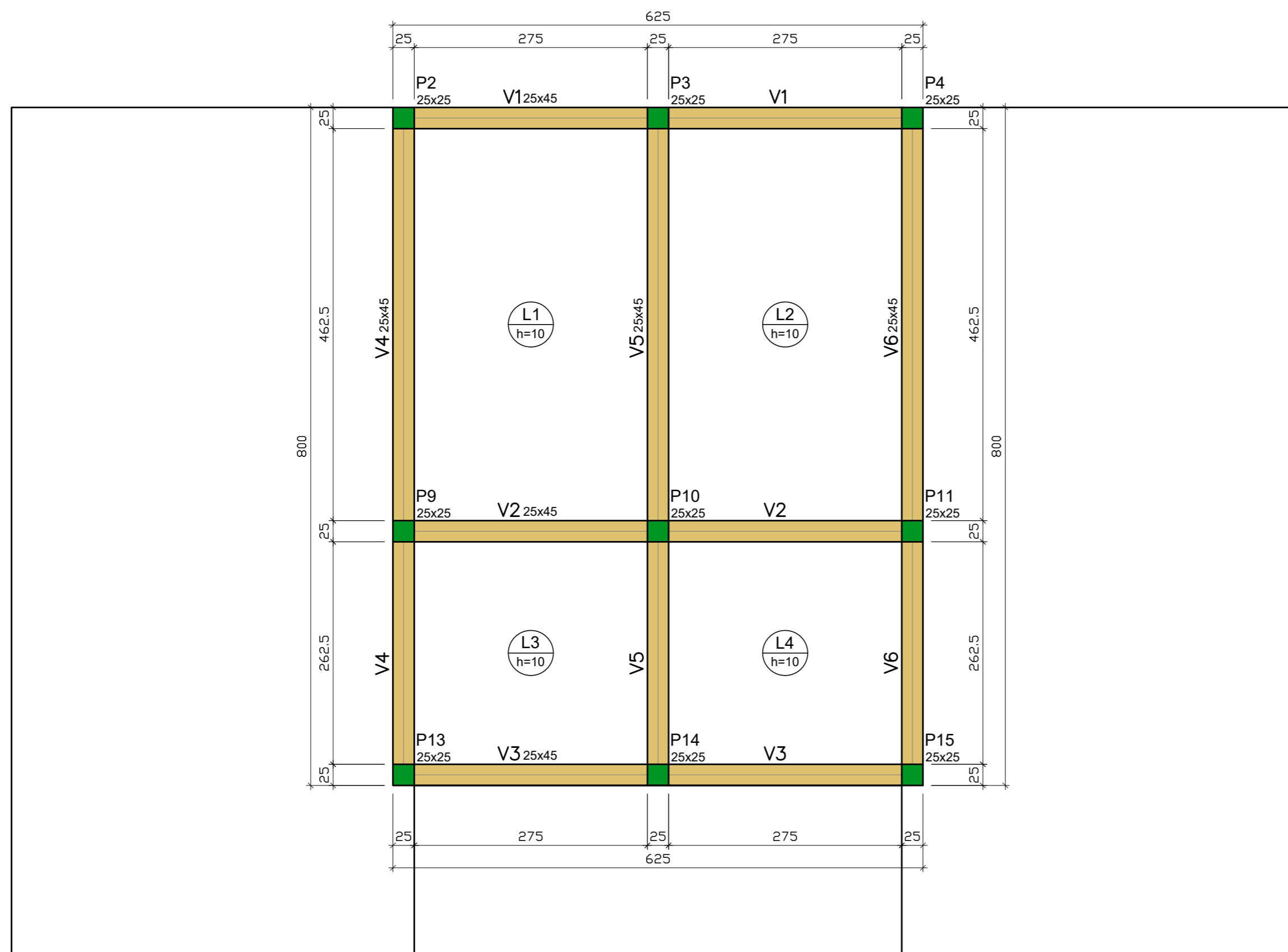
-  PILAR QUE NASCE
-  PILAR QUE CONTINUA
-  PILAR QUE MORRE
-  PILAR COM MUDANÇA DE SEÇÃO
 -  Seção que continua
 -  Seção que morre

Legenda das vigas e paredes

	Vigas
---	-------

Características dos materiais	
f _{ck} (kgf/cm ²)	E _{cs} (kgf/cm ²)
250	289800

Dimensão máxima do agregado = 19 mm



CORTE ESQUEMÁTICO

Sem Escala

PLANTA DE FORMAS PAV. ÁREA TÉCNICA

Escala 1/50



Universidade de Caxias do sul

Trabalho de Conclusão de Curso
 Curso: Engenharia Civil

Projeto: ESTRUTURAL

Assunto: PLANTA DE FORMAS PAVIMENTO ÁREA TÉCNICA

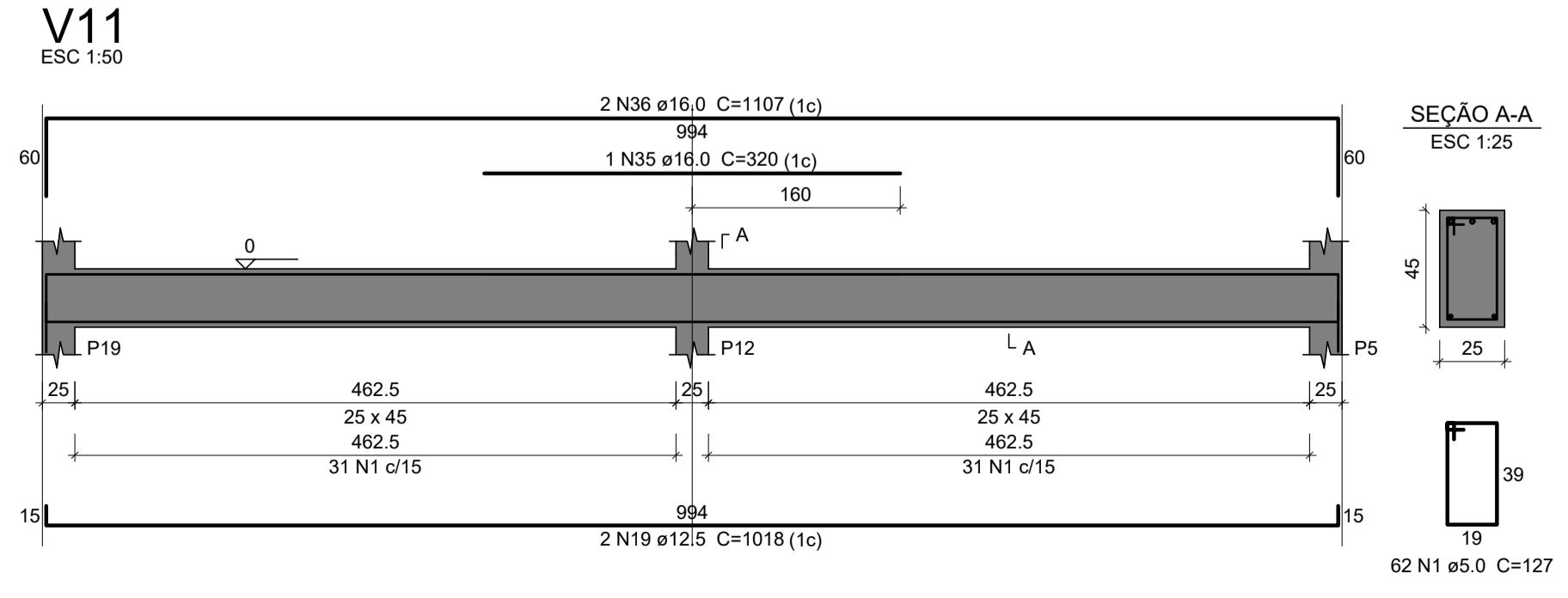
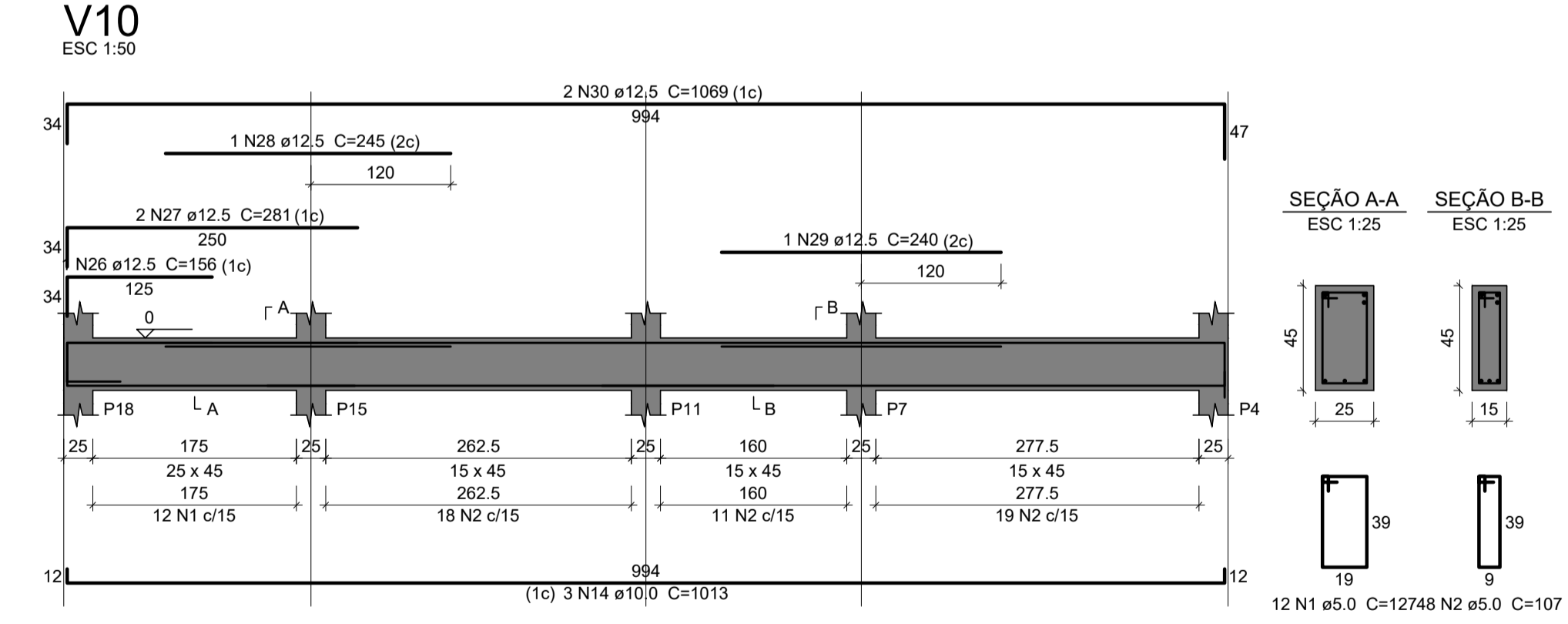
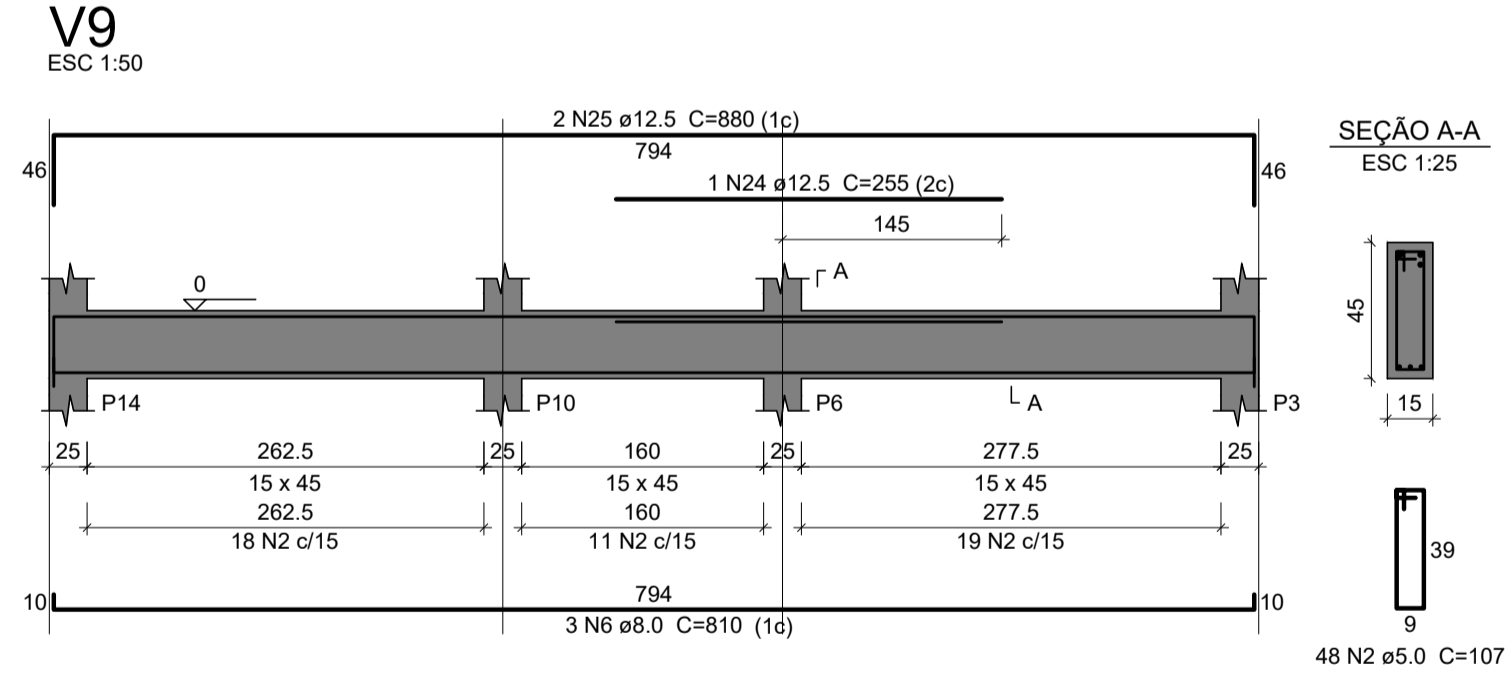
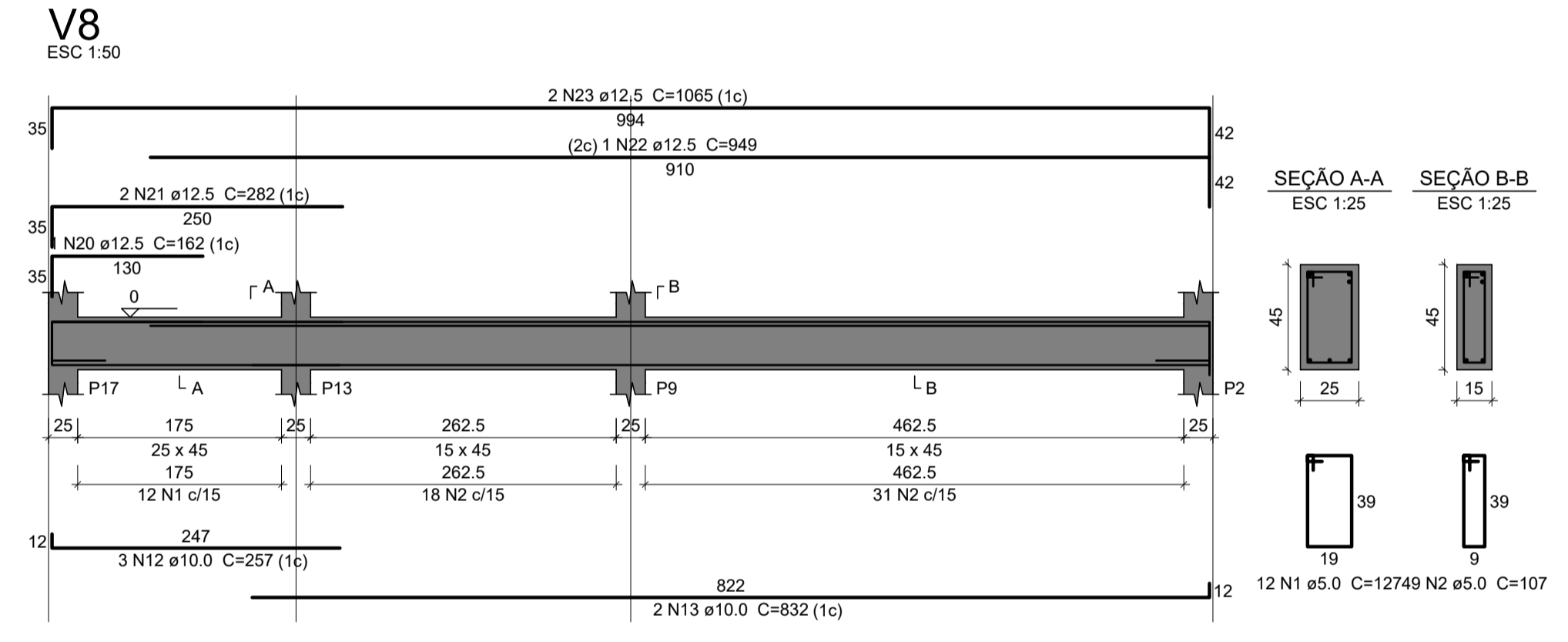
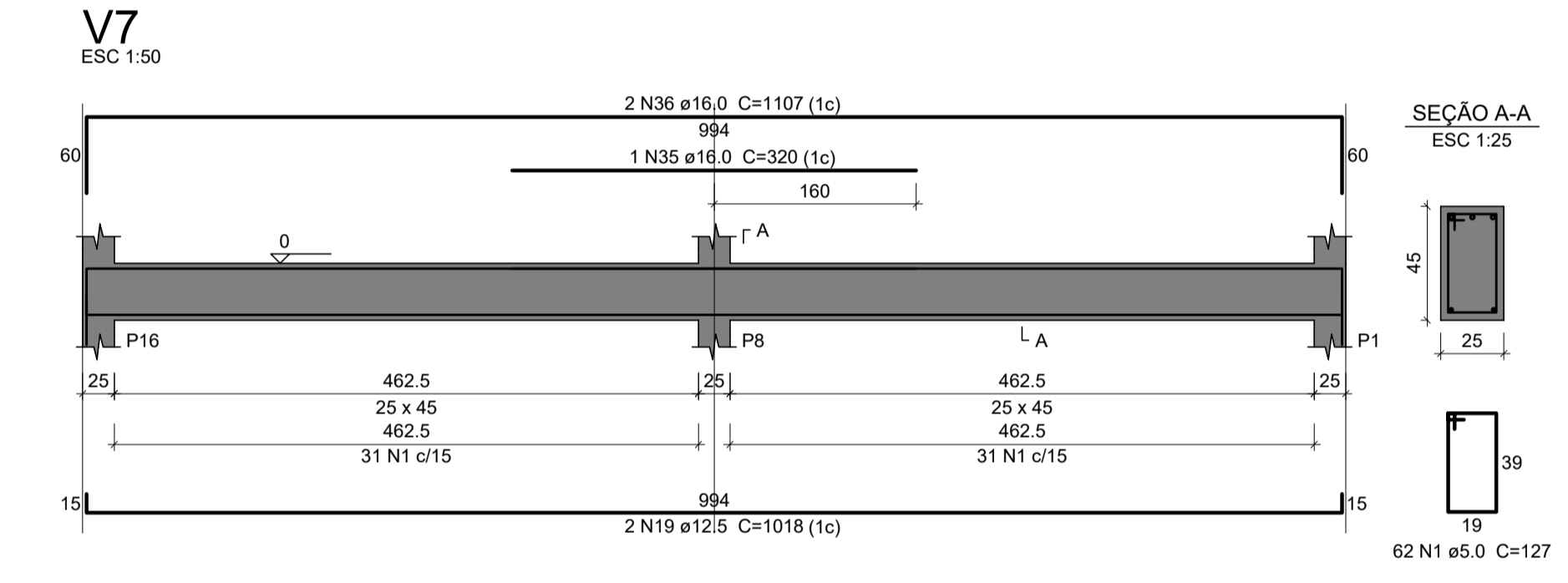
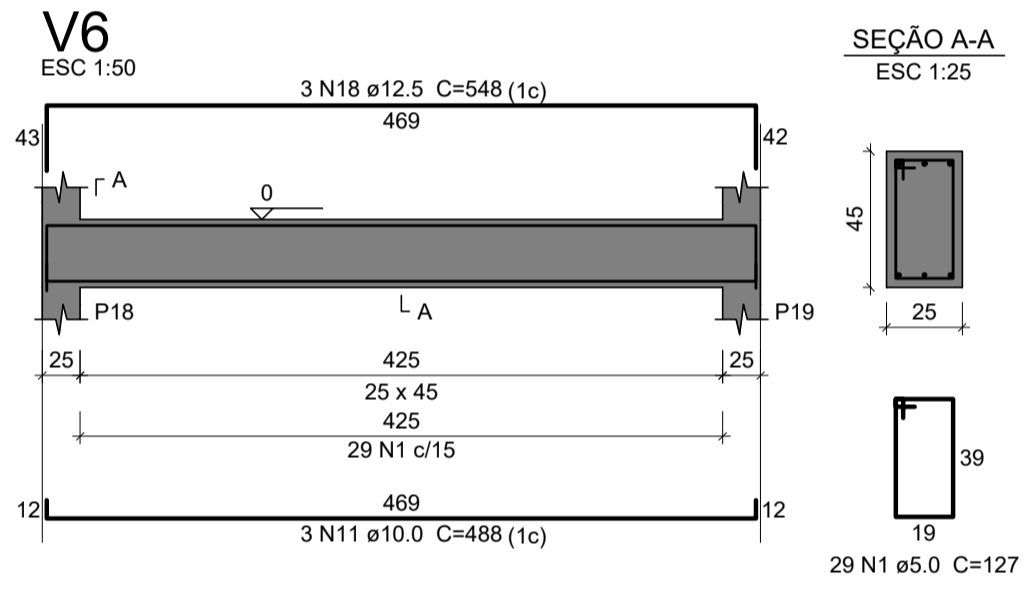
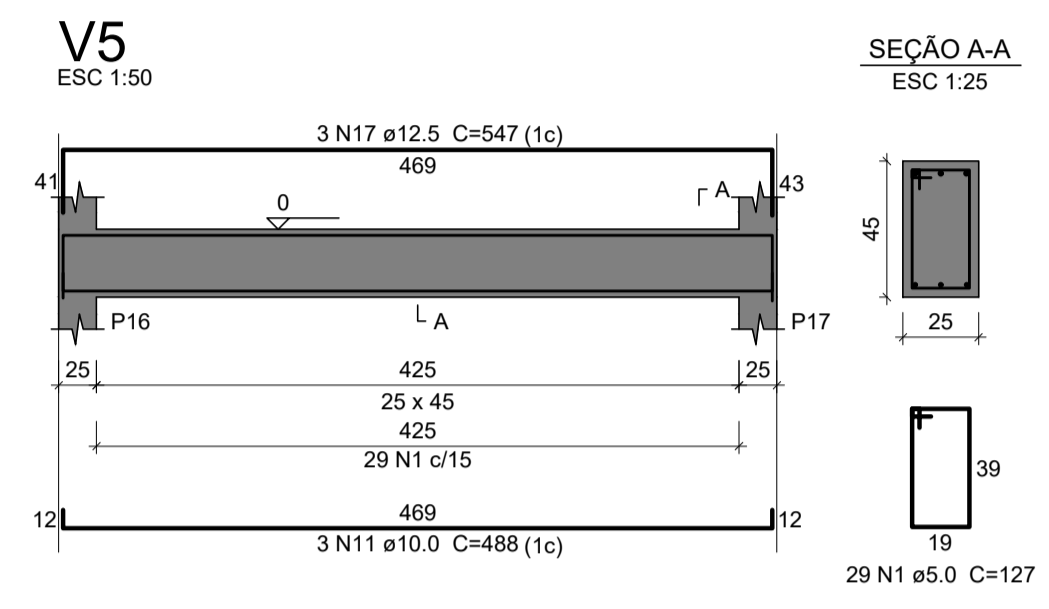
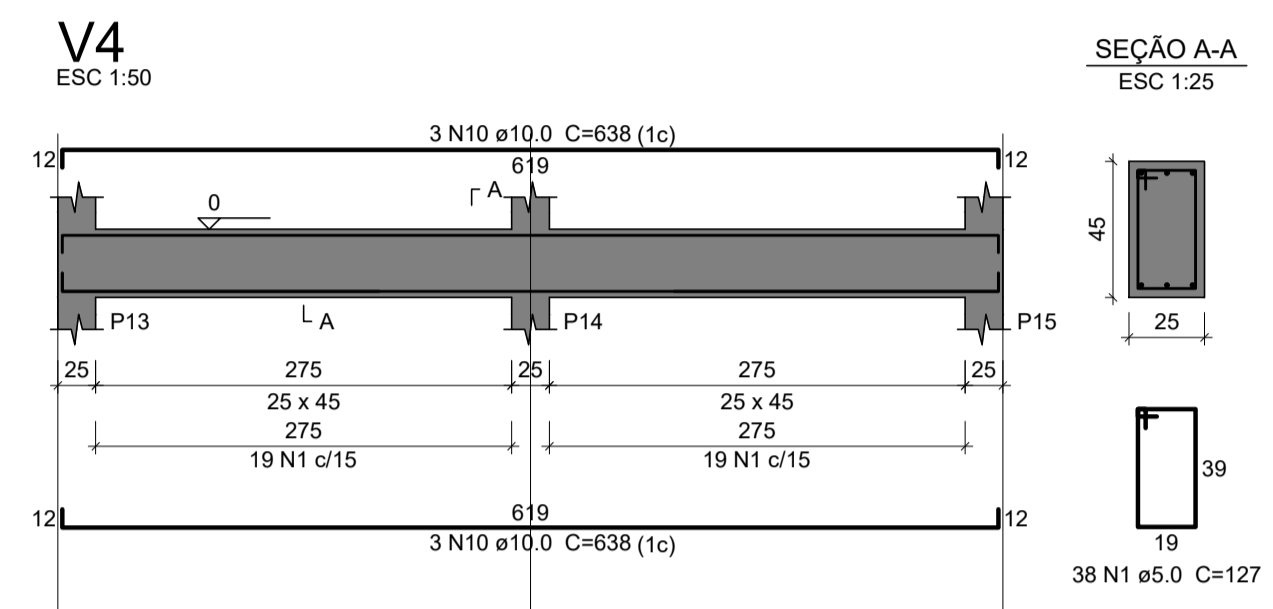
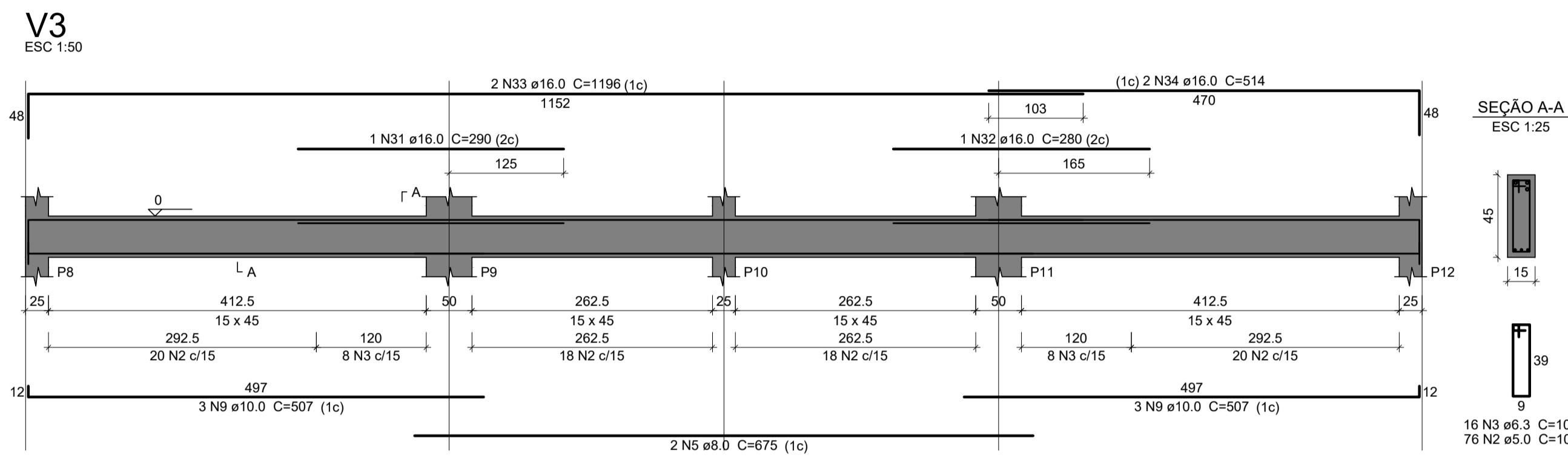
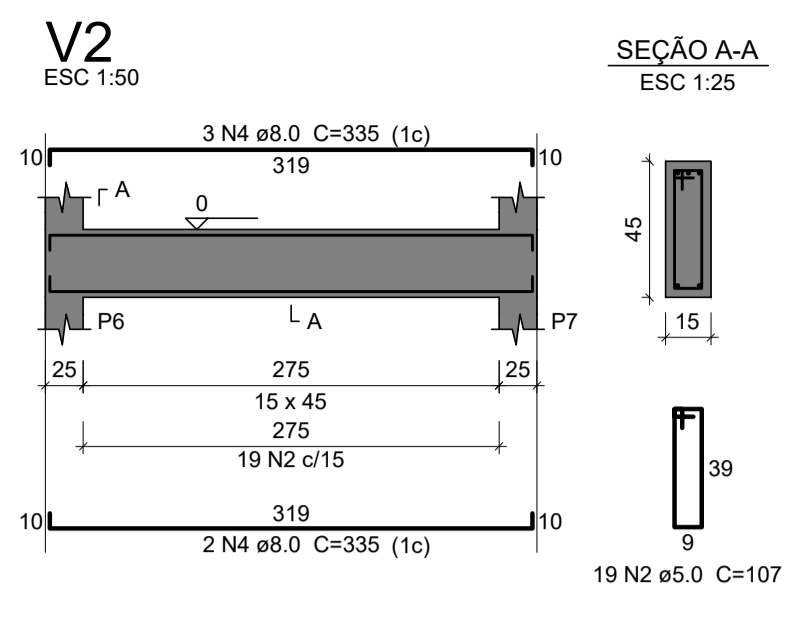
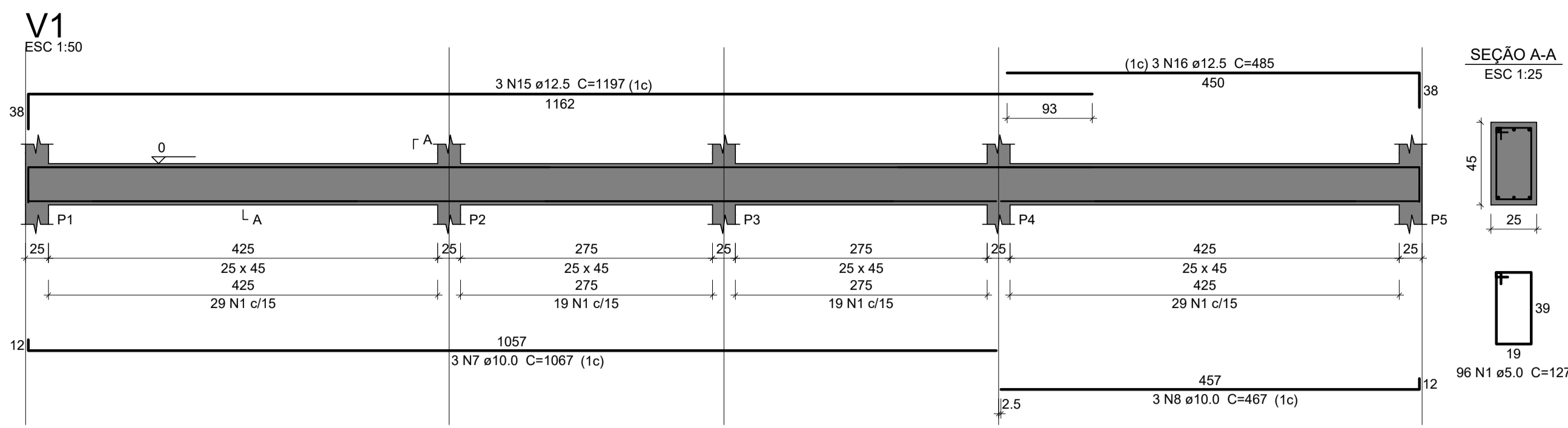
Acadêmica: Isadora Brochetto

Orientador: Prof. Dr. Gustavo Ribeiro da Silva

Data: JUN / 2023
 Escala: 1: 50

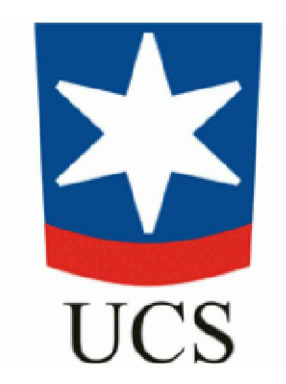
ESTRUTURAL
 04

APÊNDICE B – DETALHAMENTOS DE VIGAS (situação linear elástica)



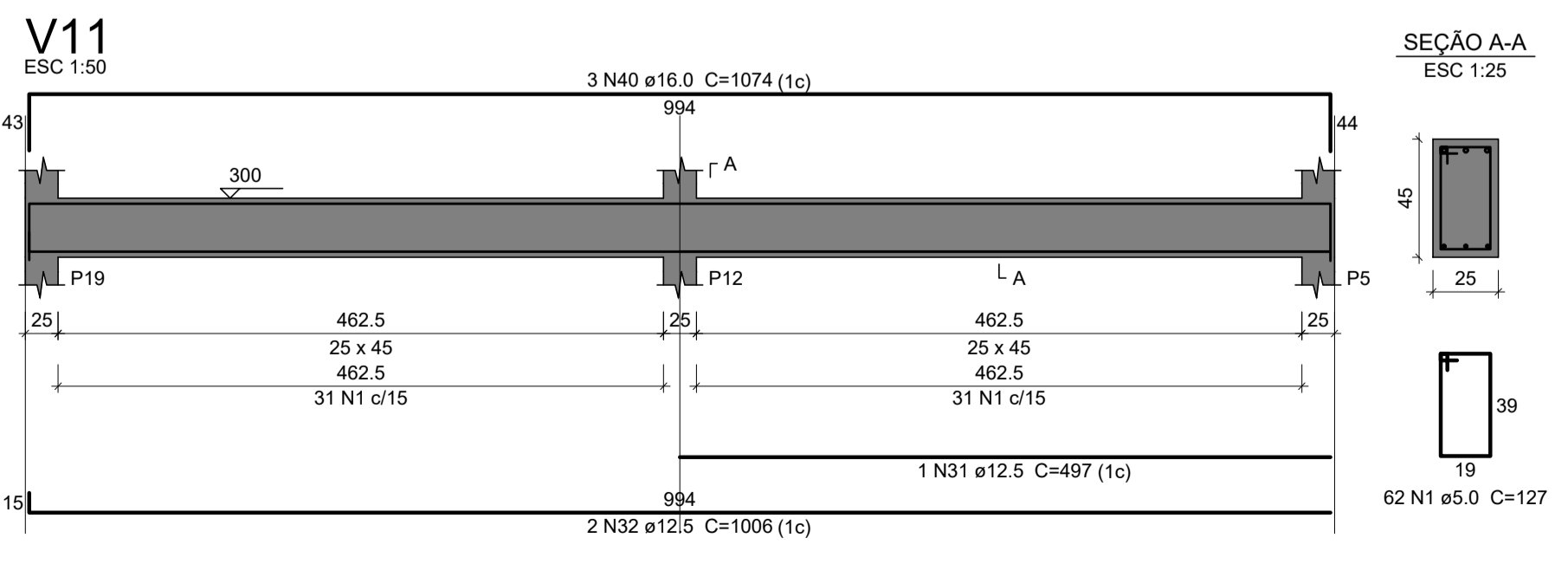
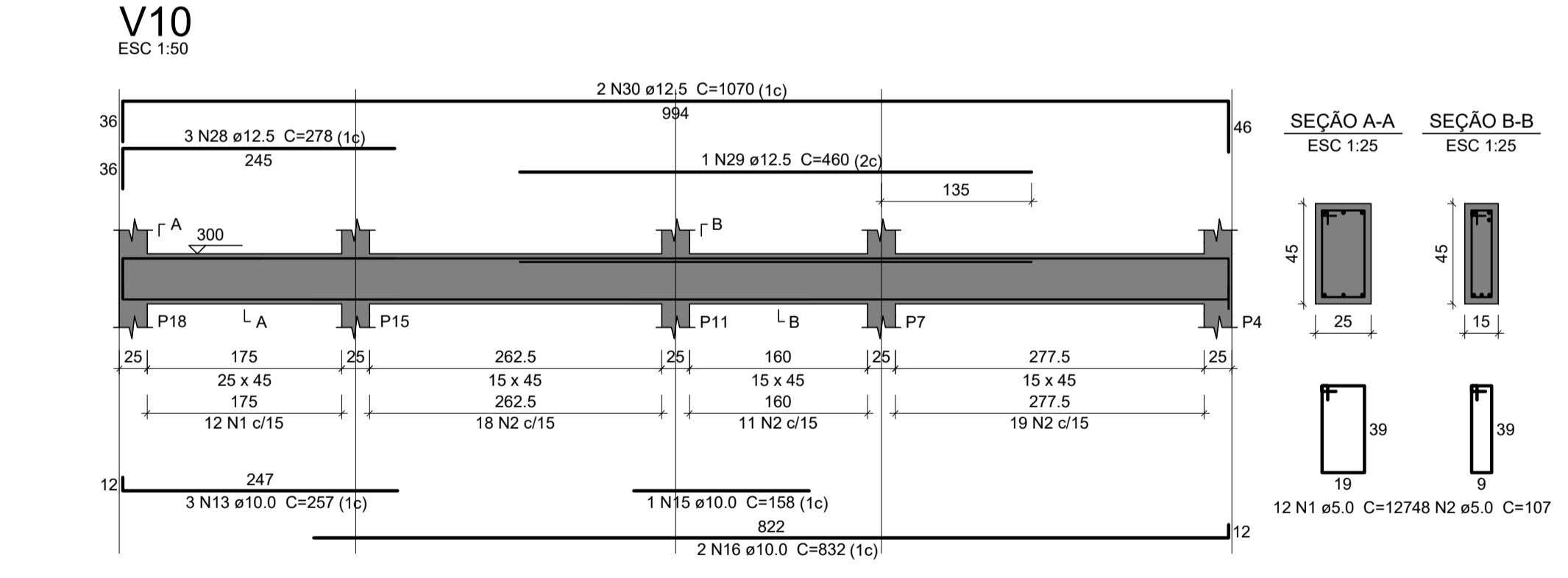
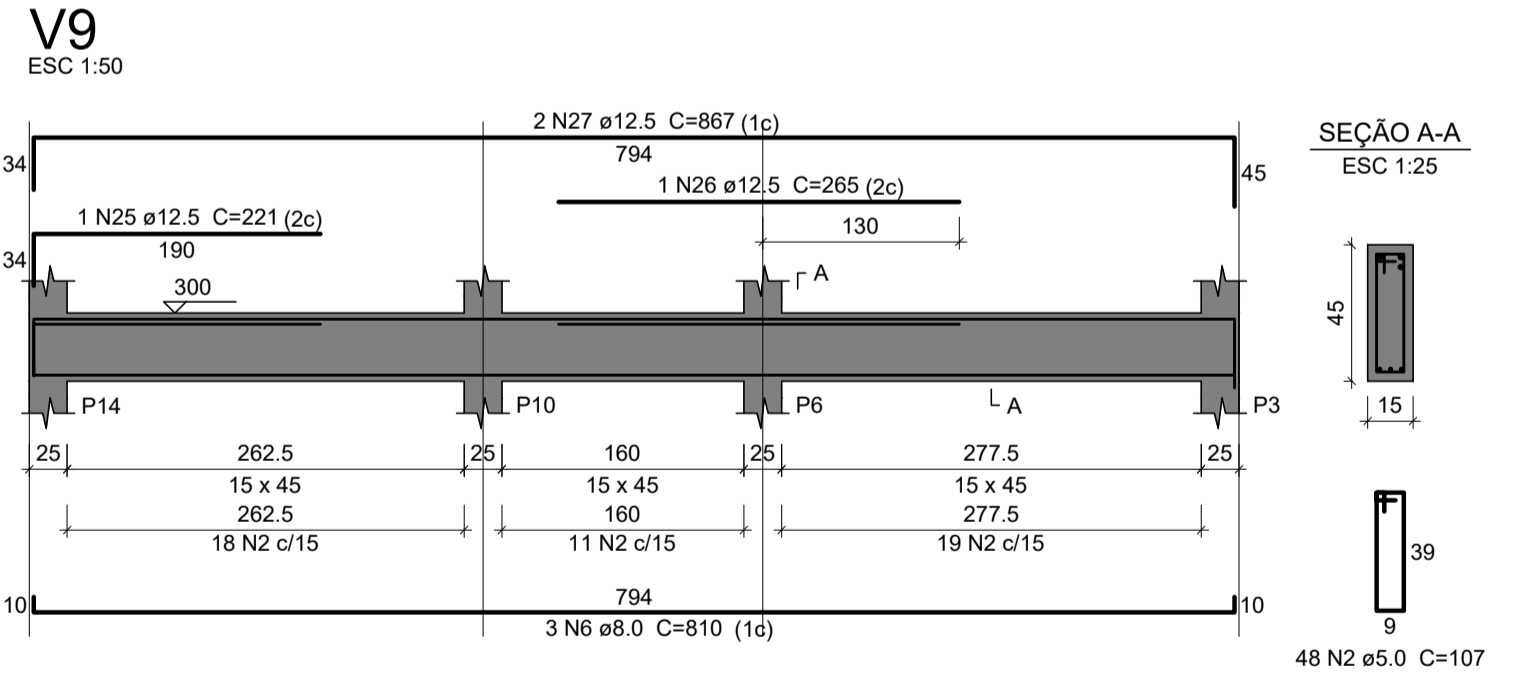
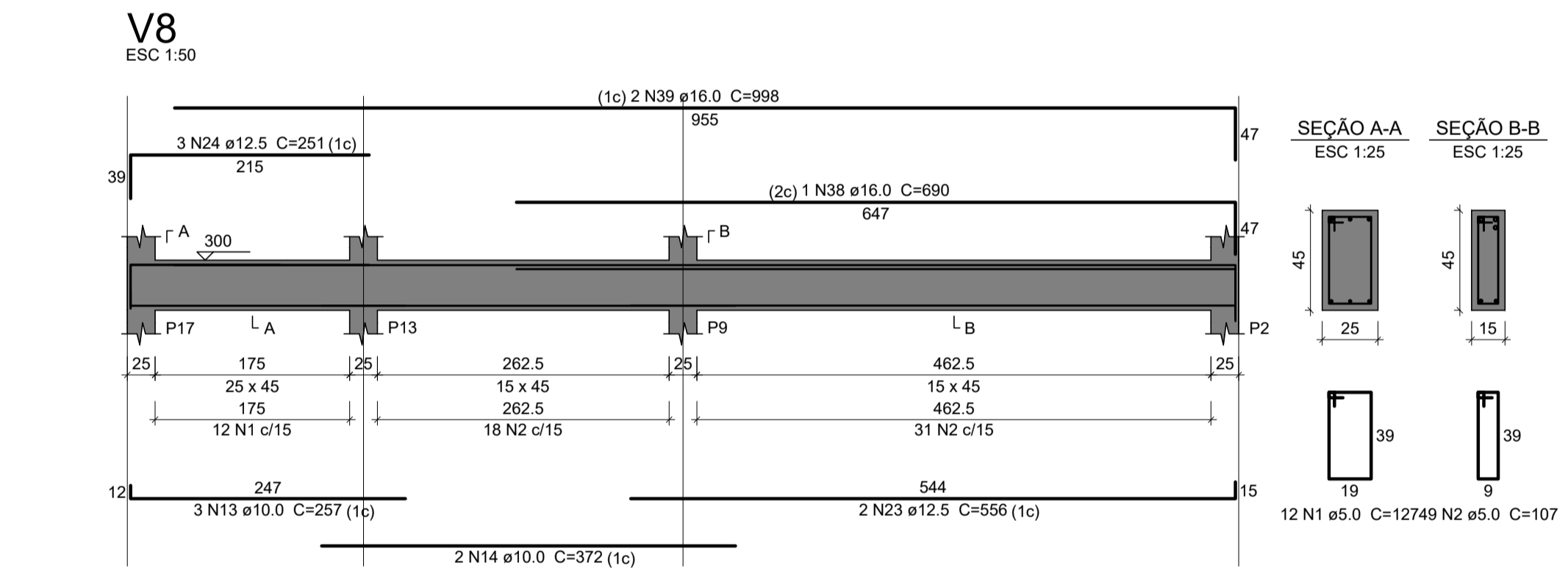
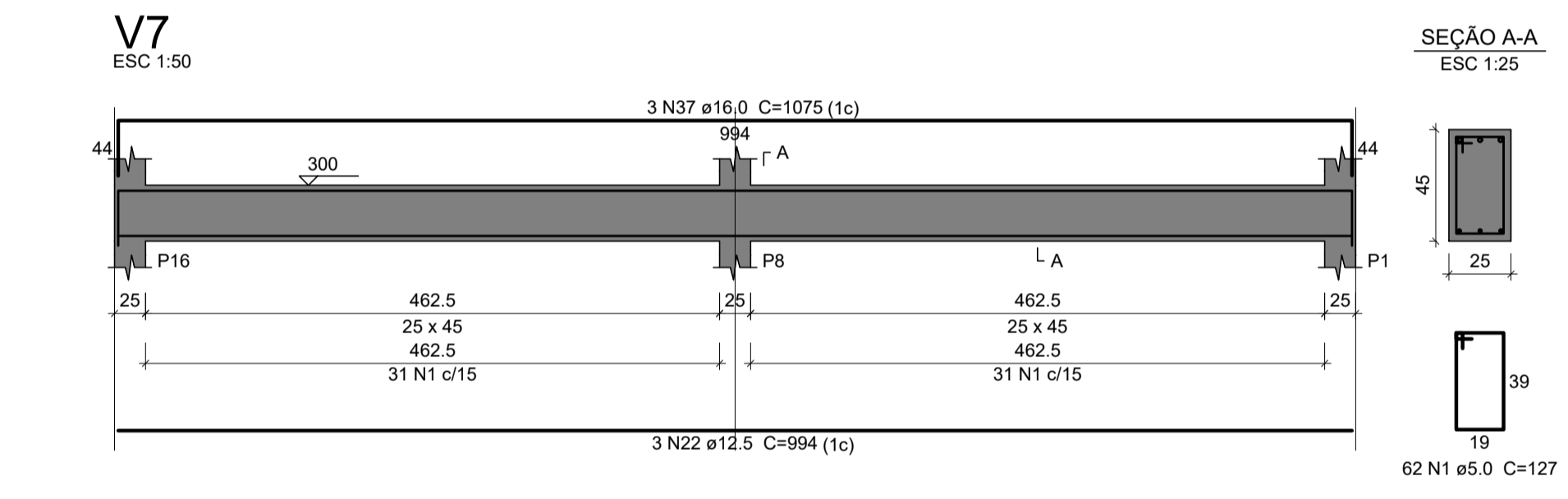
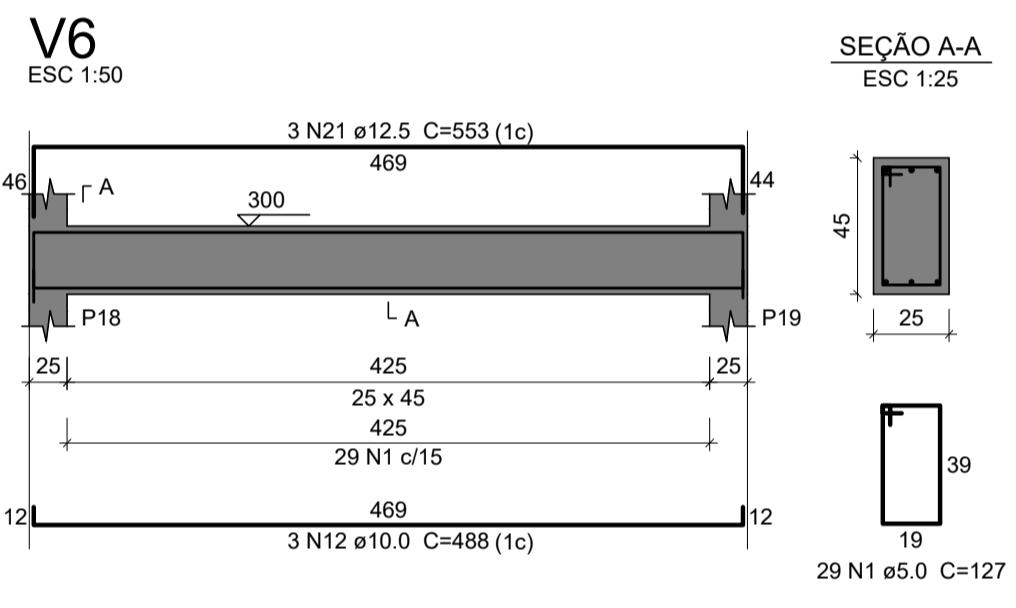
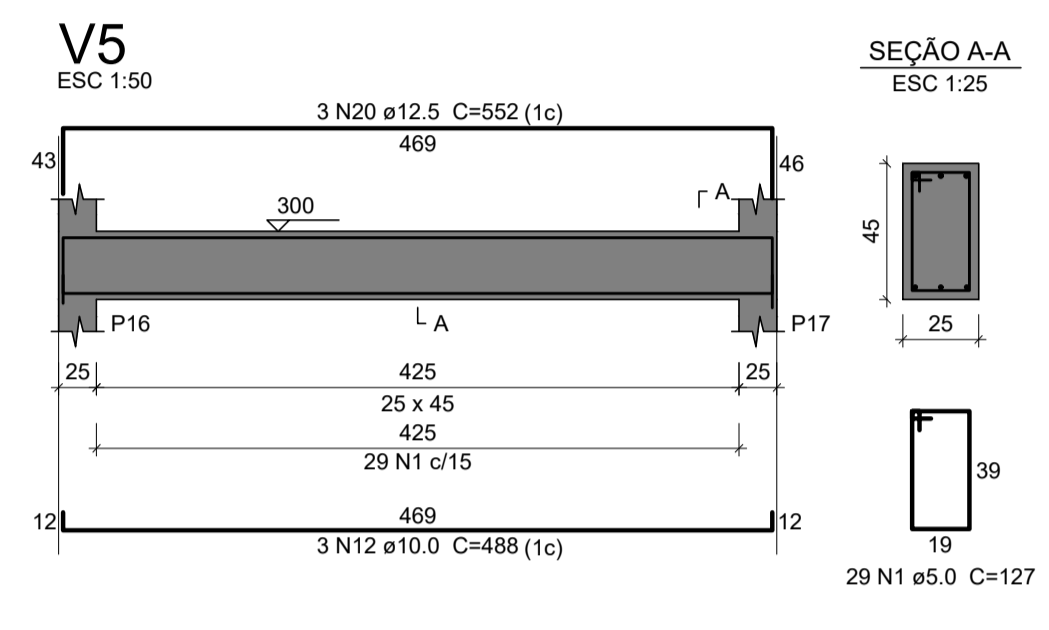
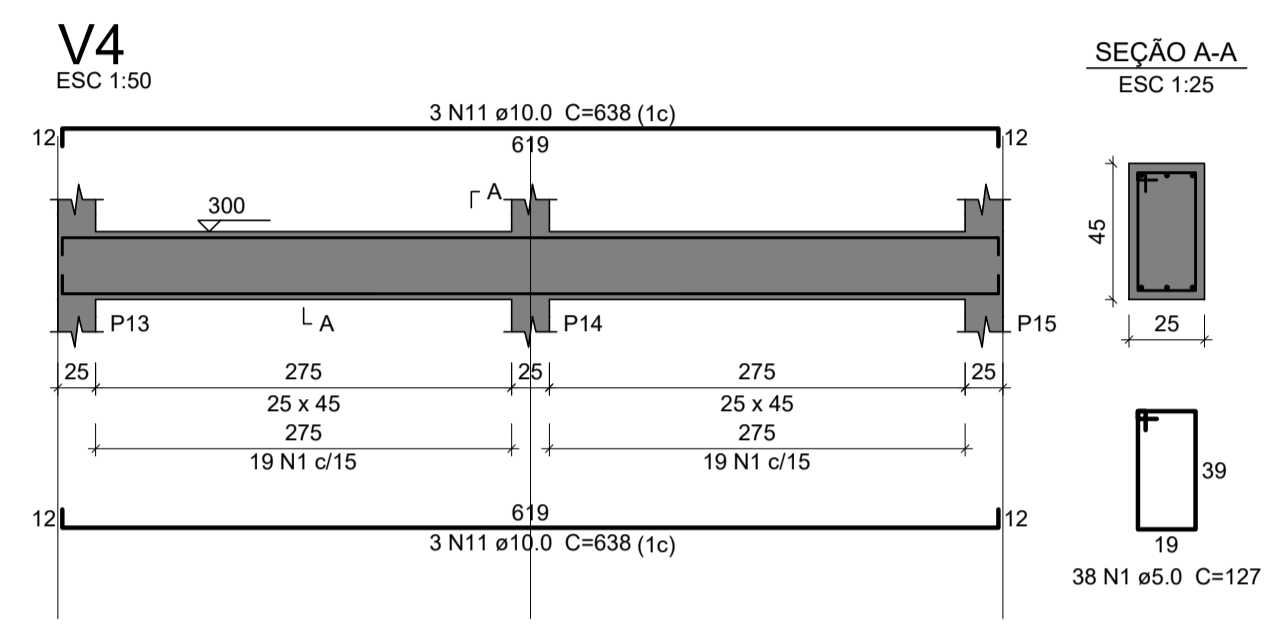
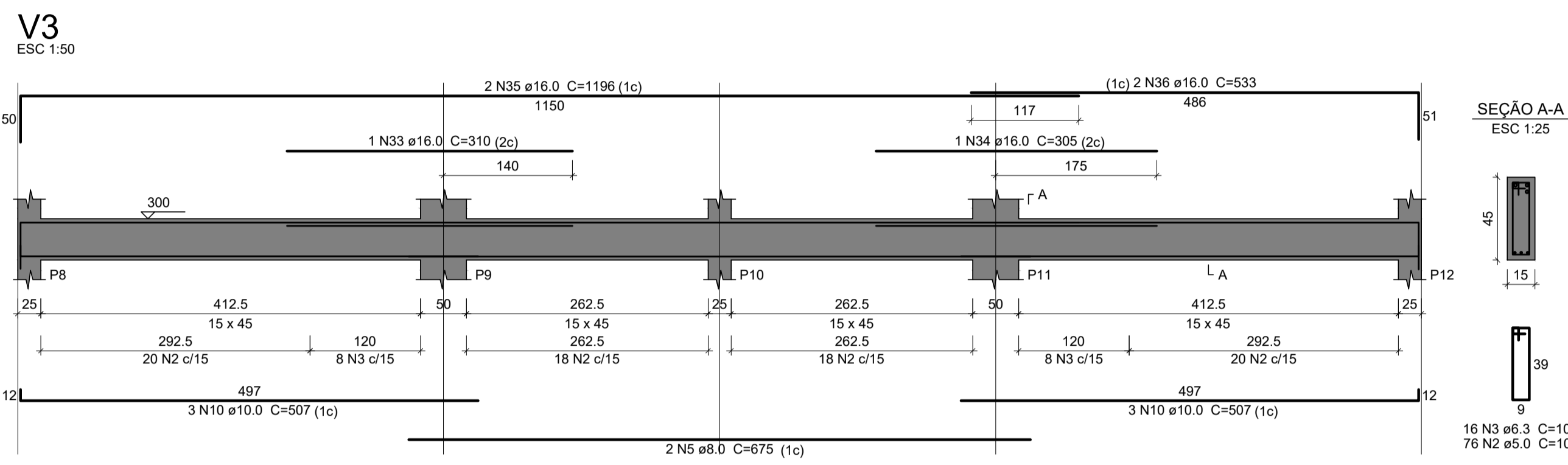
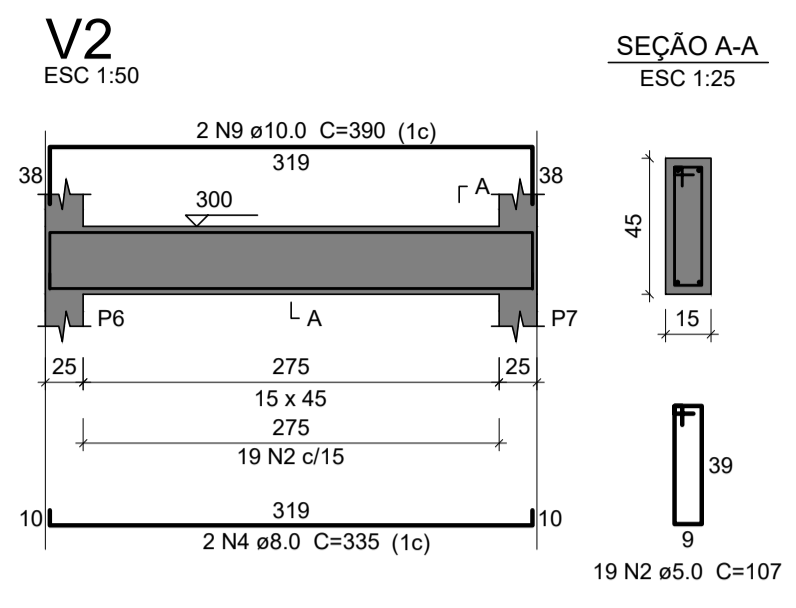
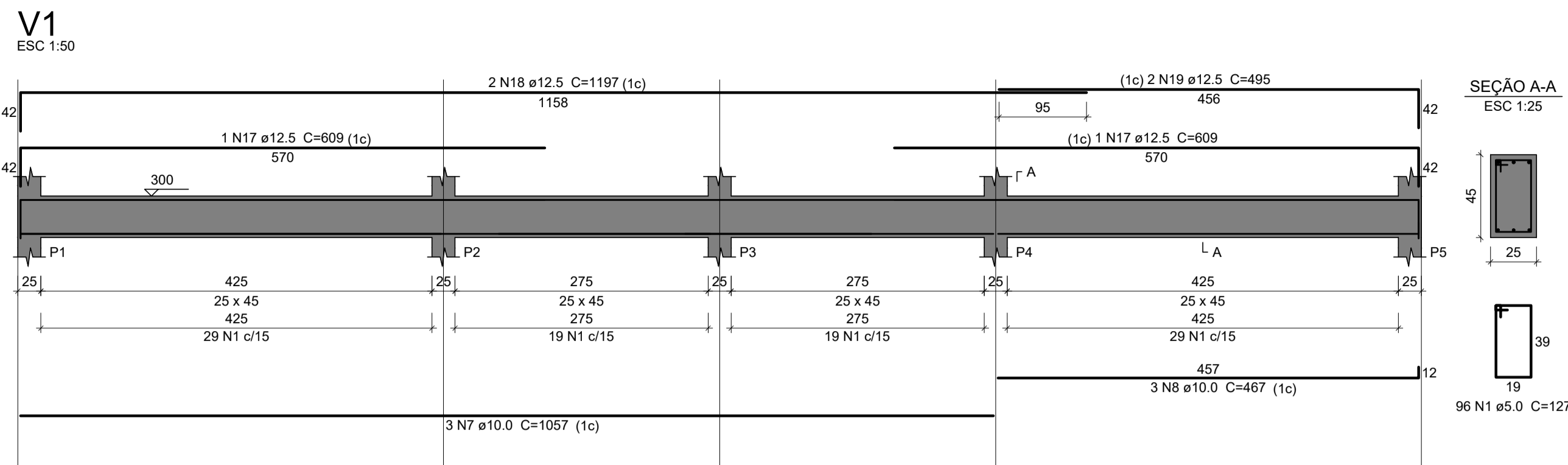
Relação do aço					
AÇO	N	DIAM (mm)	QUANT	C.UNIT (cm)	C.TOTAL (cm)
CA60	1	5.0	340	127	43180
	2	5.0	240	107	25680
CA50	3	6.3	16	108	1728
	4	8.0	5	335	1675
	5	8.0	2	675	1350
	6	8.0	3	810	2430
	7	10.0	3	1067	3201
	8	10.0	3	467	1401
	9	10.0	6	507	3042
	10	10.0	6	638	3828
	11	10.0	6	488	2928
	12	10.0	3	257	771
	13	10.0	2	832	1664
	14	10.0	3	1013	3039
	15	12.5	3	1197	3591
	16	12.5	3	485	1455
	17	12.5	3	547	1641
	18	12.5	3	548	1644
	19	12.5	4	1018	4072
	20	12.5	1	162	162
	21	12.5	2	282	564
	22	12.5	1	949	949
	23	12.5	2	1065	2130
	24	12.5	1	255	255
	25	12.5	2	880	1760
	26	12.5	1	156	156
	27	12.5	2	281	562
	28	12.5	1	245	245
	29	12.5	1	240	240
	30	12.5	2	1069	2138
	31	16.0	1	290	290
	32	16.0	1	280	280
	33	16.0	2	1196	2392
	34	16.0	2	514	1028
	35	16.0	2	320	640
	36	16.0	4	1107	4428

Resumo do aço			
AÇO	DIAM (mm)	C.TOTAL (m)	PESO + 10% (kg)
CA50	6.3	17.3	4.7
	8.0	54.6	23.7
	10.0	198.8	134.8
	12.5	215.7	228.5
	16.0	90.6	157.3
CA60	5.0	688.6	116.8
PESO TOTAL (kg)			
CA50		548.9	
CA60		116.8	



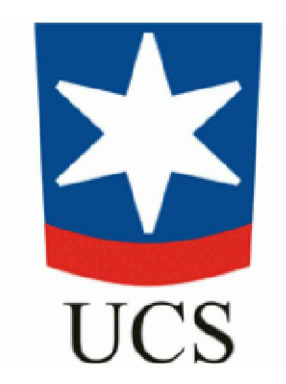
Universidade de Caxias do sul
Trabalho de Conclusão de Curso
Curso: Engenharia Civil

Projeto: ESTRUTURAL
Assunto: DETALHAMENTO VIGAS PAV. TÉRREO (situação linear elástica)
Acadêmica: Isadora Brochetto
Orientador: Prof. Dr. Gustavo Ribeiro da Silva
Data: JUN / 2023
Escala: 1:50
ESTRUTURAL



Relação do aço					
AÇO	N	DIAM (mm)	QUANT	C.UNIT (cm)	C.TOTAL (cm)
CA60	1	5.0	340	127	43180
	2	5.0	240	107	25680
CA50	3	6.3	16	108	1728
	4	8.0	2	335	670
	5	8.0	2	675	1350
	6	8.0	3	810	2430
	7	10.0	3	1057	3171
	8	10.0	3	467	1401
	9	10.0	2	390	780
	10	10.0	6	507	3042
	11	10.0	6	638	3828
	12	10.0	6	488	2928
	13	10.0	6	257	1542
	14	10.0	2	372	744
	15	10.0	1	158	158
	16	10.0	2	832	1664
	17	12.5	2	609	1218
	18	12.5	2	1197	2394
	19	12.5	2	495	990
	20	12.5	3	552	1656
	21	12.5	3	553	1659
	22	12.5	3	994	2982
	23	12.5	2	556	1112
	24	12.5	3	251	753
	25	12.5	1	221	221
	26	12.5	1	265	265
	27	12.5	2	867	1734
	28	12.5	3	278	834
	29	12.5	1	460	460
	30	12.5	2	1070	2140
	31	12.5	1	497	497
	32	12.5	2	1006	2012
	33	16.0	1	310	310
	34	16.0	1	305	305
	35	16.0	2	1196	2392
	36	16.0	2	533	1066
	37	16.0	3	1075	3225
	38	16.0	1	690	690
	39	16.0	2	998	1996
	40	16.0	3	1074	3222

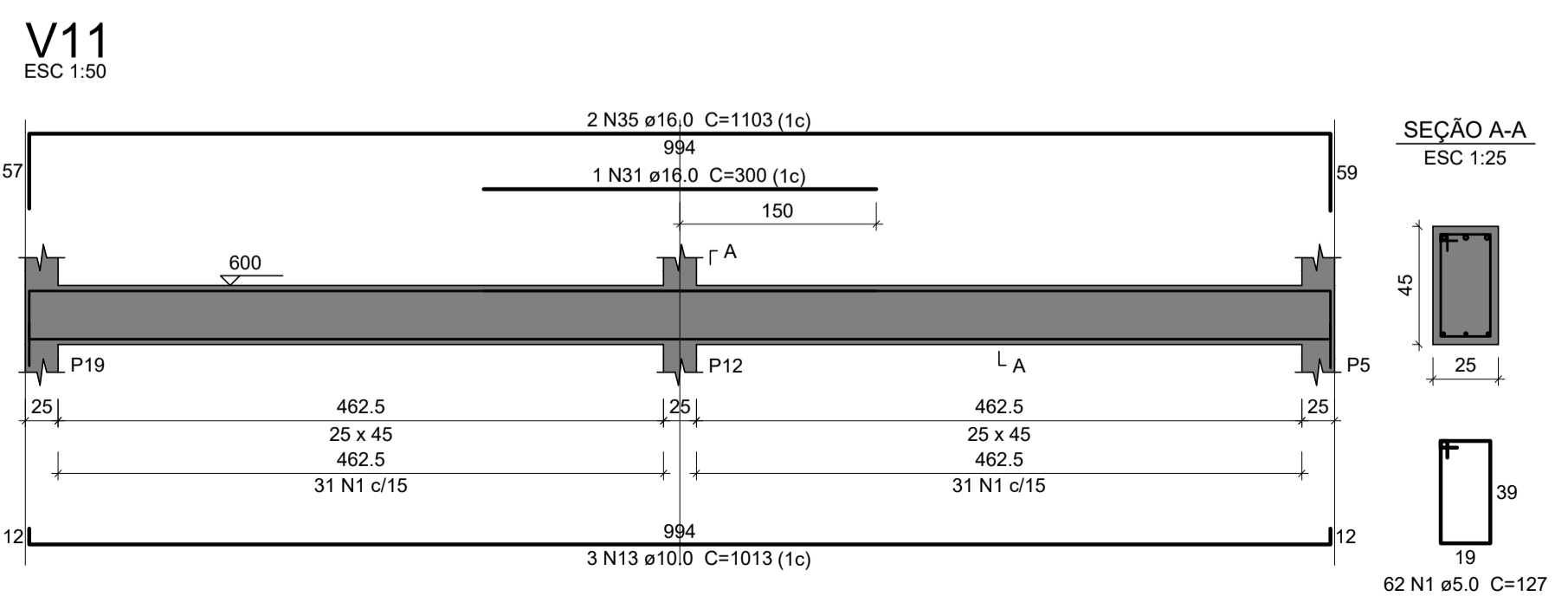
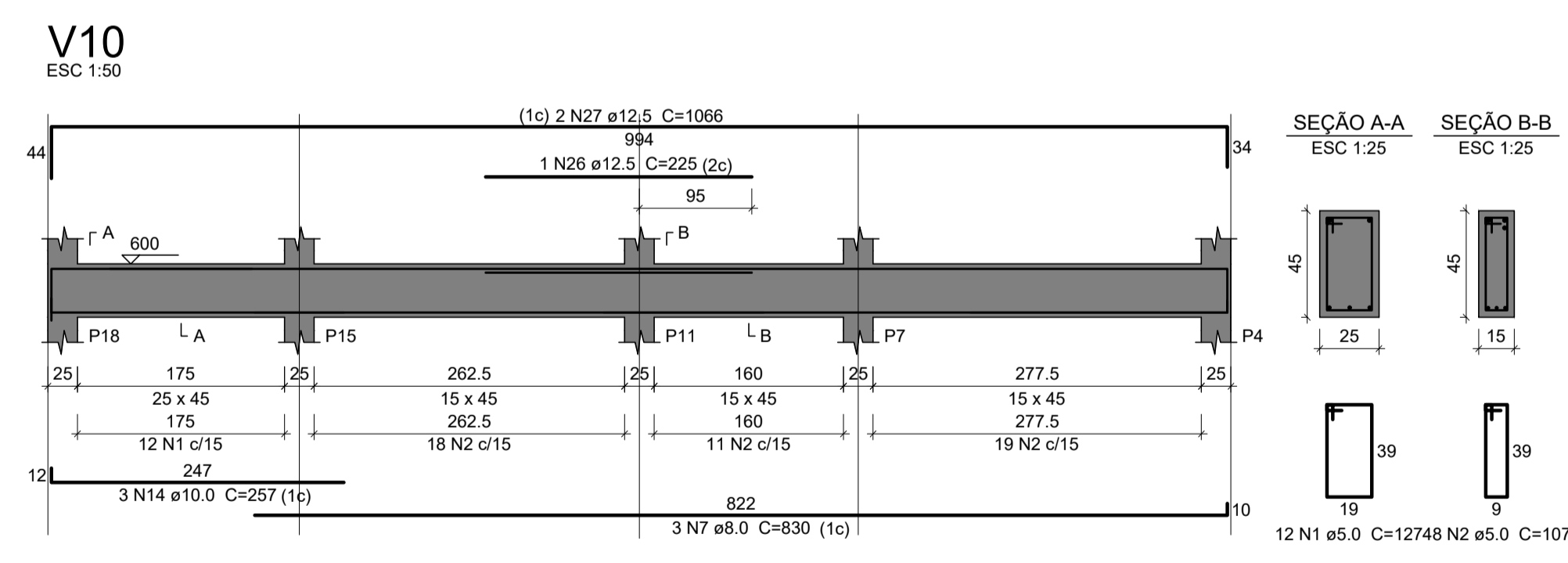
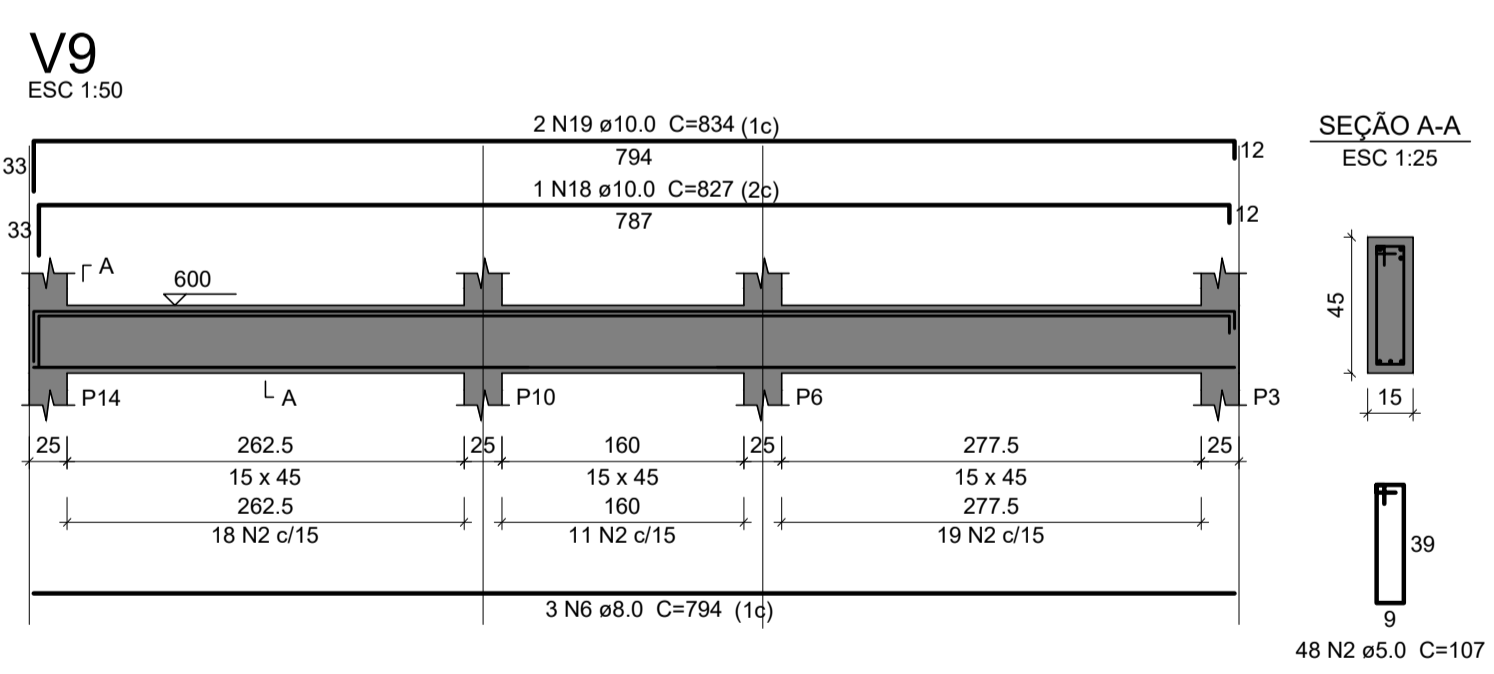
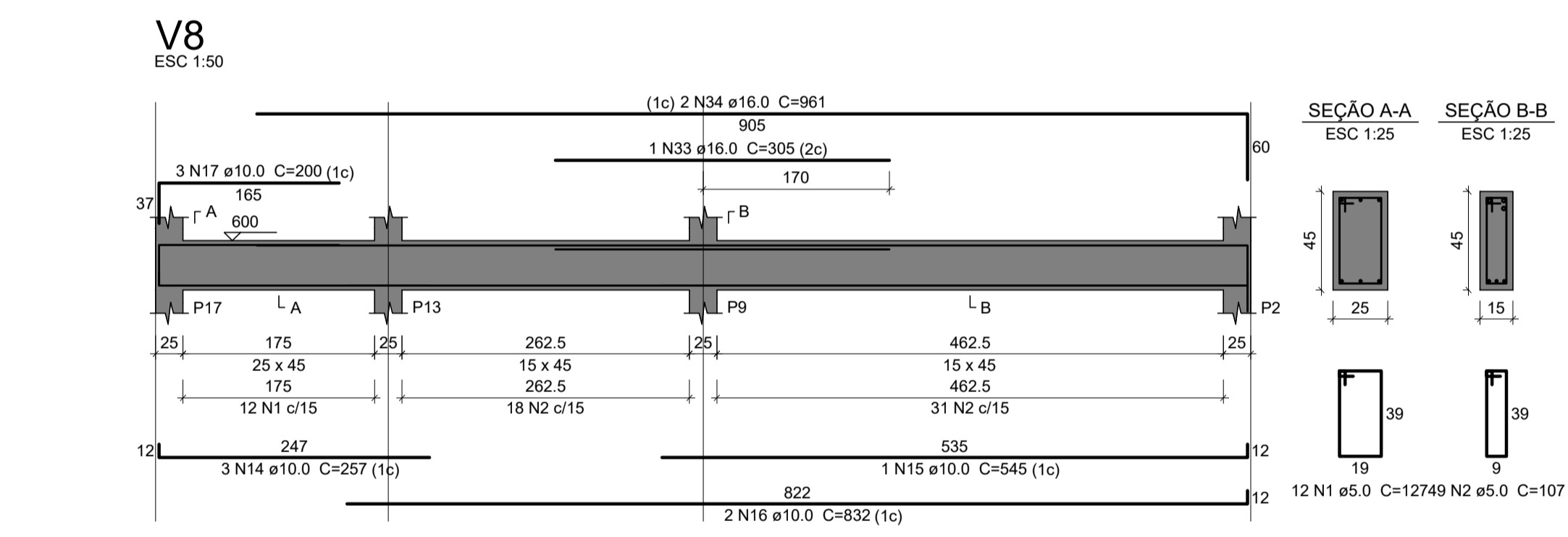
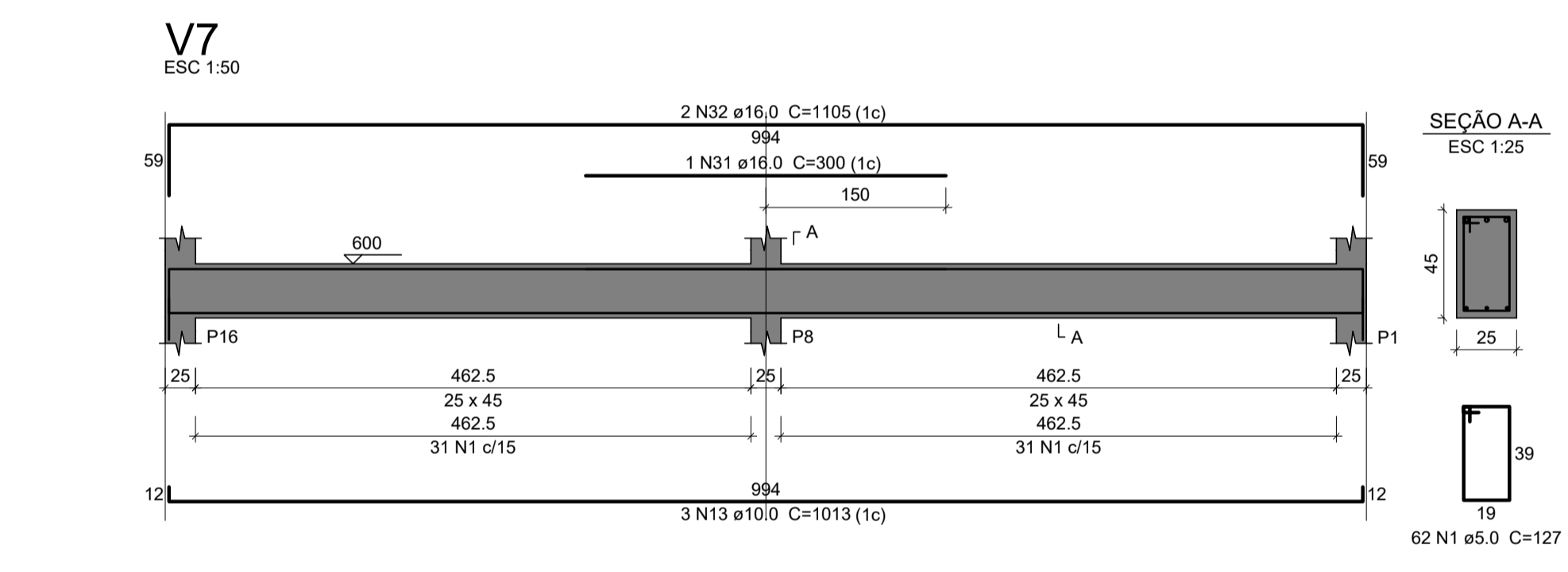
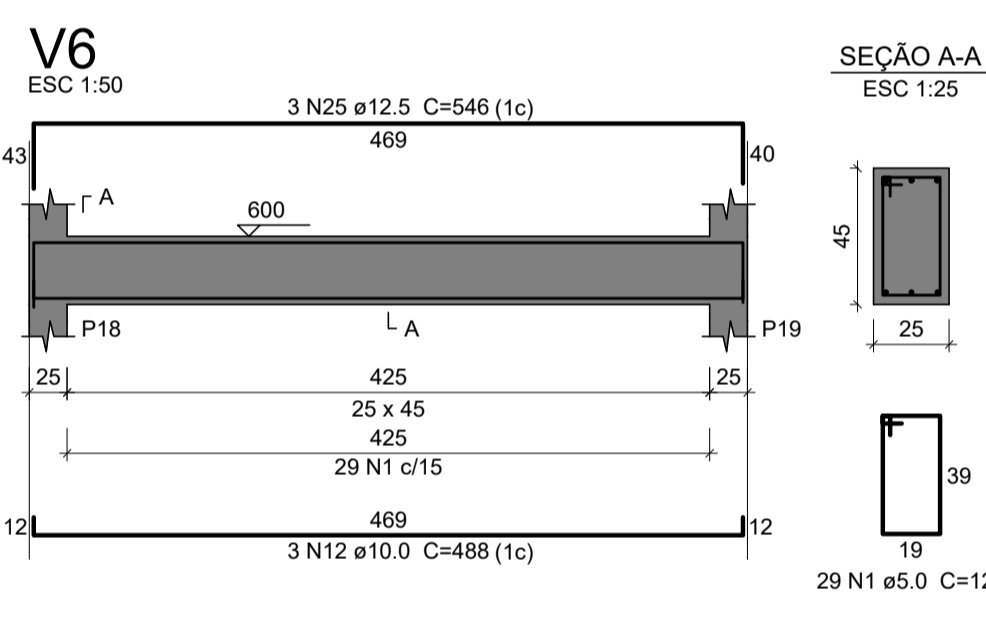
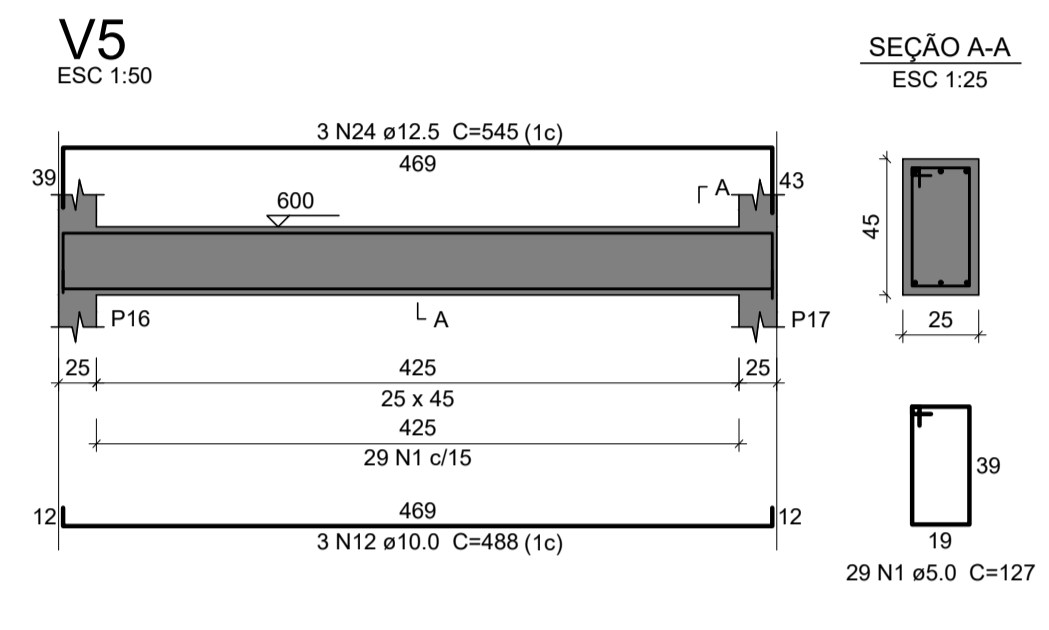
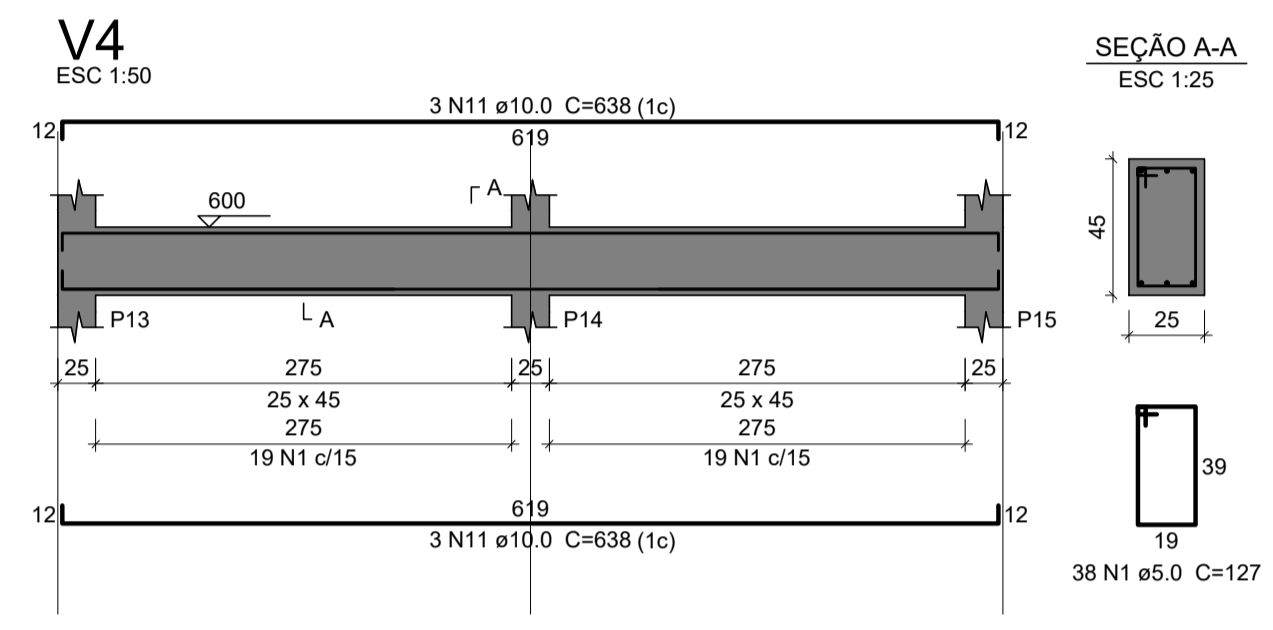
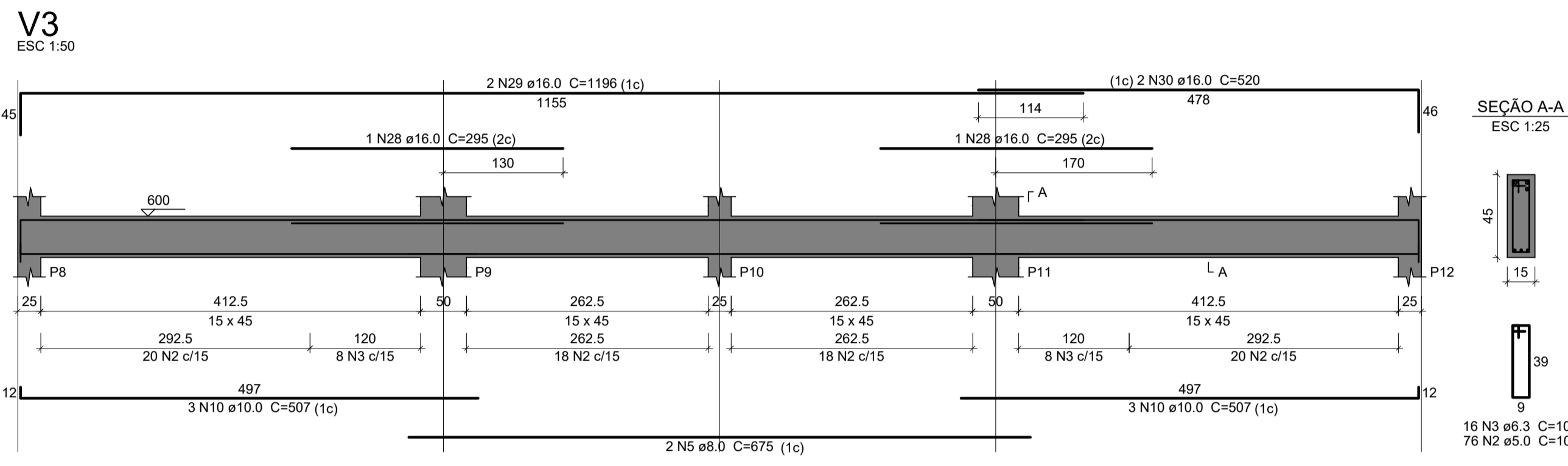
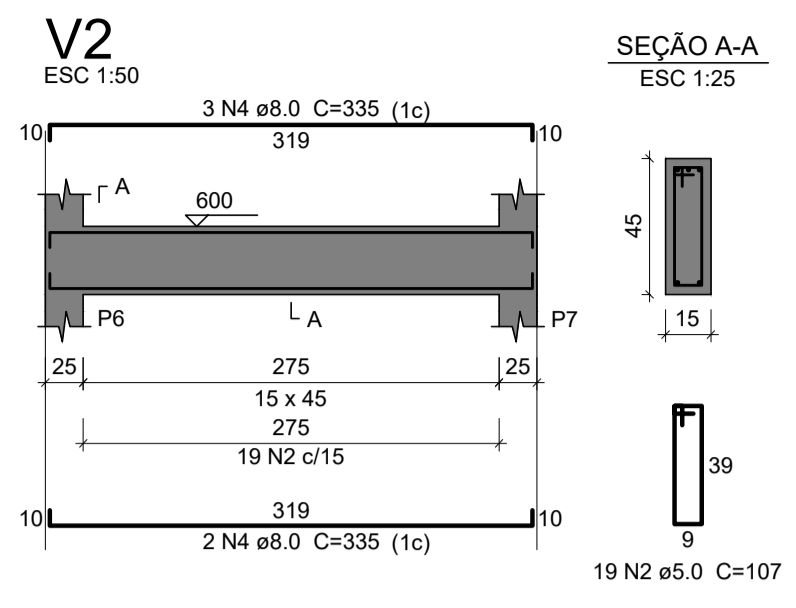
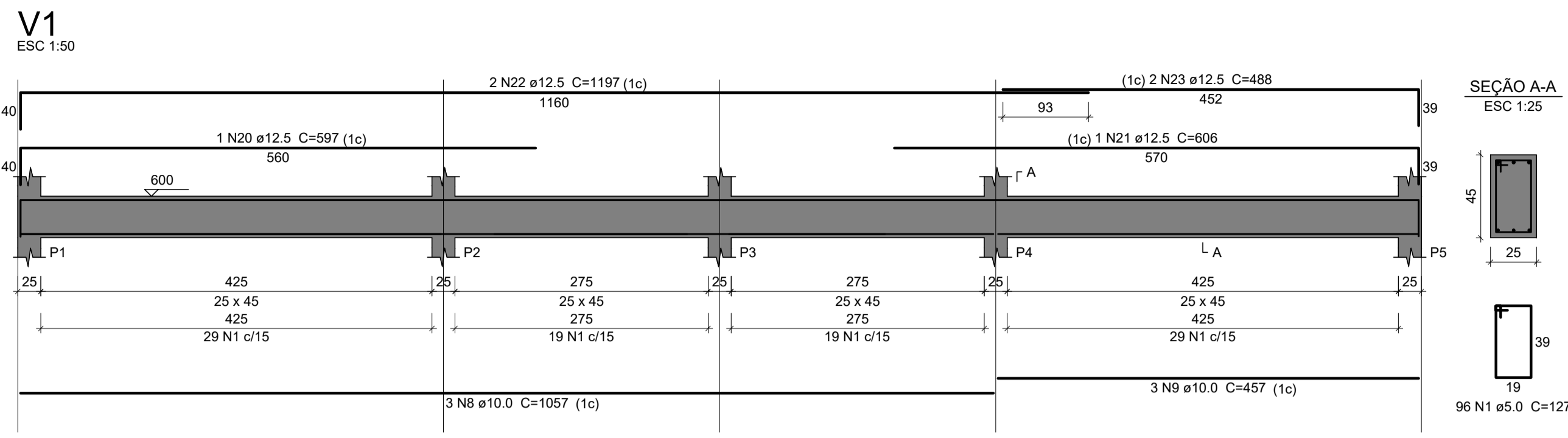
Resumo do aço				
AÇO	DIAM (mm)	C.TOTAL (m)	QUANT + 10 % (Barras)	PESO + 10 % (kg)
CA50	6.3	17.3	2	4.7
	8.0	44.5	5	19.3
	10.0	192.6	18	130.6
	12.5	209.3	20	221.8
	16.0	132.1	13	229.3
CA60	5.0	688.6	-	116.8
PESO TOTAL (kg)				
CA50				605.6
CA60				116.8



Universidade de Caxias do sul
Trabalho de Conclusão de Curso
Curso: Engenharia Civil

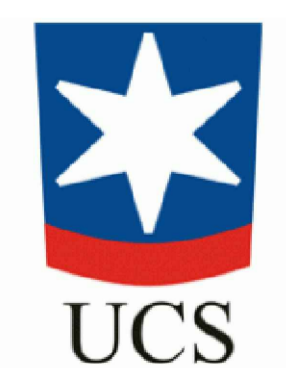
Projeto: ESTRUTURAL
Assunto: DETALHAMENTO VIGAS PAV. TIPO 1 (situação linear elástica)
Acadêmica: Isadora Brochetto
Orientador: Prof. Dr. Gustavo Ribeiro da Silva

Data: JUN / 2023
Escala: 1:50



Relação do aço					
AÇO	N	DIAM (mm)	QUANT	C.UNIT (cm)	C.TOTAL (cm)
CA60	1	5.0	340	127	43180
	2	5.0	240	107	25680
	3	6.3	16	108	1728
	4	8.0	5	335	1675
	5	8.0	2	675	1350
	6	8.0	3	794	2382
	7	8.0	3	830	2490
	8	10.0	3	1057	3171
	9	10.0	3	457	1371
	10	10.0	6	507	3042
	11	10.0	6	638	3828
	12	10.0	6	488	2928
	13	10.0	6	1013	6078
	14	10.0	6	257	1542
	15	10.0	1	545	545
	16	10.0	2	832	1664
	17	10.0	3	200	600
	18	10.0	1	827	827
	19	10.0	2	834	1668
	20	12.5	1	597	597
	21	12.5	1	606	606
	22	12.5	2	1197	2394
	23	12.5	2	488	976
	24	12.5	3	545	1635
	25	12.5	3	546	1638
	26	12.5	1	225	225
	27	12.5	2	1066	2132
	28	16.0	2	295	590
	29	16.0	2	1196	2392
	30	16.0	2	520	1040
	31	16.0	2	300	600
	32	16.0	2	1105	2210
	33	16.0	1	305	305
	34	16.0	2	961	1922
	35	16.0	2	1103	2206

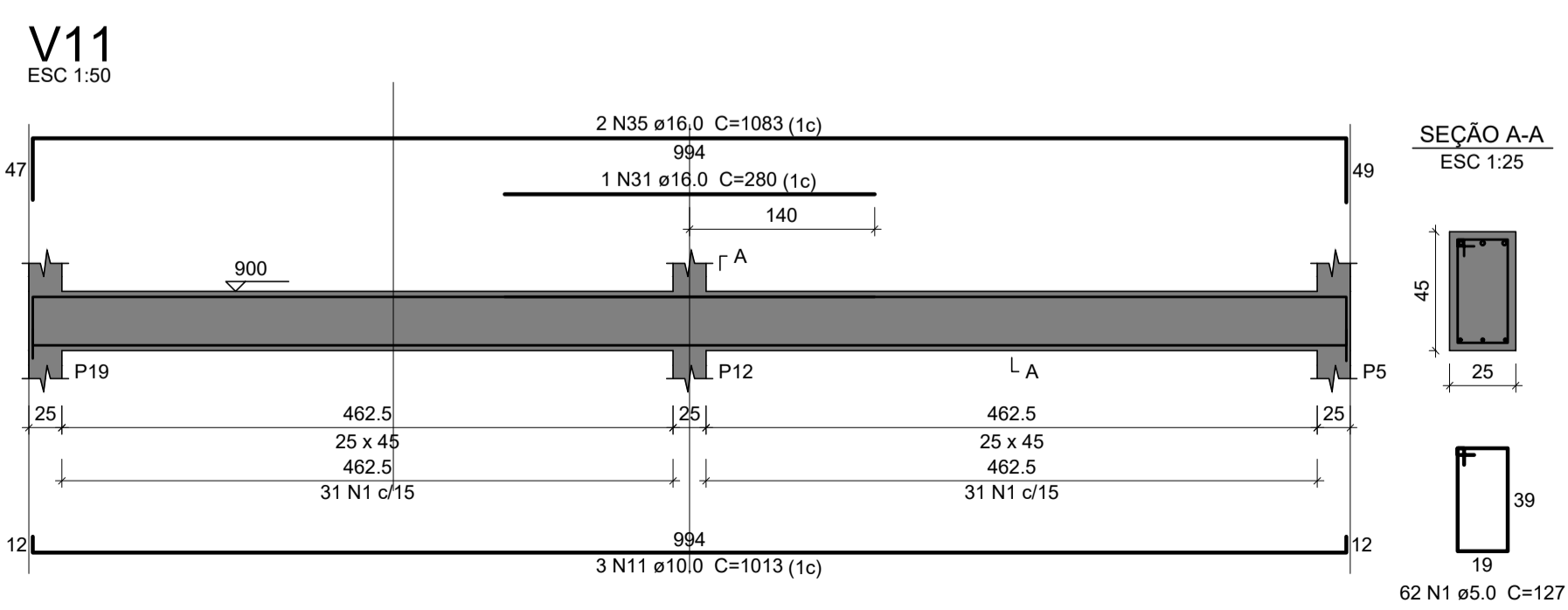
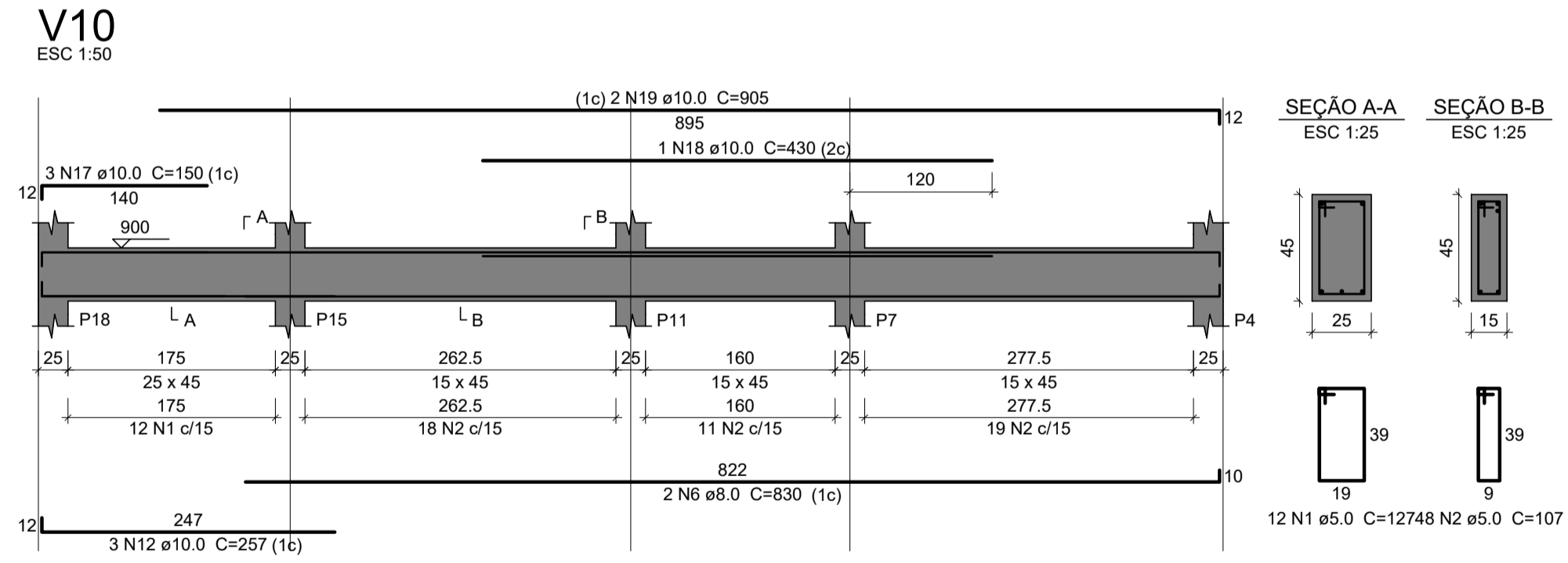
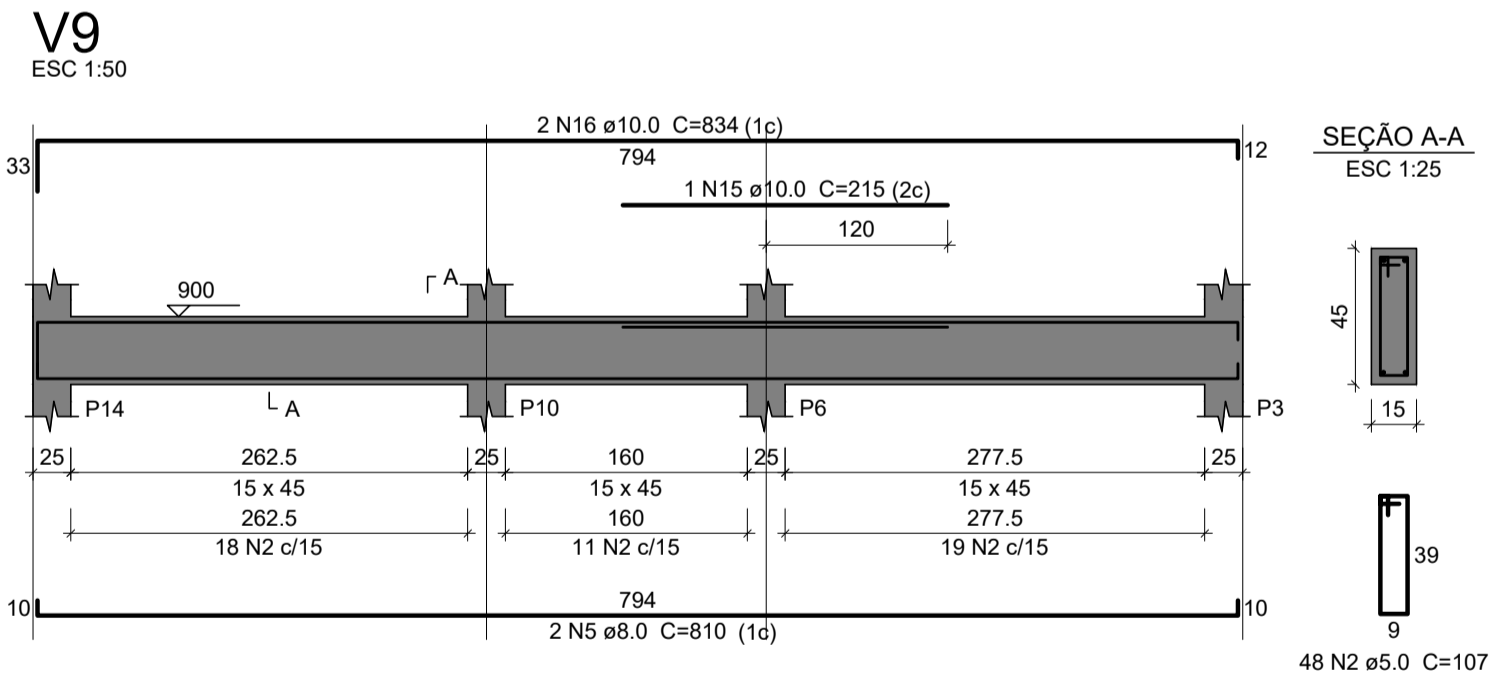
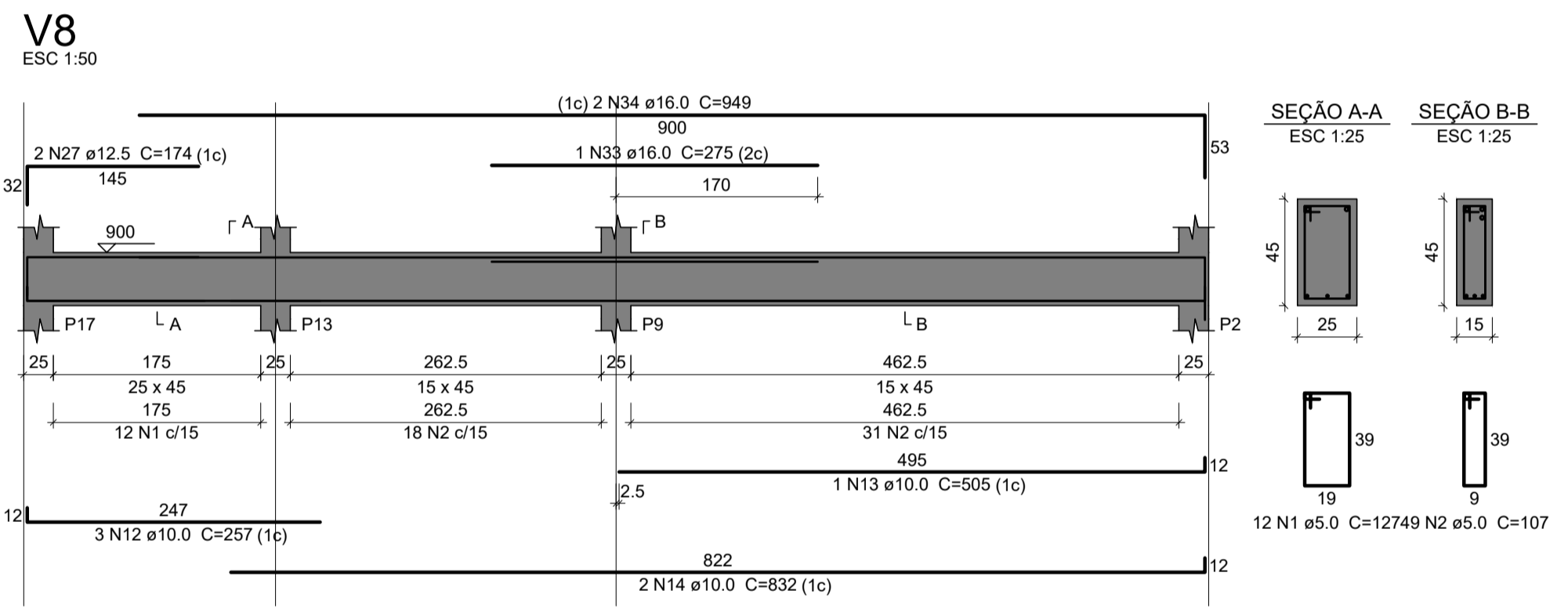
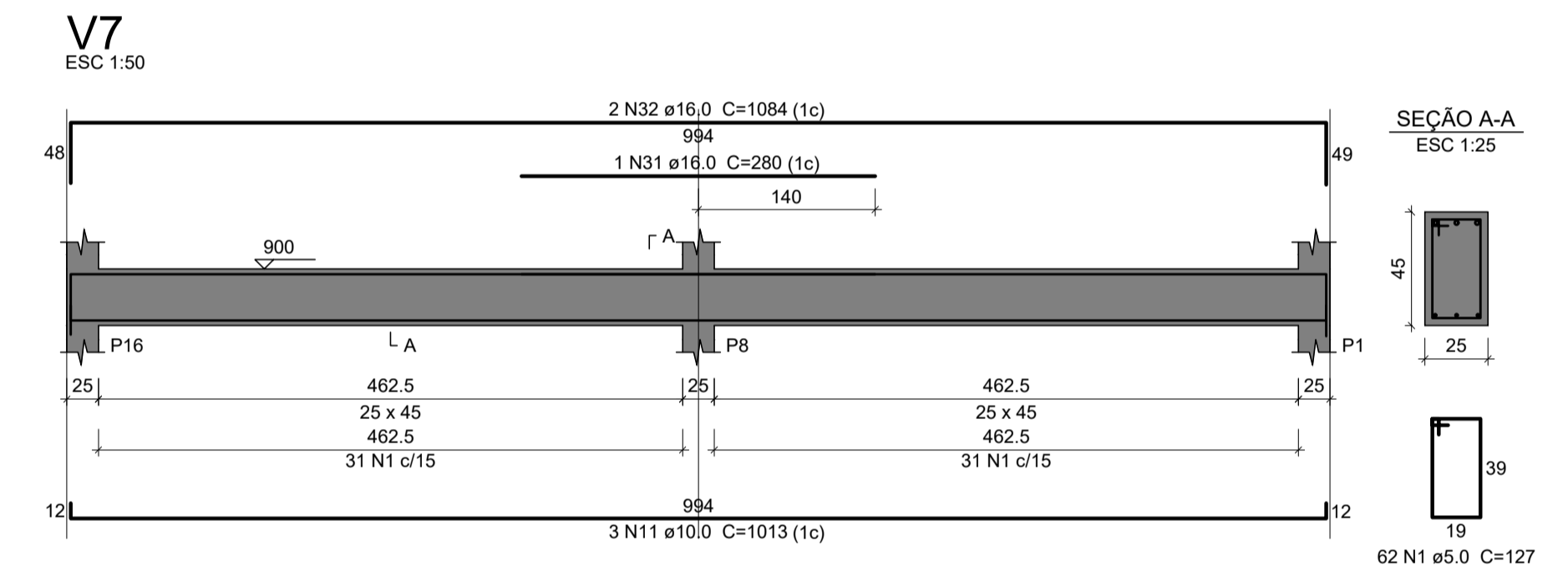
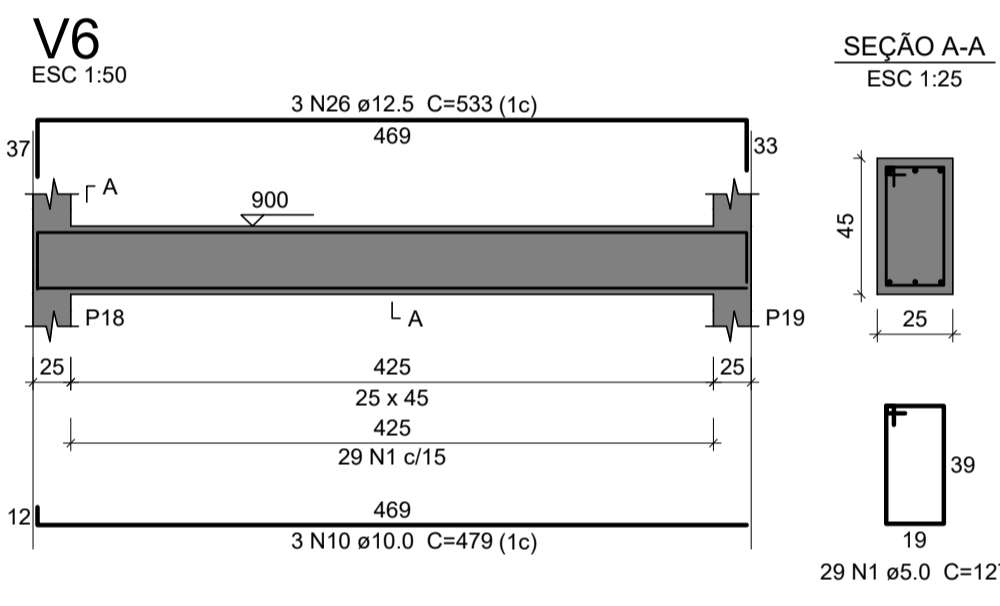
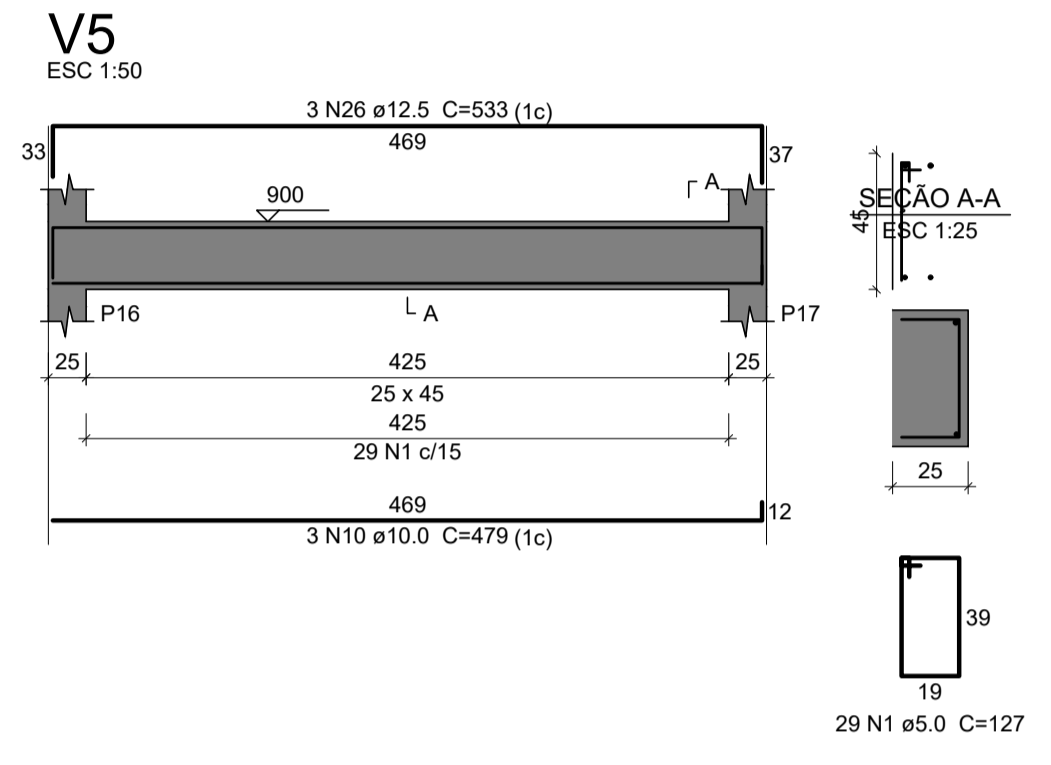
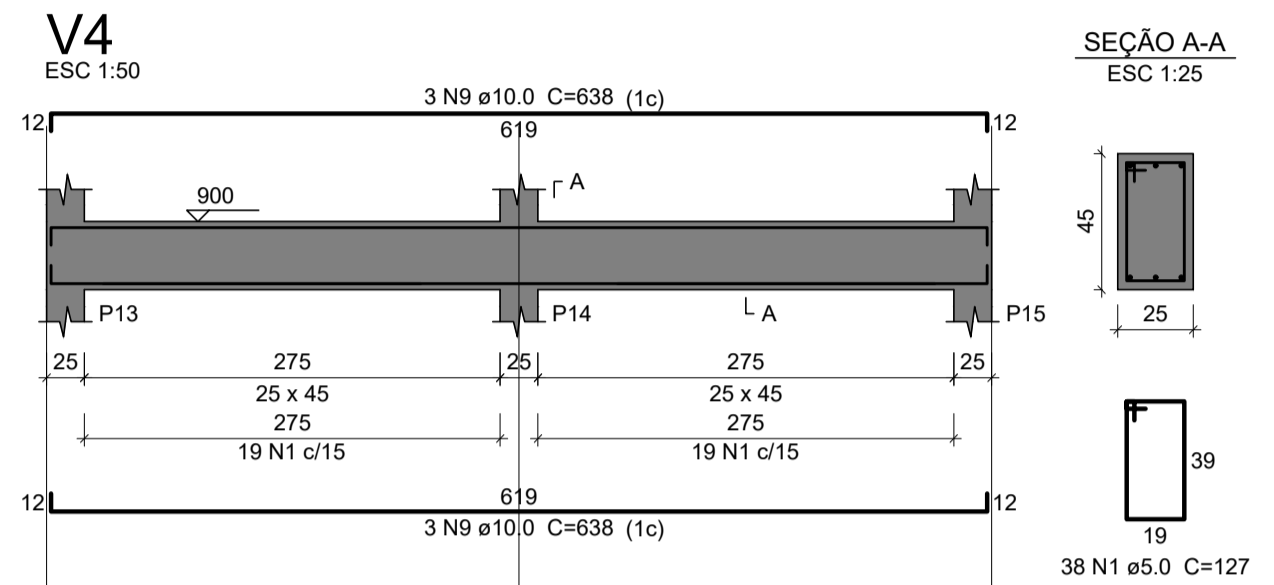
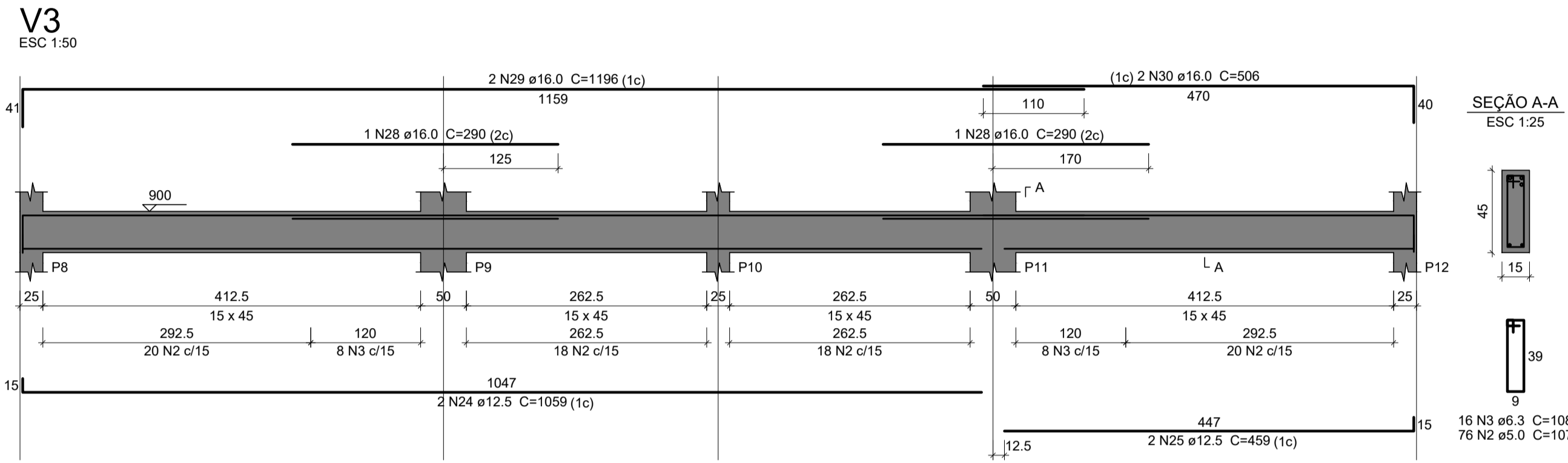
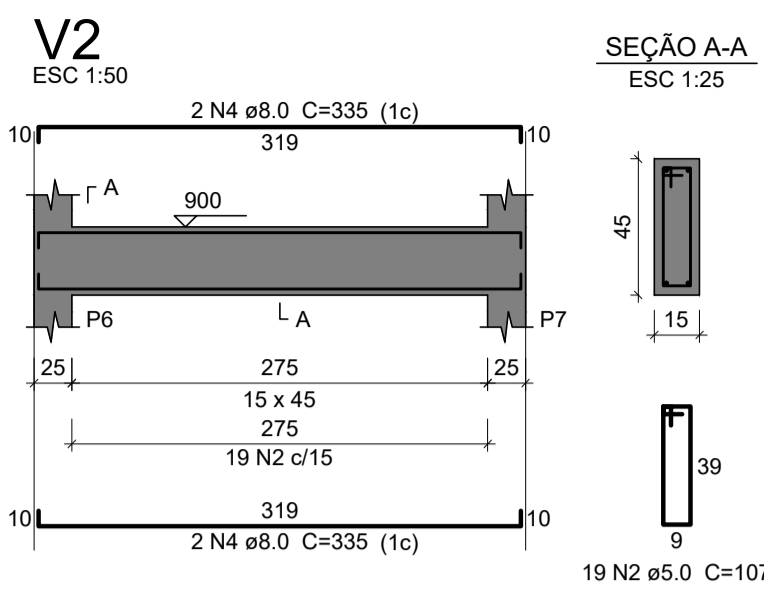
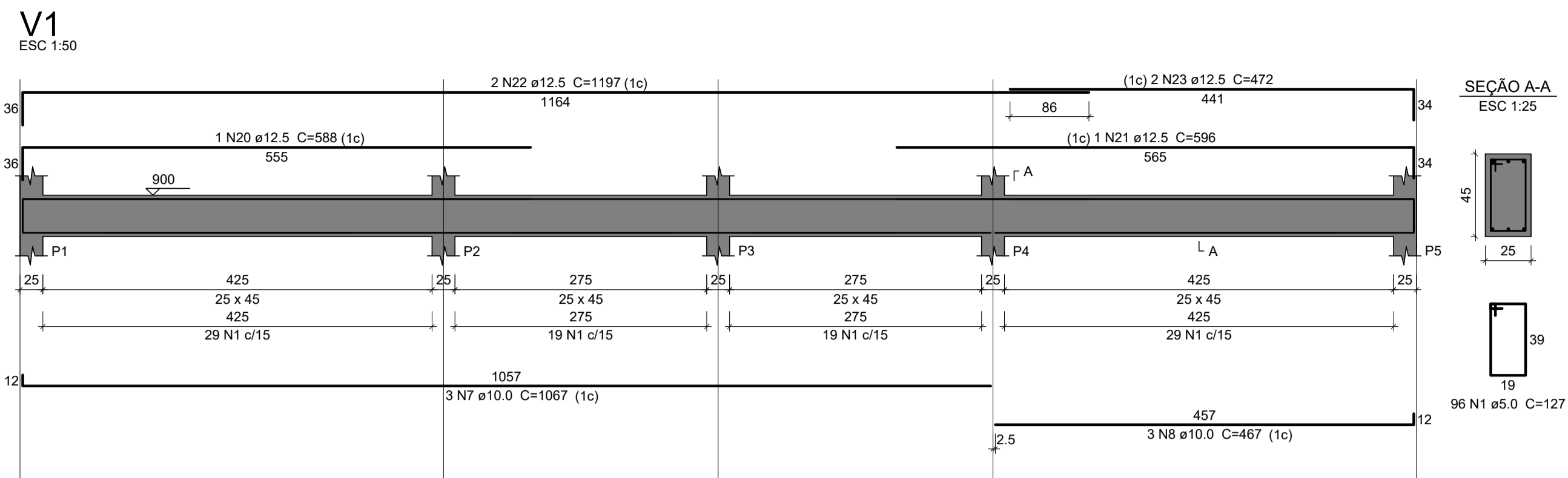
Resumo do aço				
AÇO	DIAM (mm)	C.TOTAL (m)	QUANT + 10 % (Barra)	PESO + 10 % (kg)
CA50	6.3	17.3	2	4.7
	8.0	79	8	34.3
	10.0	272.7	25	184.9
	12.5	102.1	10	108.1
	16.0	112.7	11	195.6
CA60	5.0	688.6	-	116.8
PESO TOTAL (kg)				
CA50				527.5
CA60				116.8



Universidade de Caxias do sul
Trabalho de Conclusão de Curso
Curso: Engenharia Civil

Projeto: ESTRUTURAL
Assunto: DETALHAMENTO VIGAS PAV. TIPO 2 (situação linear elástica)
Acadêmica: Isadora Brochetto
Orientador: Prof. Dr. Gustavo Ribeiro da Silva

Data: JUN / 2023
Escala: 1: 50

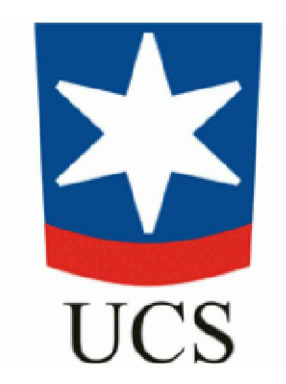


Relação do aço

AÇO	N	DIAM (mm)	QUANT	C.UNIT (cm)	C.TOTAL (cm)
CA60	1	5.0	340	127	43180
CA50	2	5.0	240	107	25680
	3	6.3	16	106	1728
	4	8.0	4	335	1340
	5	8.0	2	810	1620
	6	8.0	2	830	1660
	7	10.0	3	1067	3201
	8	10.0	3	467	1401
	9	10.0	6	638	3828
	10	10.0	6	479	2874
	11	10.0	6	1013	6078
	12	10.0	6	257	1542
	13	10.0	1	505	505
	14	10.0	2	832	1664
	15	10.0	1	215	215
	16	10.0	2	834	1668
	17	10.0	3	150	450
	18	10.0	1	430	430
	19	10.0	2	905	1810
	20	12.5	1	588	588
	21	12.5	1	596	596
	22	12.5	2	1197	2394
	23	12.5	2	472	944
	24	12.5	2	1059	2118
	25	12.5	2	459	918
	26	12.5	6	533	3198
	27	12.5	2	174	348
	28	16.0	2	290	580
	29	16.0	2	1196	2392
	30	16.0	2	506	1012
	31	16.0	2	280	560
	32	16.0	2	1084	2168
	33	16.0	1	275	275
	34	16.0	2	949	1898
	35	16.0	2	1083	2166

Resumo do aço

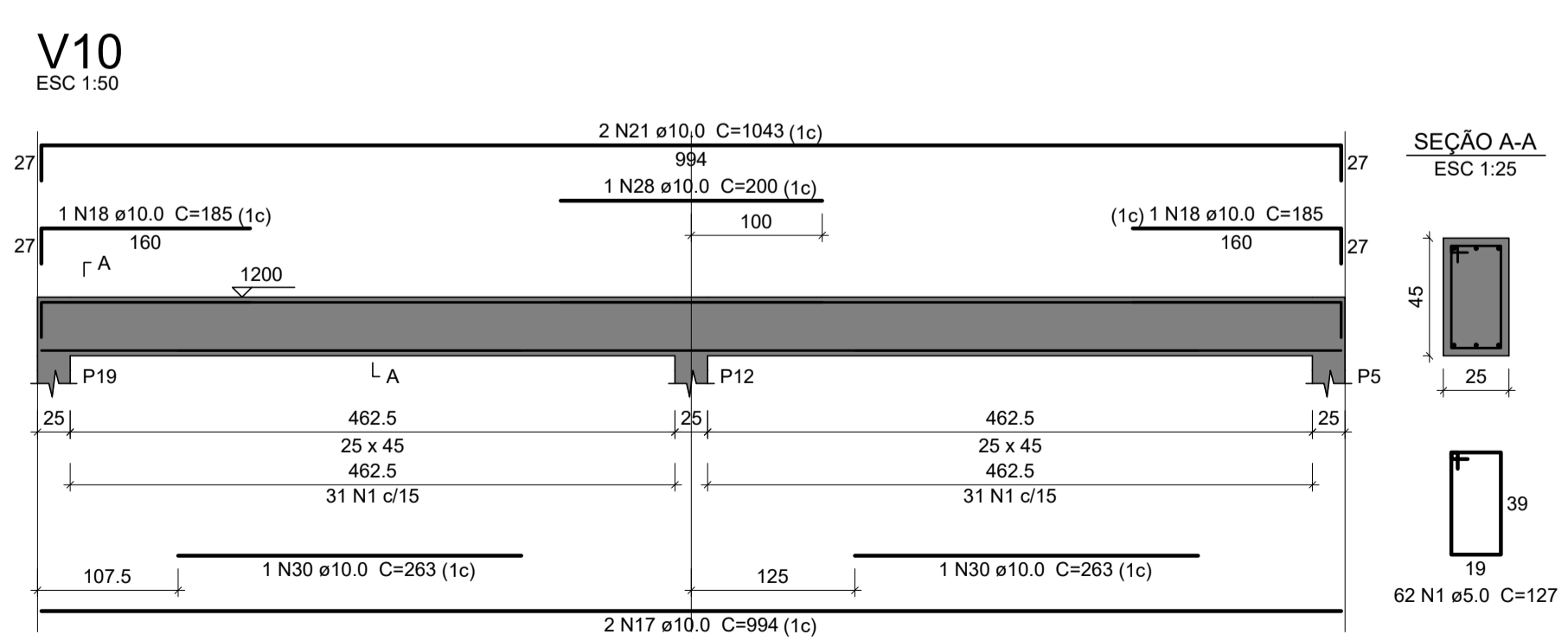
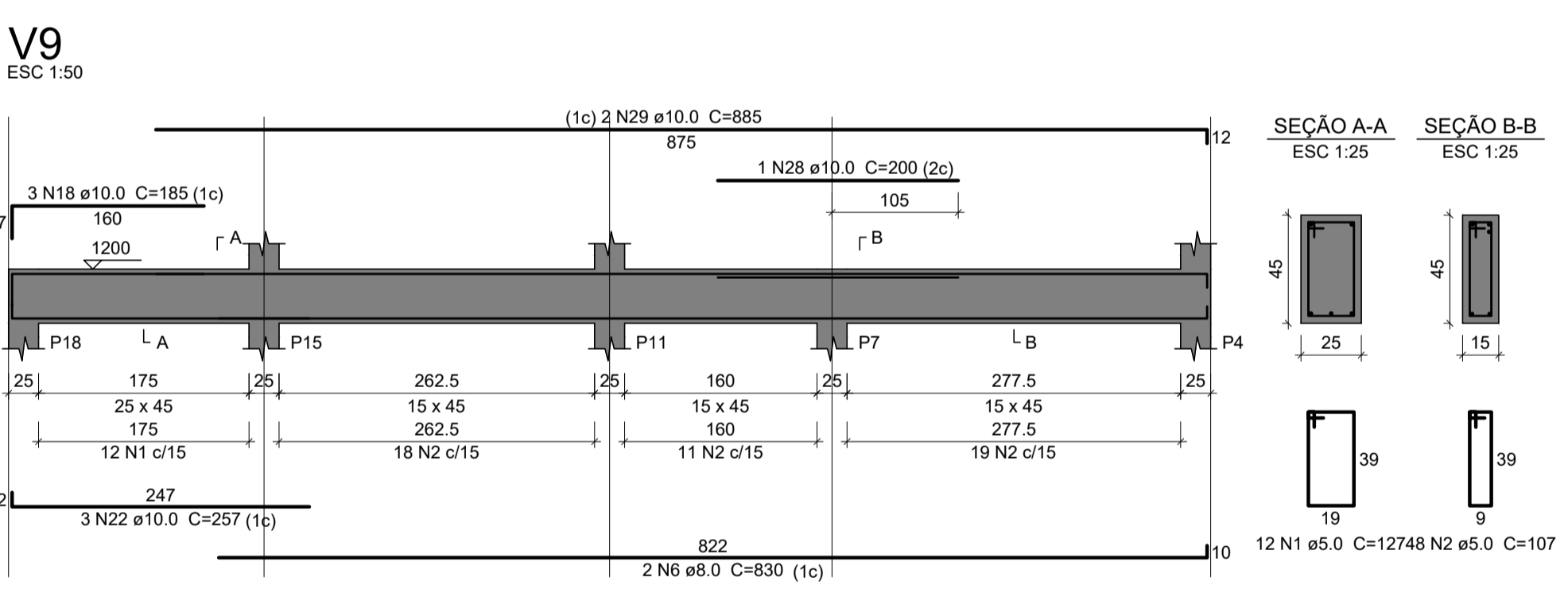
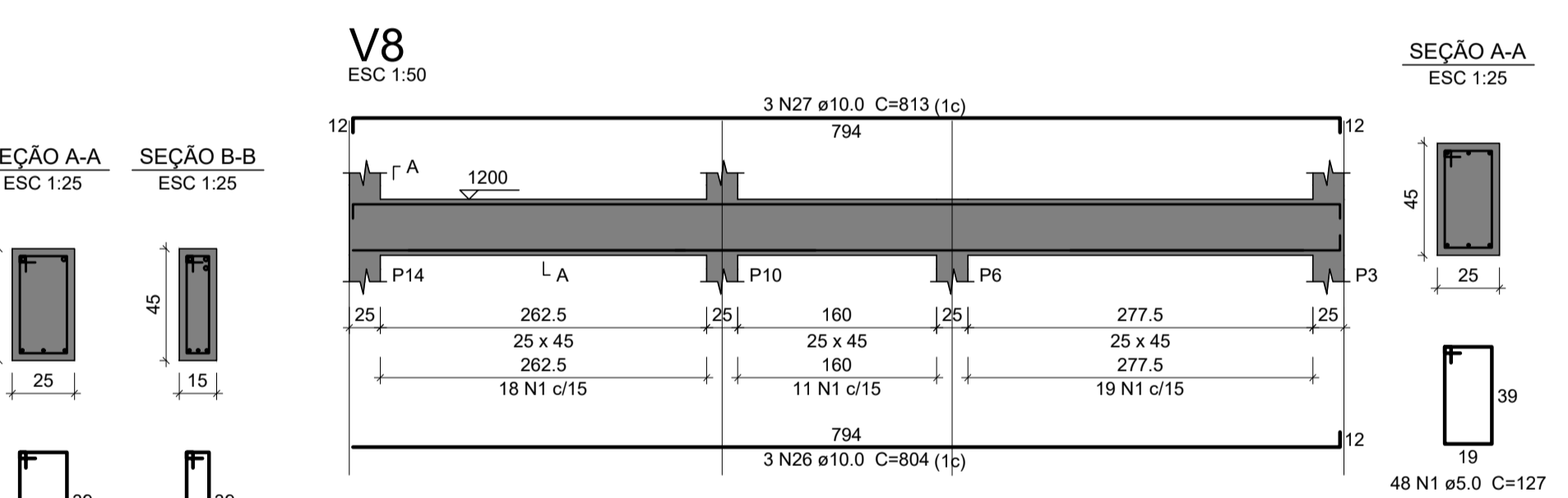
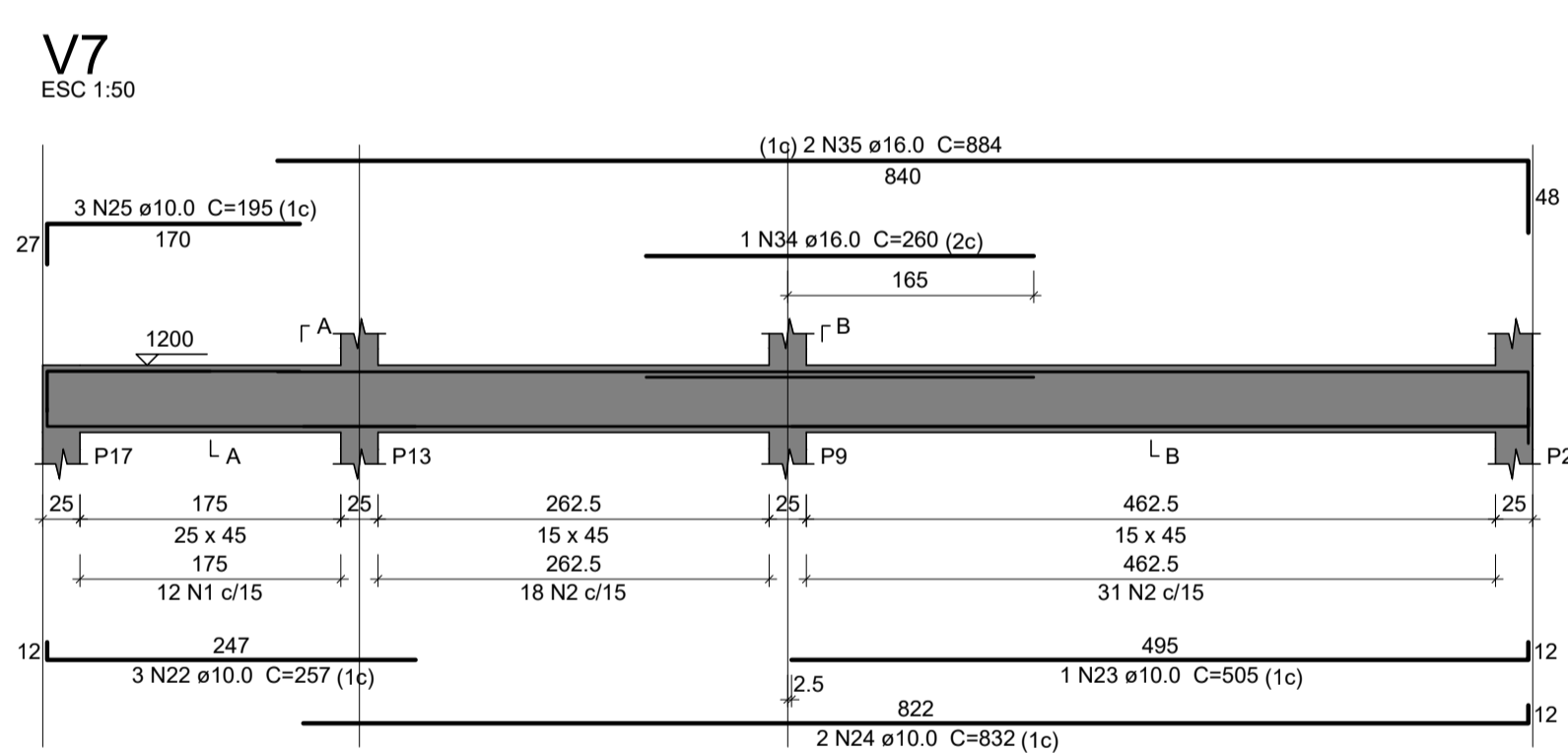
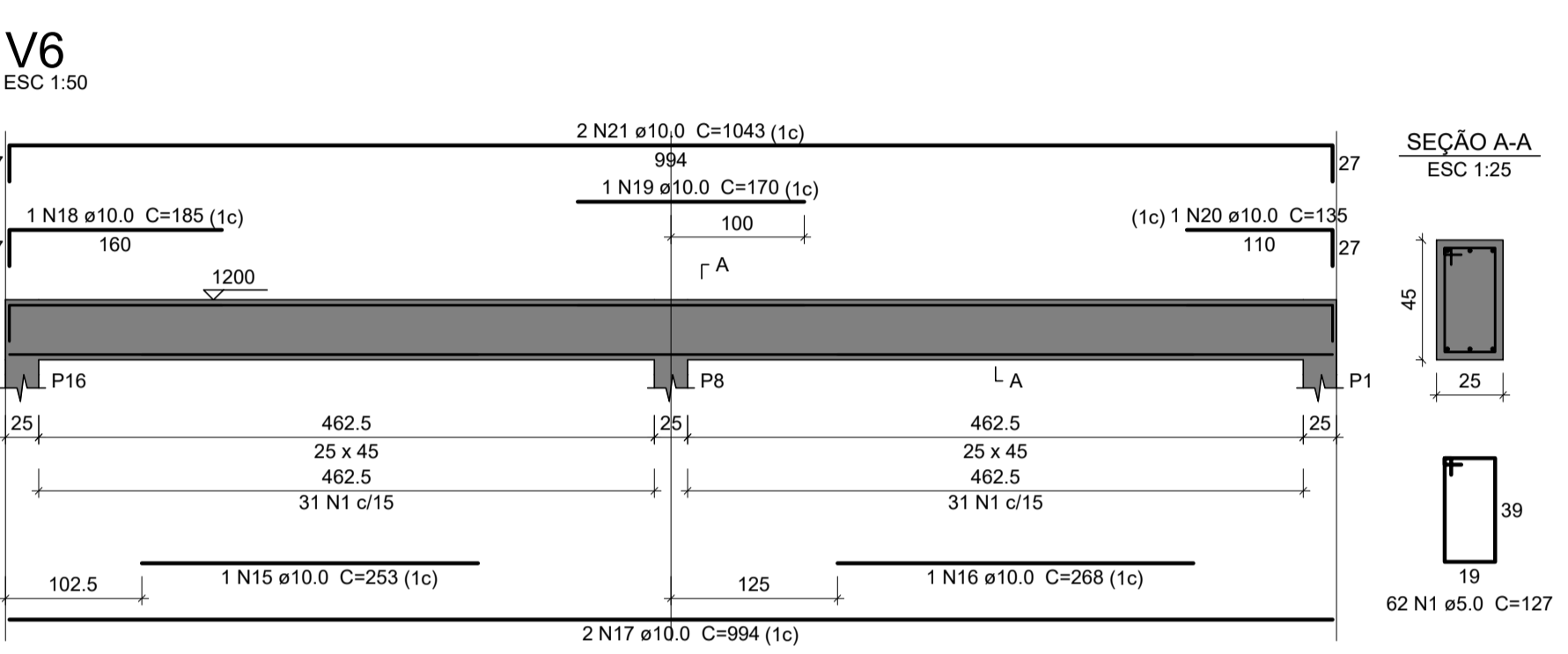
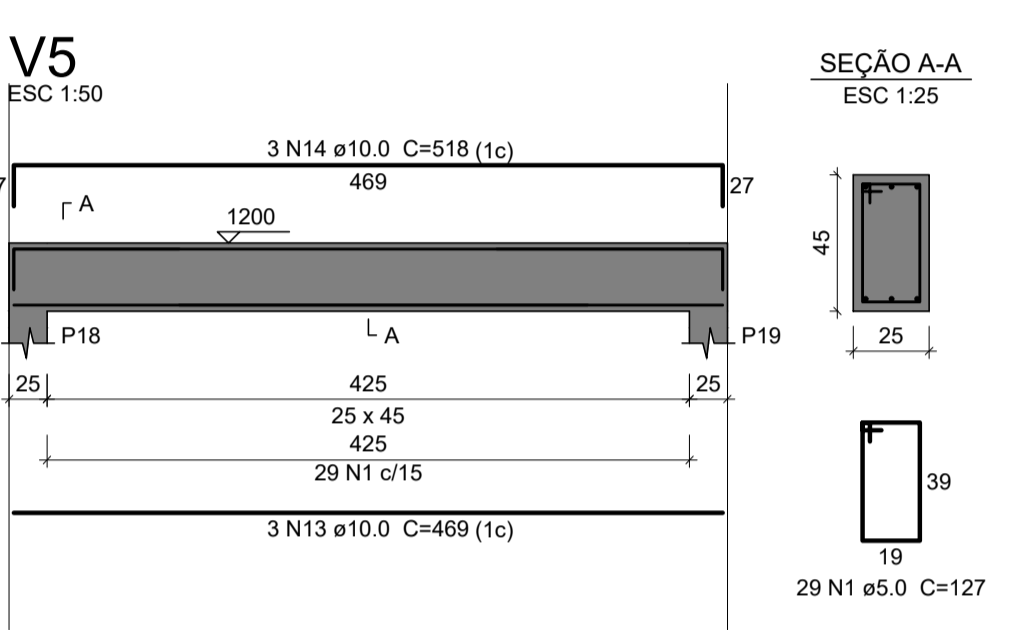
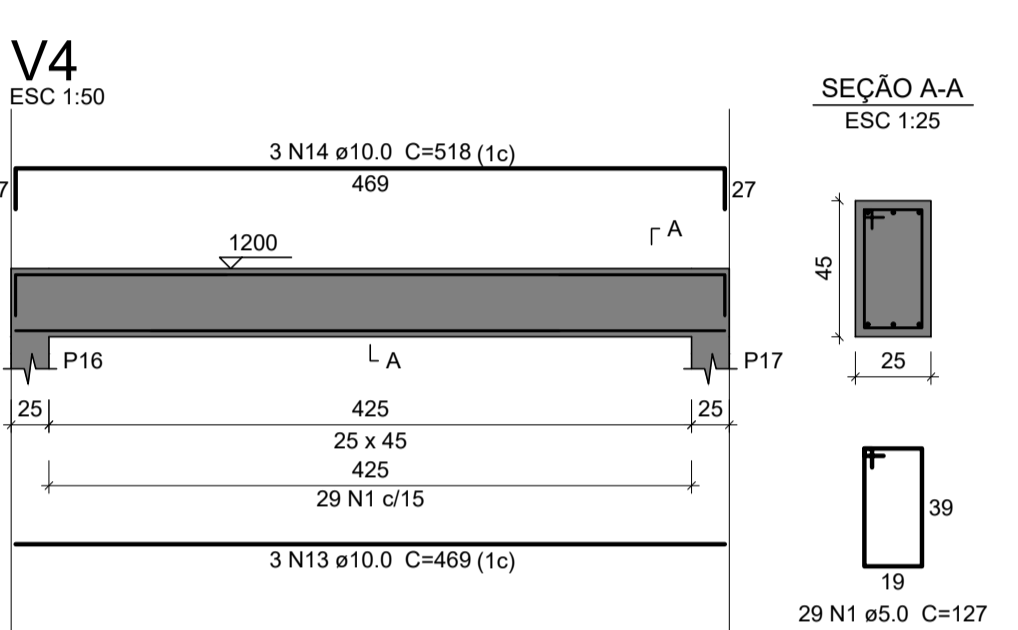
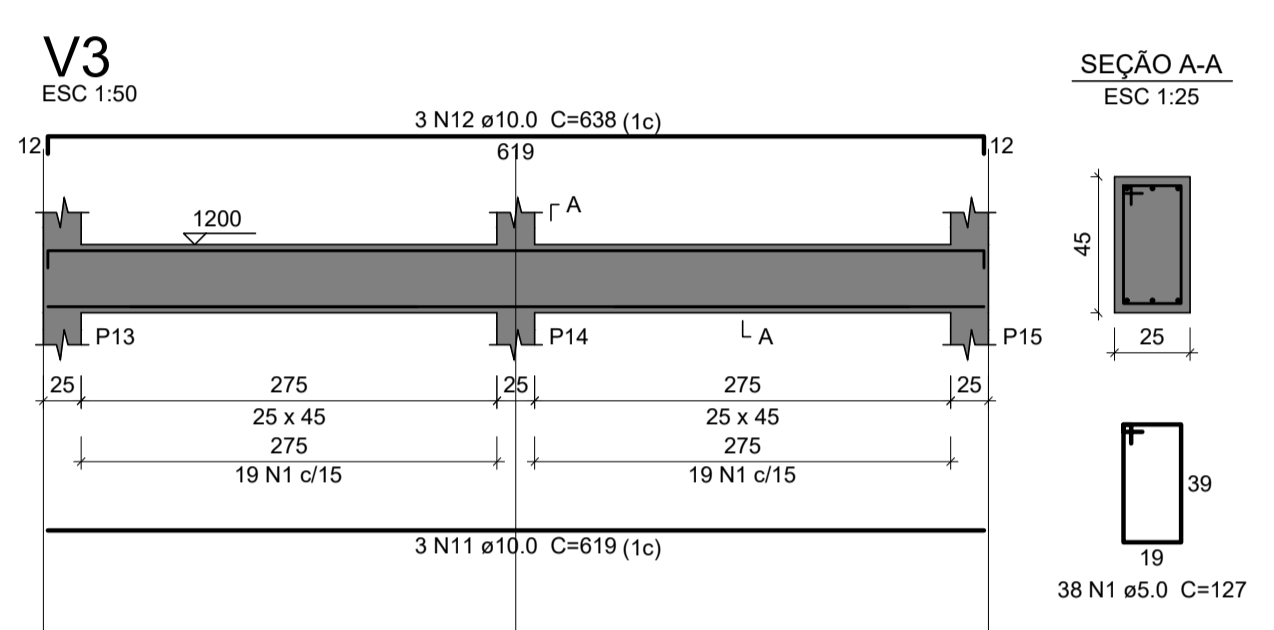
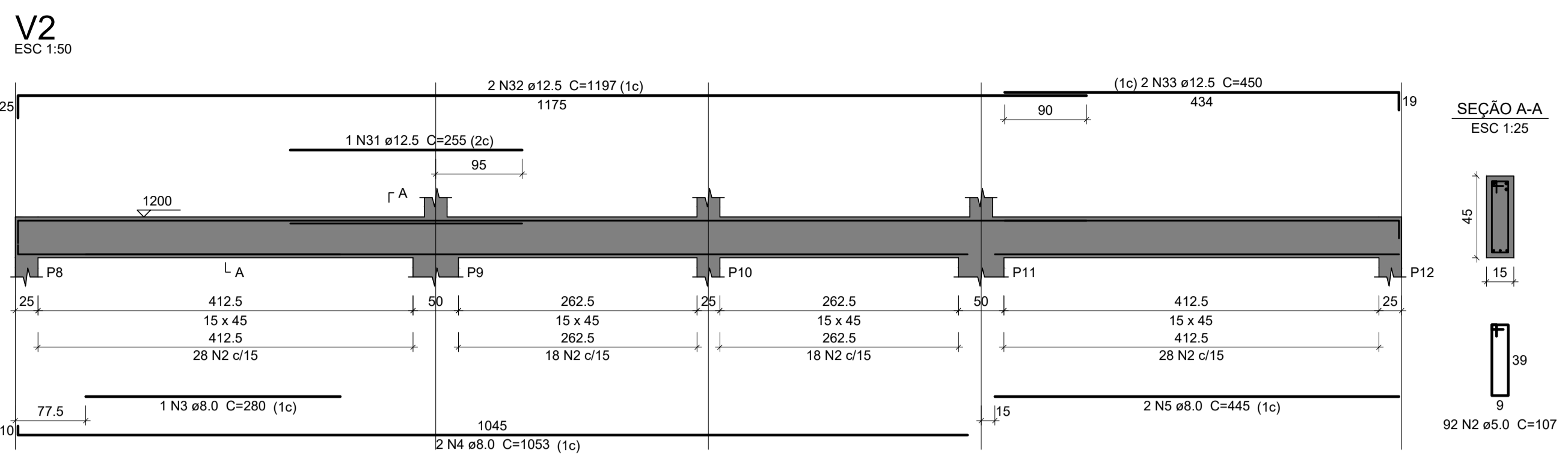
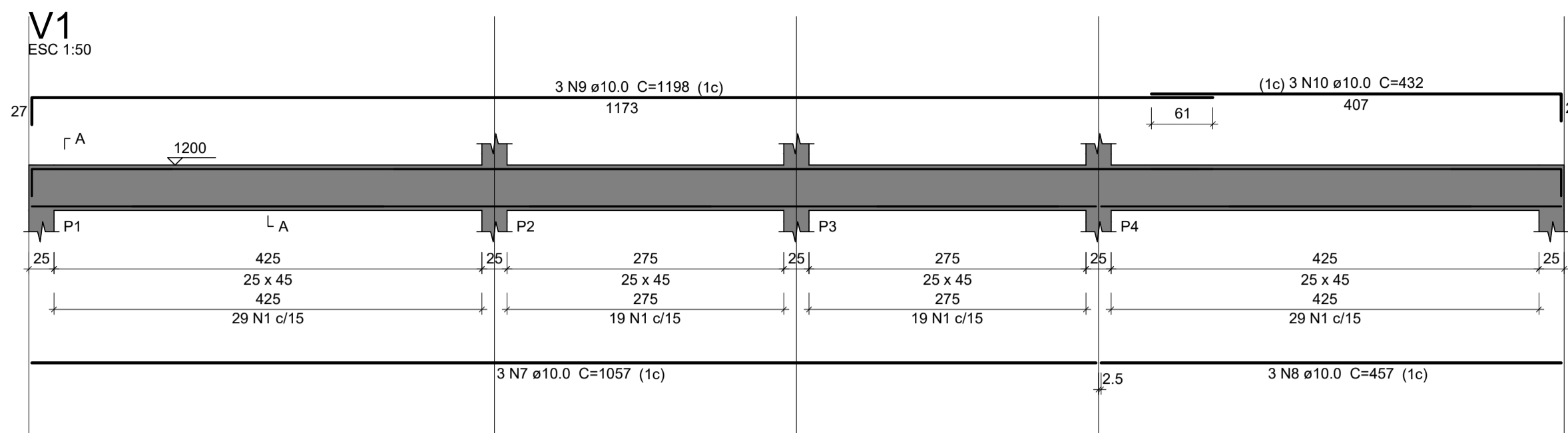
AÇO	DIAM (mm)	C.TOTAL (m)	QUANT + 10 % (Barras)	PESO + 10 % (kg)
CA50	6.3	17.3	2	4.7
	8.0	46.2	5	20.1
	10.0	256.7	24	174.1
	12.5	111.1	11	117.7
	16.0	110.6	11	191.9
CA60	5.0	688.6	-	116.8
PESO TOTAL (kg)				
CA50		508.3		
CA60		116.8		



Universidade de Caxias do sul
Trabalho de Conclusão de Curso
Curso: Engenharia Civil

Projeto: ESTRUTURAL
Assunto: DETALHAMENTO VIGAS PAV. TIPO 3 (situação linear elástica)
Acadêmica: Isadora Brochetto
Orientador: Prof. Dr. Gustavo Ribeiro da Silva

Data: JUN / 2023
Escala: 1:50

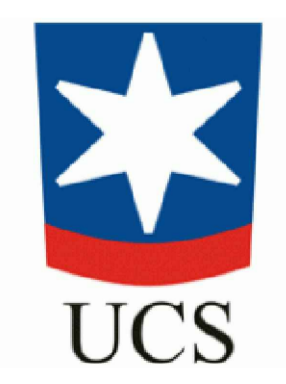


Relação do aço

AÇO	N	DIAM (mm)	QUANT	C.UNIT (cm)	C.TOTAL (cm)
CA60	1	5.0	388	127	49276
	2	5.0	189	107	20223
CA50	3	8.0	1	280	280
	4	8.0	2	1053	2106
	5	8.0	2	445	890
	6	8.0	2	830	1660
	7	10.0	3	1057	3171
	8	10.0	3	457	1371
	9	10.0	3	1198	3594
	10	10.0	3	432	1296
	11	10.0	3	619	1857
	12	10.0	3	638	1914
	13	10.0	6	469	2814
	14	10.0	6	518	3108
	15	10.0	1	253	253
	16	10.0	1	268	268
	17	10.0	4	994	3976
	18	10.0	6	185	1110
	19	10.0	1	170	170
	20	10.0	1	135	135
	21	10.0	4	1043	4172
	22	10.0	6	257	1542
	23	10.0	1	505	505
	24	10.0	2	832	1664
	25	10.0	3	195	585
	26	10.0	3	804	2412
	27	10.0	3	813	2439
	28	10.0	2	200	400
	29	10.0	2	885	1770
	30	10.0	2	263	526
	31	12.5	1	255	255
	32	12.5	2	1197	2394
	33	12.5	2	450	900
	34	16.0	1	260	260
	35	16.0	2	884	1768

Resumo do aço

AÇO	DIAM (mm)	C.TOTAL (m)	QUANT + 10 % (Barras)	PESO + 10 % (kg)
CA50	8.0	49.4	5	21.4
	10.0	410.6	38	278.4
	12.5	35.5	4	37.6
	16.0	20.3	2	35.2
CA60	5.0	695	-	117.8
PESO TOTAL (kg)				
CA50		372.7		
CA60		117.8		



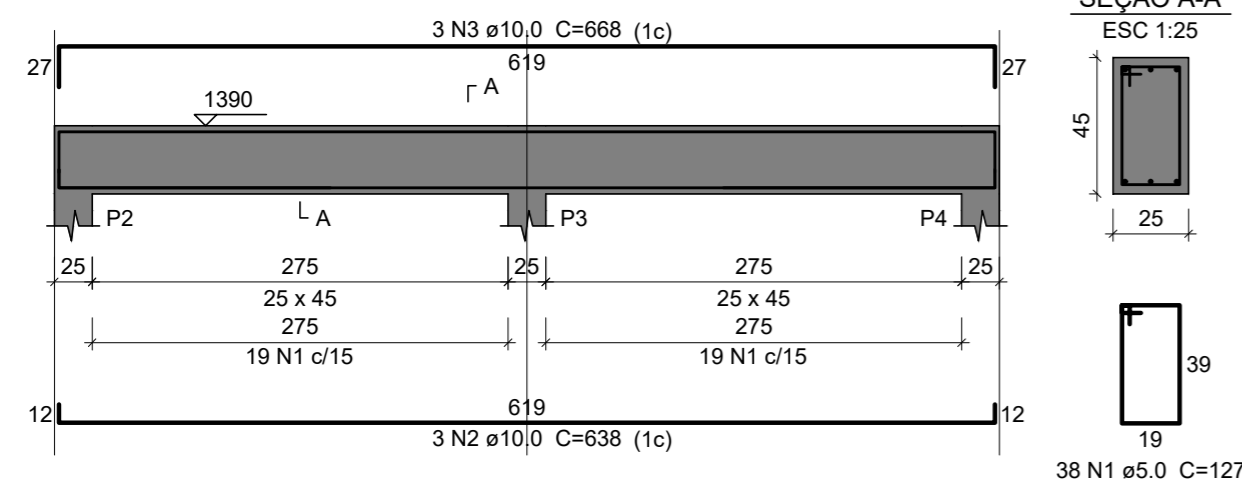
Universidade de Caxias do sul
Trabalho de Conclusão de Curso
Curso: Engenharia Civil

Projeto: ESTRUTURAL
Assunto: DETALHAMENTO VIGAS PAV. COBERTURA (situação linear elástica)
Acadêmica: Isadora Brochetto
Orientador: Prof. Dr. Gustavo Ribeiro da Silva

Data: JUN / 2023
Escala: 1:50

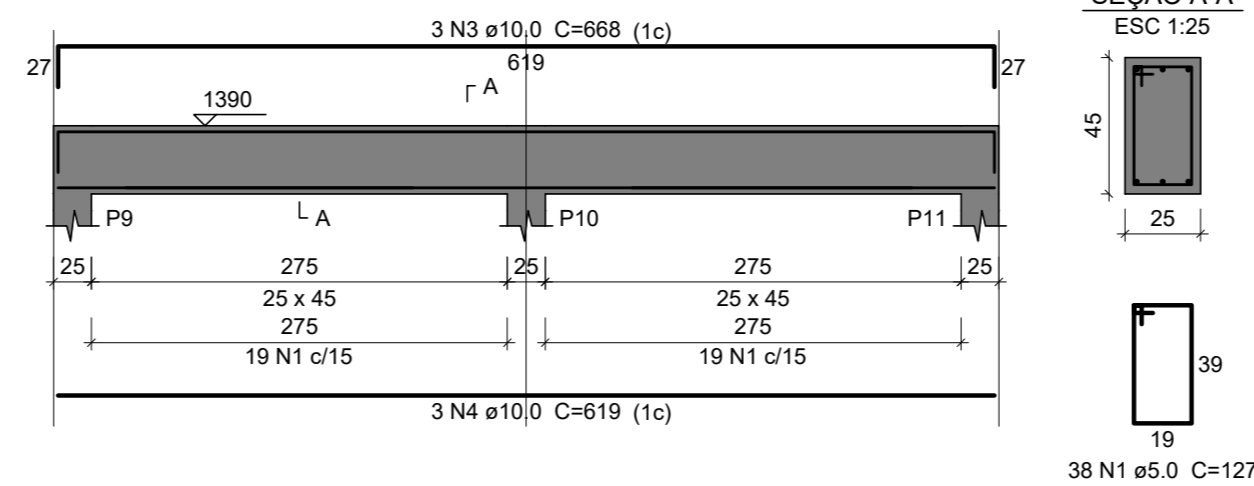
V1

ESC 1:50



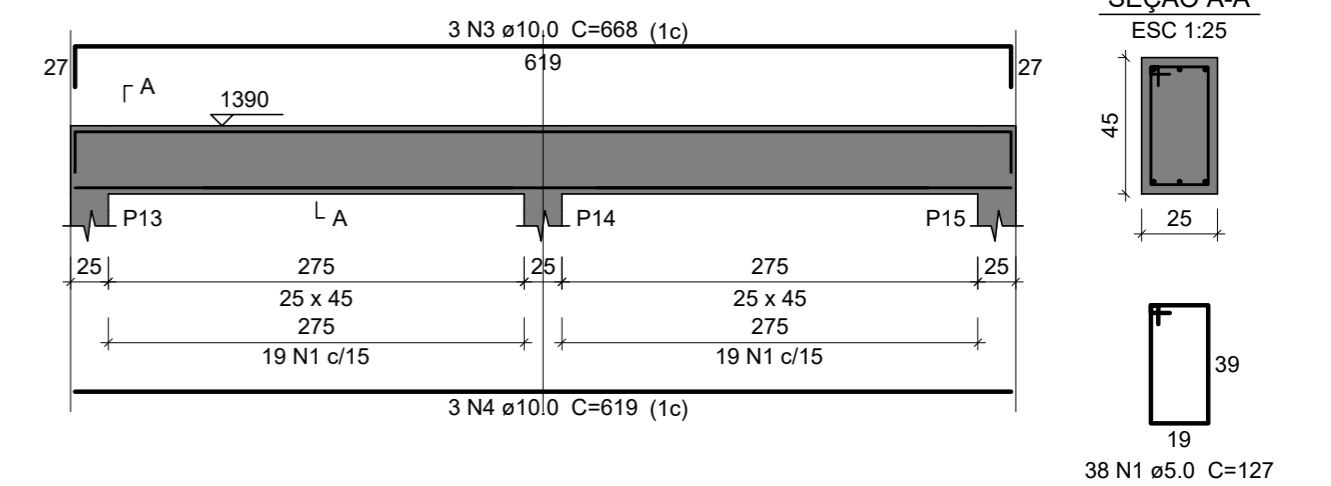
V2

ESC 1:50



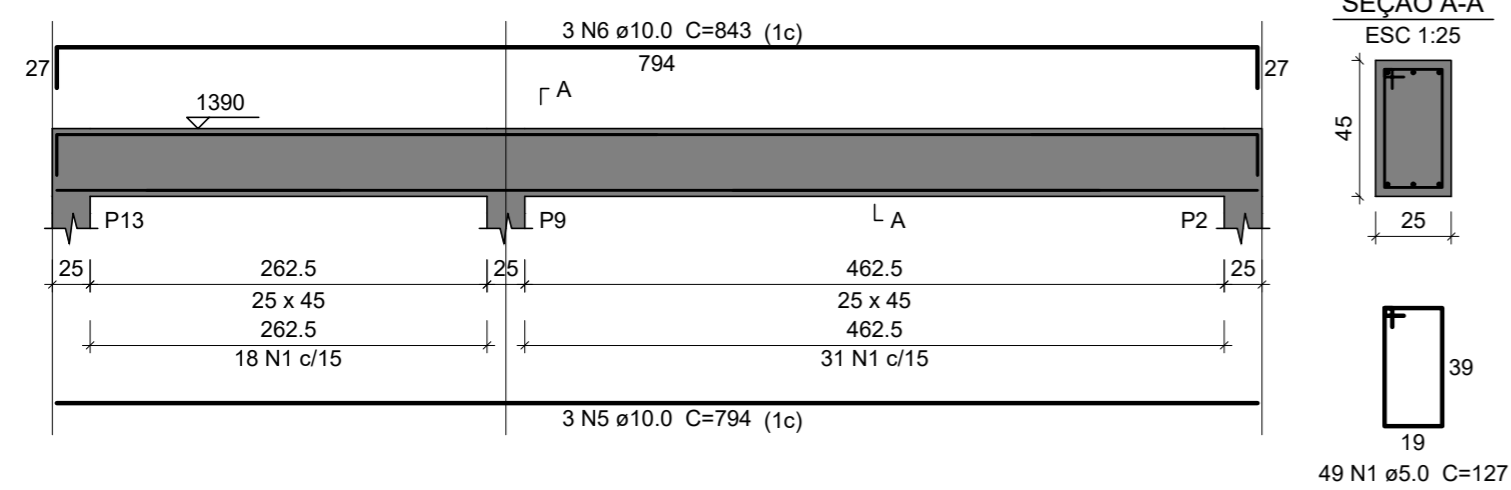
V3

ESC 1:50



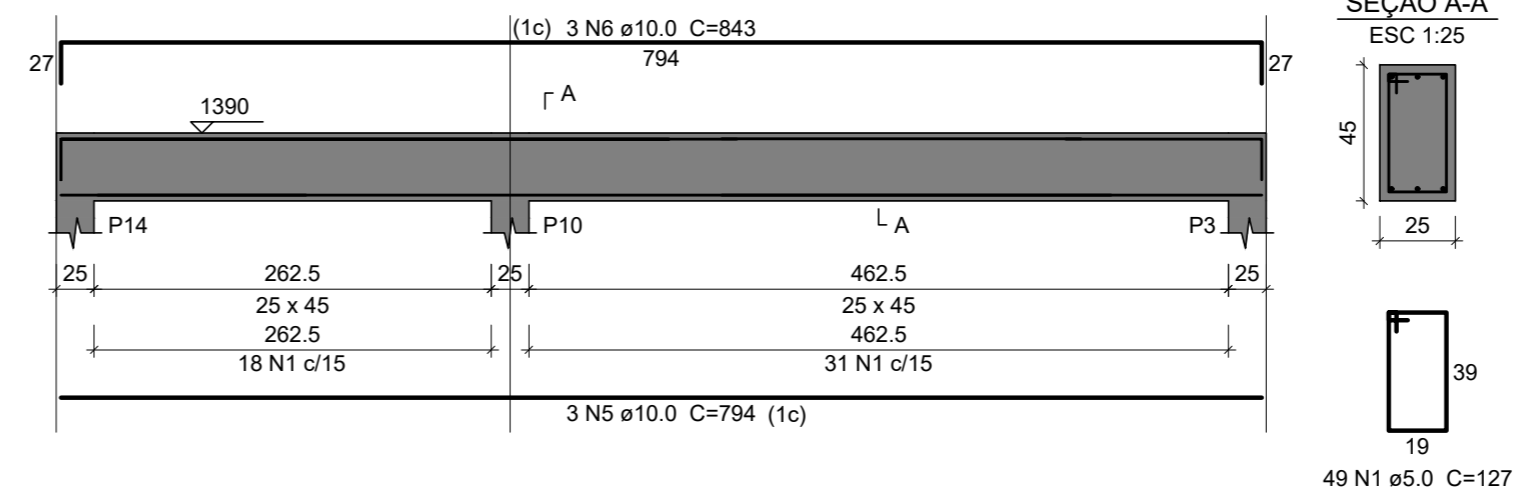
V4

ESC 1:50



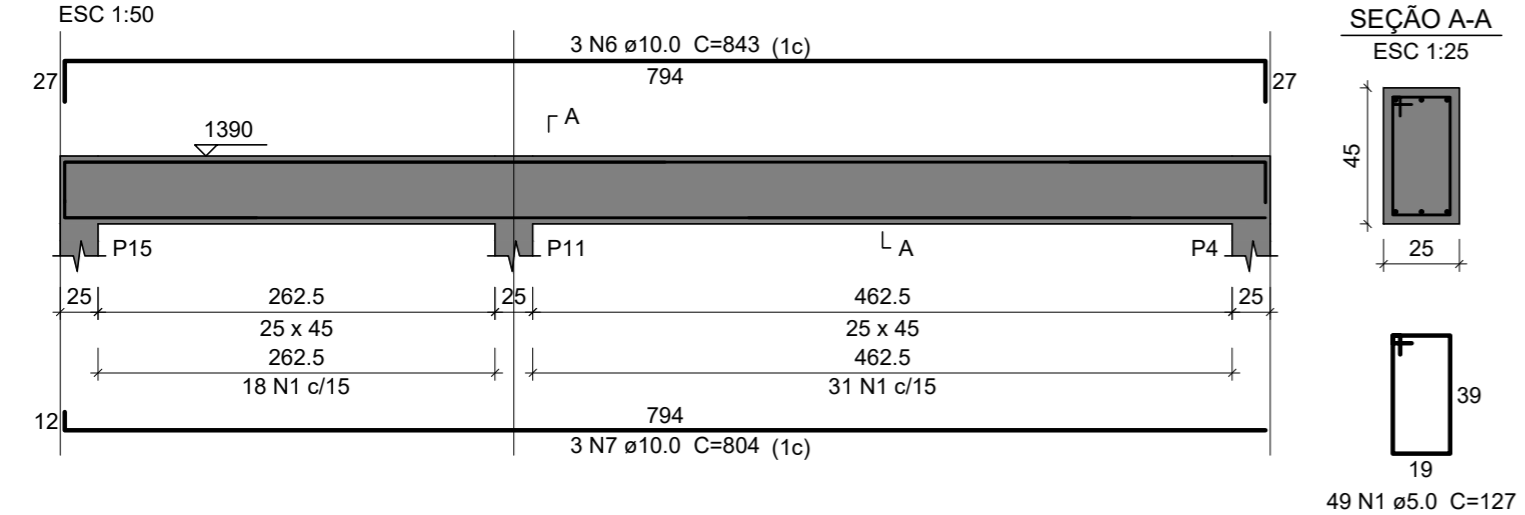
V5

ESC 1:50



V6

ESC 1:50



Relação do aço					
AÇO	N	DIAM (mm)	QUANT	C.UNIT (cm)	C.TOTAL (cm)
CA60	1	5.0	261	127	33147
CA50	2	10.0	3	638	1914
	3	10.0	9	668	6012
	4	10.0	6	619	3714
	5	10.0	6	794	4764
	6	10.0	9	843	7587
	7	10.0	3	804	2412

Resumo do aço				
AÇO	DIAM (mm)	C.TOTAL (m)	QUANT + 10 % (Barras)	PESO + 10 % (kg)
CA50	10.0	264.1	25	179.1
CA60	5.0	331.5	-	56.2
PESO TOTAL (kg)				
CA50		179.1		
CA60		56.2		



Universidade de Caxias do sul

Trabalho de Conclusão de Curso
Curso: Engenharia Civil

Projeto: ESTRUTURAL

Assunto: DETALHAMENTO VIGAS PAV. ÁREA TÉCNICA
(situação linear elástica)

Acadêmica: Isadora Brochetto

Orientador: Prof. Dr. Gustavo Ribeiro da Silva

Data:
JUN / 2023

Escala:
1: 50

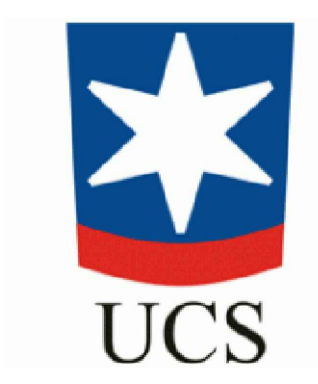
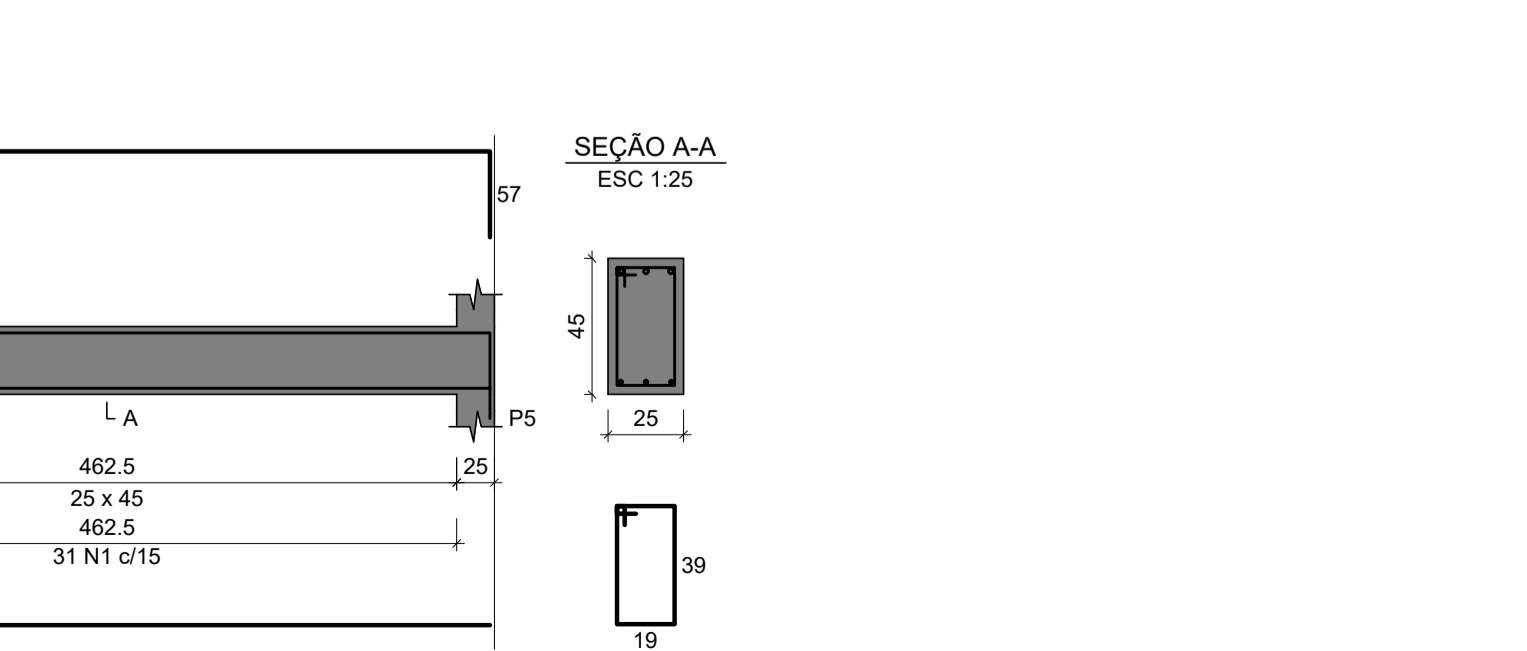
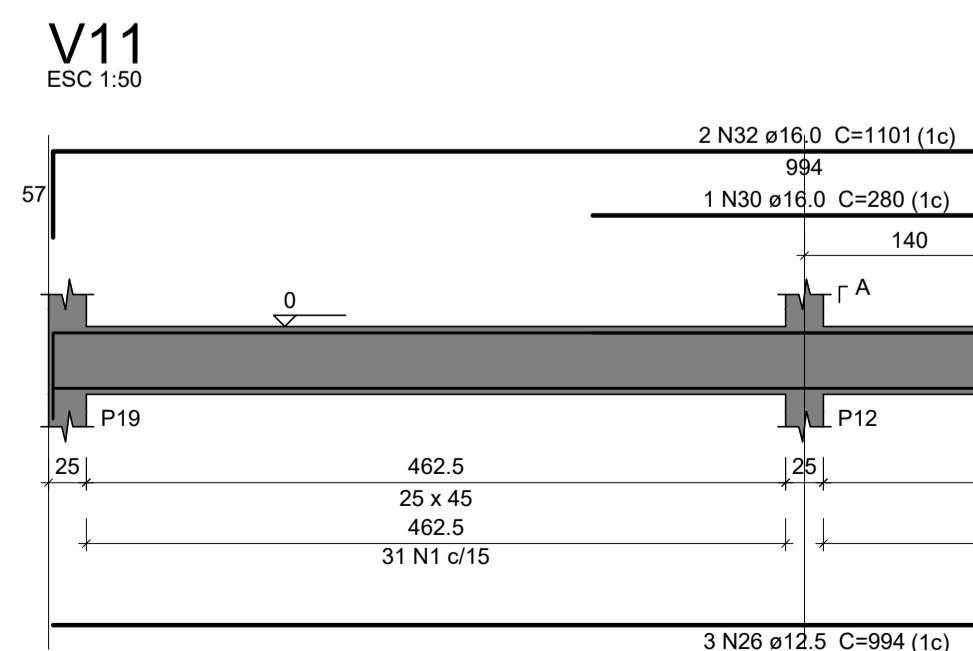
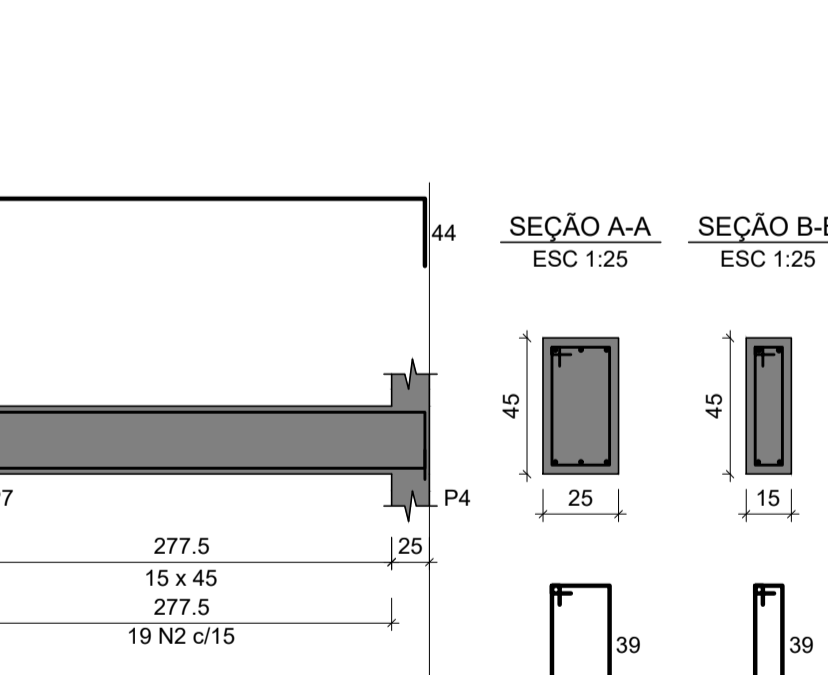
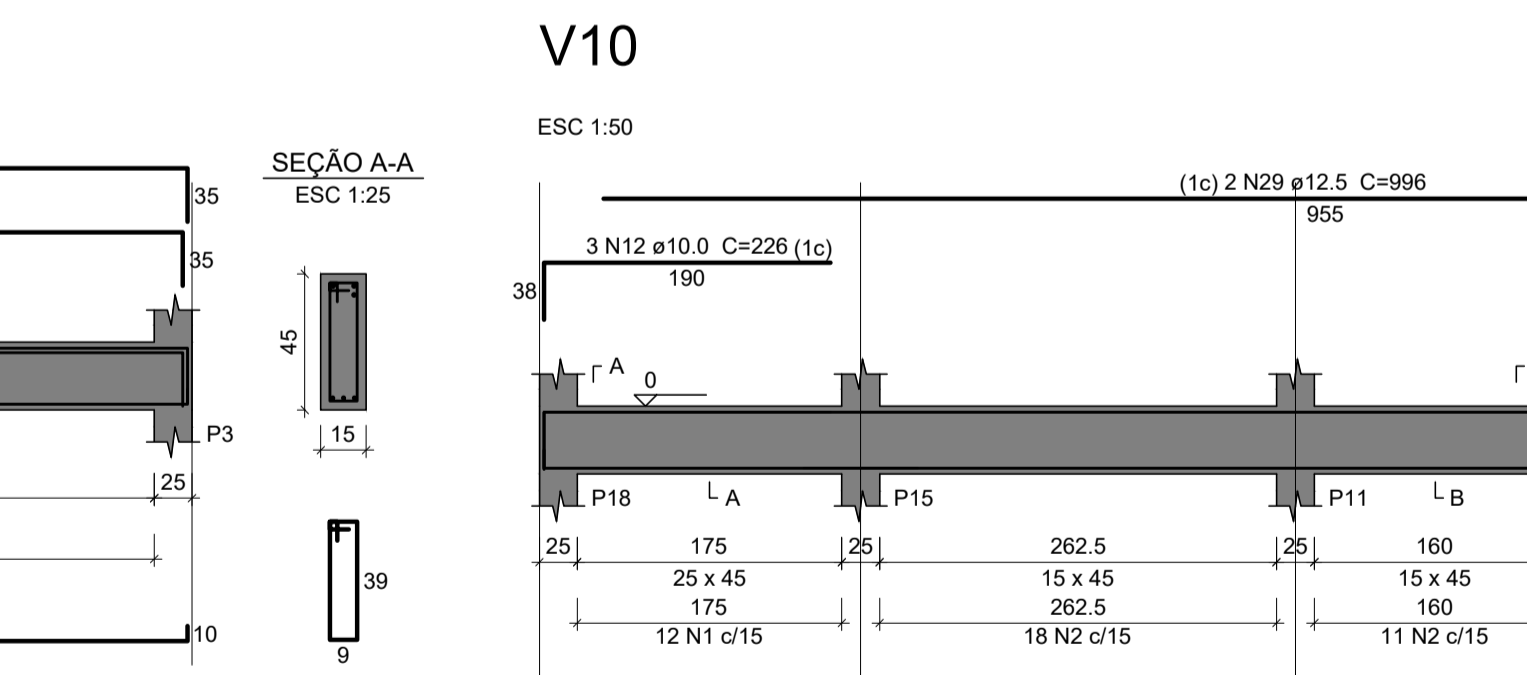
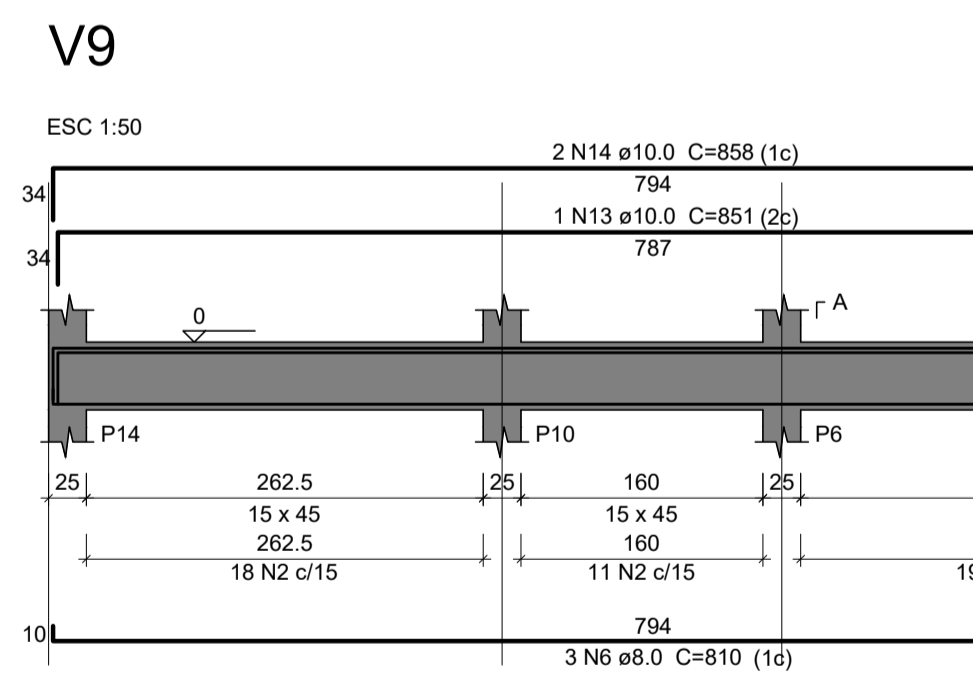
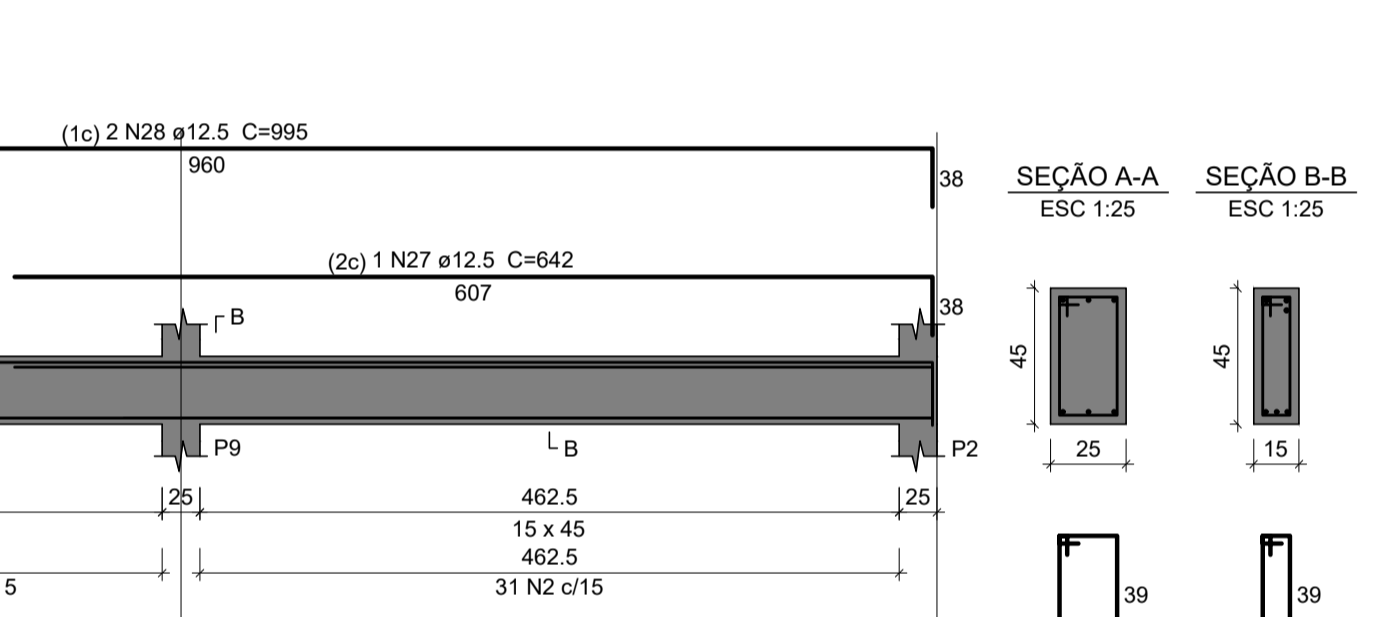
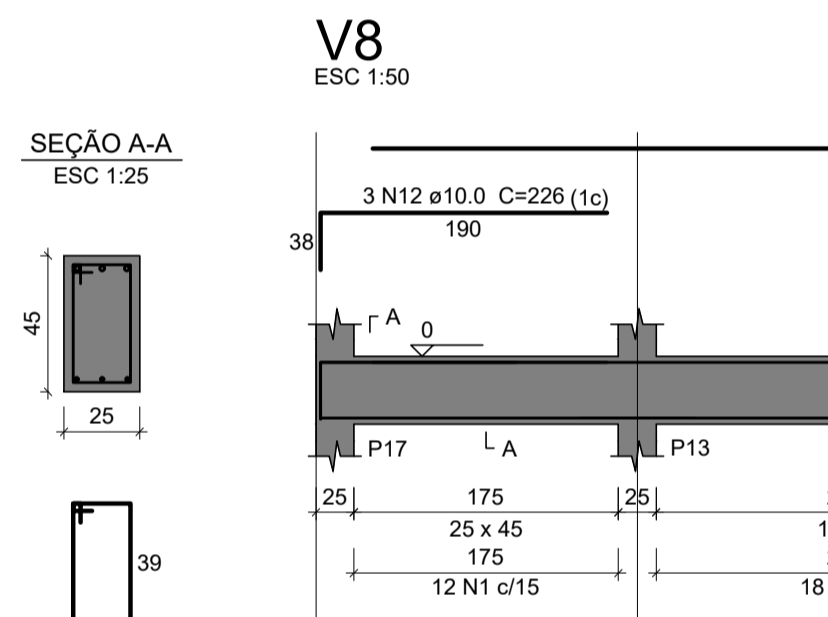
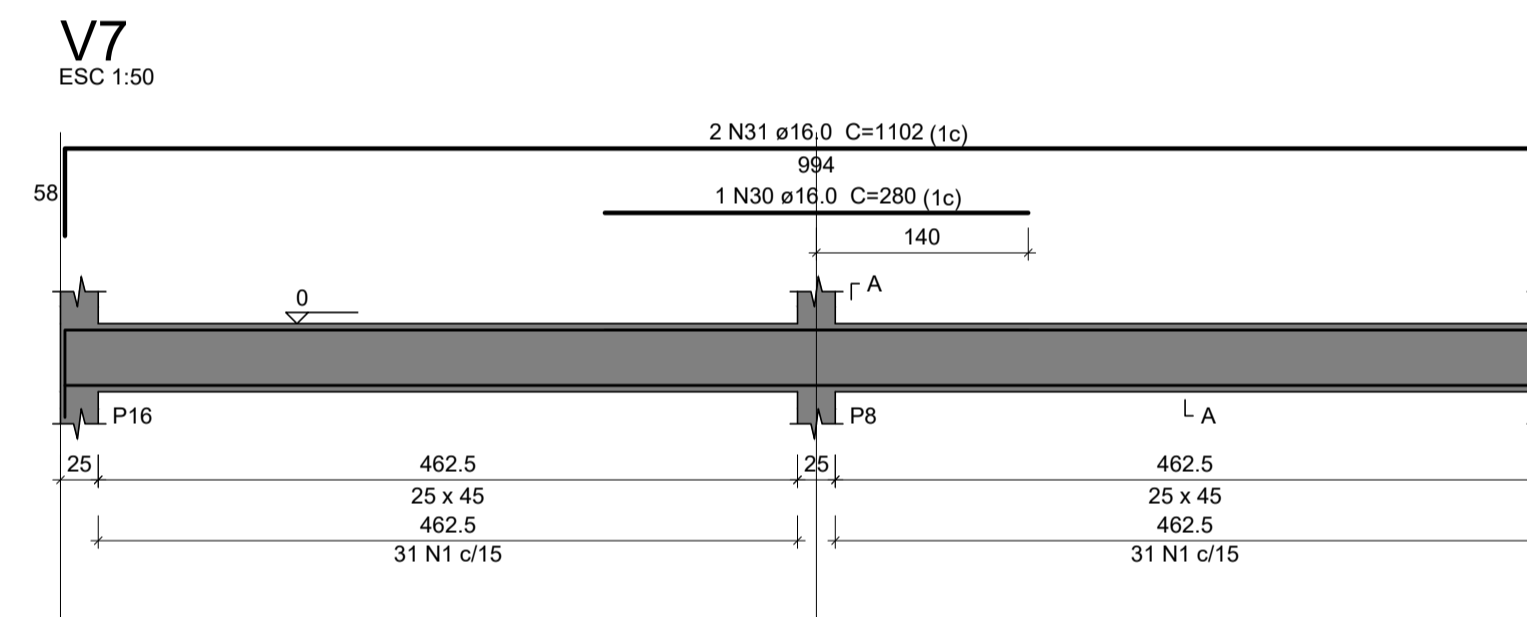
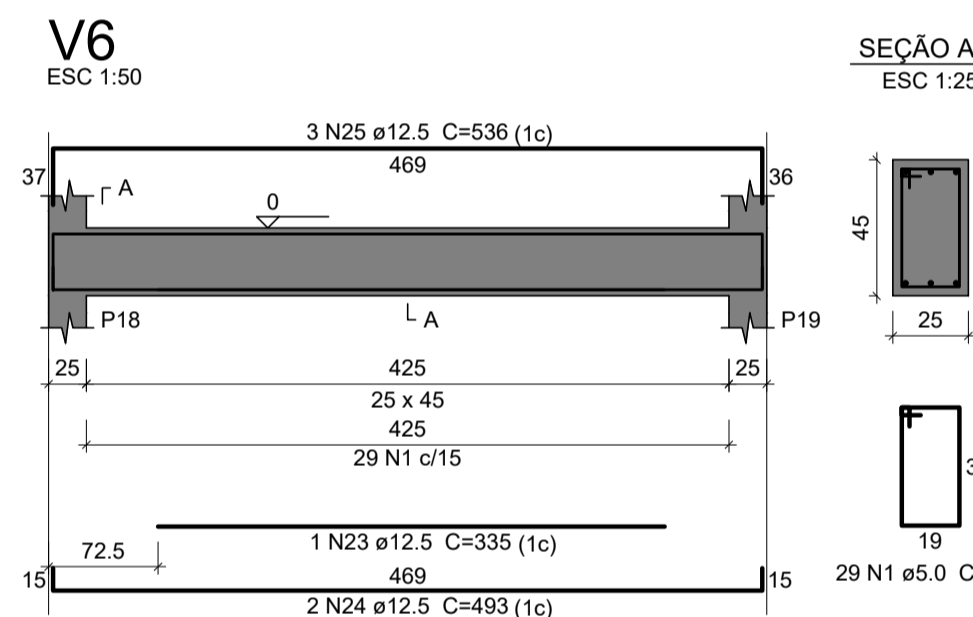
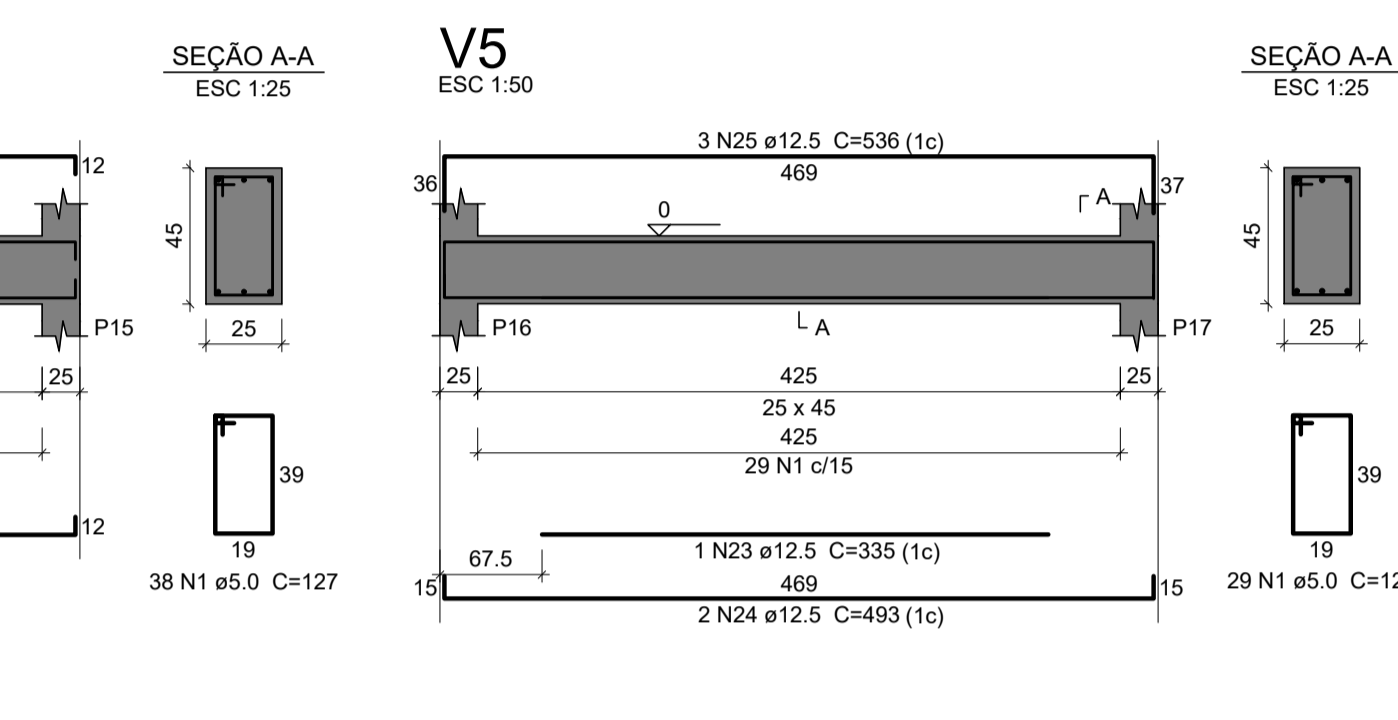
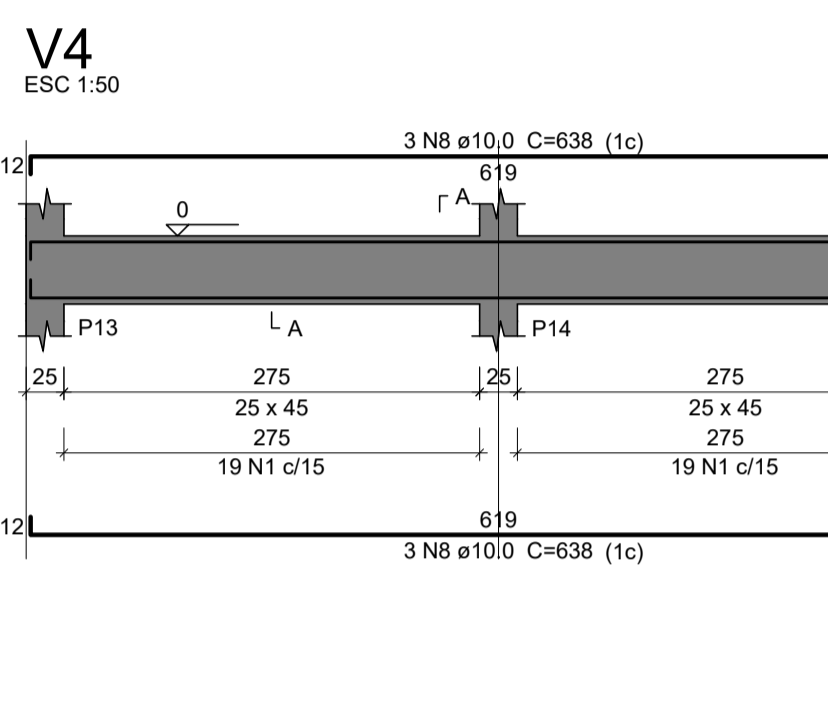
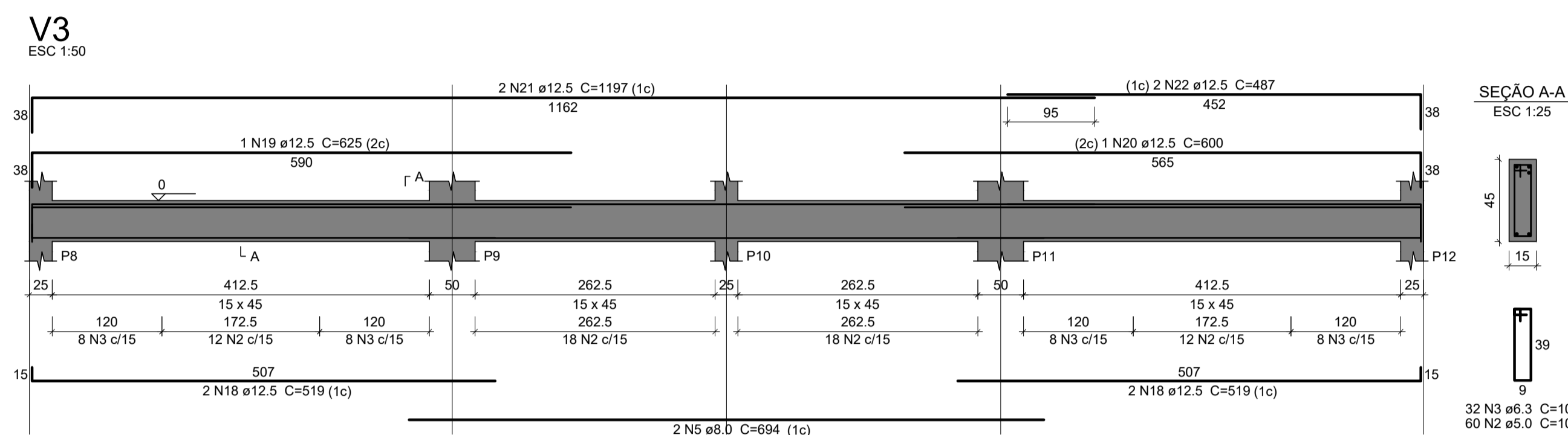
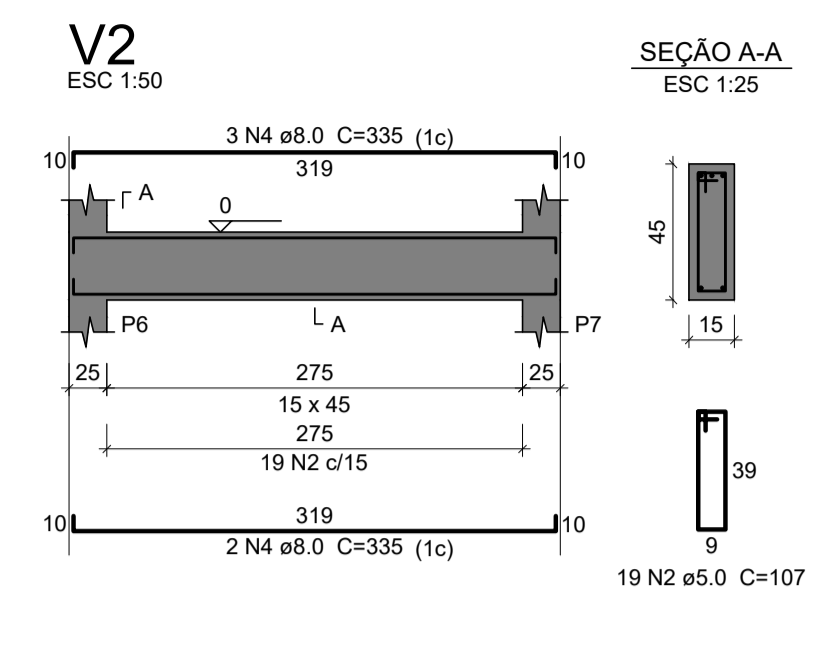
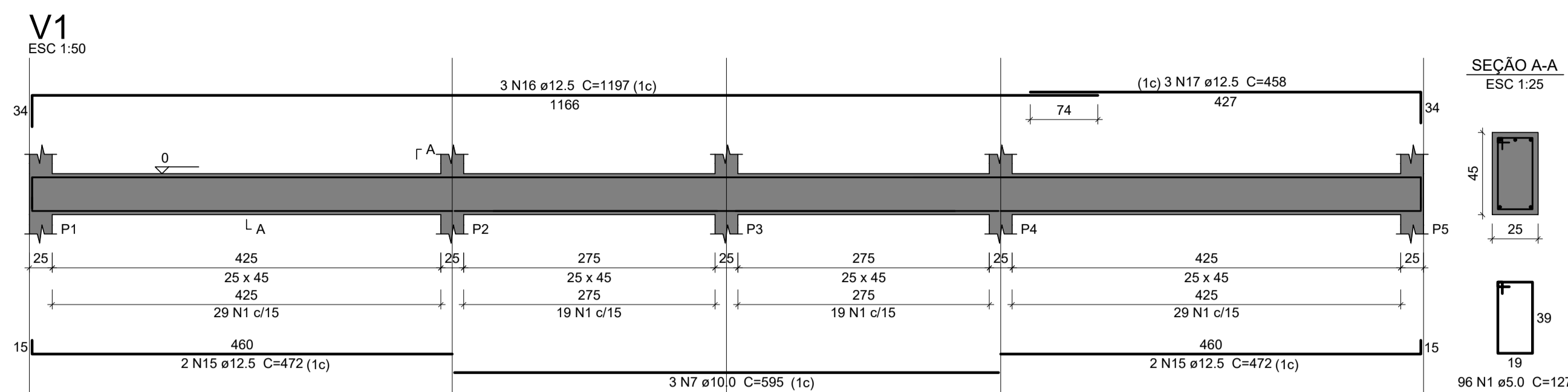
ESTRUTURAL

10

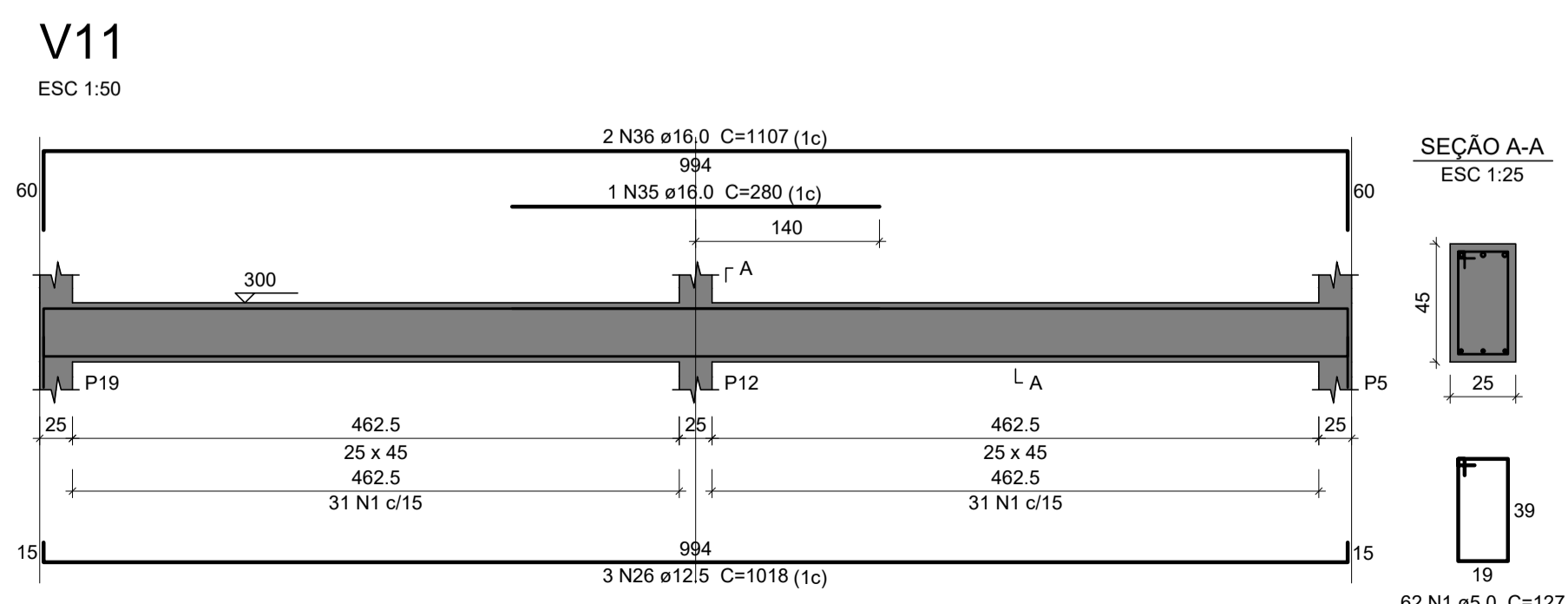
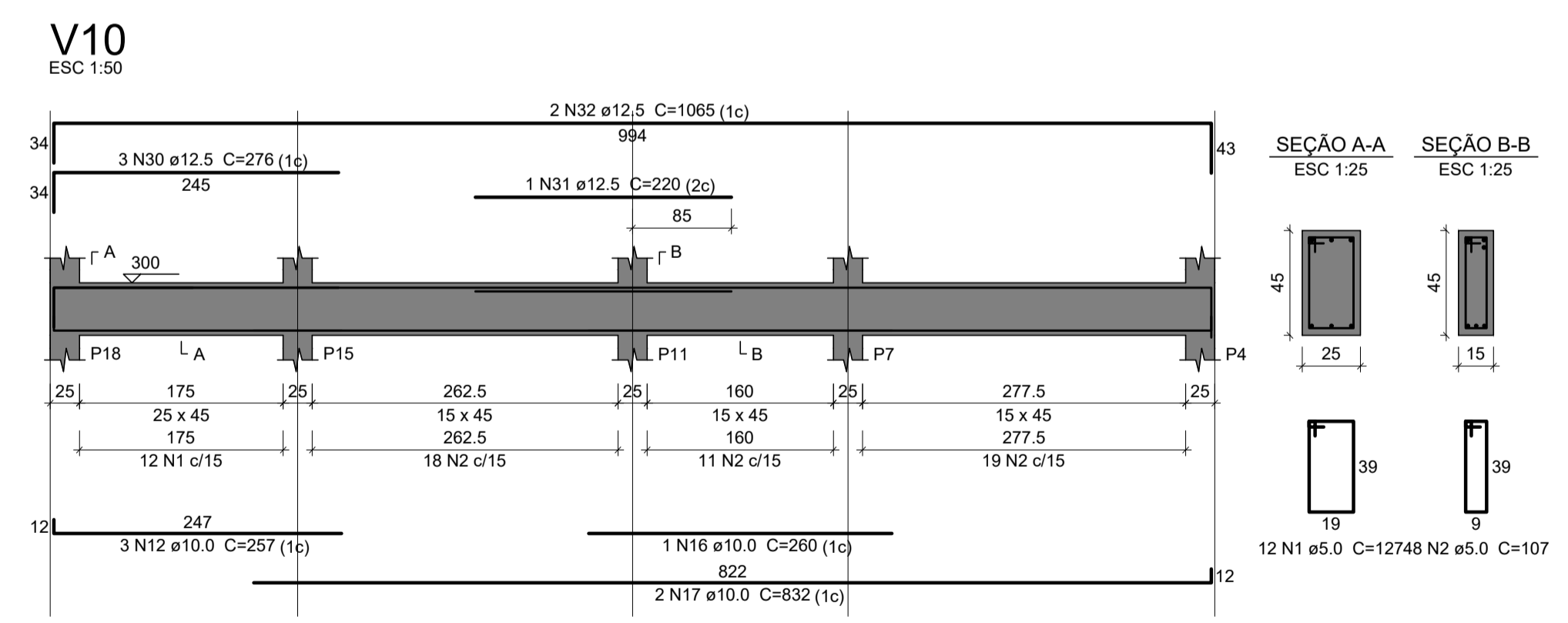
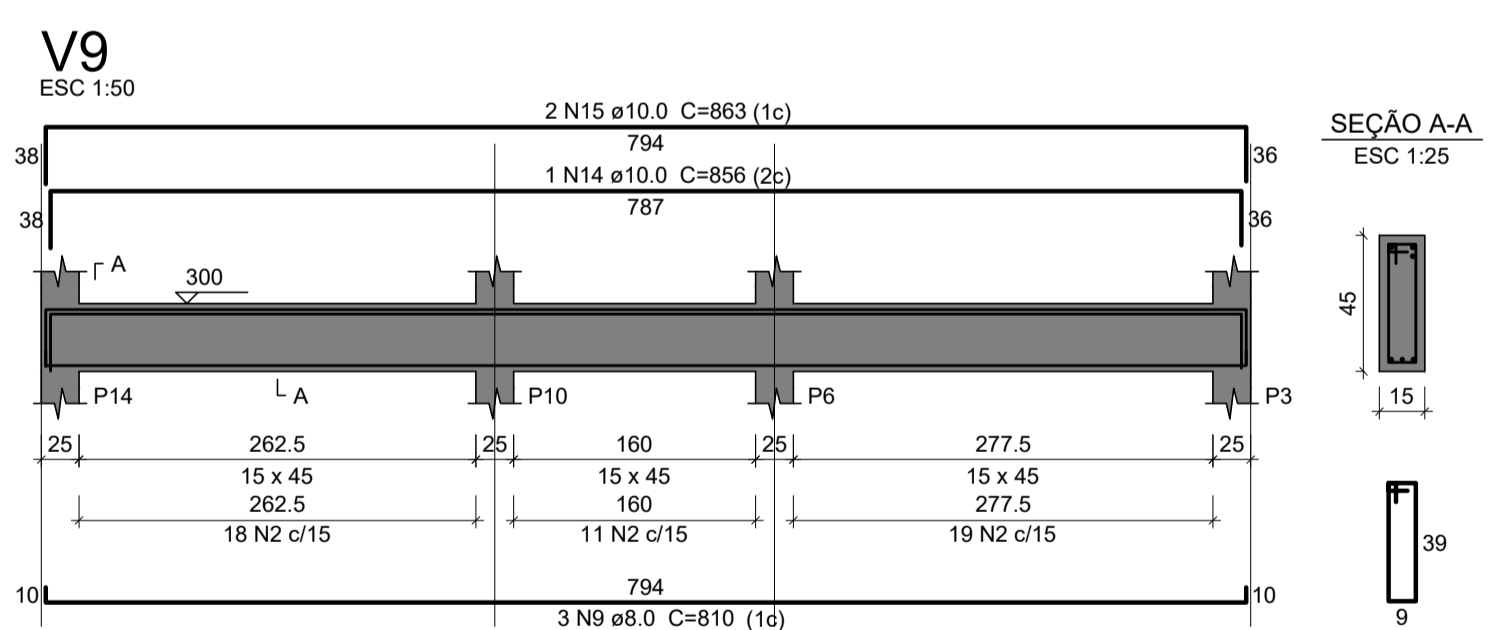
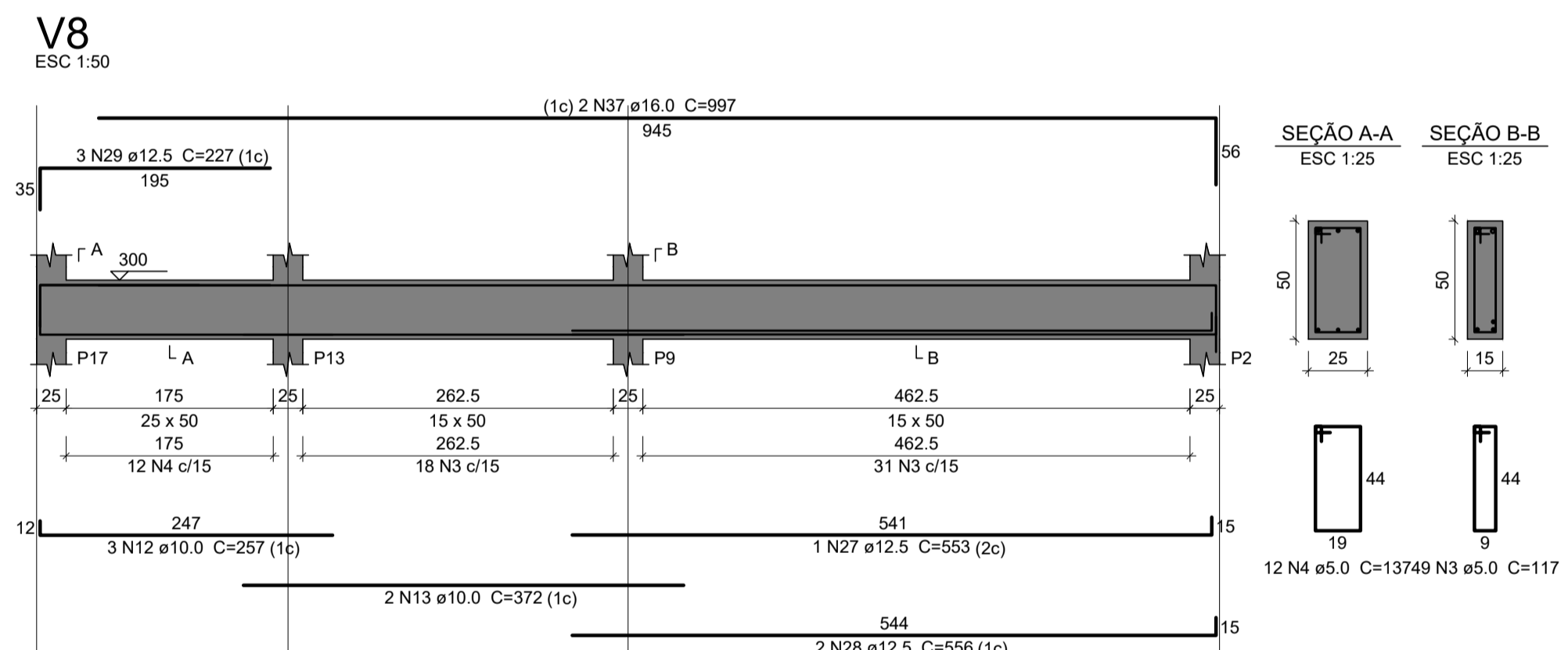
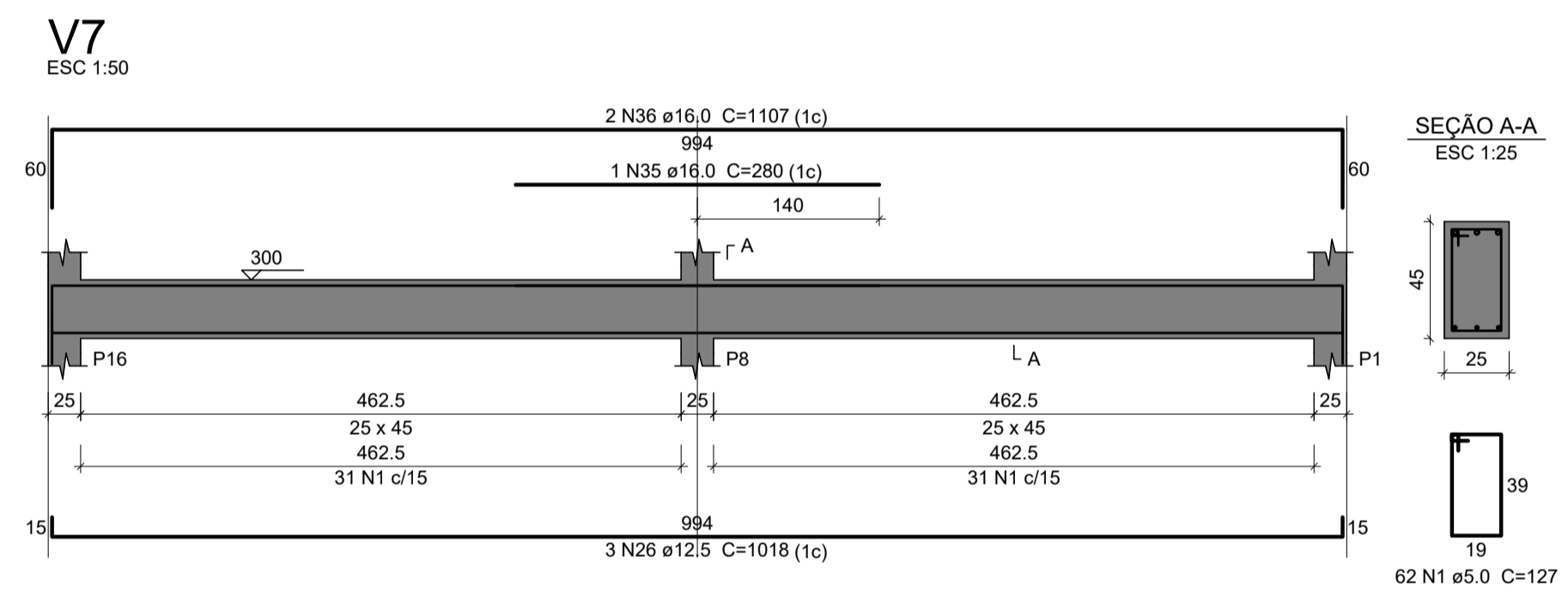
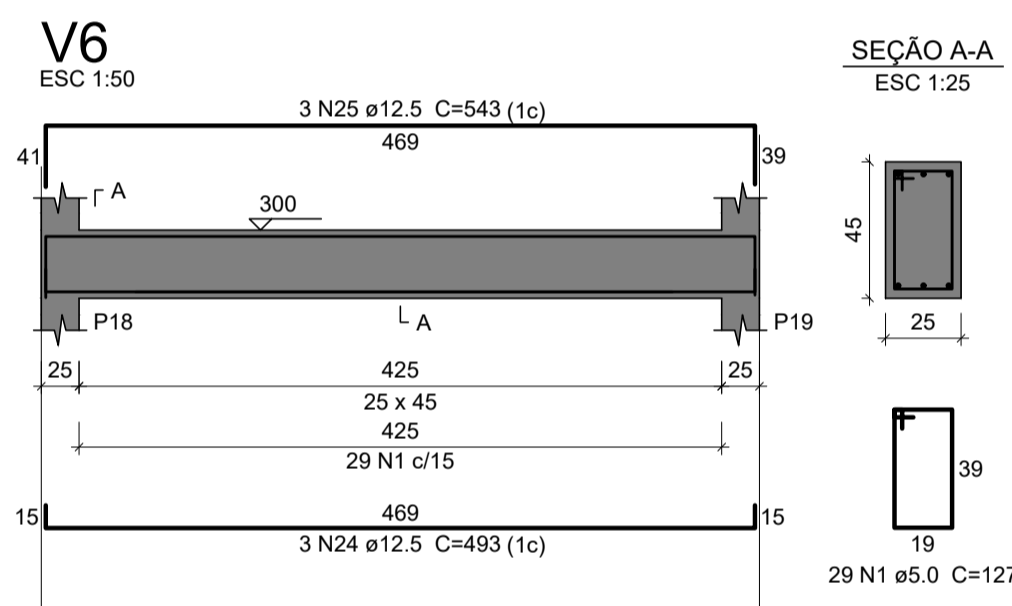
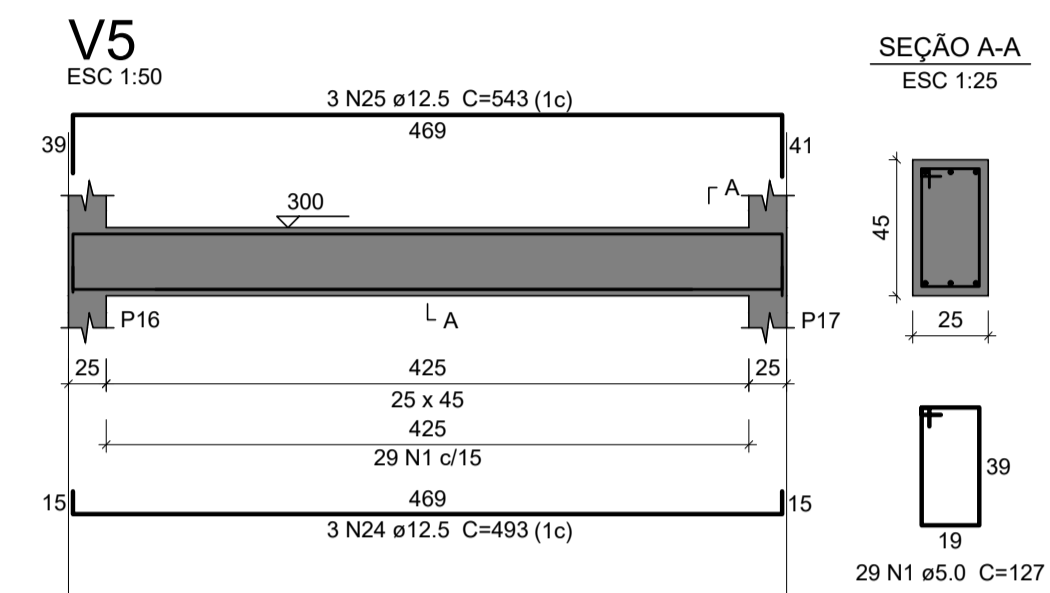
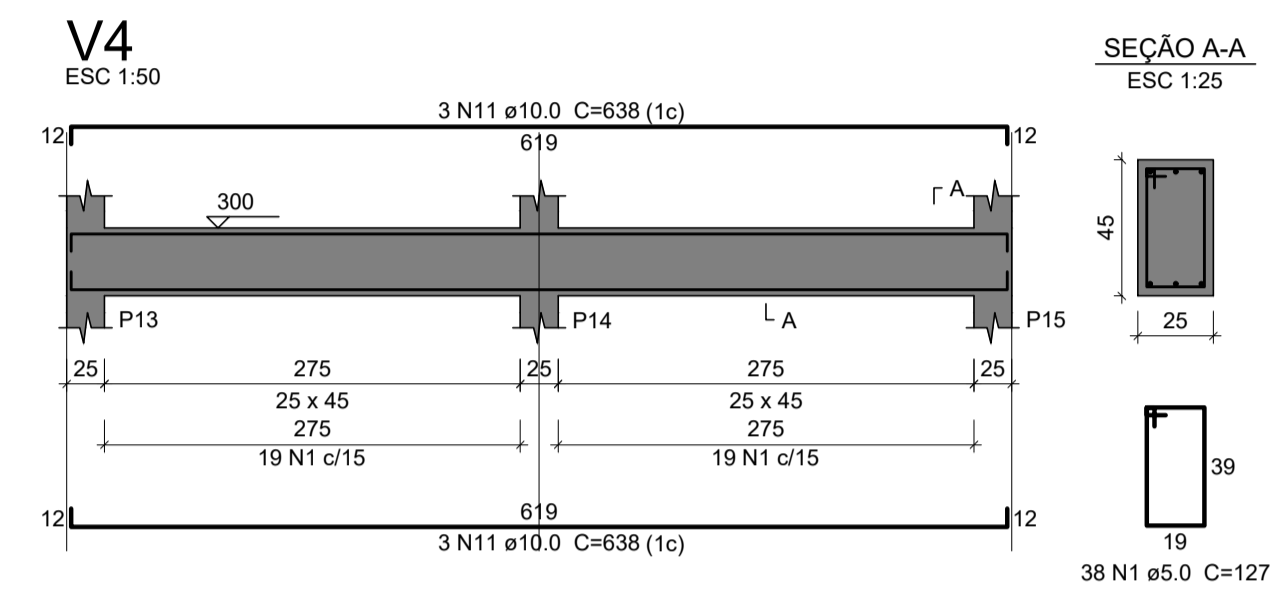
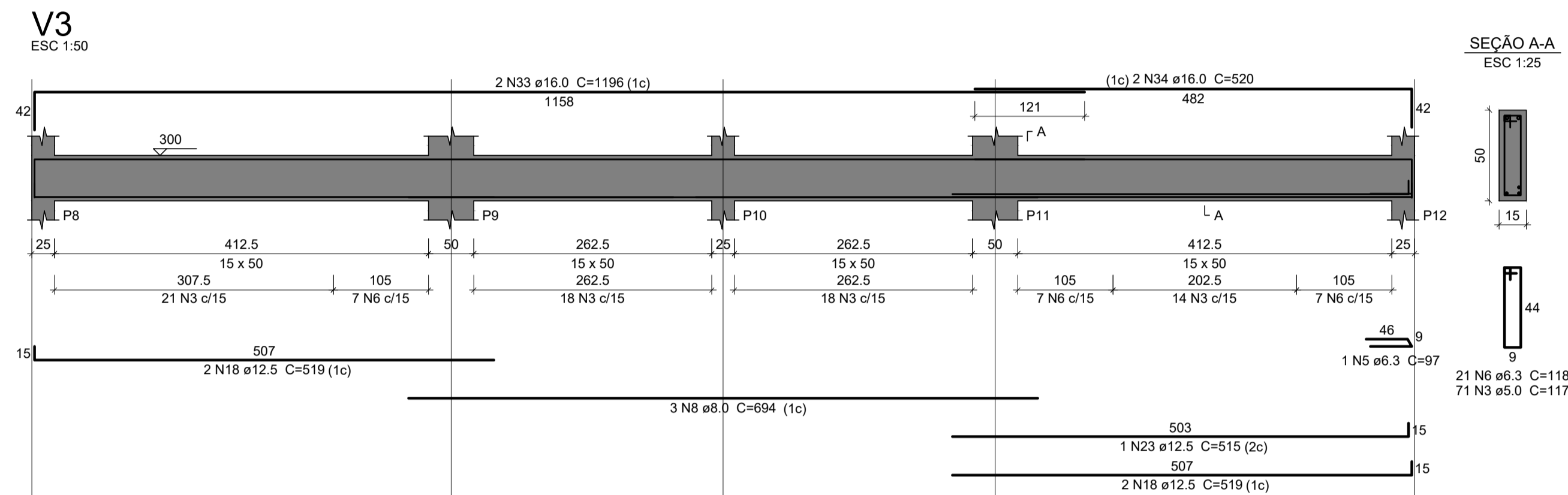
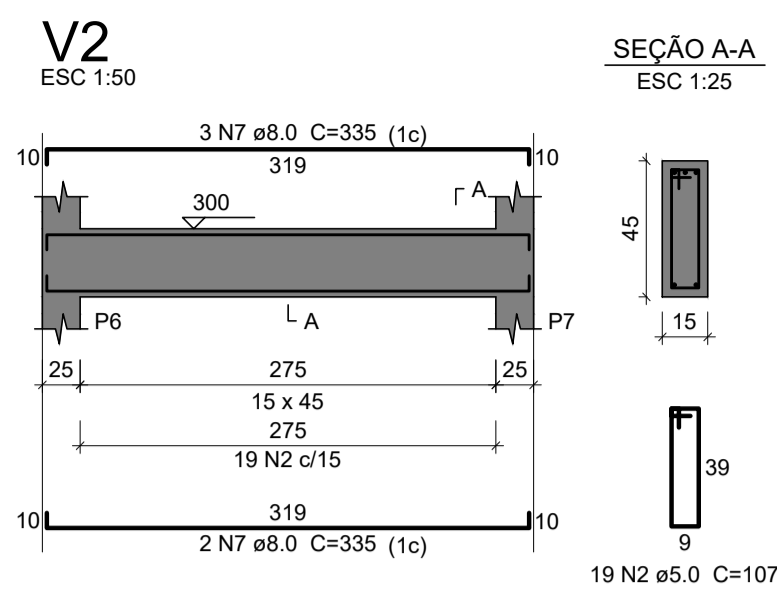
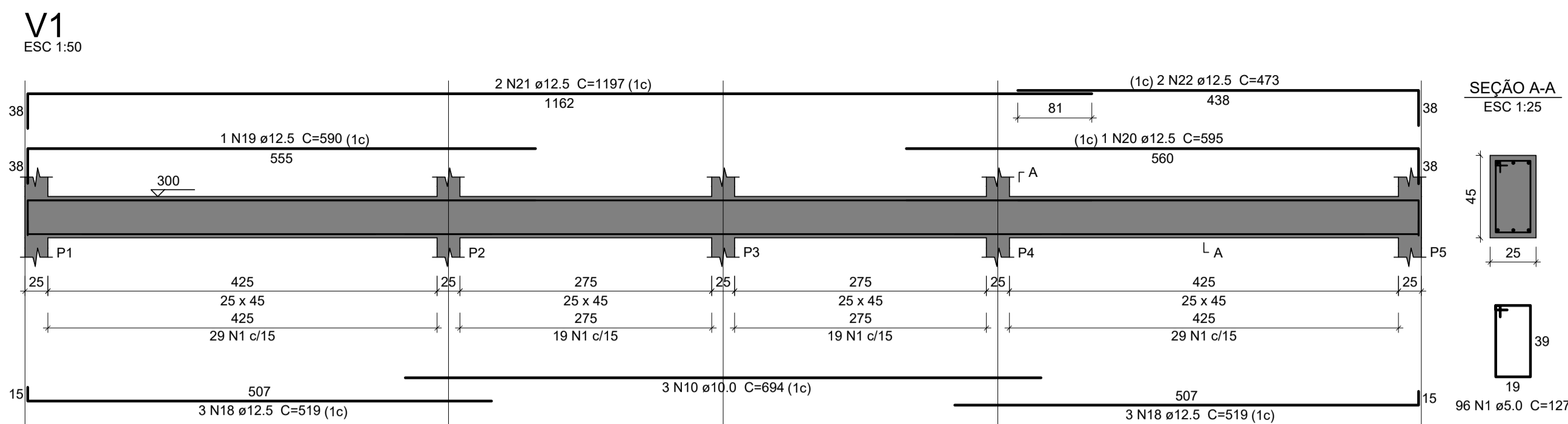
APÊNDICE C – DETALHAMENTOS DE VIGAS (situação linear com redistribuição)

Relação do aço					
AÇO	N	DIAM (mm)	QUANT	C.UNIT (cm)	C.TOTAL (cm)
CA60	1	5.0	340	127	43180
	2	5.0	224	107	23968
CA50	3	6.3	32	108	3456
	4	8.0	5	335	1675
	5	8.0	2	694	1388
	6	8.0	3	810	2430
	7	10.0	3	595	1785
	8	10.0	6	638	3828
	9	10.0	6	257	1542
	10	10.0	1	545	545
	11	10.0	4	832	3328
	12	10.0	6	226	1356
	13	10.0	1	851	851
	14	10.0	2	858	1716
	15	12.5	4	472	1888
	16	12.5	3	1197	3591
	17	12.5	3	458	1374
	18	12.5	4	519	2076
	19	12.5	1	625	625
	20	12.5	1	600	600
	21	12.5	2	1197	2394
	22	12.5	2	487	974
	23	12.5	2	335	670
	24	12.5	4	493	1972
	25	12.5	6	536	3216
	26	12.5	6	994	5964
	27	12.5	1	642	642
	28	12.5	2	995	1990
	29	12.5	2	996	1992
	30	16.0	2	280	560
	31	16.0	2	1102	2204
	32	16.0	2	1101	2202

Resumo do aço				
AÇO	DIAM (mm)	C.TOTAL (m)	QUANT + 10 % (Barras)	PESO + 10 % (kg)
CA50	6.3	34.6	4	9.3
	8.0	55	6	23.8
	10.0	149.6	14	101.4
	12.5	299.7	28	317.6
	16.0	49.7	5	86.2
	5.0	671.5	-	113.8
PESO TOTAL (kg)				
CA50		538.3		
CA60		113.8		



Universidade de Caxias do sul
Trabalho de Conclusão de Curso
Curso: Engenharia Civil

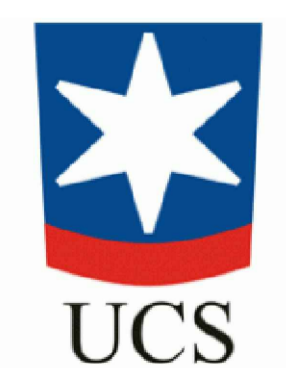


Relação do aço

ACO	N	DIAM (mm)	QUANT	C.UNIT (cm)	C.TOTAL (cm)
CA60	1	5.0	328	127	41656
	2	5.0	115	107	12305
	3	5.0	120	117	14040
	4	5.0	12	137	1644
	5	6.3	1	97	97
CA50	6	6.3	21	118	2478
	7	8.0	5	335	1675
	8	8.0	3	694	2082
	9	8.0	3	810	2430
	10	10.0	3	694	2082
	11	10.0	6	638	3828
	12	10.0	6	257	1542
	13	10.0	2	372	744
	14	10.0	1	856	856
	15	10.0	2	863	1726
	16	10.0	1	260	260
	17	10.0	2	832	1664
	18	12.5	10	519	5190
	19	12.5	1	590	590
	20	12.5	1	595	595
	21	12.5	2	1197	2394
	22	12.5	2	473	946
	23	12.5	1	515	515
	24	12.5	6	493	2958
	25	12.5	6	543	3258
	26	12.5	6	1018	6108
	27	12.5	1	553	553
	28	12.5	2	556	1112
	29	12.5	3	227	681
	30	12.5	3	276	828
	31	12.5	1	220	220
	32	12.5	2	1065	2130
	33	16.0	2	1196	2392
	34	16.0	2	620	1040
	35	16.0	2	280	560
	36	16.0	4	1107	4428
	37	16.0	2	997	1994

Resumo do aço

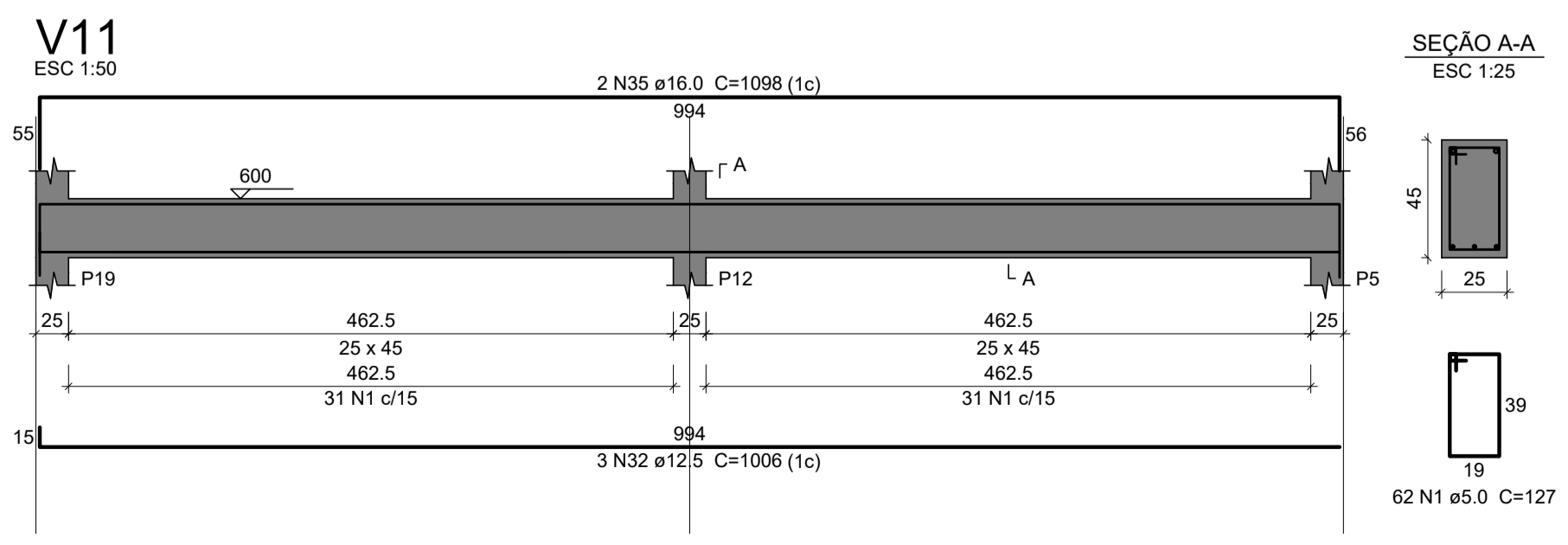
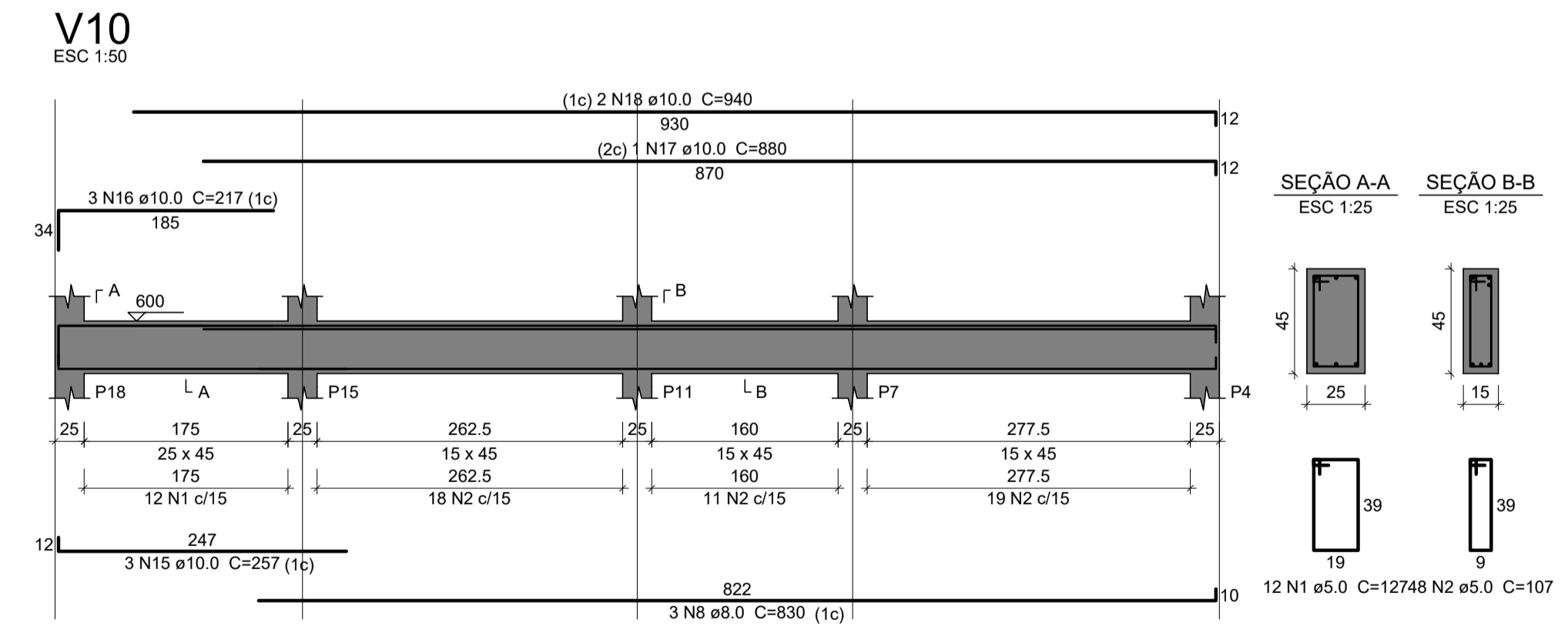
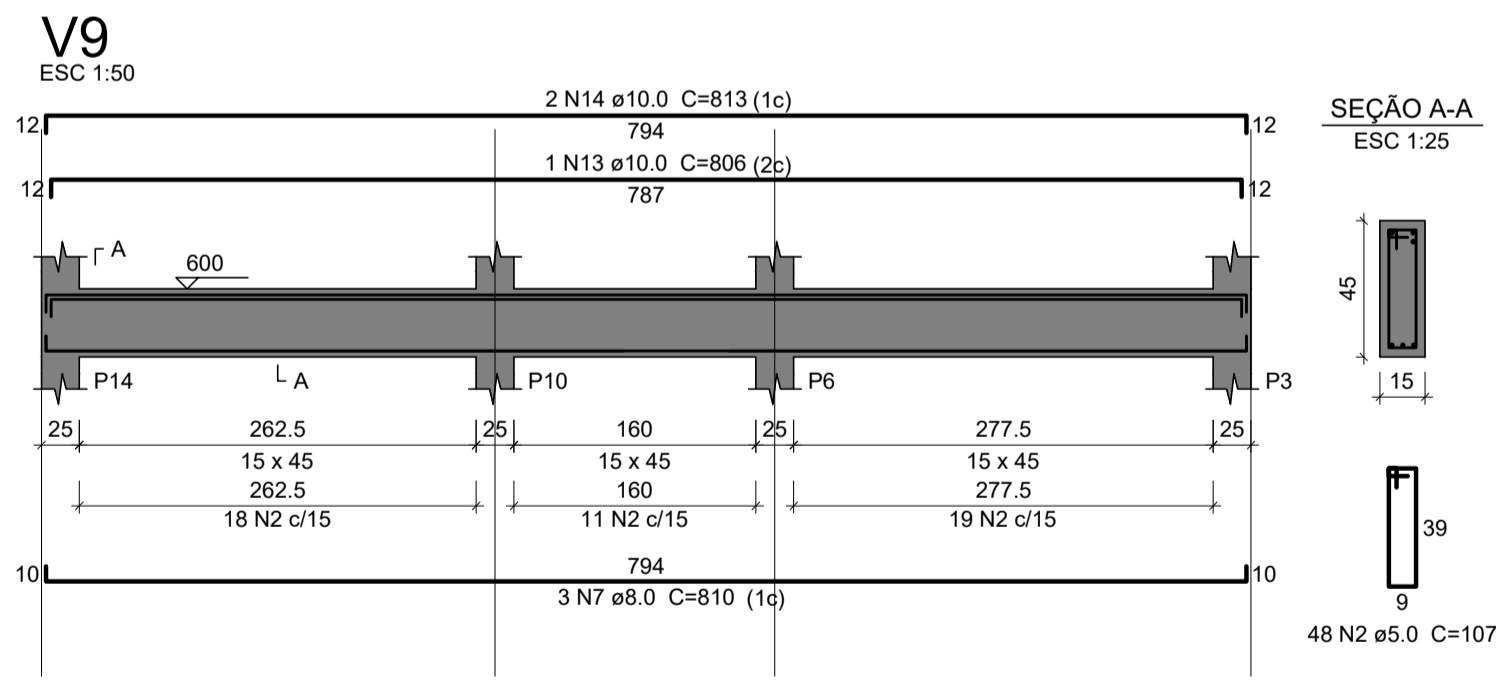
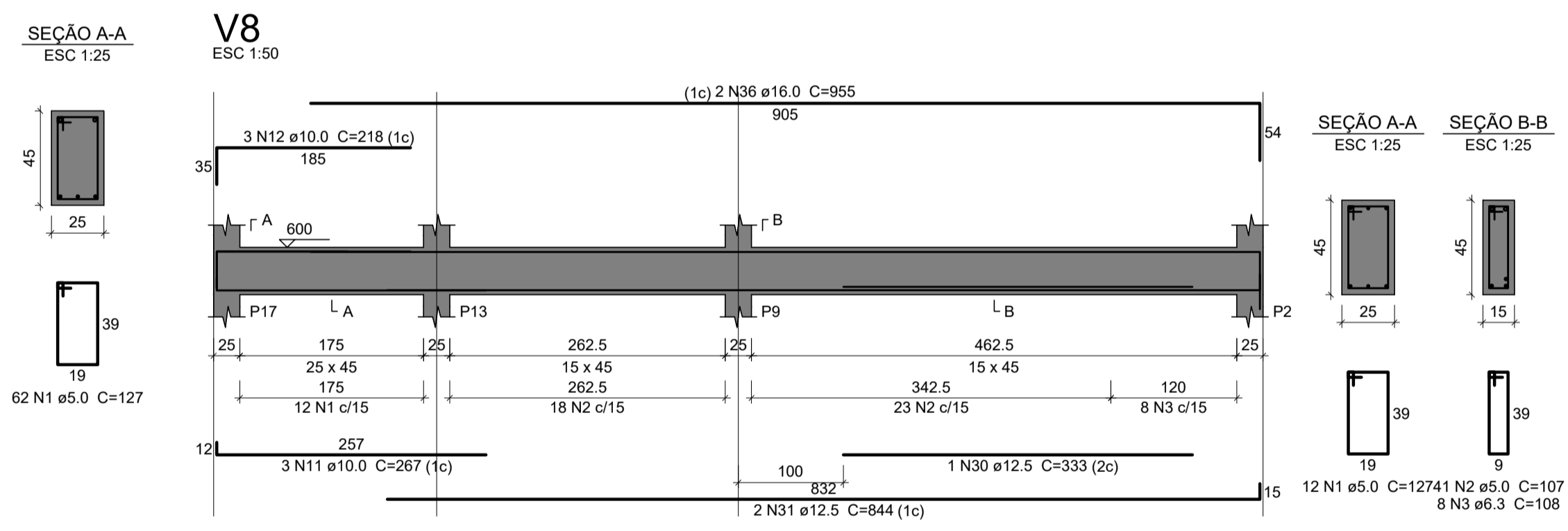
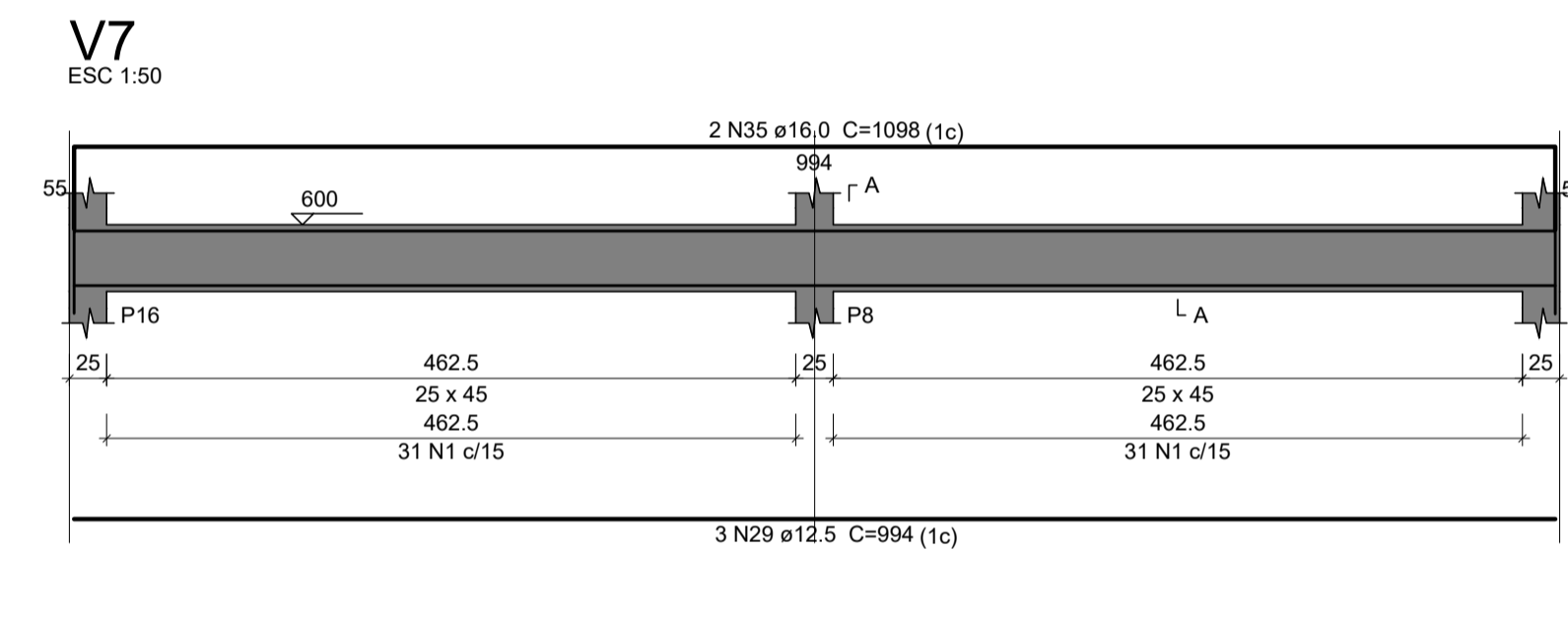
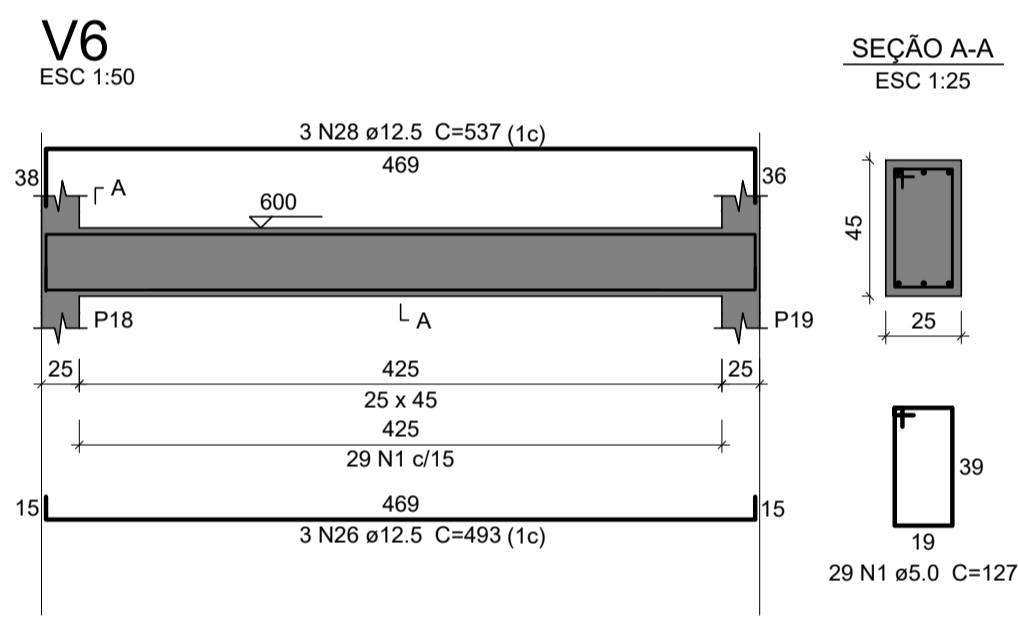
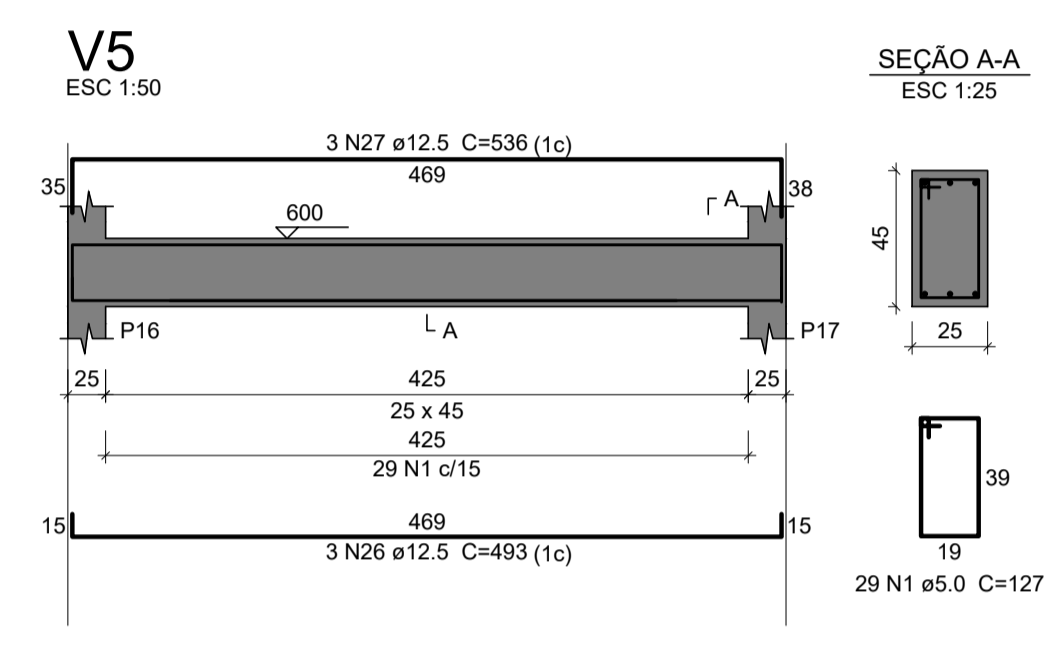
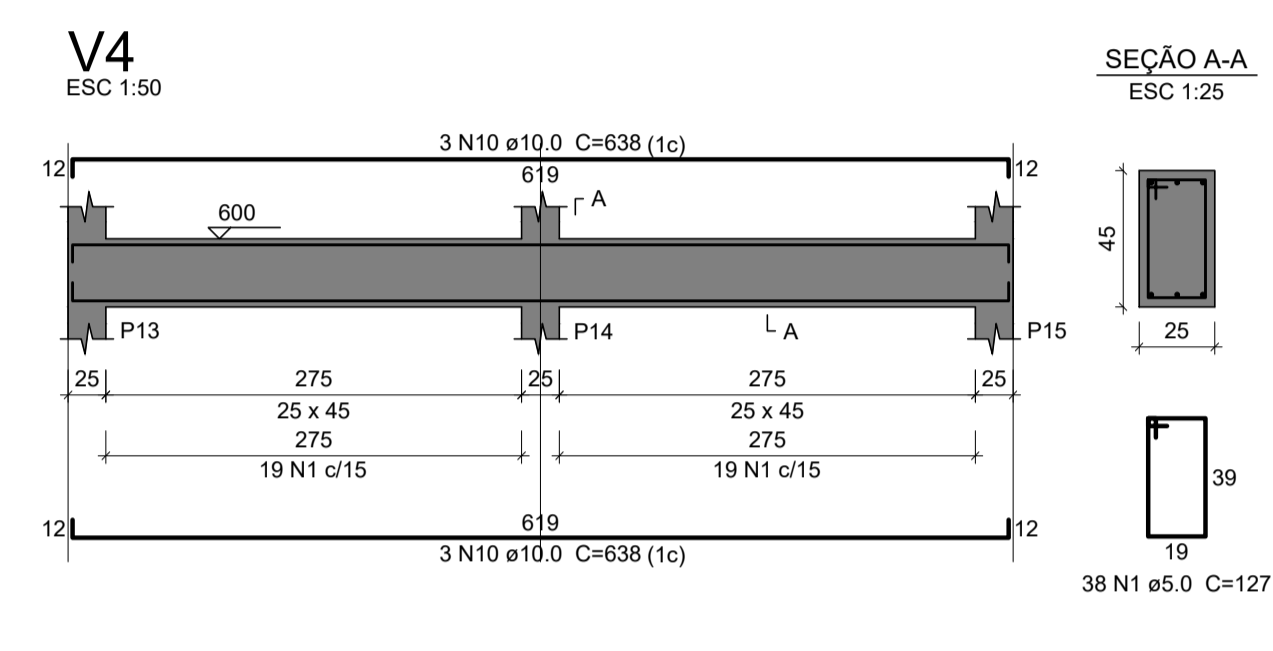
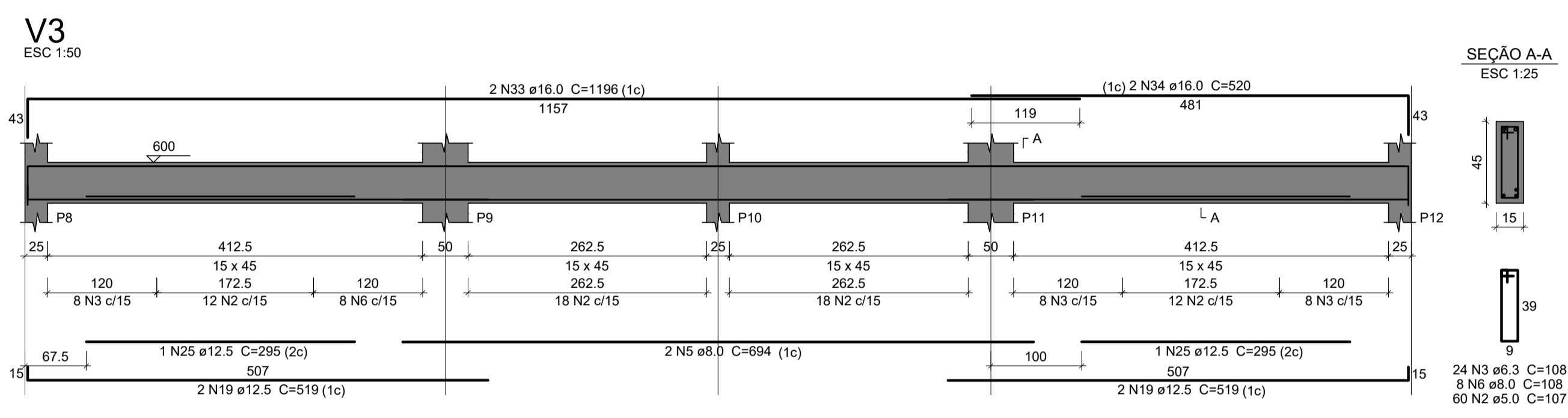
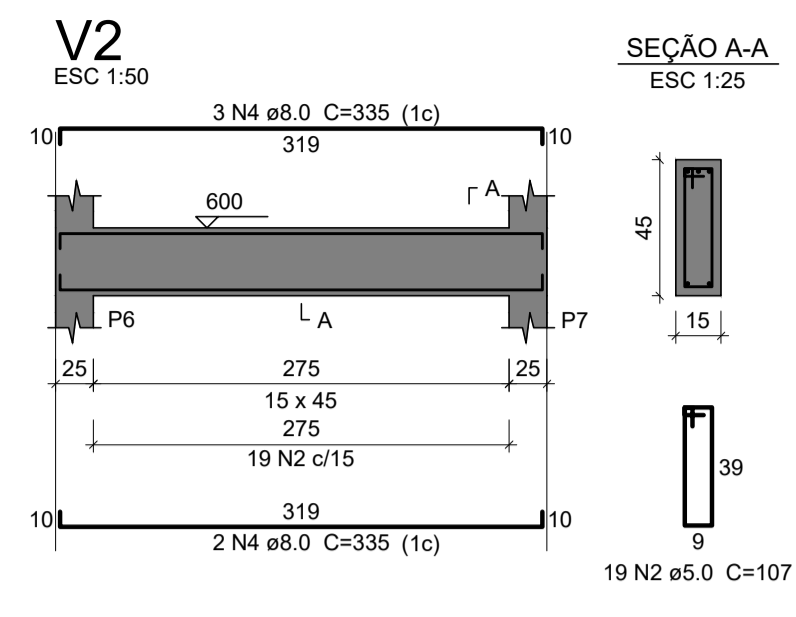
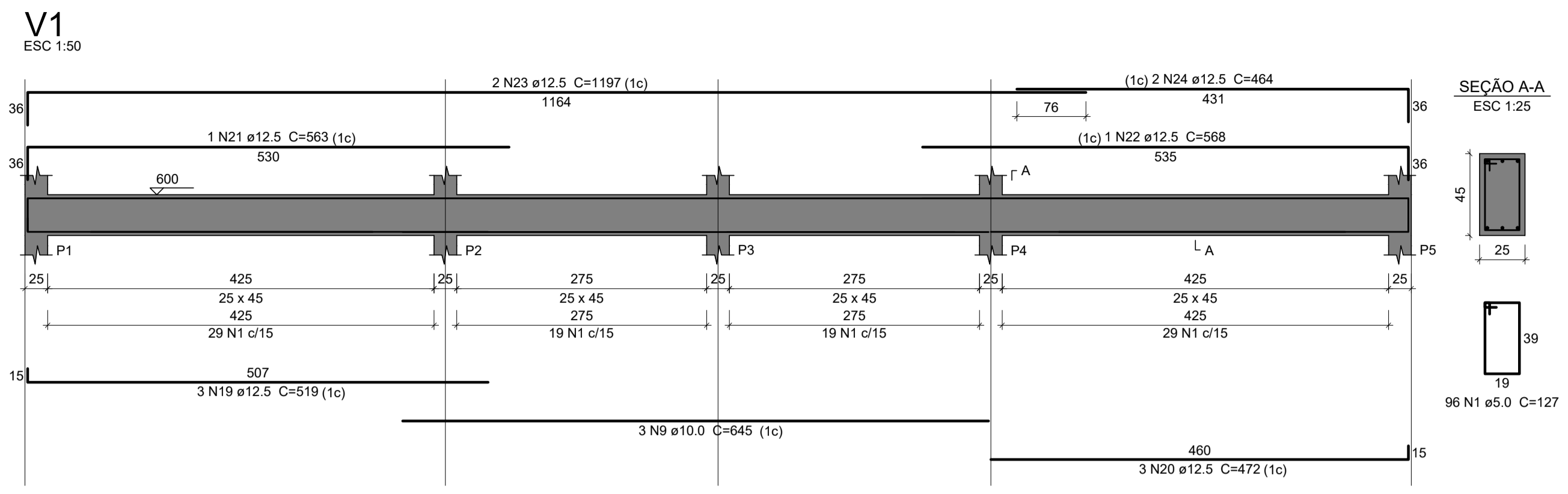
ACO	DIAM (mm)	C.TOTAL (m)	QUANT + 10 % (Barras)	PESO + 10 % (kg)
CA50	6.3	25.8	3	6.9
	8.0	61.9	6	26.9
	10.0	127.1	12	85.1
	12.5	280.8	26	297.5
	16.0	104.2	10	180.8
CA60	5.0	696.5	-	118.1
PESO TOTAL (kg)				
CA50				598.3
CA60				118.1



Universidade de Caxias do sul
Trabalho de Conclusão de Curso
Curso: Engenharia Civil

Projeto: ESTRUTURAL
Assunto: DETALHAMENTO VIGAS PAV. TIPO 1 (situação linear com redistribuição)
Acadêmica: Isadora Brochetto
Orientador: Prof. Dr. Gustavo Ribeiro da Silva

Data: JUN / 2023
Escala: 1:50
ESTRUTURAL
12

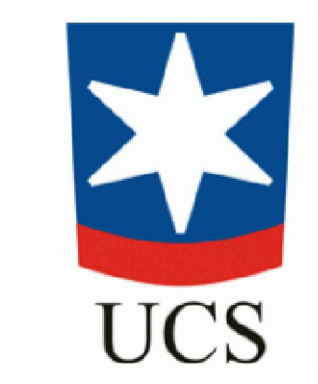


Relação do aço

AÇO	N	DIAM (mm)	QUANT	C.UNIT (cm)	C.TOTAL (cm)
CA60	1	5.0	340	127	43180
CA50	2	5.0	216	107	23112
	3	6.3	32	108	3456
	4	8.0	5	335	1675
	5	8.0	2	694	1388
	6	8.0	8	108	864
	7	8.0	3	810	2430
	8	8.0	3	830	2490
	9	10.0	3	645	1935
	10	10.0	6	638	3828
	11	10.0	3	267	801
	12	10.0	3	218	654
	13	10.0	1	806	806
	14	10.0	2	813	1626
	15	10.0	3	257	771
	16	10.0	3	217	651
	17	10.0	1	880	880
	18	10.0	2	940	1880
	19	12.5	7	519	3633
	20	12.5	3	472	1416
	21	12.5	1	563	563
	22	12.5	1	568	568
	23	12.5	2	1197	2394
	24	12.5	2	464	928
	25	12.5	2	295	590
	26	12.5	6	493	2958
	27	12.5	3	536	1608
	28	12.5	3	537	1611
	29	12.5	3	994	2982
	30	12.5	1	333	333
	31	12.5	2	844	1688
	32	12.5	3	1006	3018
	33	16.0	2	1196	2392
	34	16.0	2	520	1040
	35	16.0	4	1098	4392
	36	16.0	2	955	1910

Resumo do aço

AÇO	DIAM (mm)	C.TOTAL (m)	QUANT + 10 % (Barras)	PESO + 10 % (kg)
CA50	6.3	34.6	4	9.3
	8.0	88.5	9	38.4
	10.0	138.4	13	93.8
	12.5	242.9	23	257.4
	16.0	97.4	9	169
CA60	5.0	663	-	112.4
PESO TOTAL (kg)				
CA50		567.9		
CA60		112.4		



Universidade de Caxias do sul
Trabalho de Conclusão de Curso
Curso: Engenharia Civil

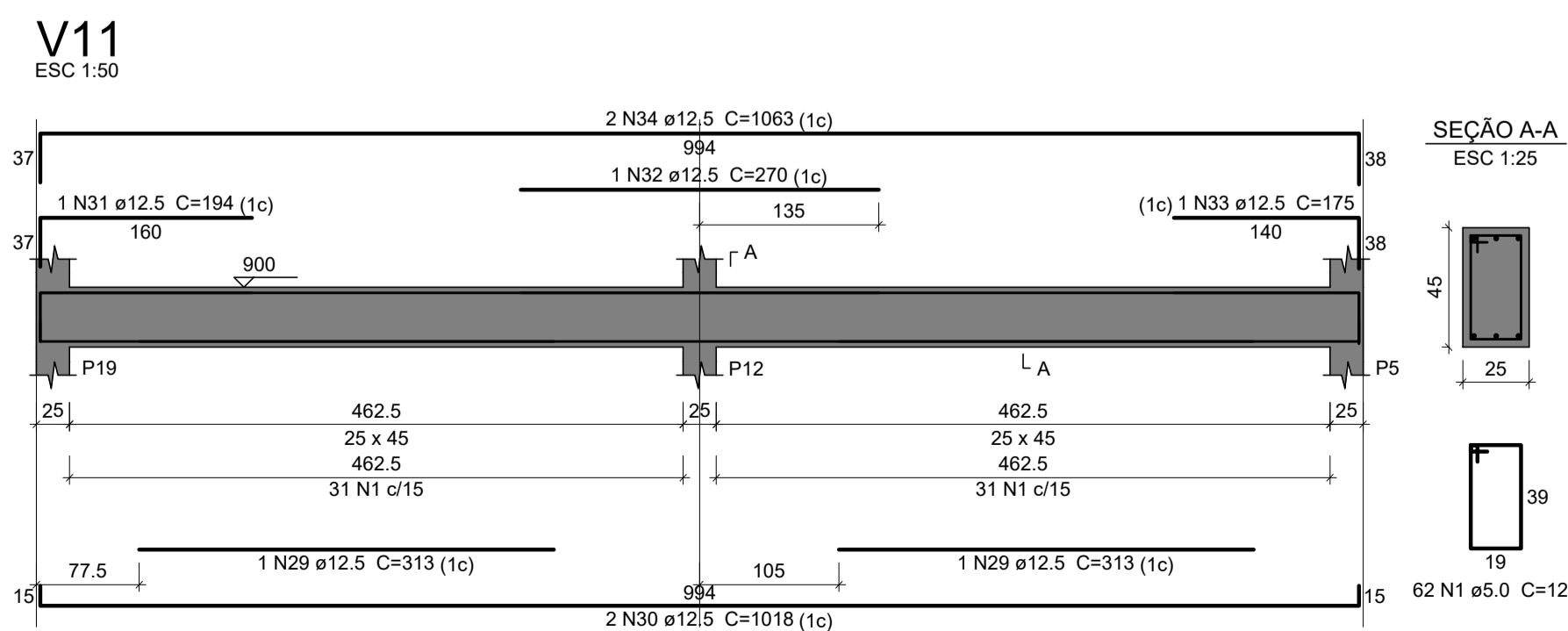
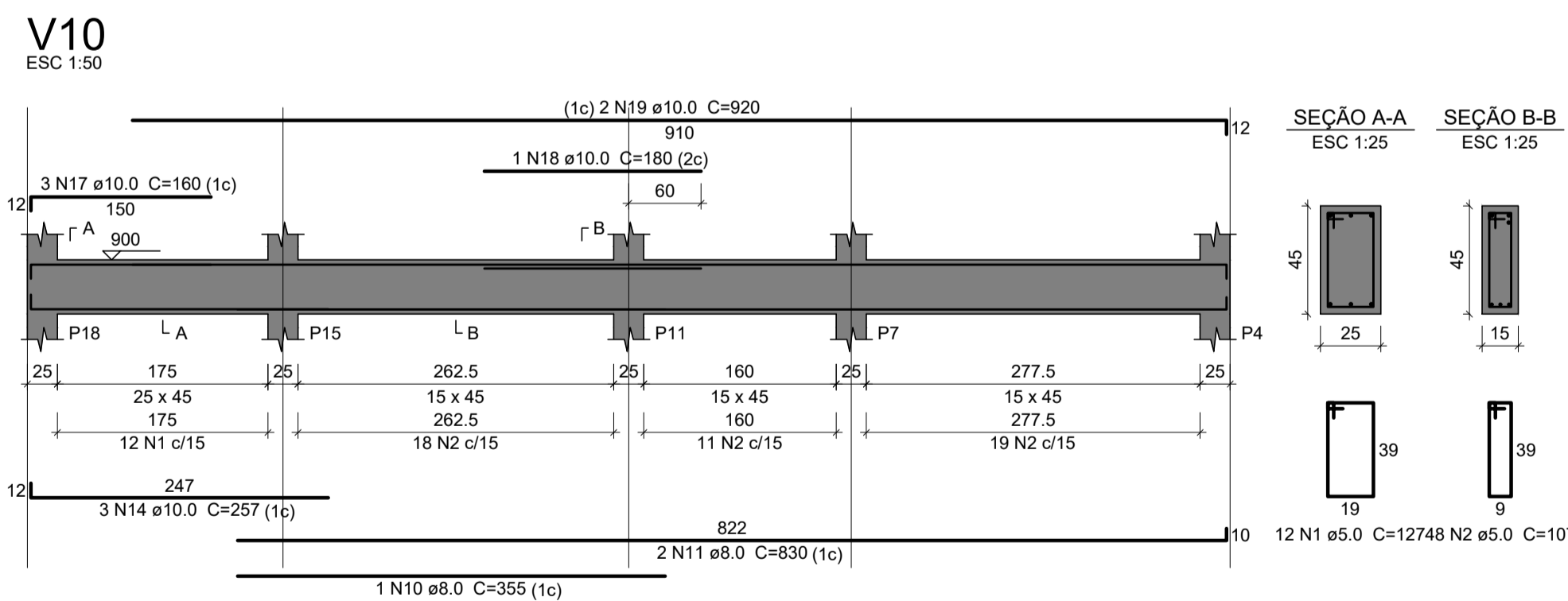
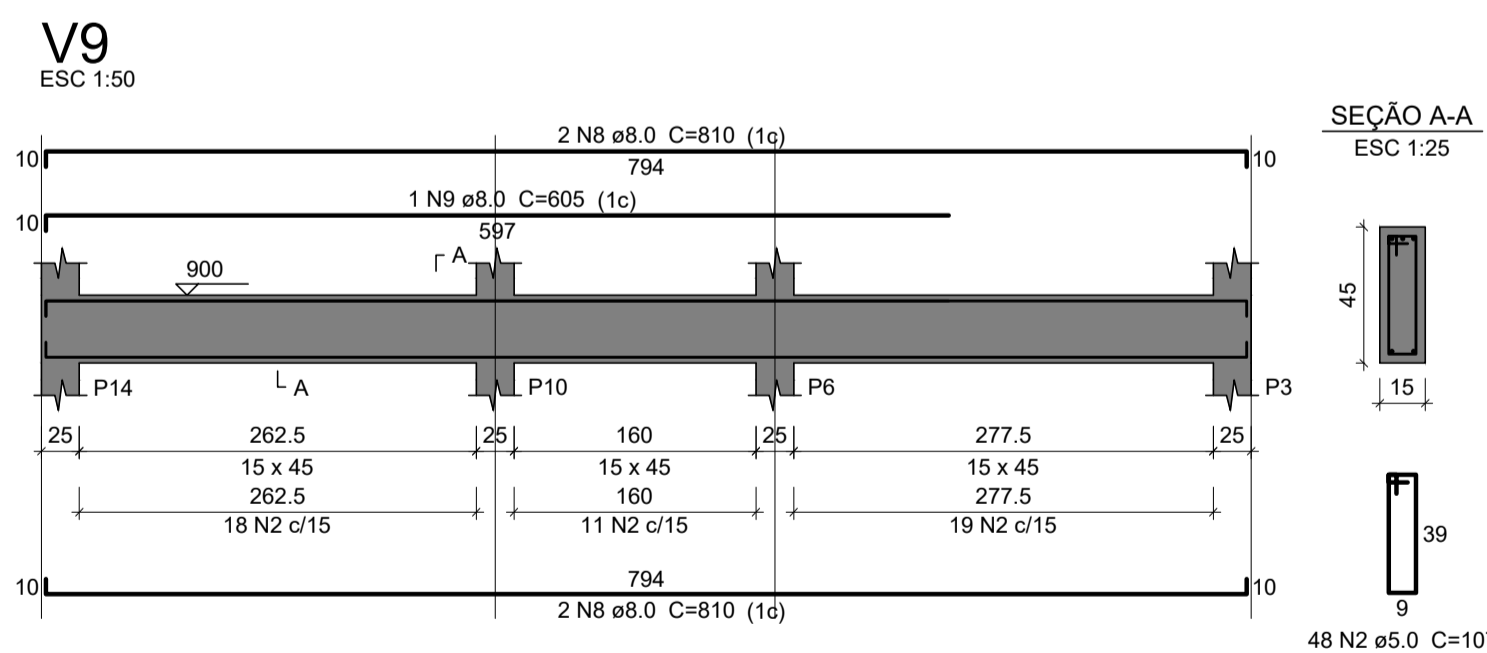
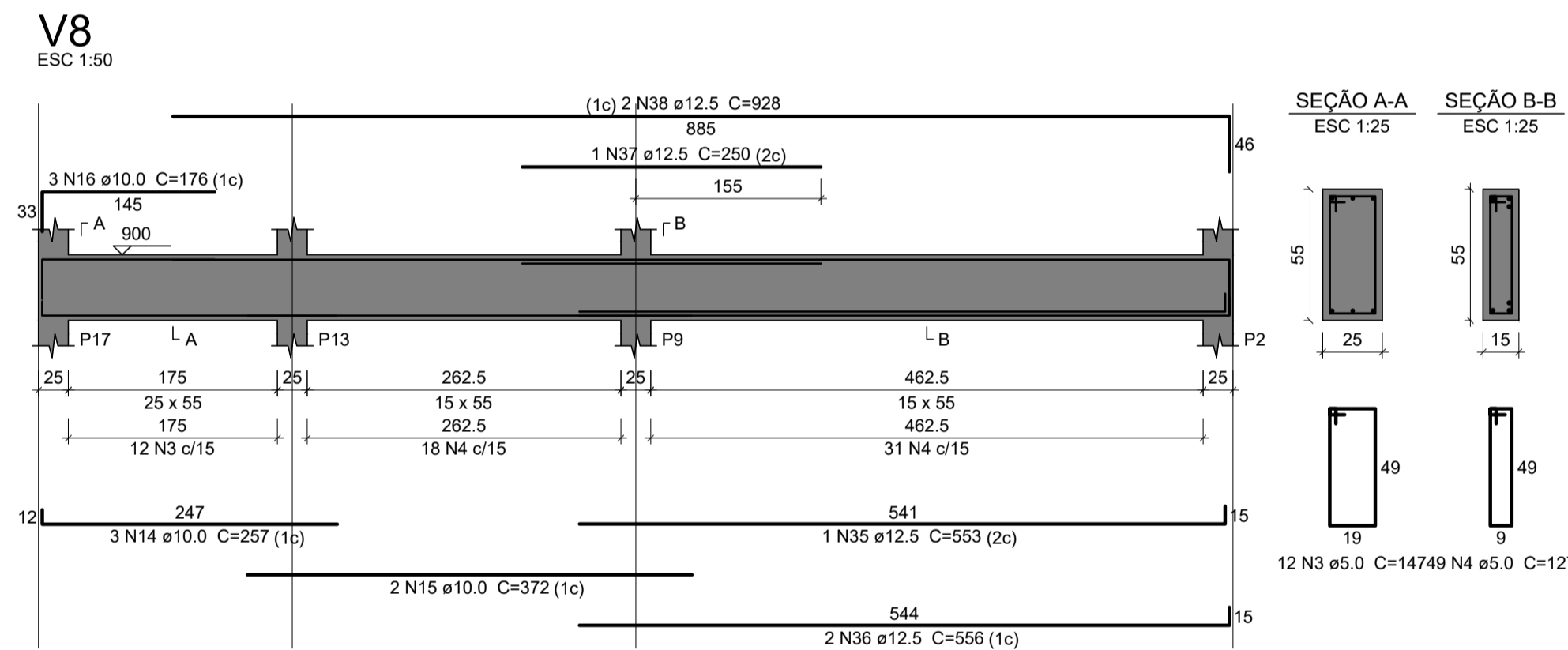
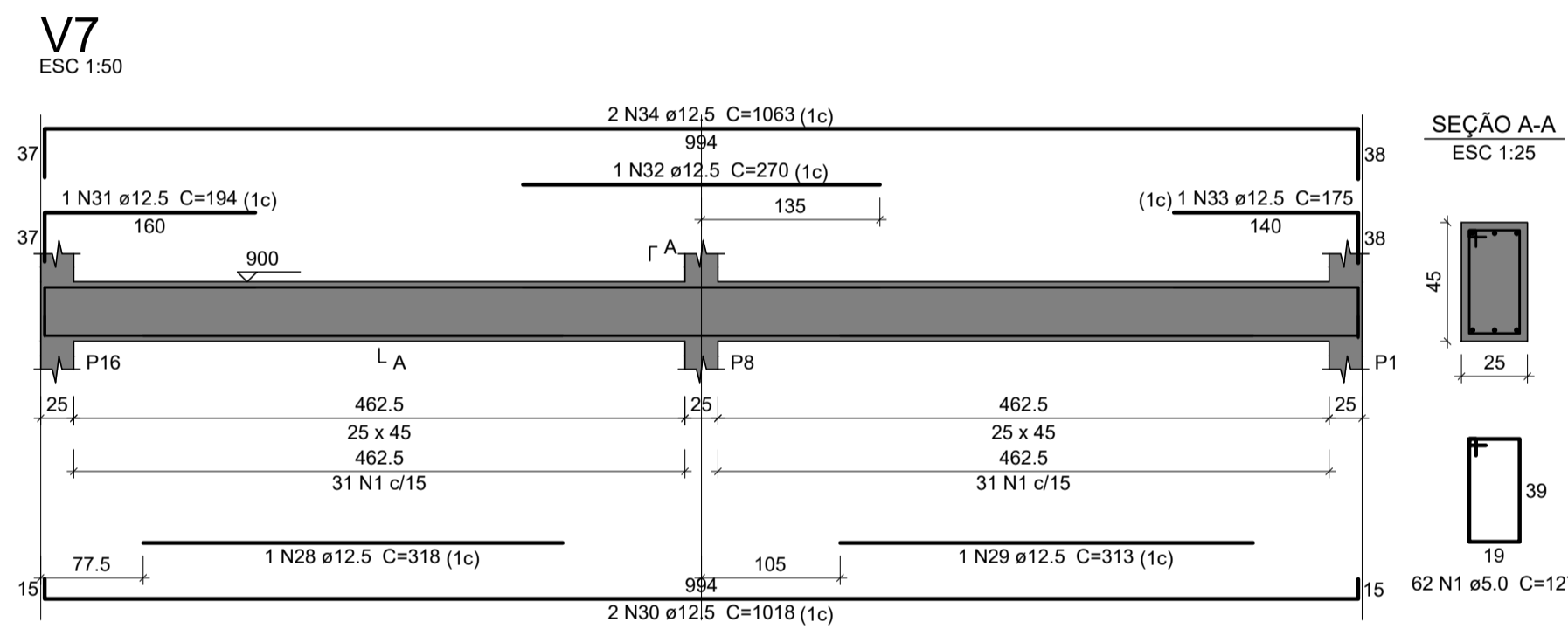
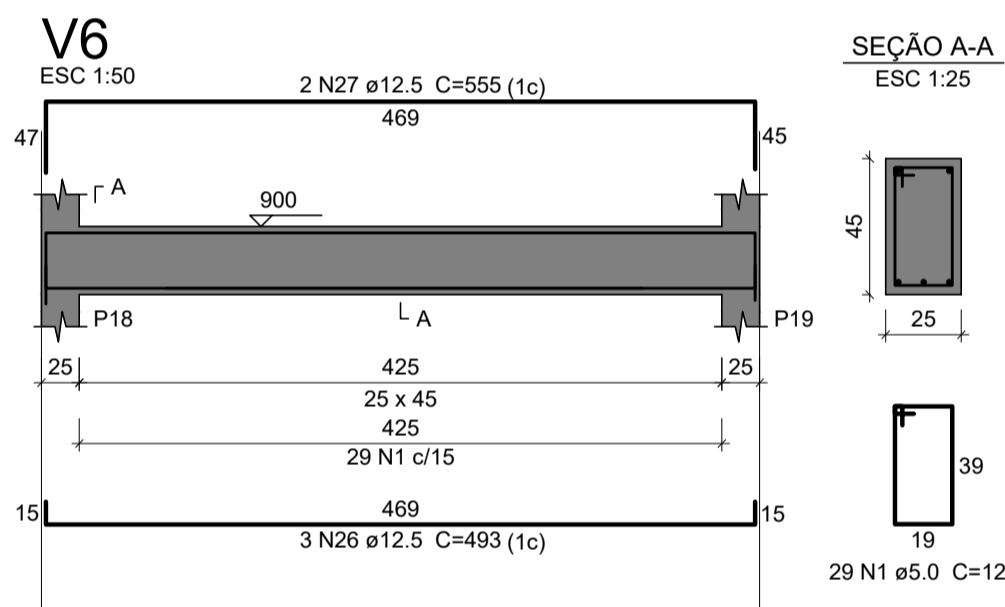
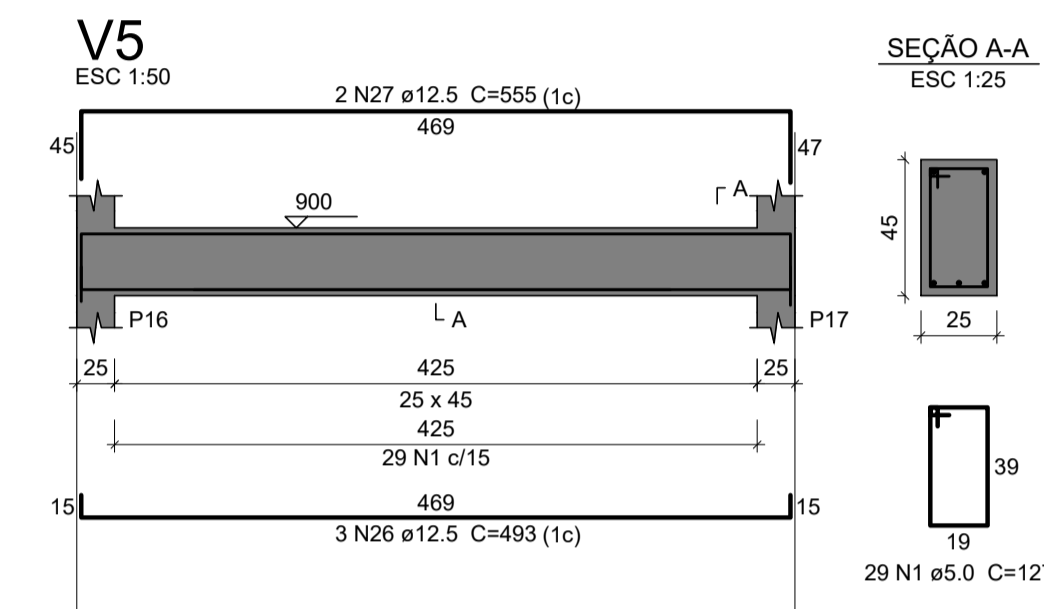
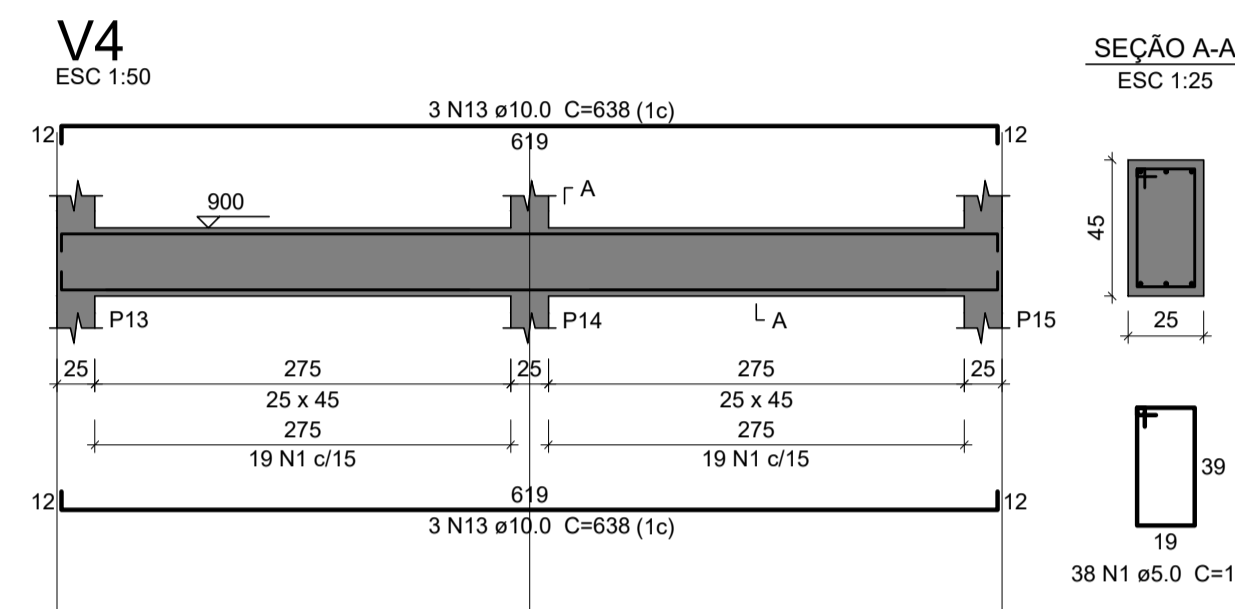
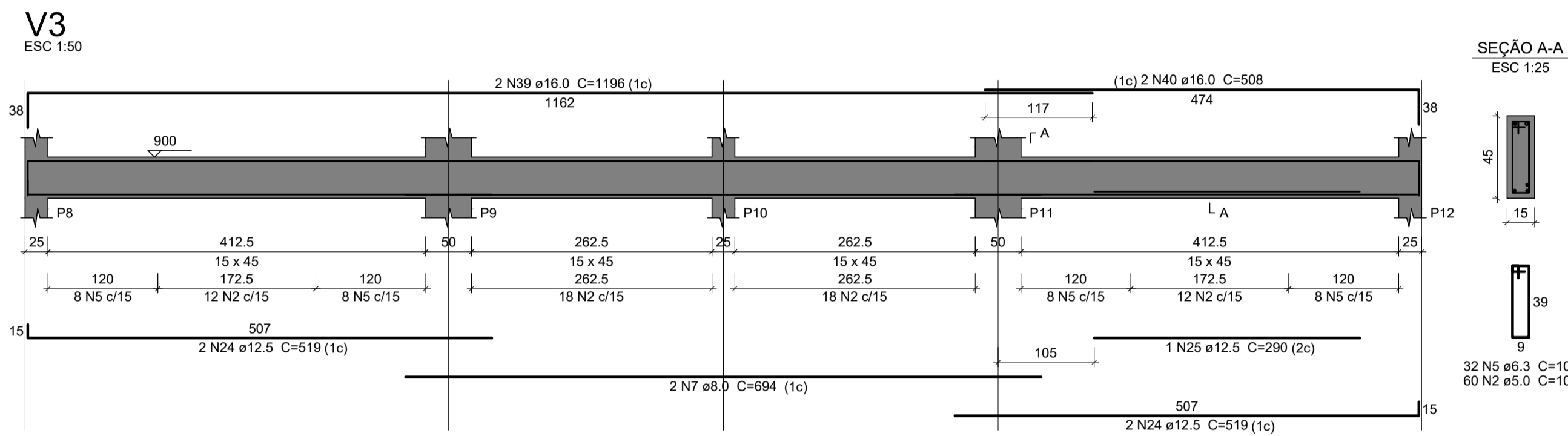
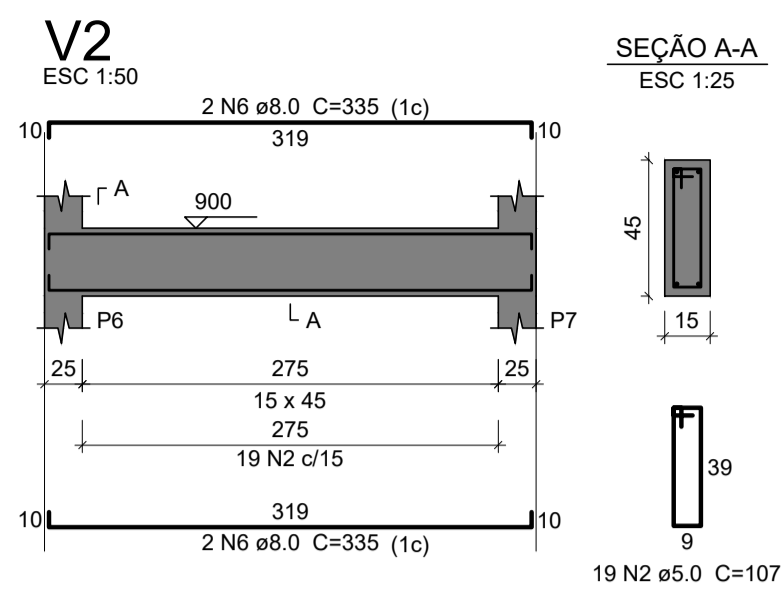
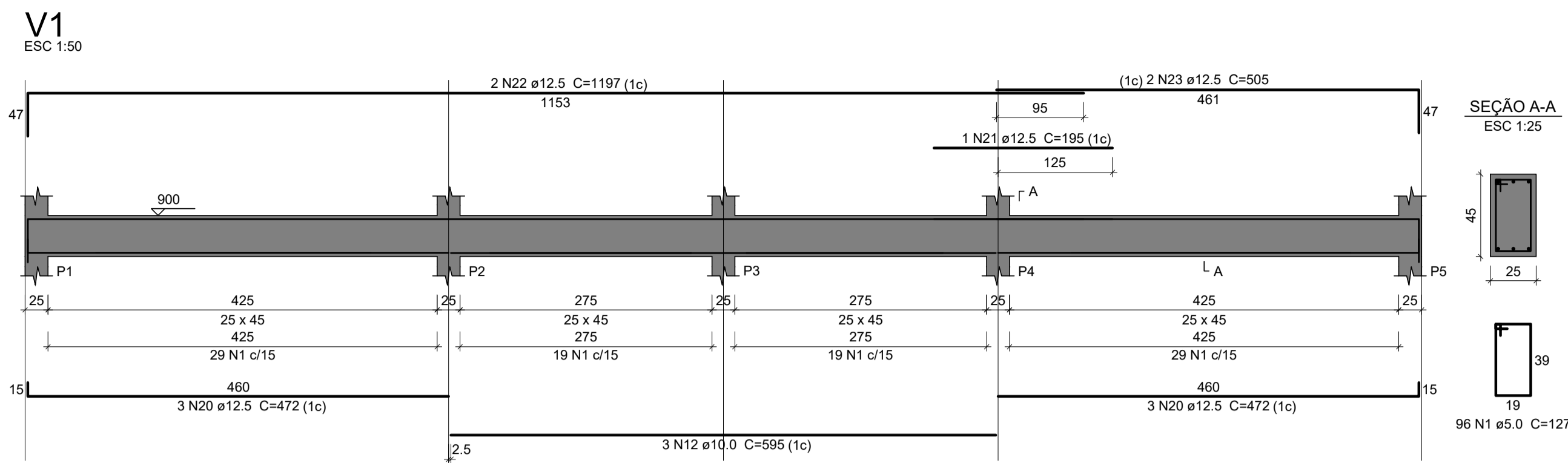
Projeto: ESTRUTURAL
Assunto: DETALHAMENTO VIGAS PAV. TIPO 2
(situação linear com redistribuição)
Acadêmica: Isadora Brochetto
Orientador: Prof. Dr. Gustavo Ribeiro da Silva

Data: JUN / 2023

Escola: 1: 50

ESTRUTURAL

13



Relação do aço					
AÇO	N	DIAM (mm)	QUANT	C.UNIT (cm)	C.TOTAL (cm)
CA60	1	5.0	328	127	41658
	2	5.0	175	107	18725
	3	5.0	12	147	1764
	4	5.0	49	127	6223
CA50	5	6.3	32	108	3456
	6	8.0	4	335	1340
	7	8.0	2	684	1388
	8	8.0	4	810	3240
	9	8.0	1	605	605
	10	8.0	1	355	355
	11	8.0	2	830	1660
	12	10.0	3	595	1785
	13	10.0	6	638	3828
	14	10.0	6	257	1542
	15	10.0	2	372	744
	16	10.0	3	176	528
	17	10.0	3	160	480
	18	10.0	1	180	180
	19	10.0	2	920	1840
	20	12.5	6	472	2832
	21	12.5	1	195	195
	22	12.5	2	1197	2394
	23	12.5	2	505	1010
	24	12.5	4	519	2076
	25	12.5	1	290	290
	26	12.5	6	493	2958
	27	12.5	4	555	2220
	28	12.5	1	318	318
	29	12.5	3	313	939
	30	12.5	4	1018	4072
	31	12.5	2	194	388
	32	12.5	2	270	540
	33	12.5	2	175	350
	34	12.5	4	1063	4252
	35	12.5	1	553	553
	36	12.5	2	556	1112
	37	12.5	1	250	250
	38	12.5	2	928	1856
	39	16.0	2	1196	2392
	40	16.0	2	508	1016

Resumo do aço				
AÇO	DIAM (mm)	C.TOTAL (m)	QUANT + 10 % (Barras)	PESO + 10 % (kg)
CA50	5.3	34.6	4	9.3
	6.3	85.9	8	37.3
	8.0	109.3	11	74.1
	10.0	286.1	27	303.1
	12.5	286.1	4	59.2
CA60	16.0	683.7	-	115.9
PESO TOTAL (kg)				
CA50			483	
CA60			115.9	

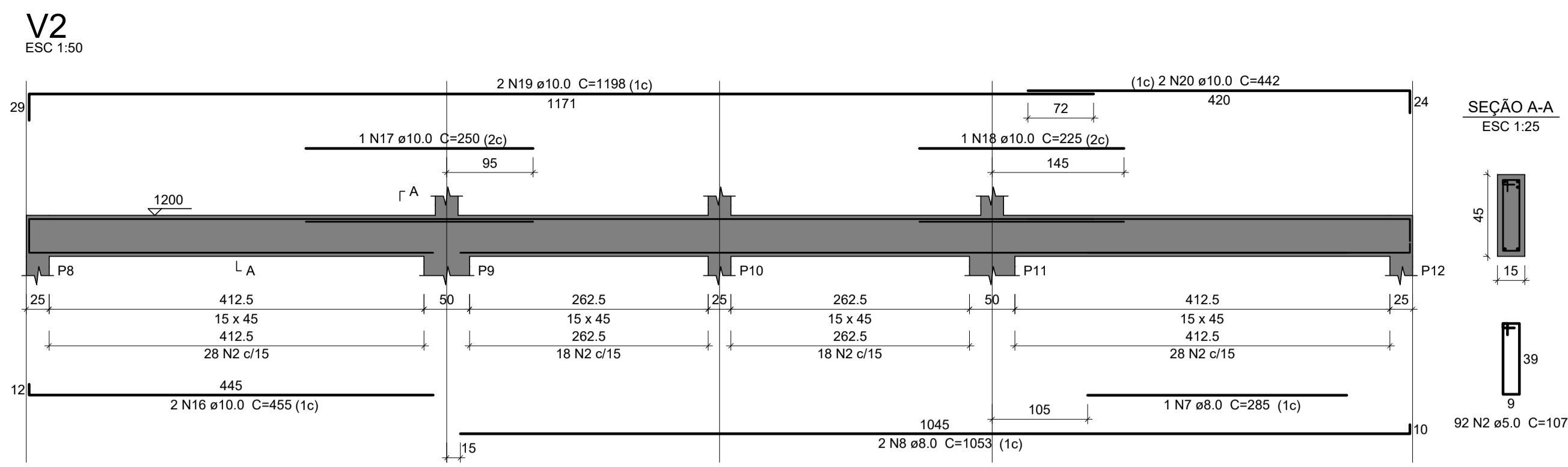
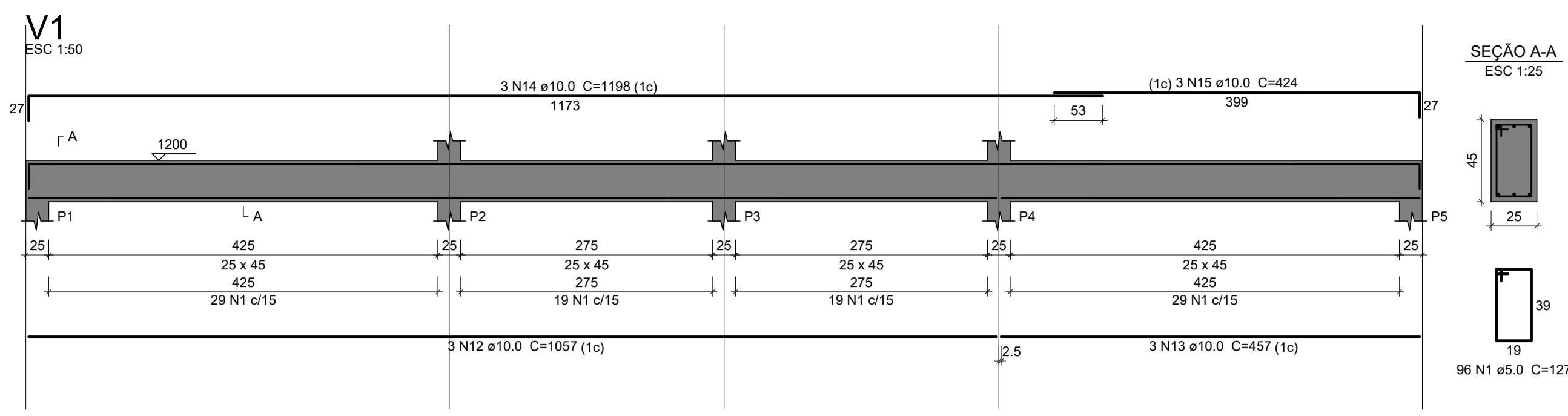


Universidade de Caxias do sul

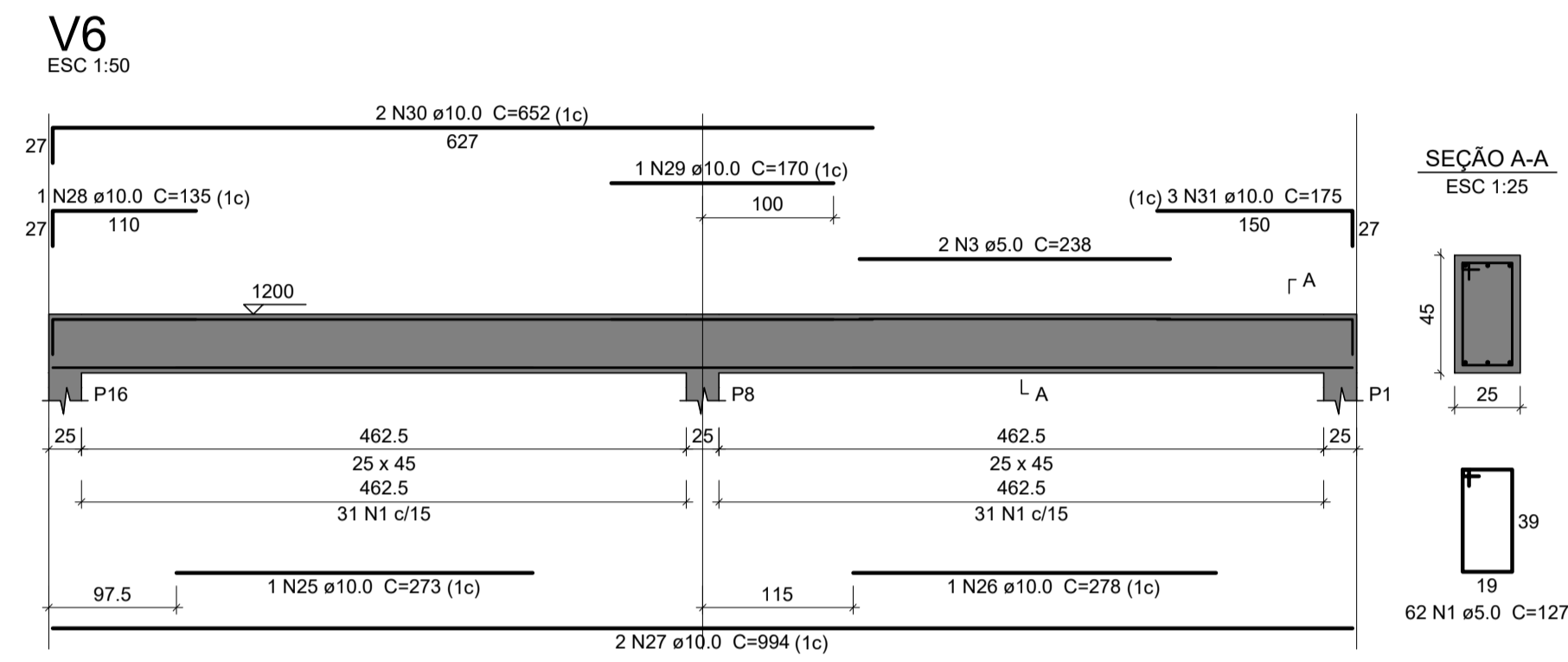
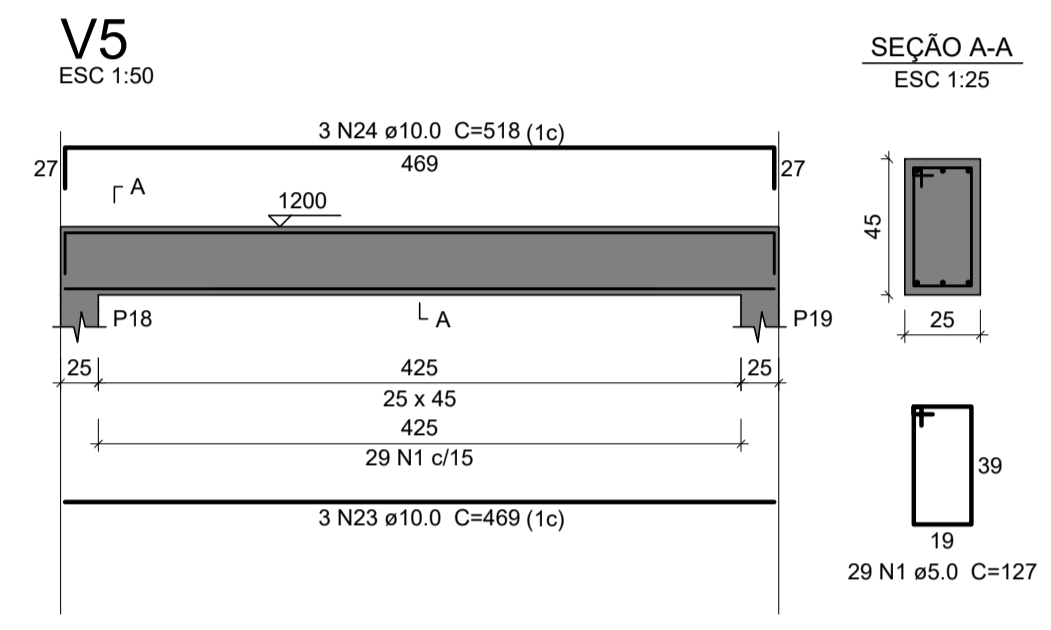
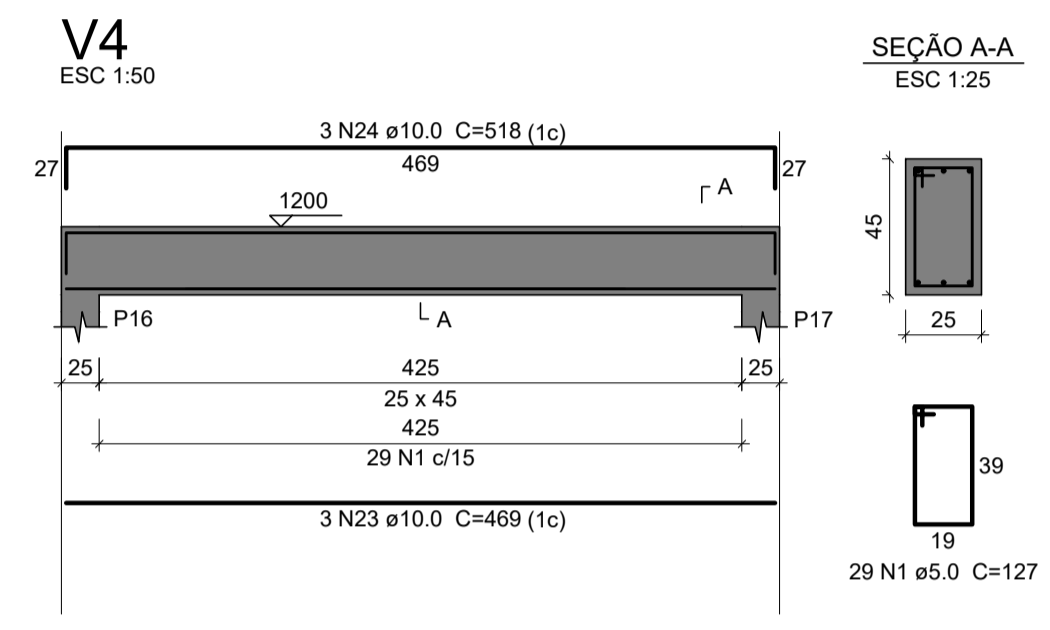
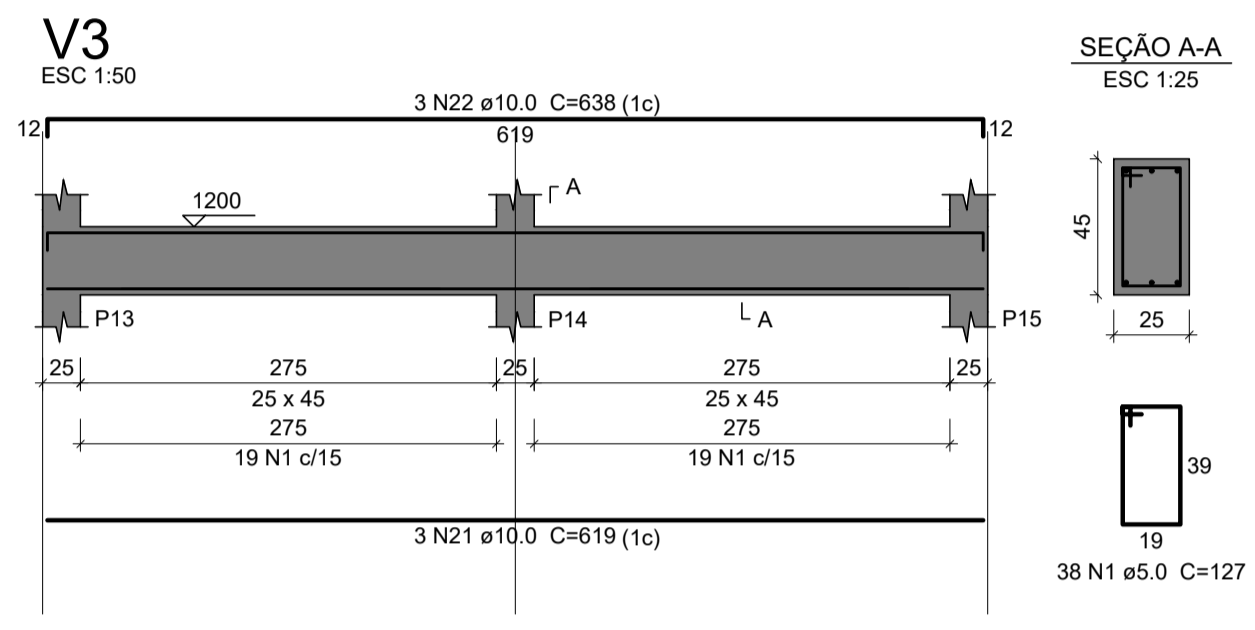
Trabalho de Conclusão de Curso
Curso: Engenharia Civil

Projeto: ESTRUTURAL
Assunto: DETALHAMENTO VIGAS PAV. TIPO 3
(situação linear com redistribuição)
Acadêmica: Isadora Brochetto
Orientador: Prof. Dr. Gustavo Ribeiro da Silva

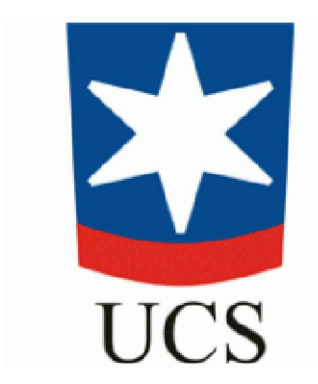
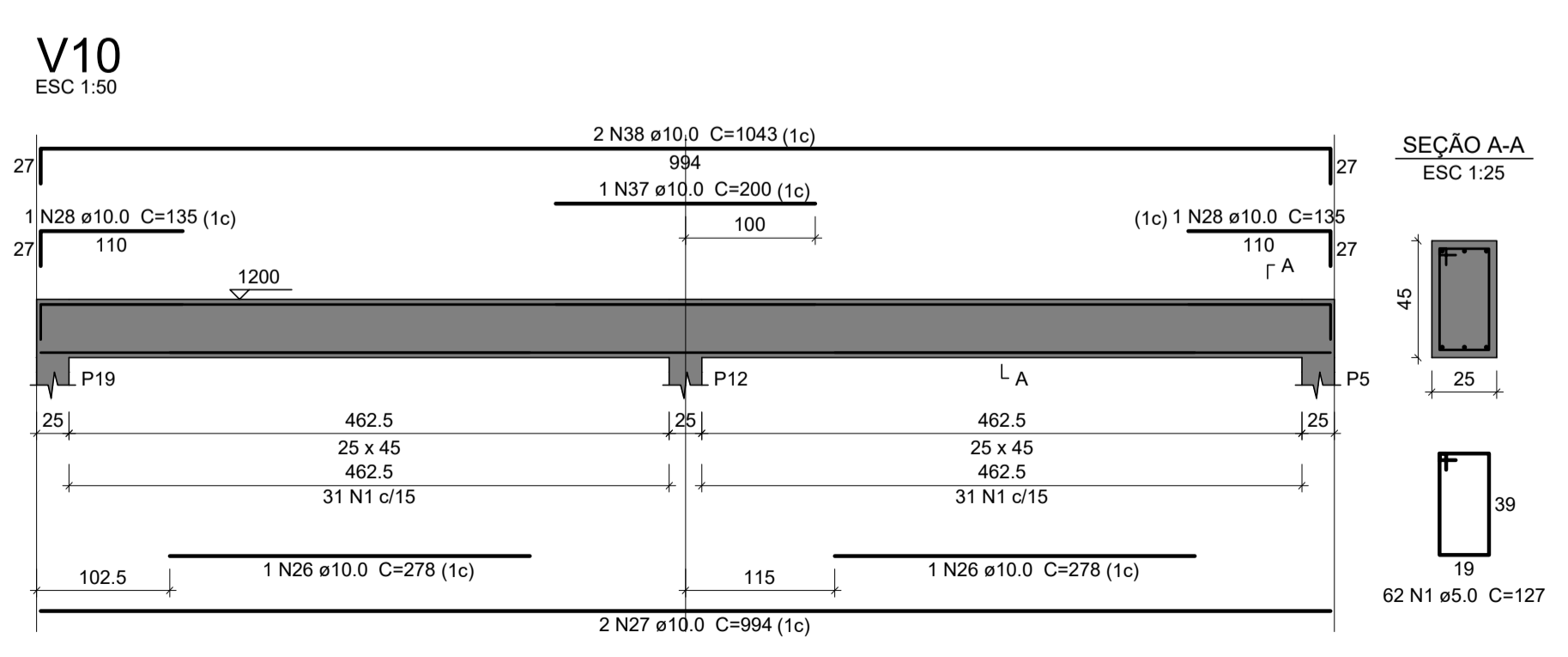
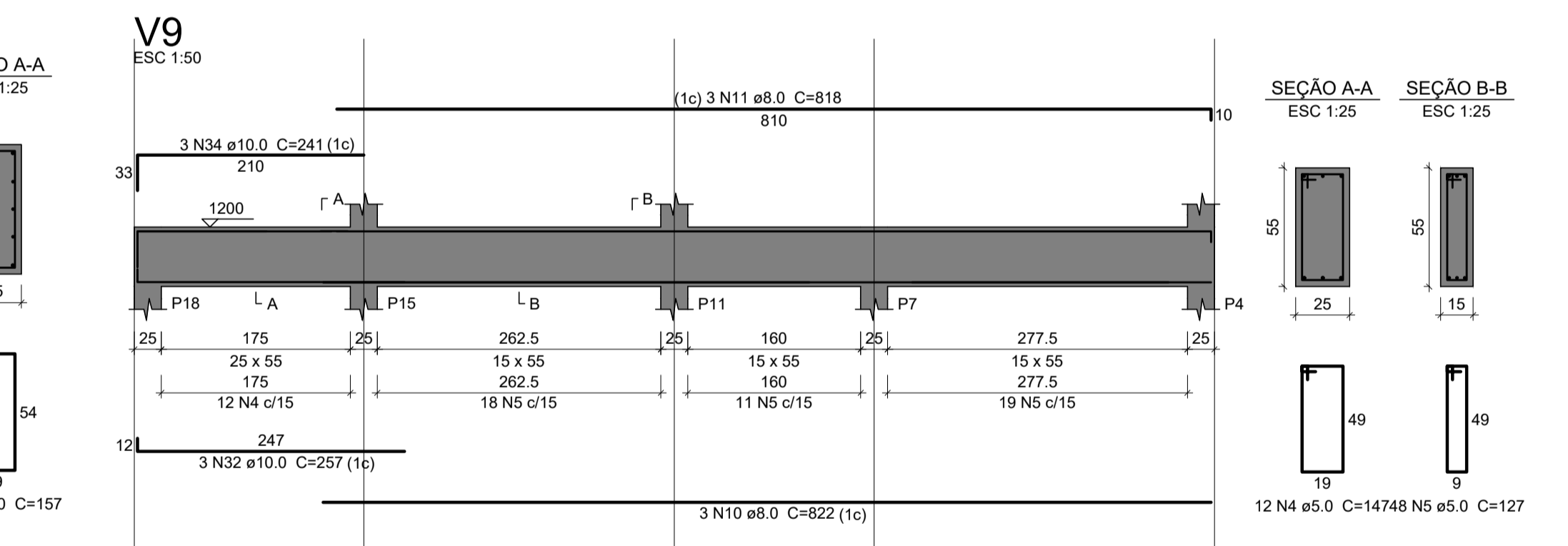
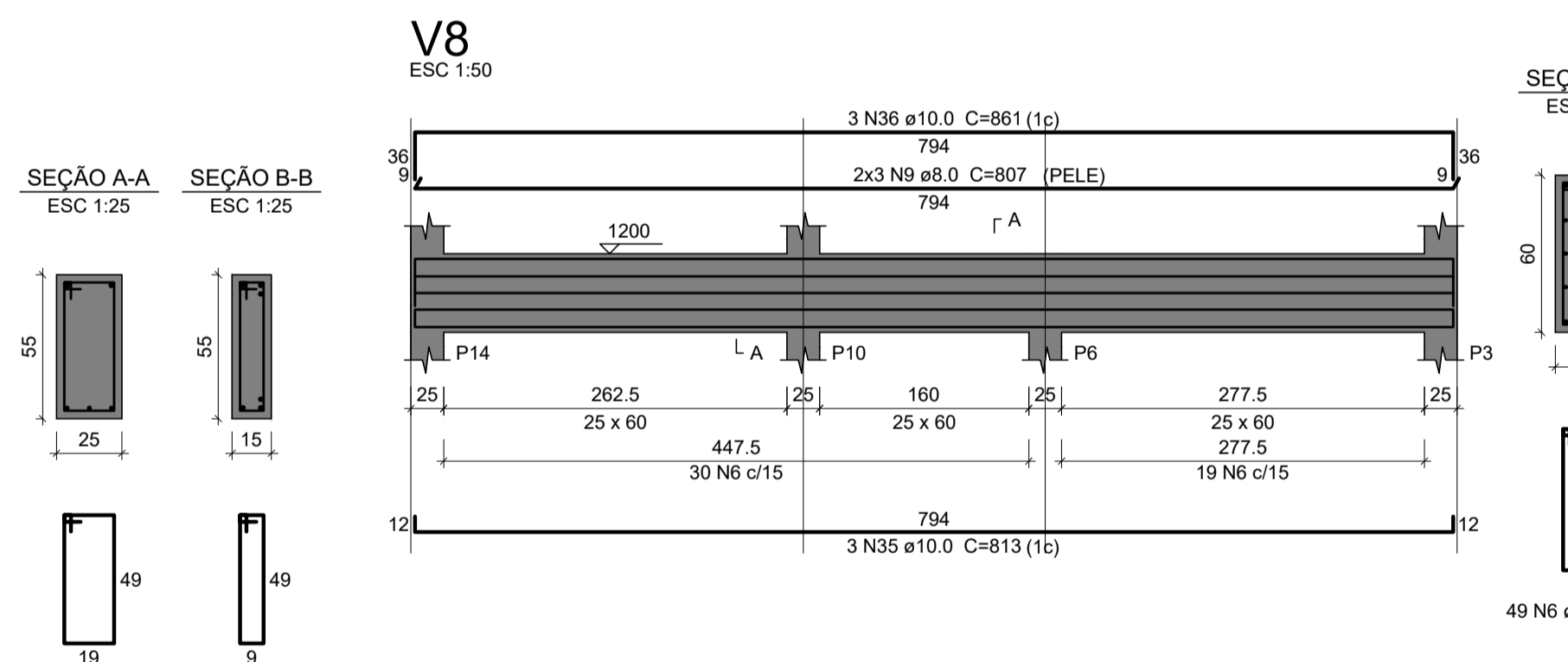
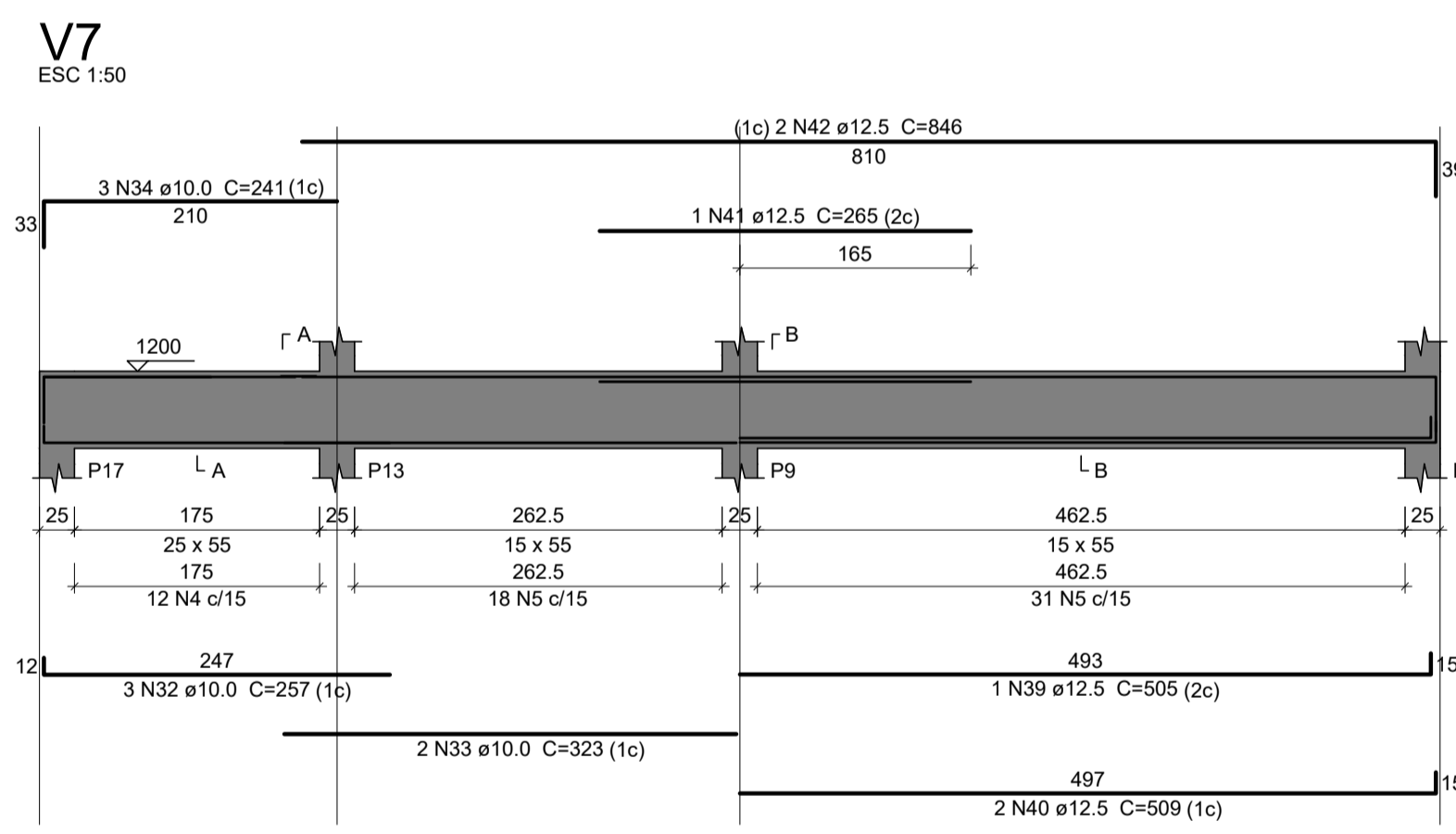
Data: JUN / 2023
Escola: 1: 50
ESTRUTURAL
14



Relação do aço					
AÇO	N	DIAM (mm)	QUANT	C.UNIT (cm)	C.TOTAL (cm)
CA60	1	5.0	316	127	40132
	2	5.0	92	107	9844
	3	5.0	2	238	476
	4	5.0	24	147	3528
	5	5.0	97	127	12319
	6	5.0	49	157	7693
	7	8.0	1	285	285
	8	8.0	2	1053	2106
	9	8.0	6	807	4842
	10	8.0	3	822	2466
	11	8.0	3	818	2454
	12	10.0	3	1057	3171
	13	10.0	3	457	1371
	14	10.0	3	1198	3594
	15	10.0	3	424	1272
	16	10.0	2	455	910
	17	10.0	1	250	250
	18	10.0	1	225	225
	19	10.0	2	1198	2396
	20	10.0	2	442	884
	21	10.0	3	619	1857
	22	10.0	3	638	1914
	23	10.0	6	469	2814
	24	10.0	6	518	3108
	25	10.0	1	273	273
	26	10.0	3	278	834
	27	10.0	4	994	3976
	28	10.0	3	135	405
	29	10.0	1	170	170
	30	10.0	2	652	1304
	31	10.0	3	175	525
	32	10.0	6	257	1542
	33	10.0	2	323	646
	34	10.0	6	241	1446
	35	10.0	3	813	2439
	36	10.0	3	861	2583
	37	10.0	1	200	200
	38	10.0	2	1043	2086
	39	12.5	1	505	505
	40	12.5	2	509	1018
	41	12.5	1	265	265
	42	12.5	2	846	1692



Resumo do aço				
AÇO	DIAM (mm)	C.TOTAL (m)	QUANT + 10 % (Barras)	PESO + 10 % (kg)
CA50	8.0	121.6	12	52.7
	10.0	422	39	286.2
	12.5	34.8	4	36.9
CA60	5.0	740	-	125.5
PESO TOTAL (kg)				
CA50		375.8		
CA60		125.5		

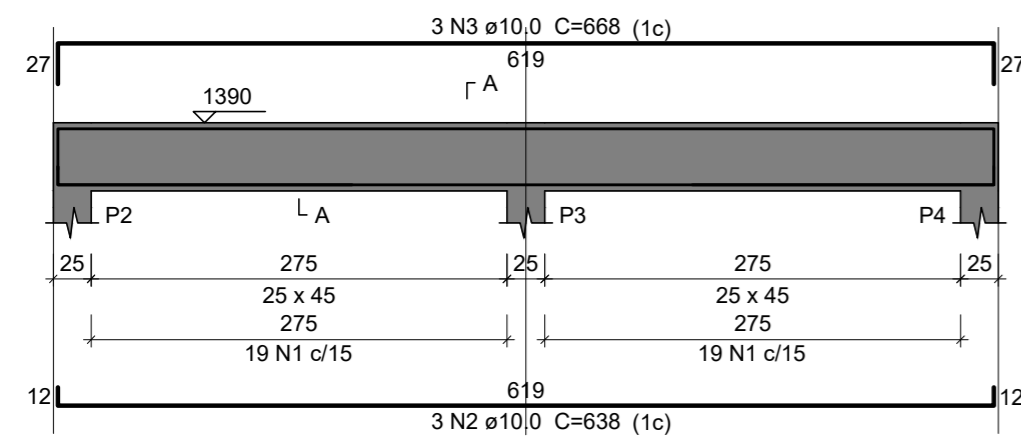


Universidade de Caxias do sul
Trabalho de Conclusão de Curso
Curso: Engenharia Civil

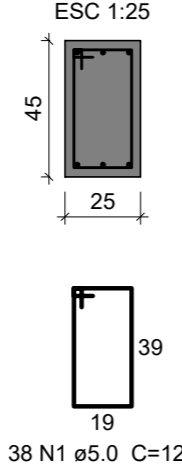
Projeto: ESTRUTURAL
Assunto: DETALHAMENTO VIGAS PAV. COBERTURA (situação linear com redistribuição)
Acadêmica: Isadora Brochetto
Orientador: Prof. Dr. Gustavo Ribeiro da Silva

Data: JUN / 2023
Escala: 1:50

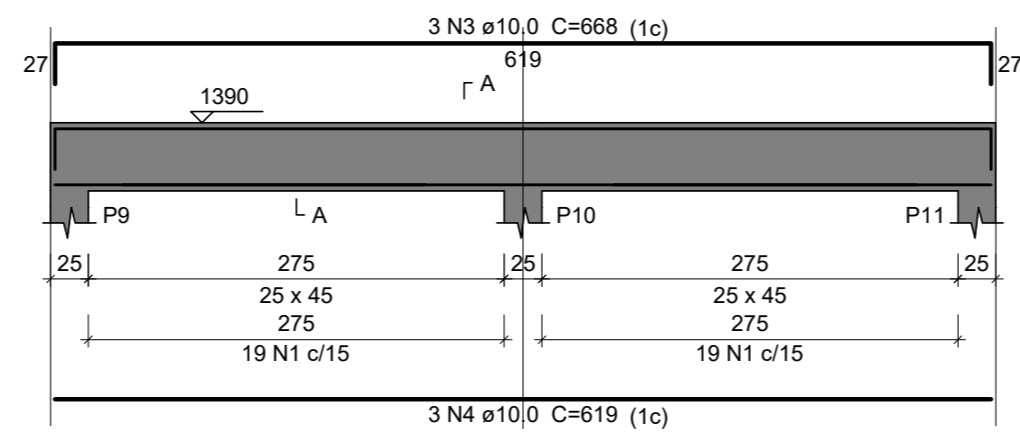
V1
ESC 1:50



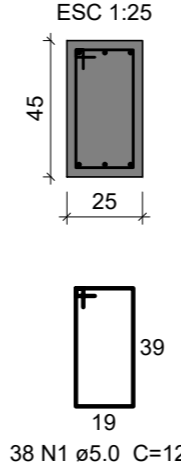
SEÇÃO A-A
ESC 1:25



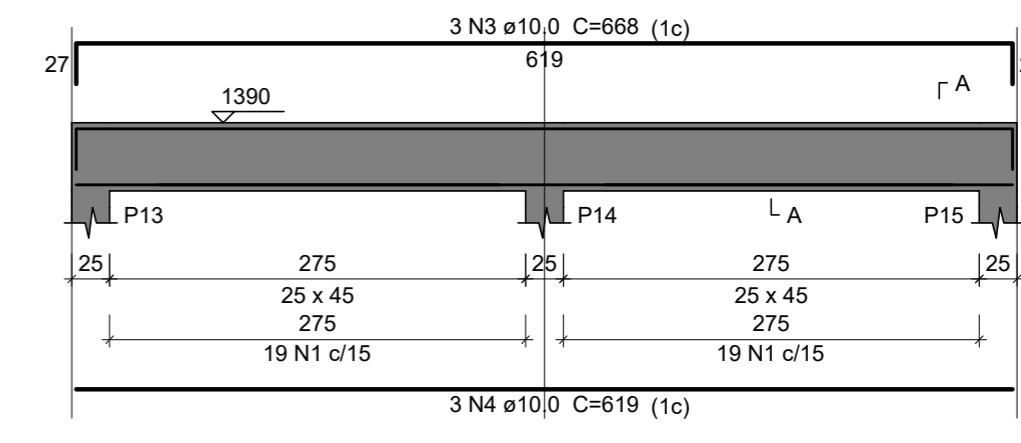
V2
ESC 1:50



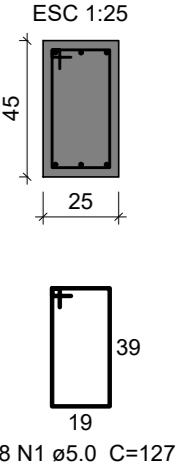
SEÇÃO A-A
ESC 1:25



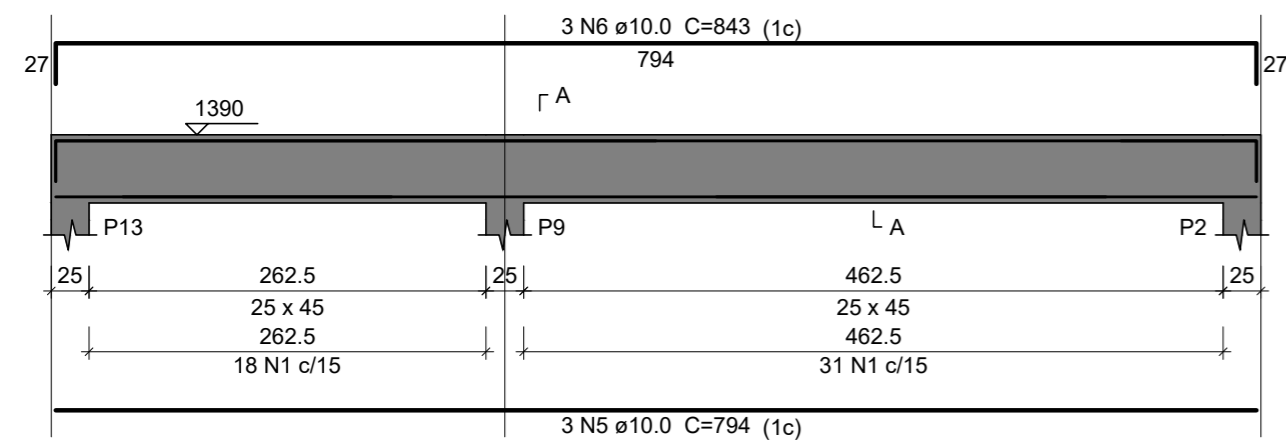
V3
ESC 1:50



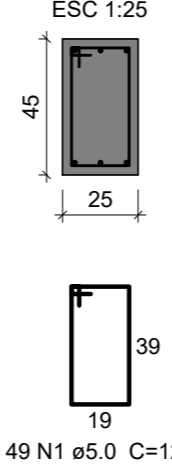
SEÇÃO A-A
ESC 1:25



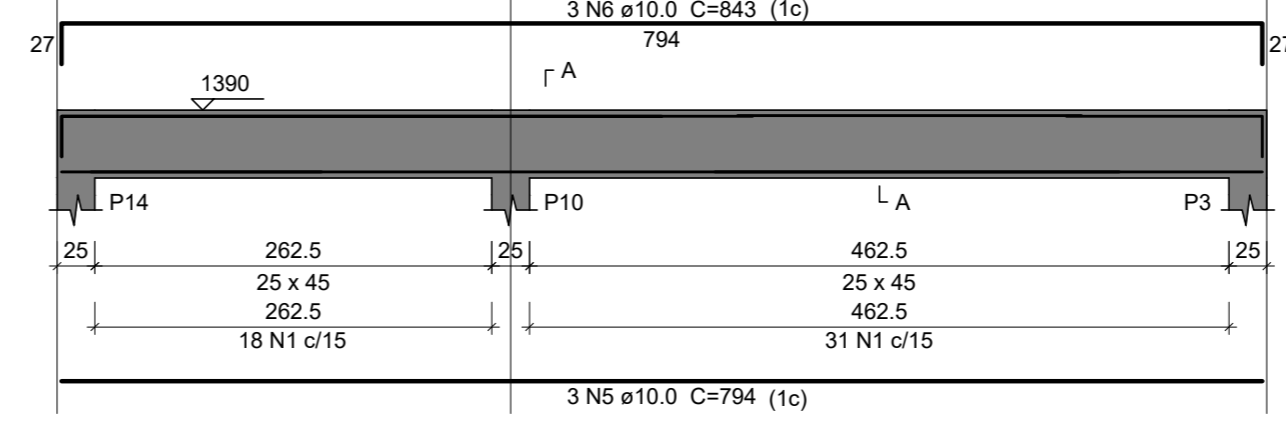
V4
ESC 1:50



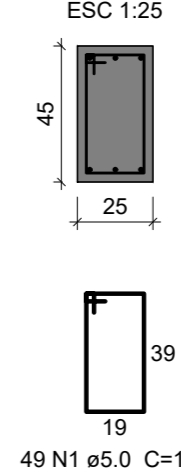
SEÇÃO A-A
ESC 1:25



V5
ESC 1:50



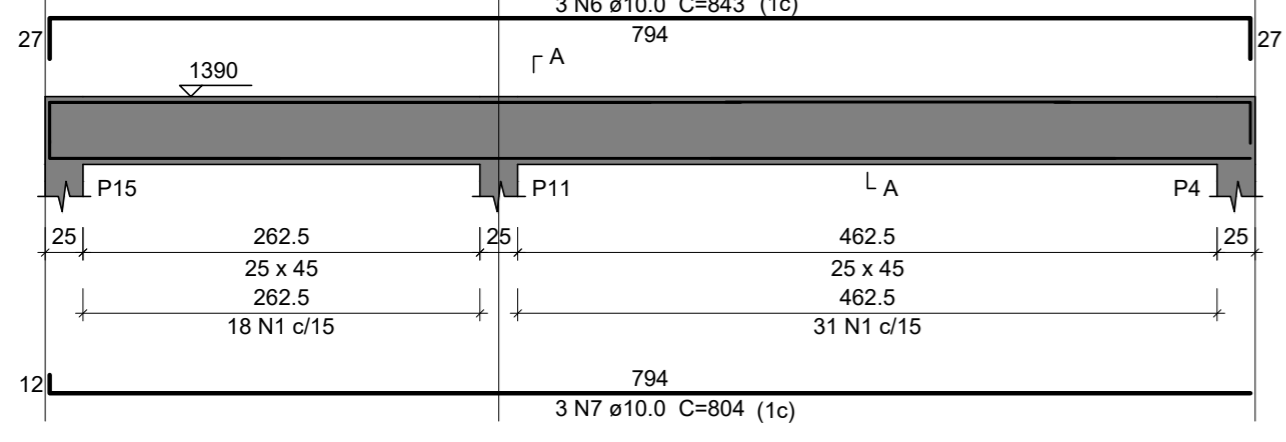
SEÇÃO A-A
ESC 1:25



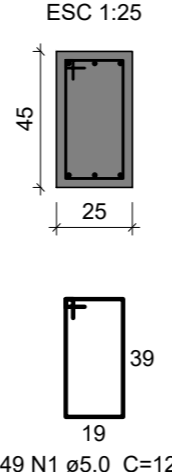
Relação do aço					
AÇO	N	DIAM (mm)	QUANT	C.UNIT (cm)	C.TOTAL (cm)
CA60	1	5.0	261	127	33147
CA50	2	10.0	3	638	1914
	3	10.0	9	668	6012
	4	10.0	6	619	3714
	5	10.0	6	794	4764
	6	10.0	9	843	7587
	7	10.0	3	804	2412

Resumo do aço				
AÇO	DIAM (mm)	C.TOTAL (m)	QUANT + 10 % (Barras)	PESO + 10 % (kg)
CA50	10.0	264.1	25	179.1
CA60	5.0	331.5	-	56.2
PESO TOTAL (kg)				
CA50	179.1			
CA60	56.2			

V6
ESC 1:50



SEÇÃO A-A
ESC 1:25



Universidade de Caxias do sul

Trabalho de Conclusão de Curso
Curso: Engenharia Civil

Projeto: ESTRUTURAL

Assunto: DETALHAMENTO VIGAS PAV. ÁREA TÉCNICA
(situação linear com redistribuição)

Acadêmica: Isadora Brochetto

Orientador: Prof. Dr. Gustavo Ribeiro da Silva

Data:
JUN / 2023

Escala:
1: 50

ESTRUTURAL

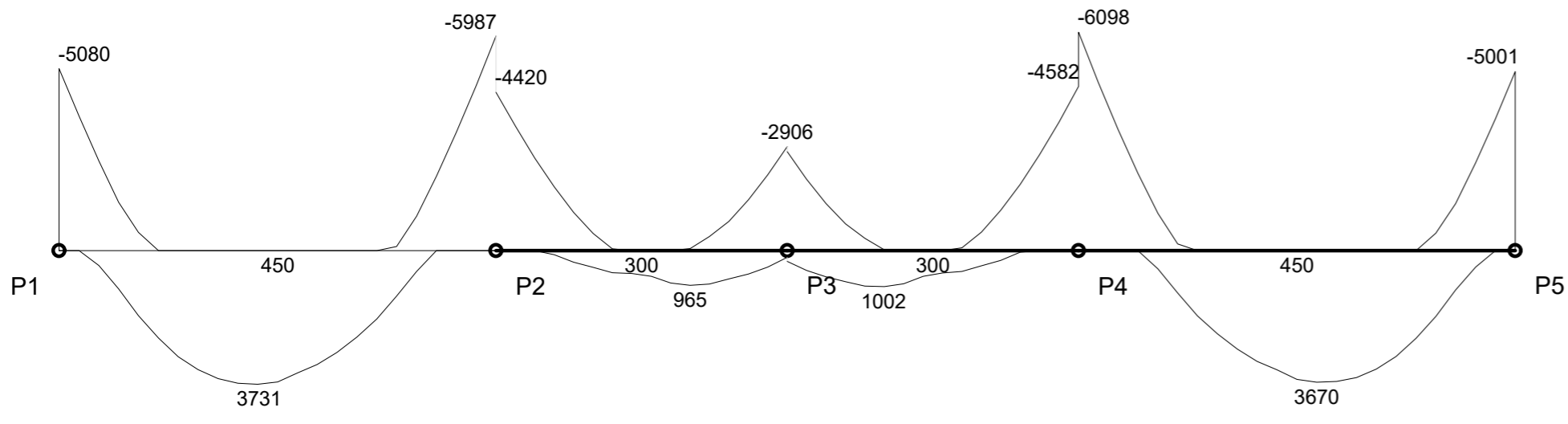
16

APÊNDICE D – COMPARATIVO DIAGRAMA DE MOMENTOS FLETORES

PAVIMENTO TÉRREO

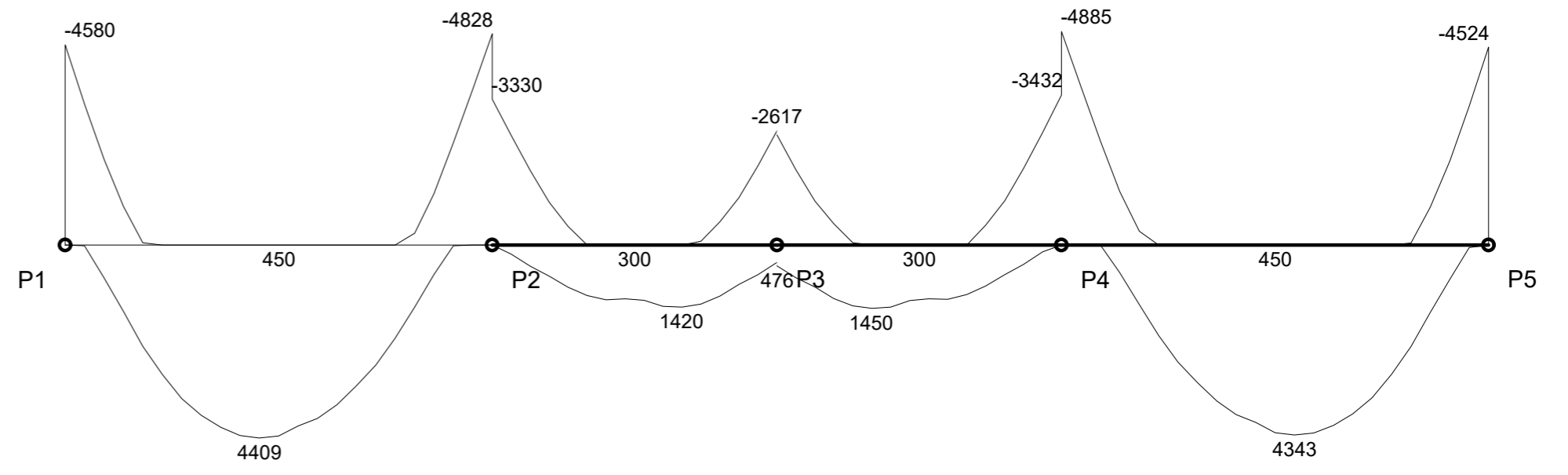
SITUAÇÃO LINEAR ELÁSTICA

MOMENTOS FLETORES DE CÁLCULO (Mdx) [kgf.m;cm] VIGA: V1

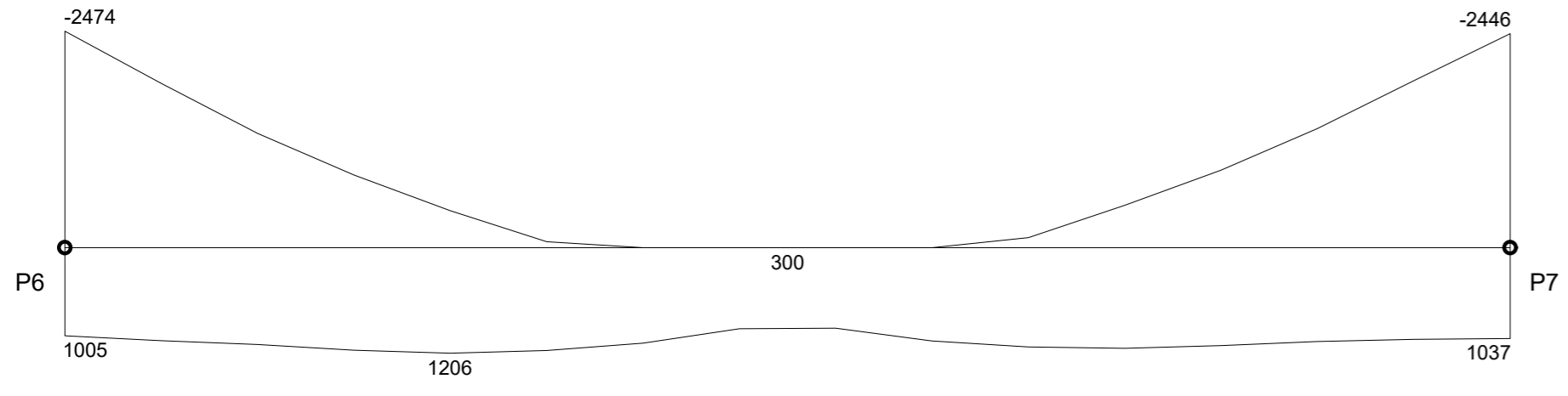


SITUAÇÃO LINEAR COM REDISTRIBUIÇÃO

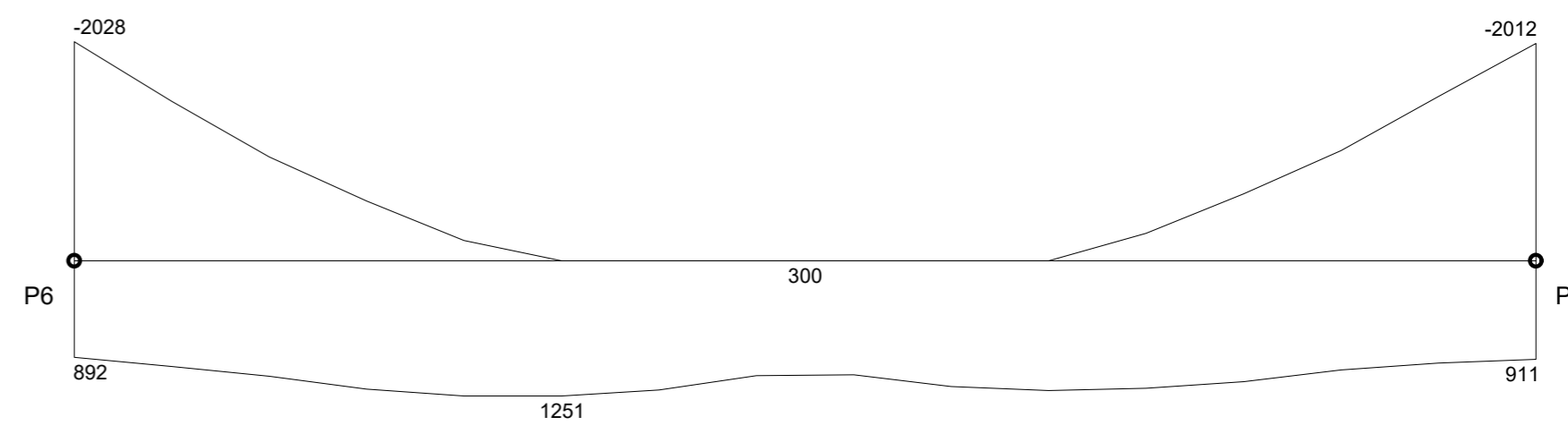
MOMENTOS FLETORES DE CÁLCULO (Mdx) [kgf.m;cm] VIGA: V1



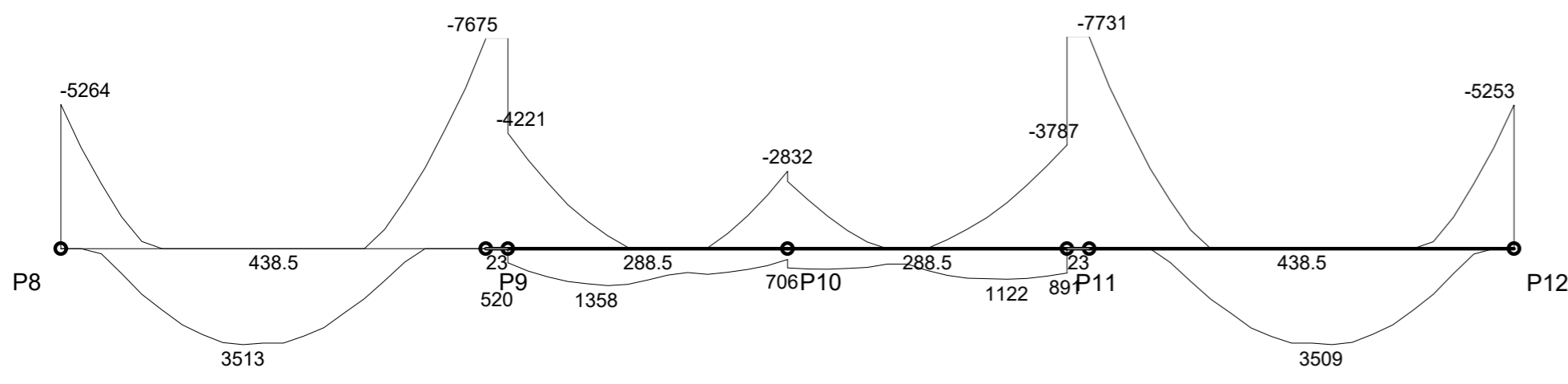
MOMENTOS FLETORES DE CÁLCULO (Mdx) [kgf.m;cm] VIGA: V2



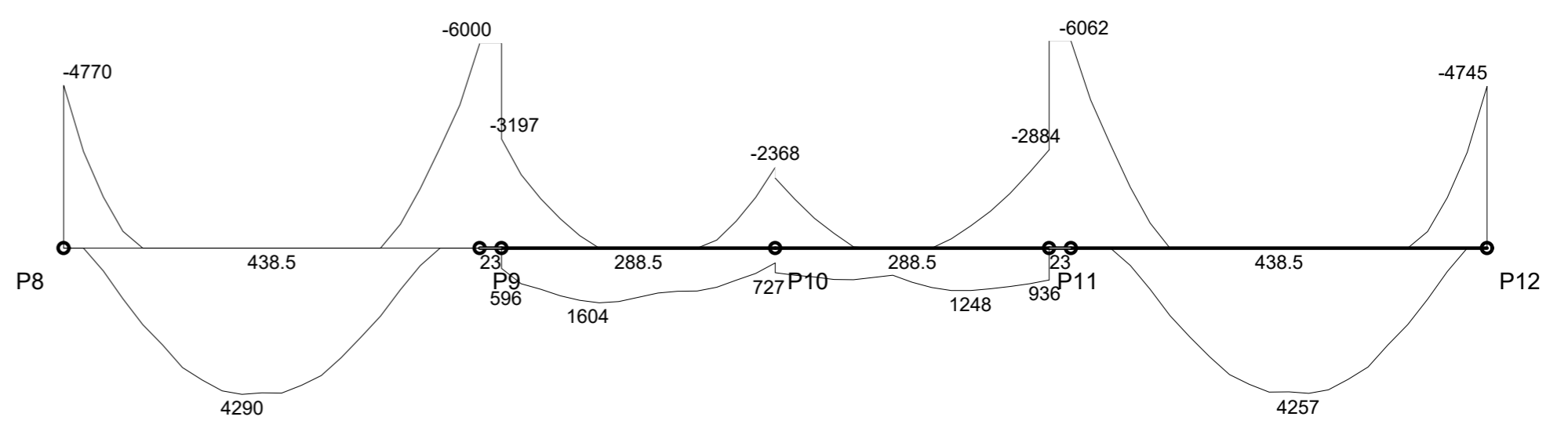
MOMENTOS FLETORES DE CÁLCULO (Mdx) [kgf.m;cm] VIGA: V2



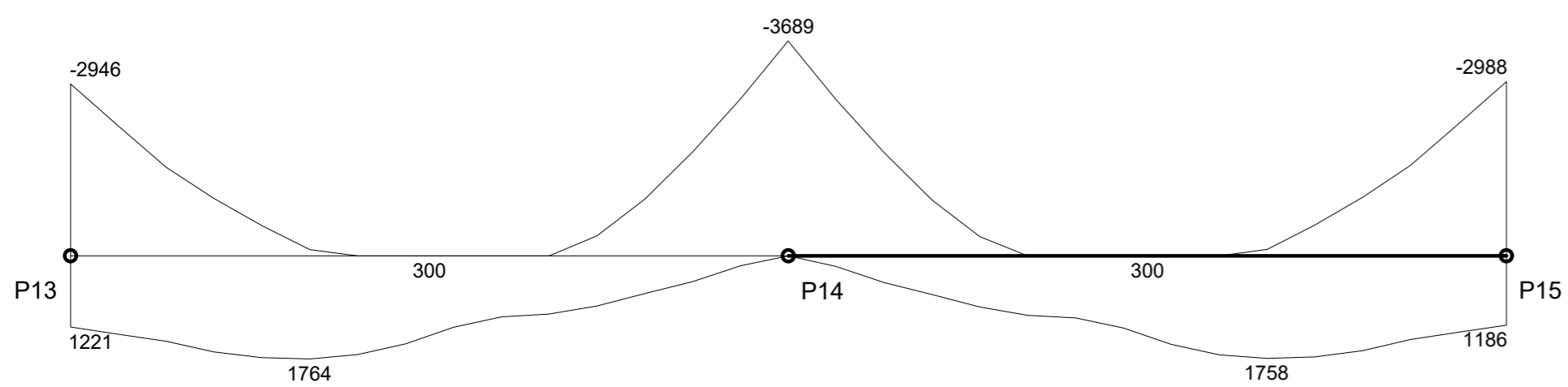
MOMENTOS FLETORES DE CÁLCULO (Mdx) [kgf.m;cm] VIGA: V3



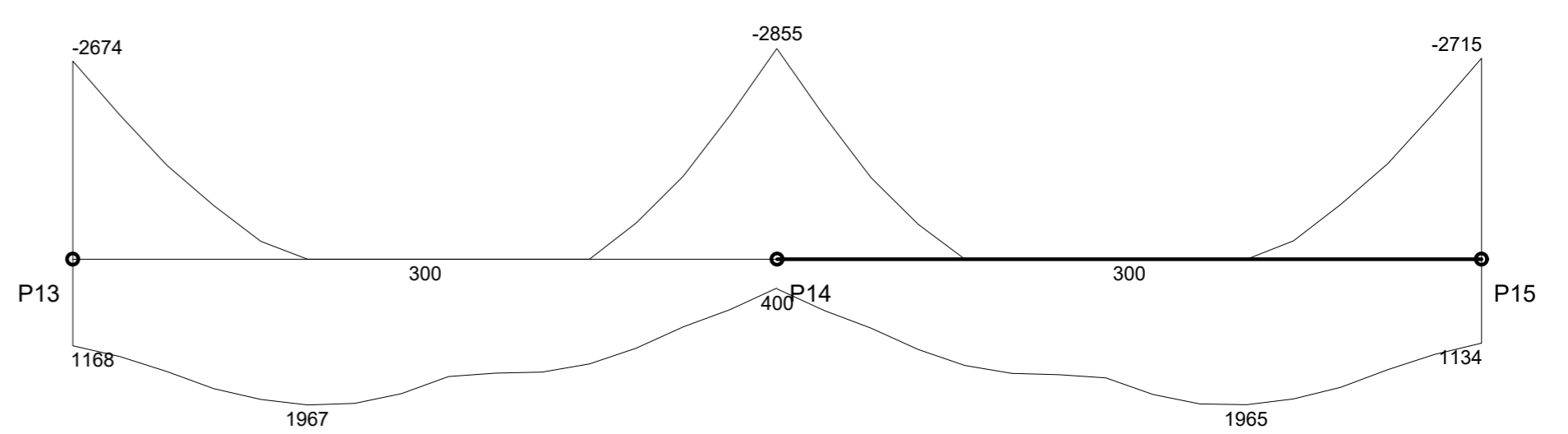
MOMENTOS FLETORES DE CÁLCULO (Mdx) [kgf.m;cm] VIGA: V3



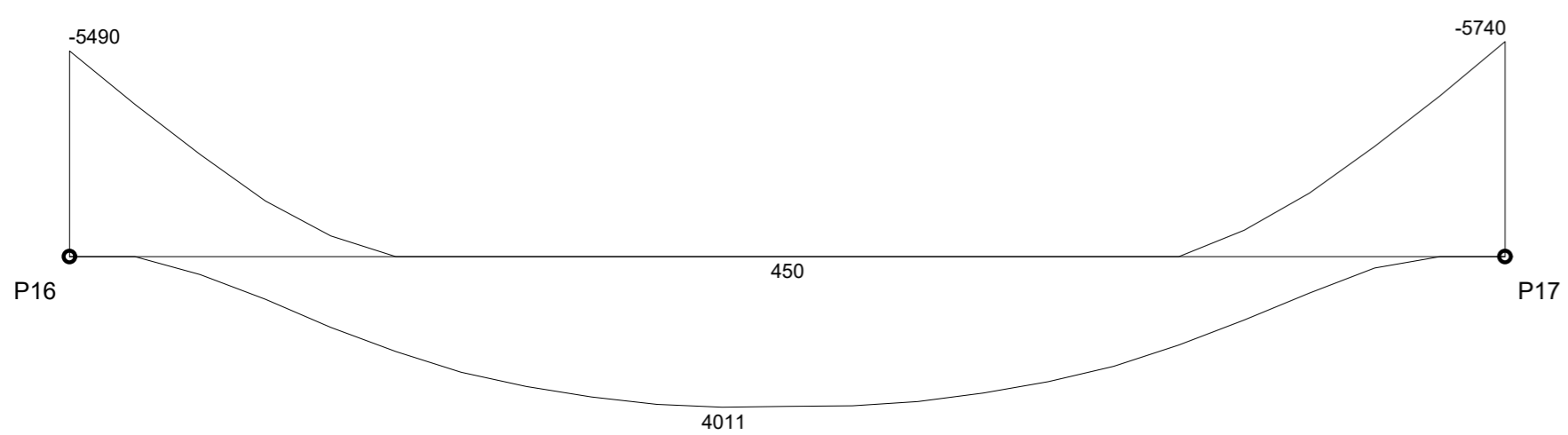
MOMENTOS FLETORES DE CÁLCULO (Mdx) [kgf.m;cm] VIGA: V4



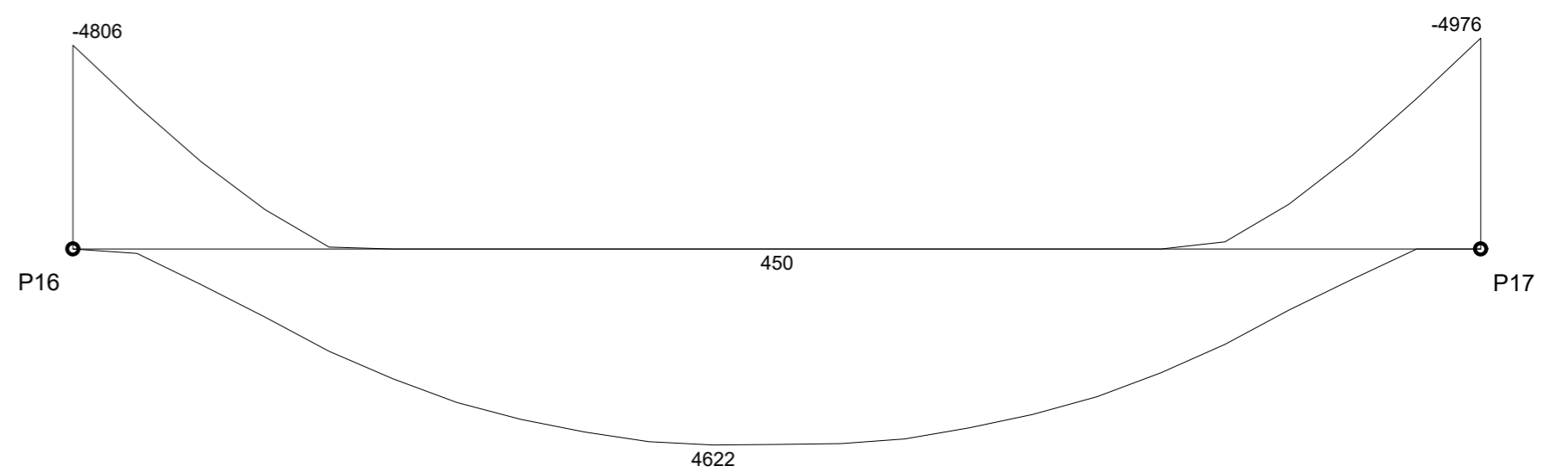
MOMENTOS FLETORES DE CÁLCULO (Mdx) [kgf.m;cm] VIGA: V4



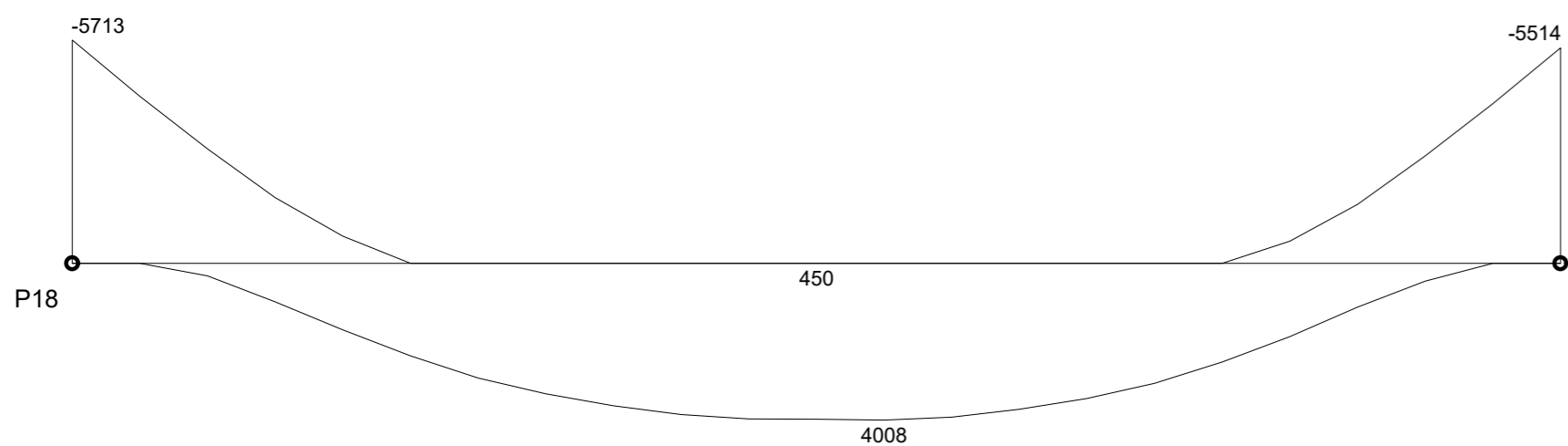
MOMENTOS FLETORES DE CÁLCULO (Mdx) [kgf.m;cm] VIGA: V5



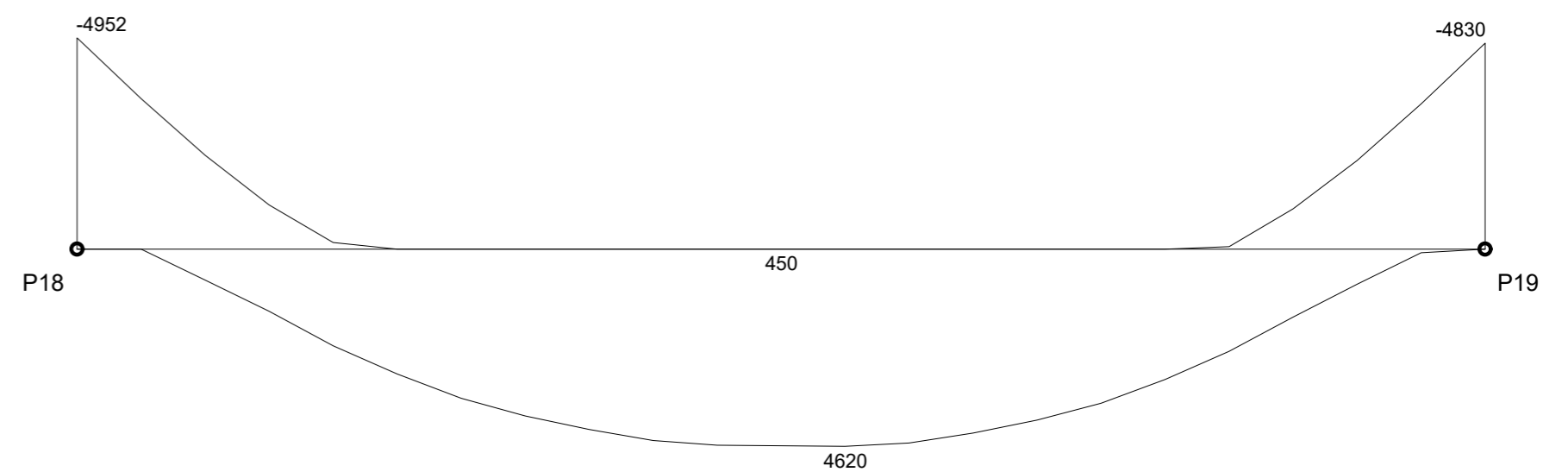
MOMENTOS FLETORES DE CÁLCULO (Mdx) [kgf.m;cm] VIGA: V5



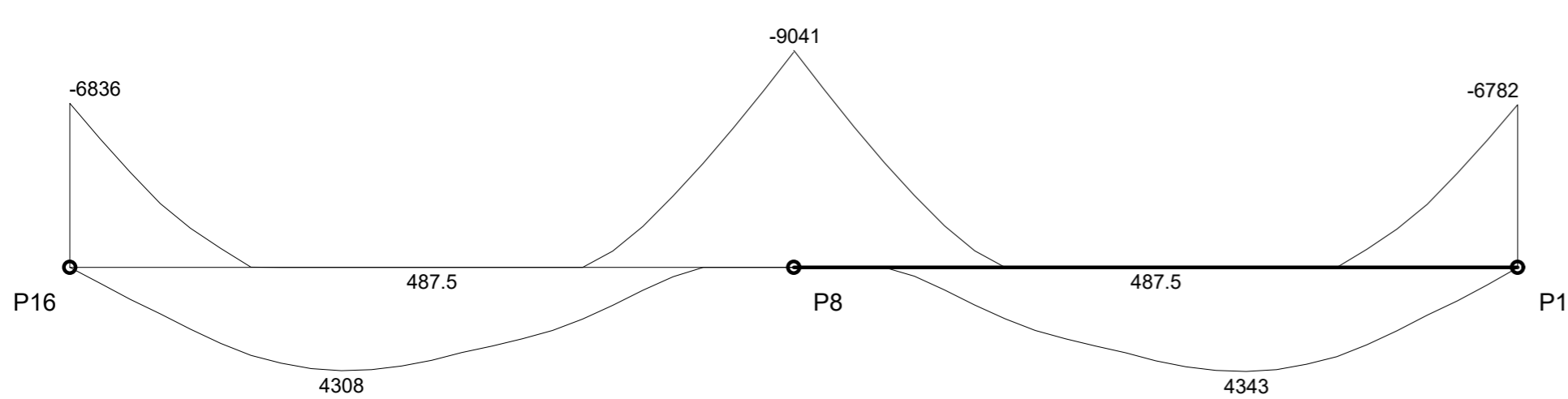
MOMENTOS FLETORES DE CÁLCULO (Mdx) [kgf.m;cm] VIGA: V6



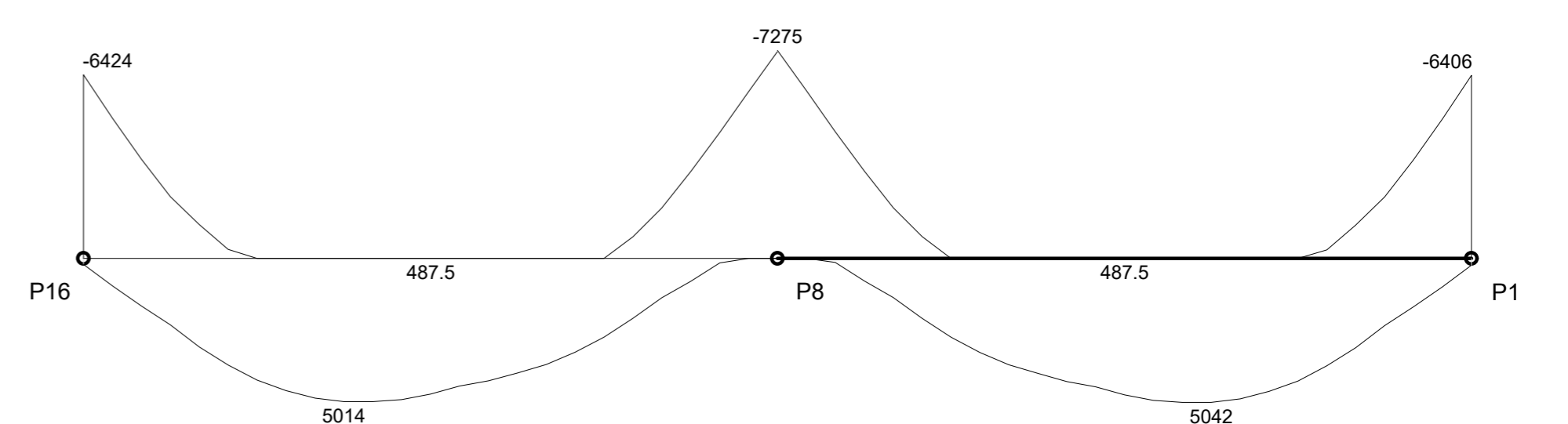
MOMENTOS FLETORES DE CÁLCULO (Mdx) [kgf.m;cm] VIGA: V6



MOMENTOS FLETORES DE CÁLCULO (Mdx) [kgf.m;cm] VIGA: V7



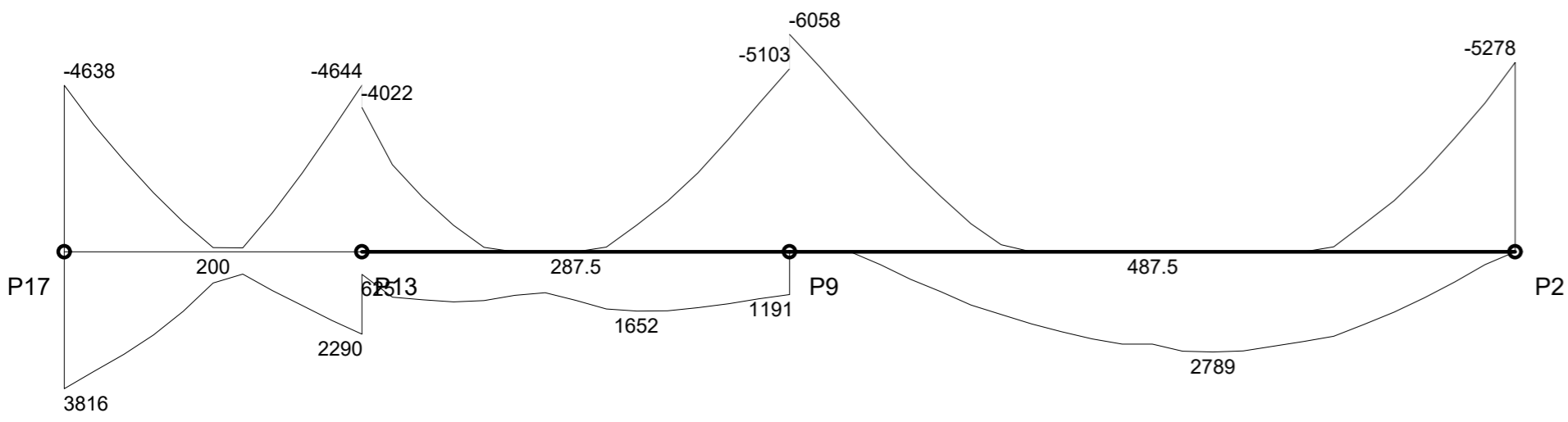
MOMENTOS FLETORES DE CÁLCULO (Mdx) [kgf.m;cm] VIGA: V7



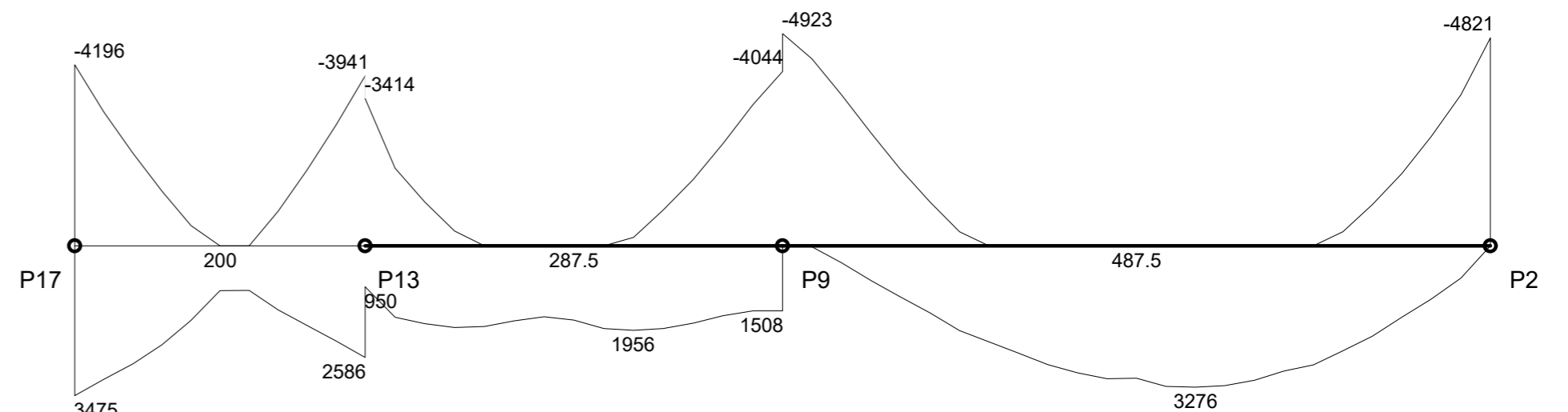
SITUAÇÃO LINEAR ELÁSTICA

SITUAÇÃO LINEAR COM REDISTRIBUIÇÃO

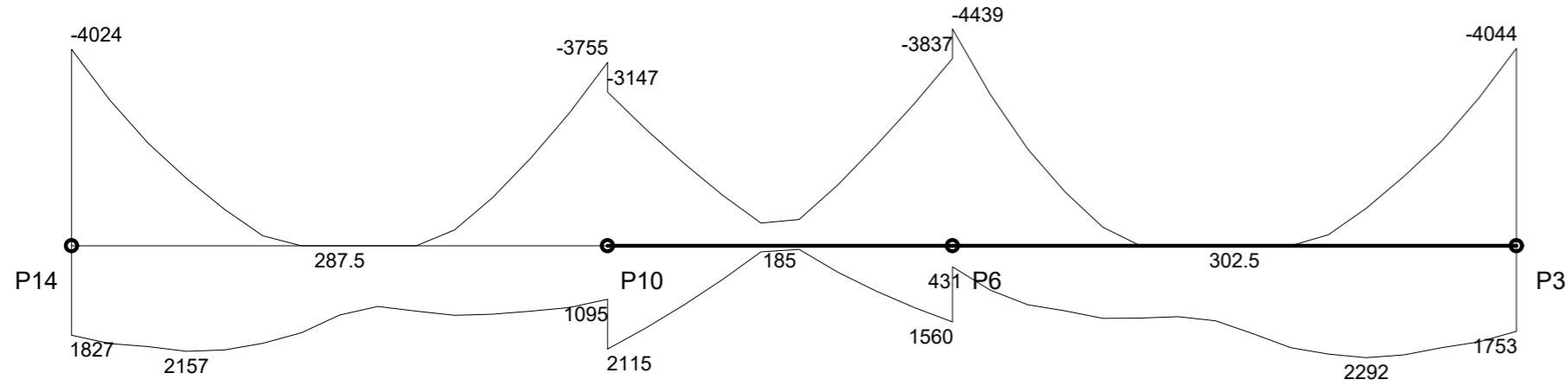
MOMENTOS FLETORES DE CÁLCULO (Mdx) [kgf.m;cm] VIGA: V8



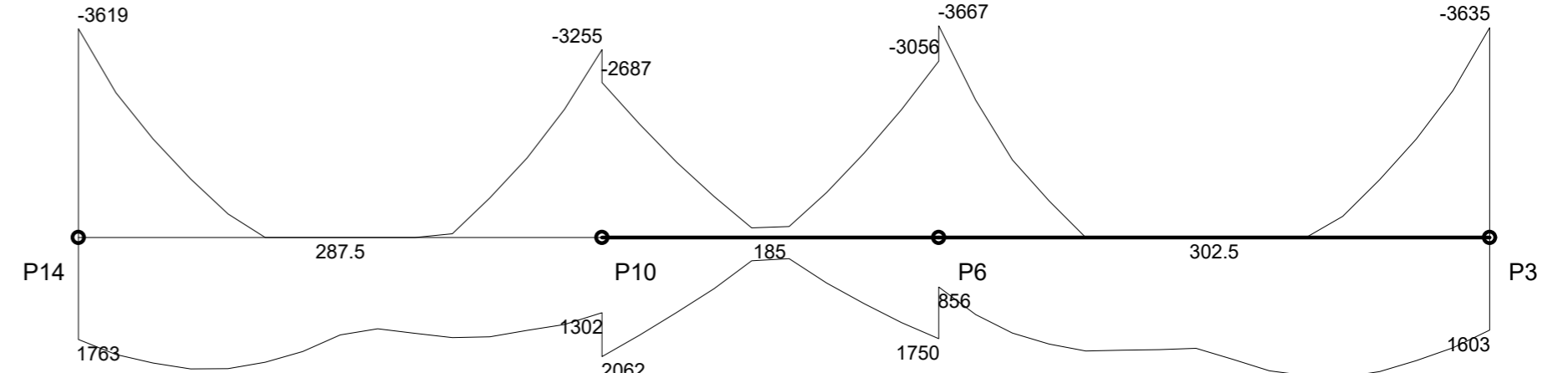
MOMENTOS FLETORES DE CÁLCULO (Mdx) [kgf.m;cm] VIGA: V8



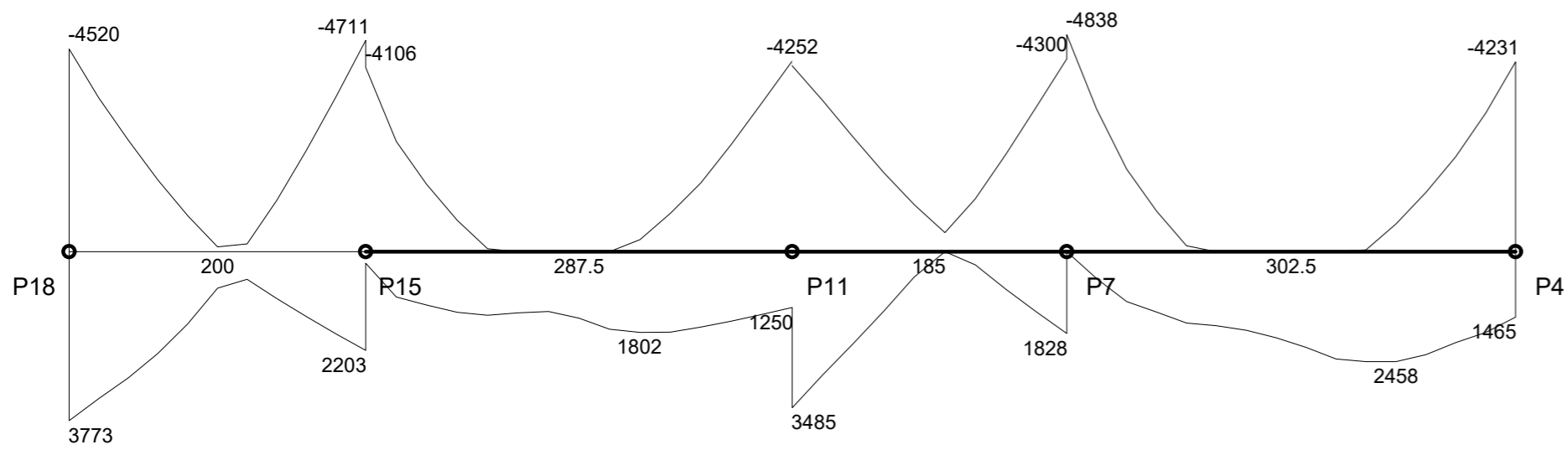
MOMENTOS FLETORES DE CÁLCULO (Mdx) [kgf.m;cm] VIGA: V9



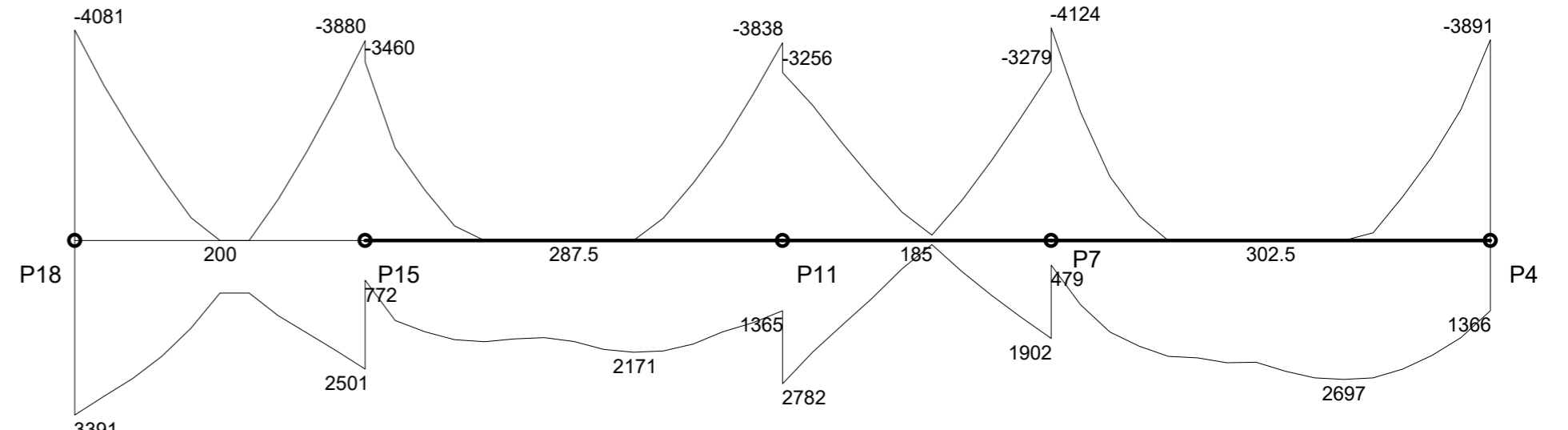
MOMENTOS FLETORES DE CÁLCULO (Mdx) [kgf.m;cm] VIGA: V9



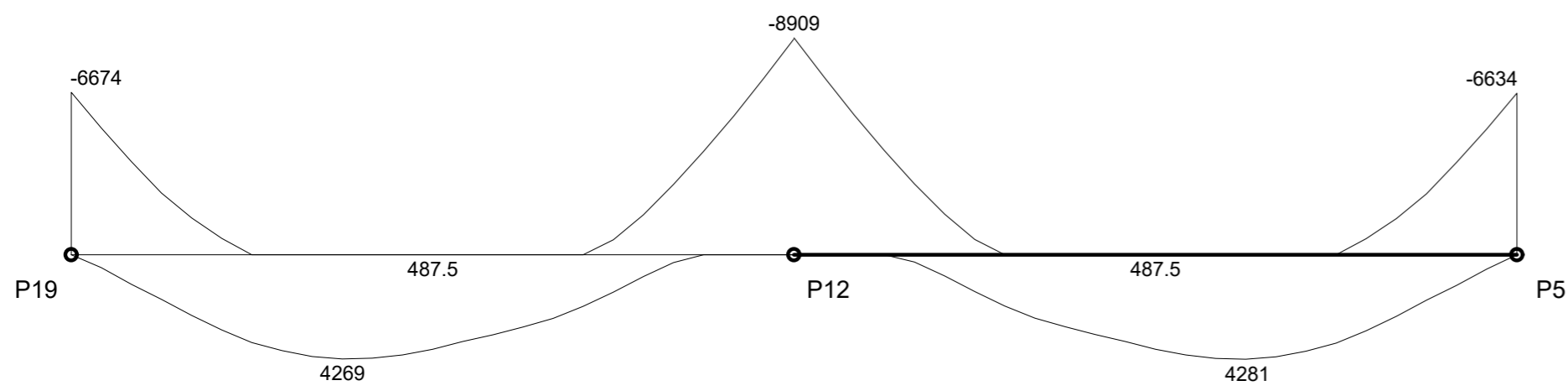
MOMENTOS FLETORES DE CÁLCULO (Mdx) [kgf.m;cm] VIGA: V10



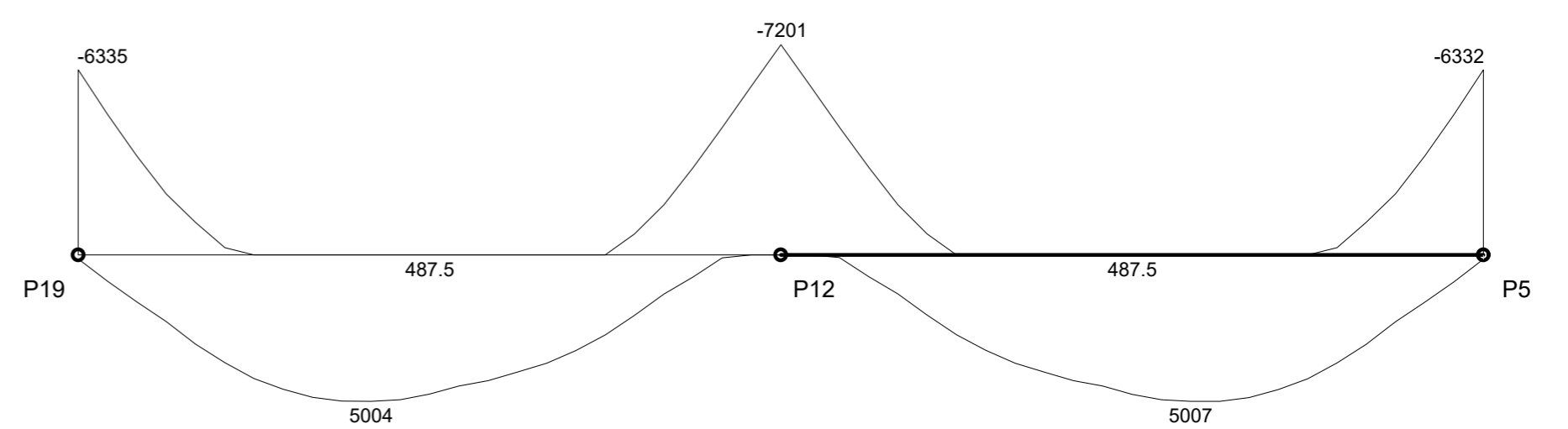
MOMENTOS FLETORES DE CÁLCULO (Mdx) [kgf.m;cm] VIGA: V10



MOMENTOS FLETORES DE CÁLCULO (Mdx) [kgf.m;cm] VIGA: V11



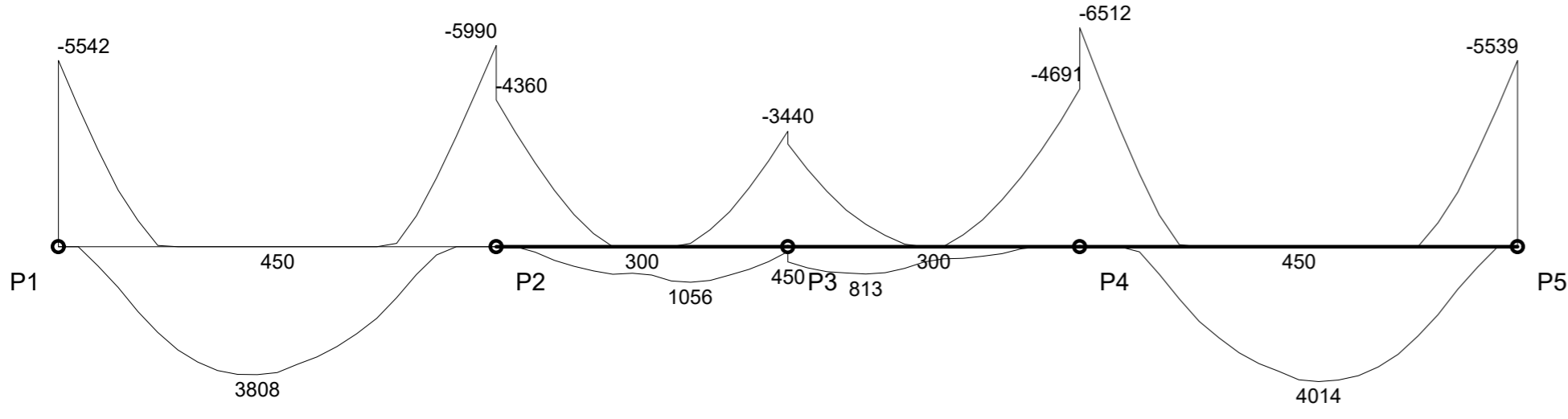
MOMENTOS FLETORES DE CÁLCULO (Mdx) [kgf.m;cm] VIGA: V11



PAVIMENTO TIPO 1

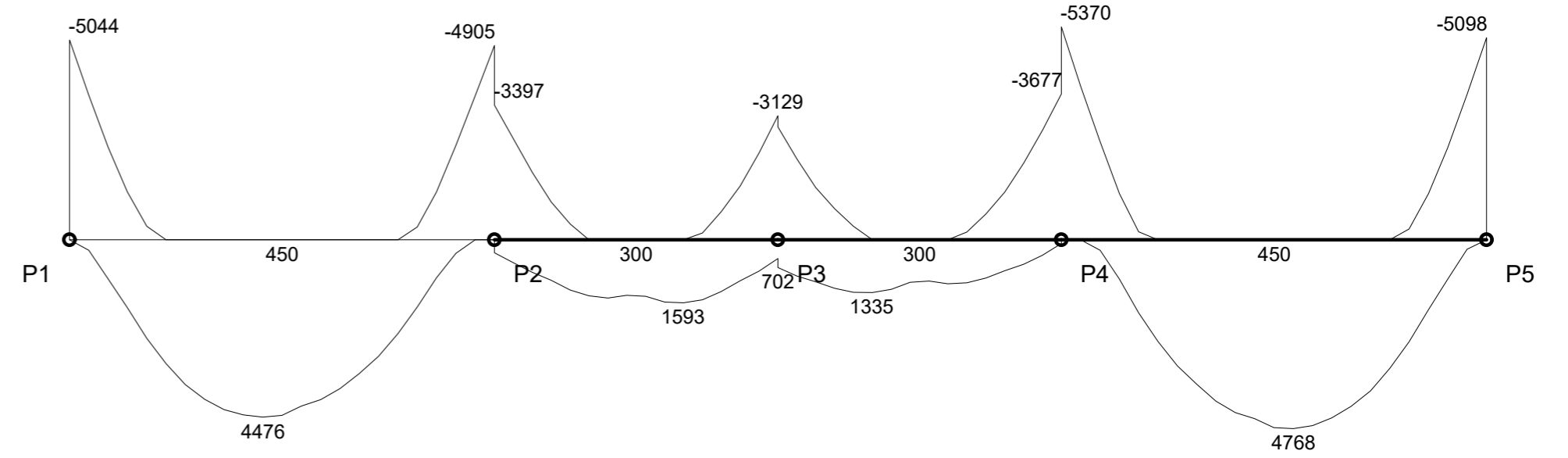
SITUAÇÃO LINEAR ELÁSTICA

MOMENTOS FLETORES DE CÁLCULO (Mdx) [kgf.m;cm] VIGA: V1

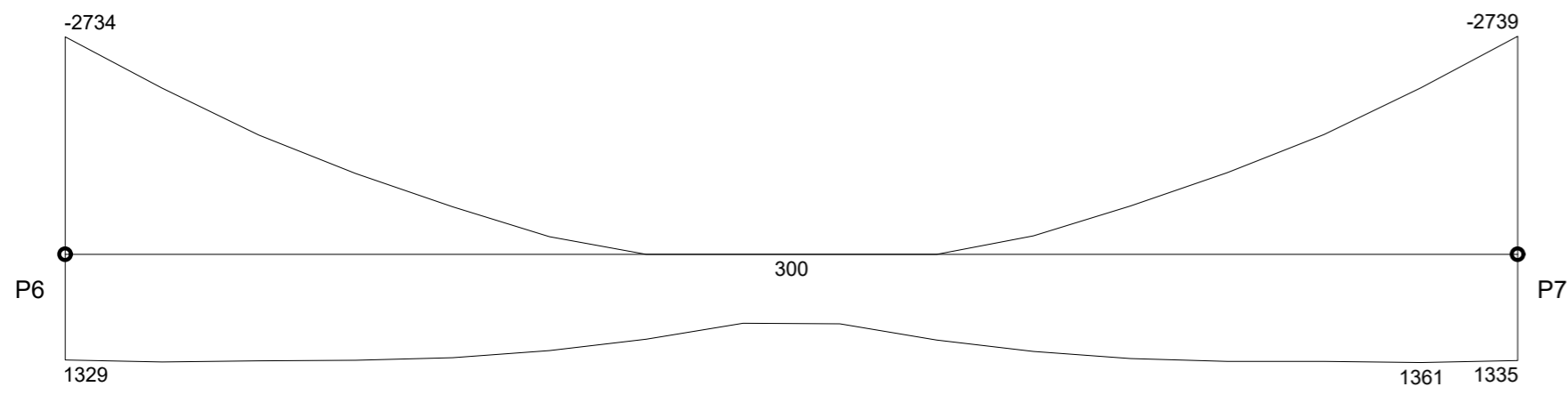


SITUAÇÃO LINEAR COM REDISTRIBUIÇÃO

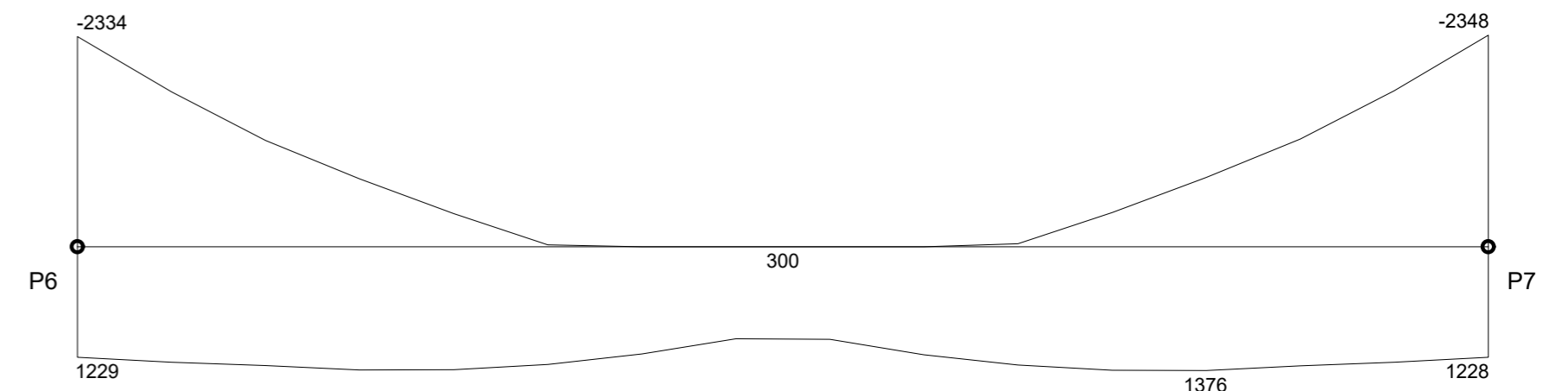
MOMENTOS FLETORES DE CÁLCULO (Mdx) [kgf.m;cm] VIGA: V1



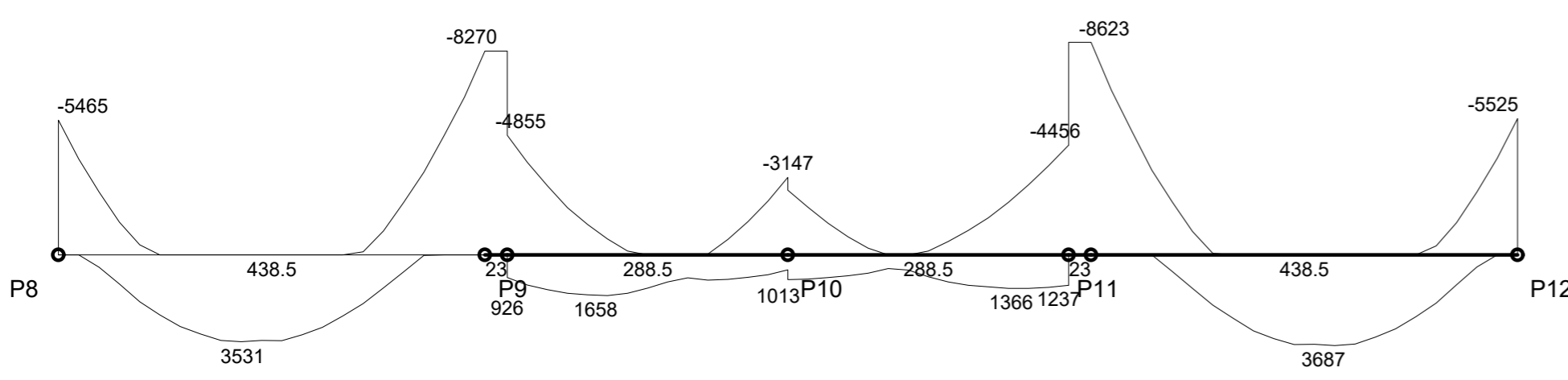
MOMENTOS FLETORES DE CÁLCULO (Mdx) [kgf.m;cm] VIGA: V2



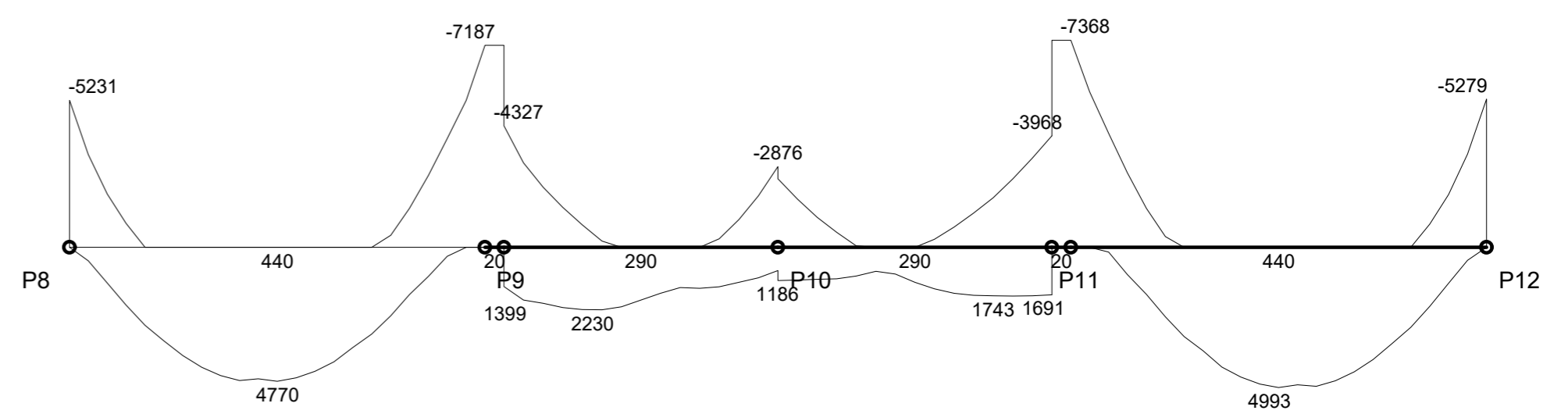
MOMENTOS FLETORES DE CÁLCULO (Mdx) [kgf.m;cm] VIGA: V2



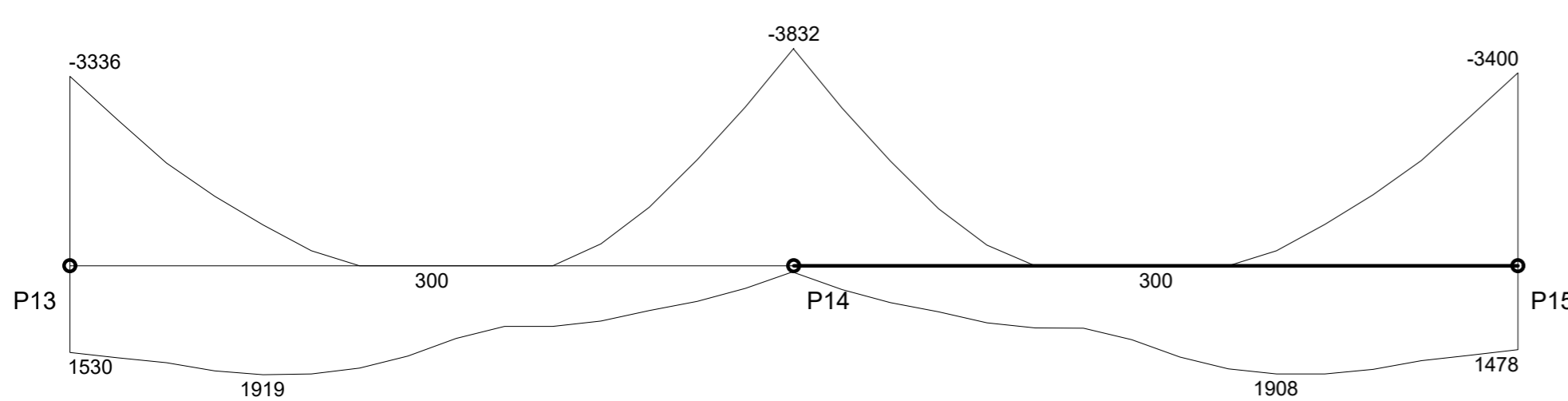
MOMENTOS FLETORES DE CÁLCULO (Mdx) [kgf.m;cm] VIGA: V3



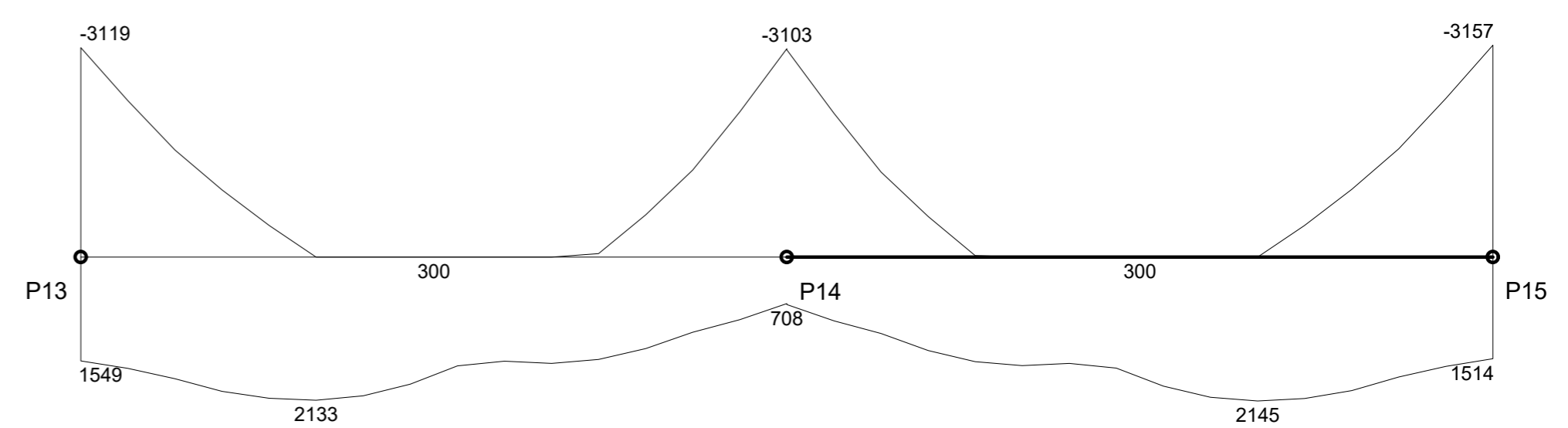
MOMENTOS FLETORES DE CÁLCULO (Mdx) [kgf.m;cm] VIGA: V3



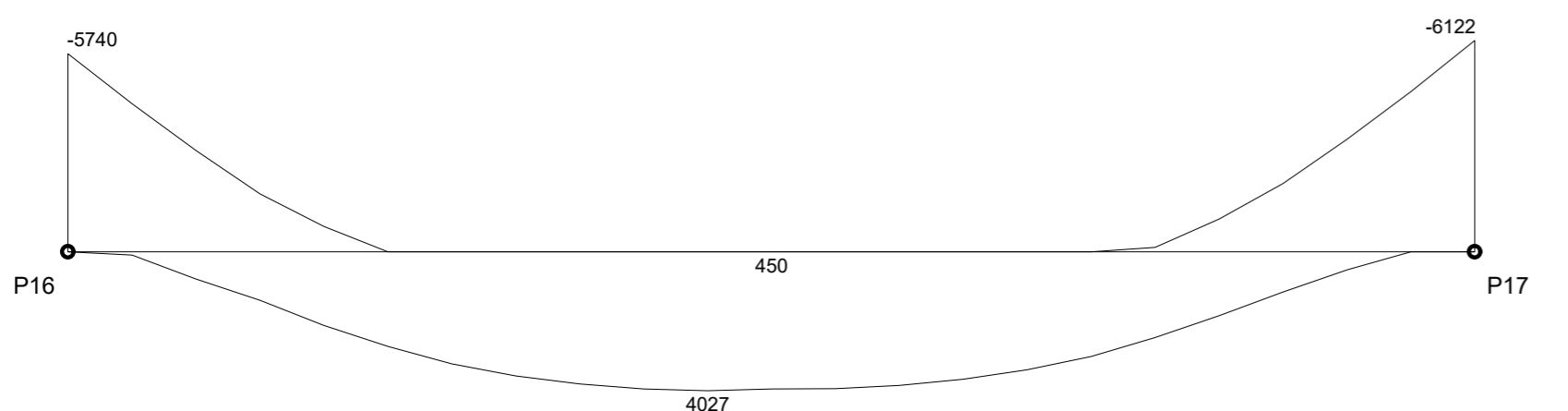
MOMENTOS FLETORES DE CÁLCULO (Mdx) [kgf.m;cm] VIGA: V4



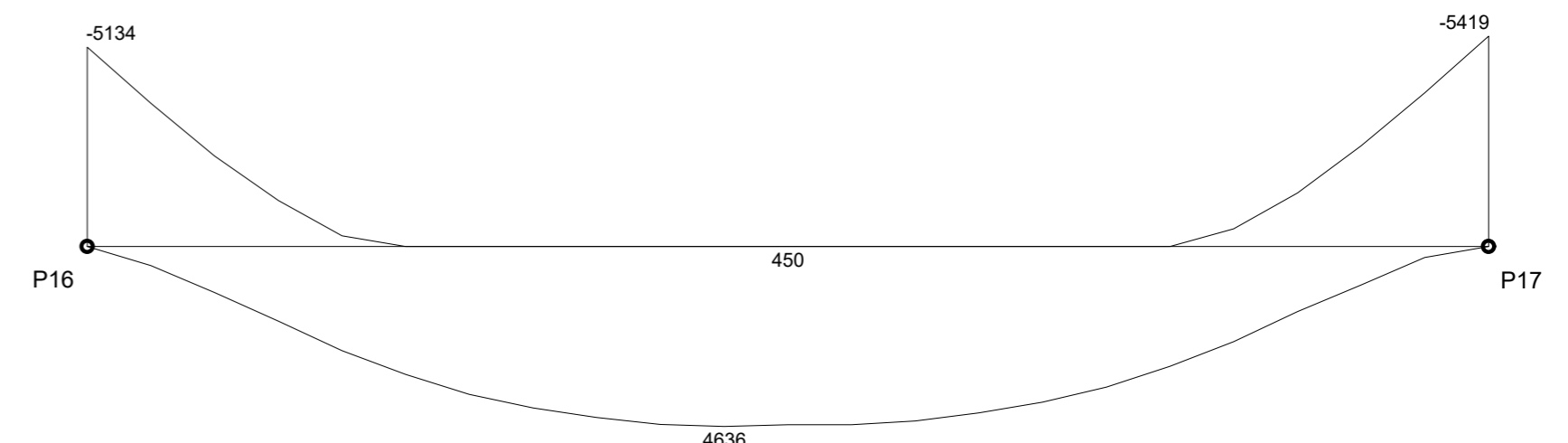
MOMENTOS FLETORES DE CÁLCULO (Mdx) [kgf.m;cm] VIGA: V4



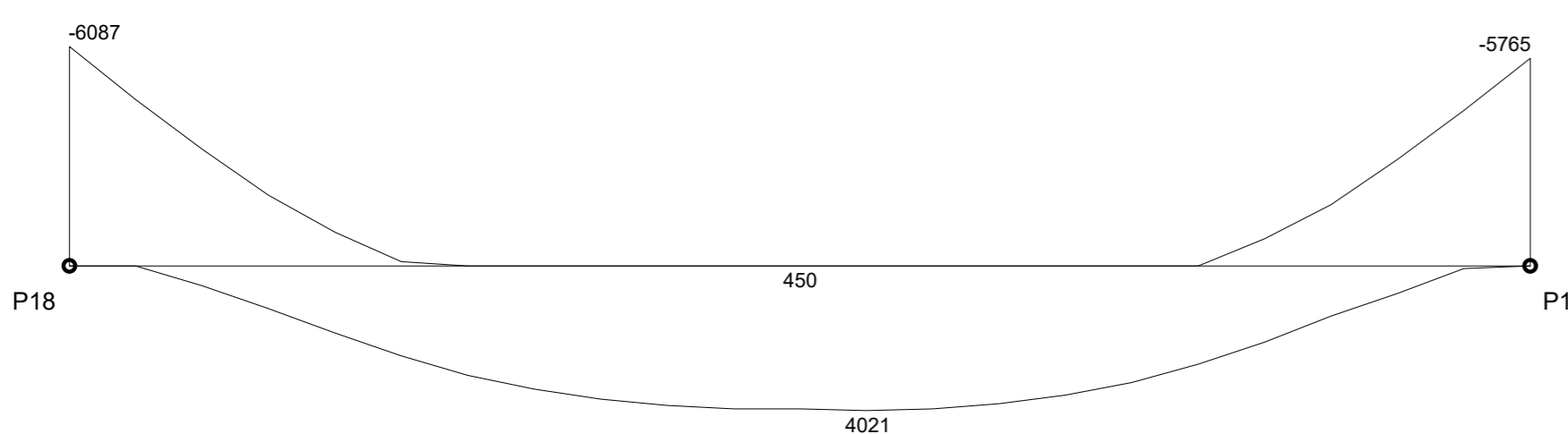
MOMENTOS FLETORES DE CÁLCULO (Mdx) [kgf.m;cm] VIGA: V5



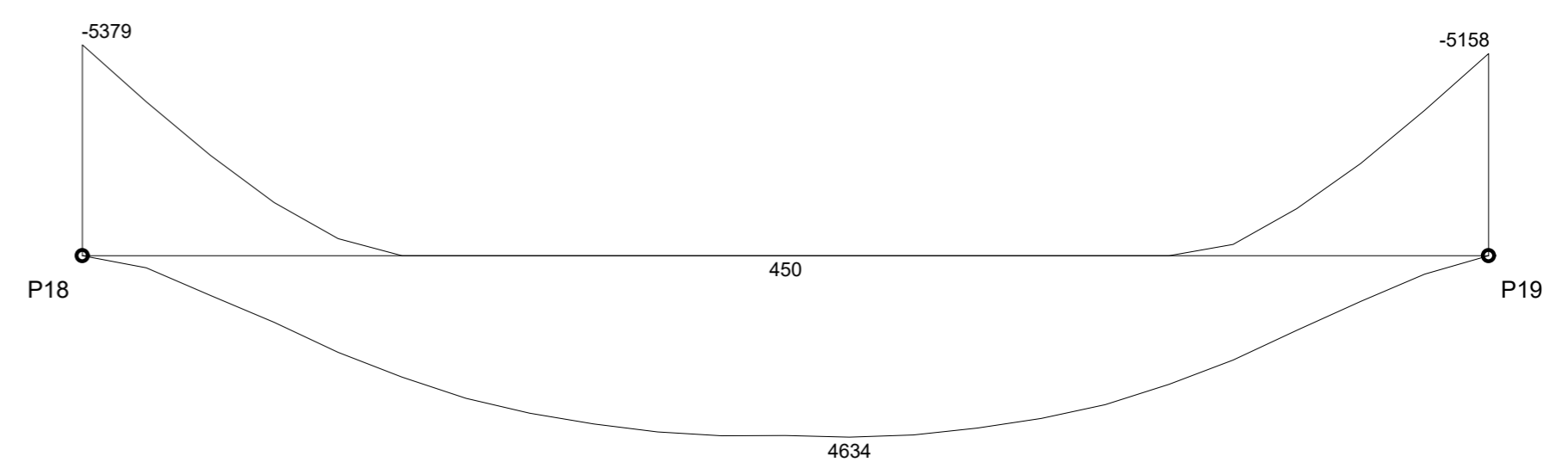
MOMENTOS FLETORES DE CÁLCULO (Mdx) [kgf.m;cm] VIGA: V5



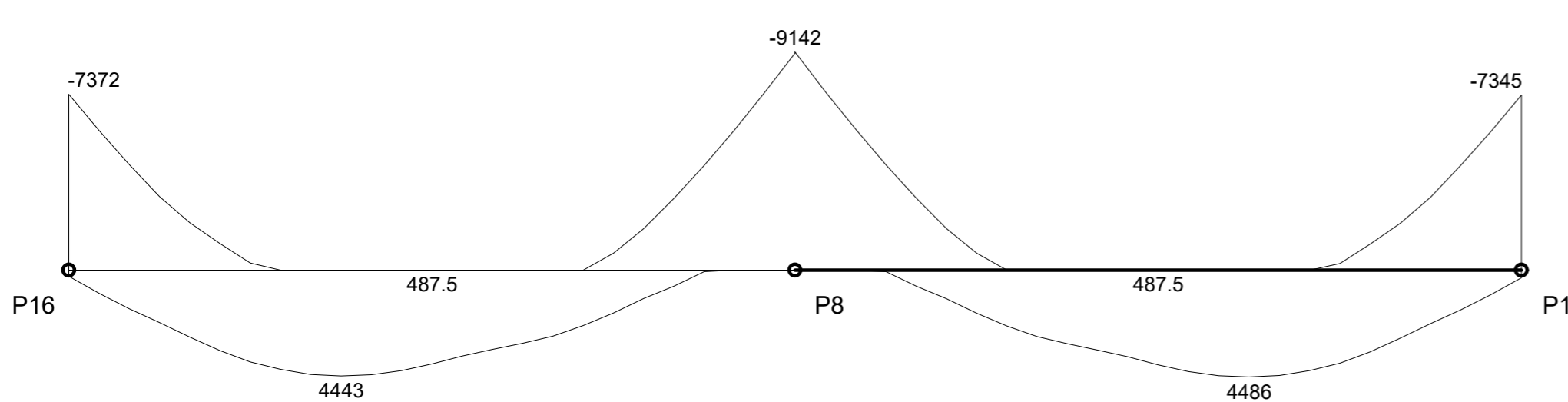
MOMENTOS FLETORES DE CÁLCULO (Mdx) [kgf.m;cm] VIGA: V6



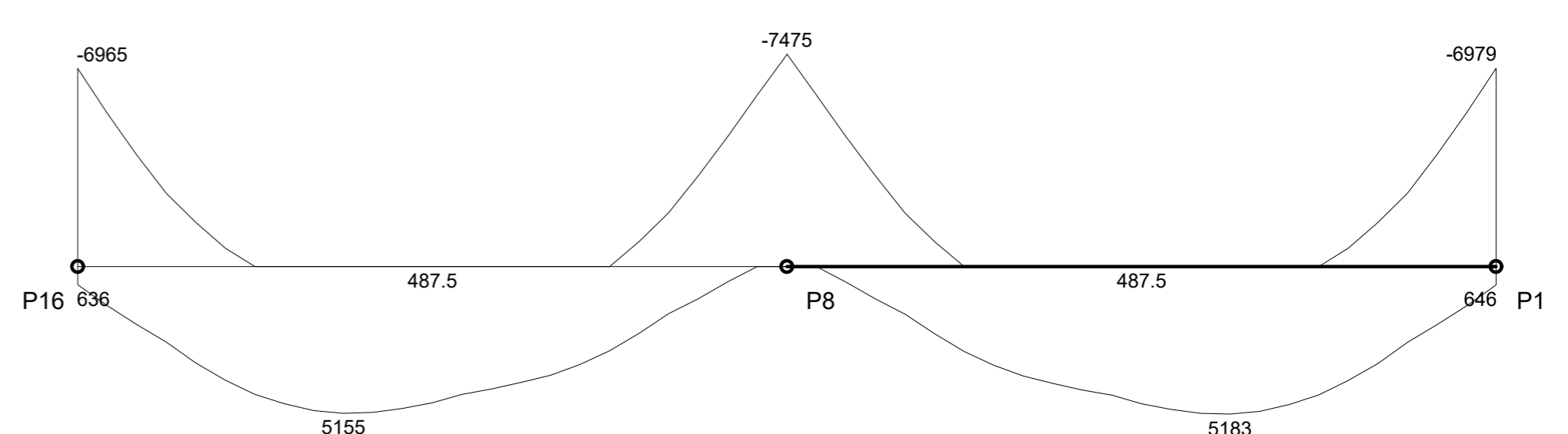
MOMENTOS FLETORES DE CÁLCULO (Mdx) [kgf.m;cm] VIGA: V6



MOMENTOS FLETORES DE CÁLCULO (Mdx) [kgf.m;cm] VIGA: V7



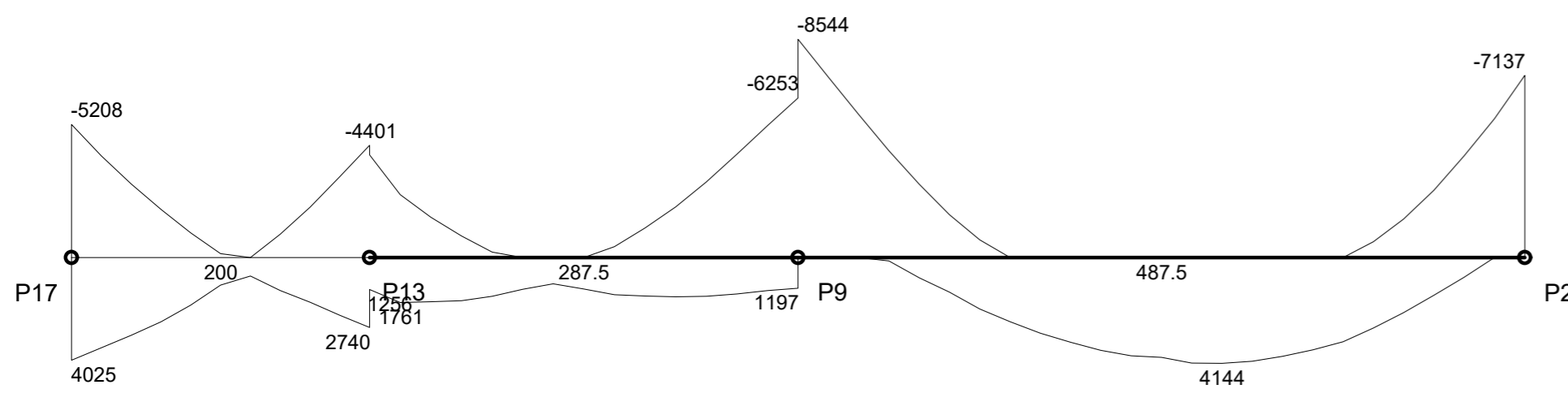
MOMENTOS FLETORES DE CÁLCULO (Mdx) [kgf.m;cm] VIGA: V7



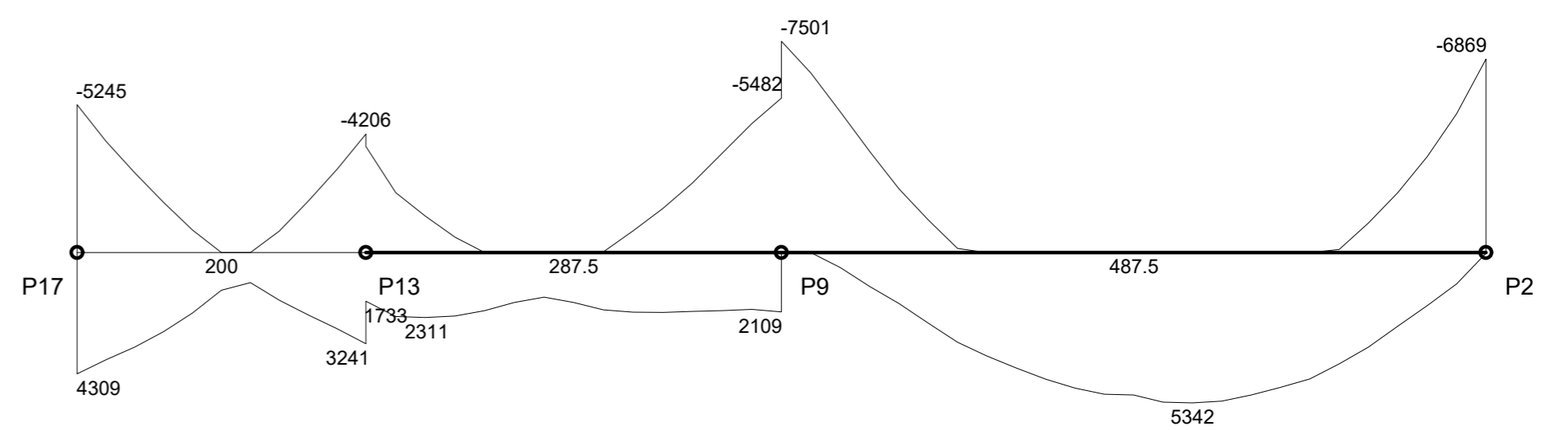
SITUAÇÃO LINEAR ELÁSTICA

SITUAÇÃO LINEAR COM REDISTRIBUIÇÃO

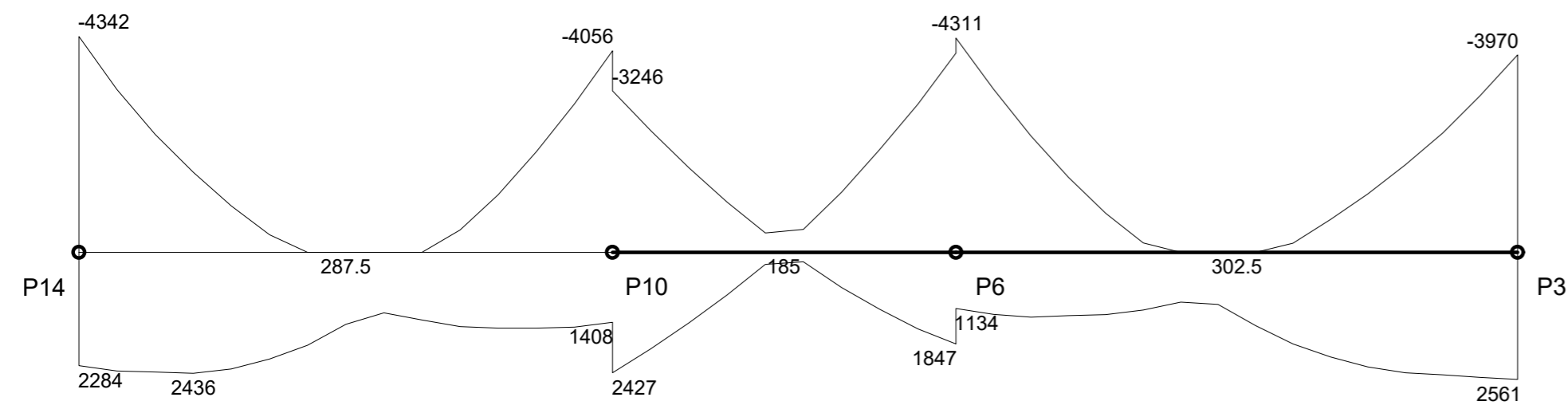
MOMENTOS FLETORES DE CÁLCULO (Mdx) [kgf.m;cm] VIGA: V8



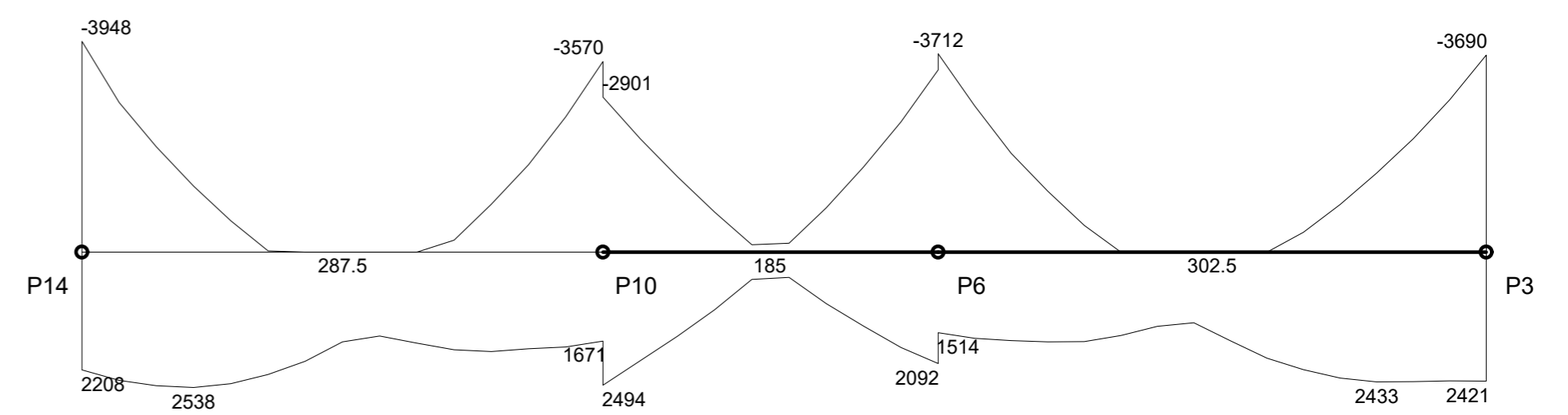
MOMENTOS FLETORES DE CÁLCULO (Mdx) [kgf.m;cm] VIGA: V8



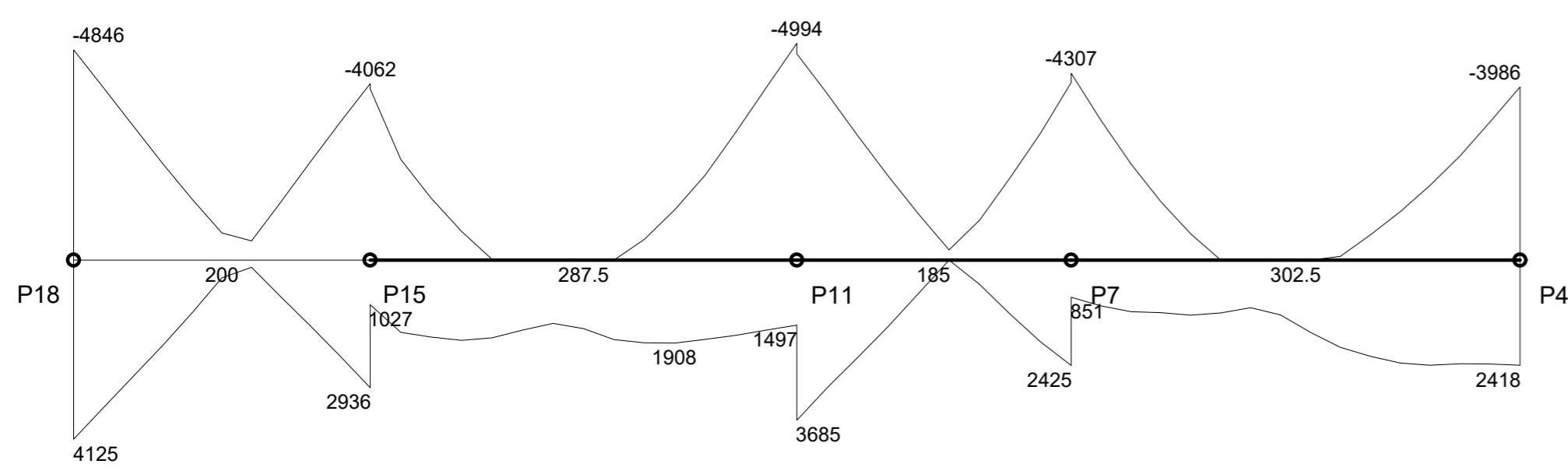
MOMENTOS FLETORES DE CÁLCULO (Mdx) [kgf.m;cm] VIGA: V9



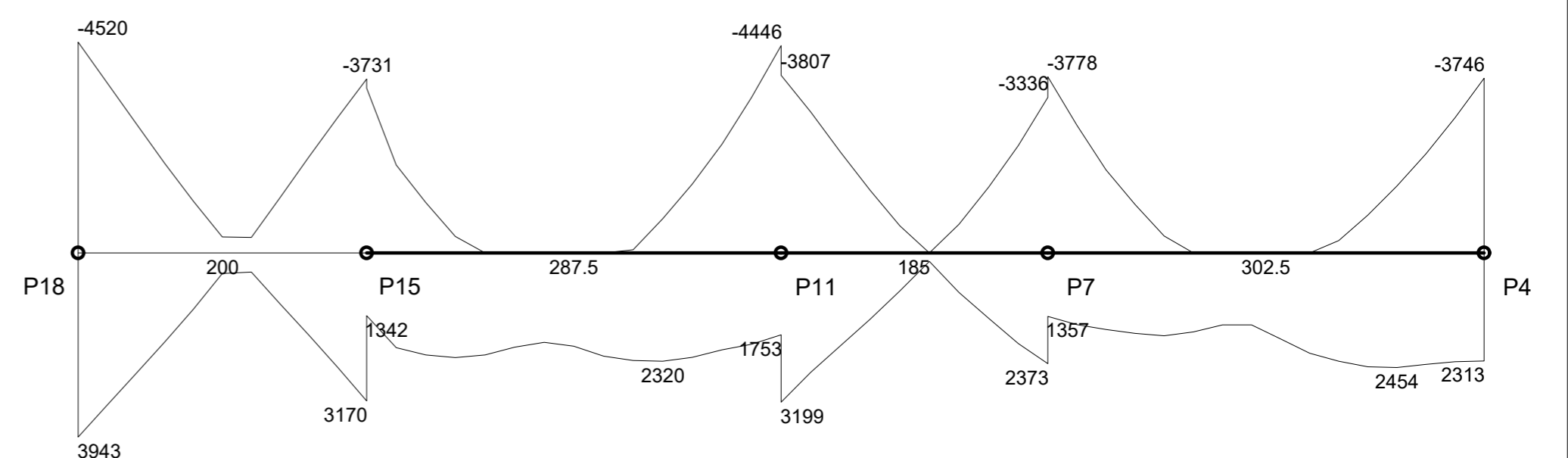
MOMENTOS FLETORES DE CÁLCULO (Mdx) [kgf.m;cm] VIGA: V9



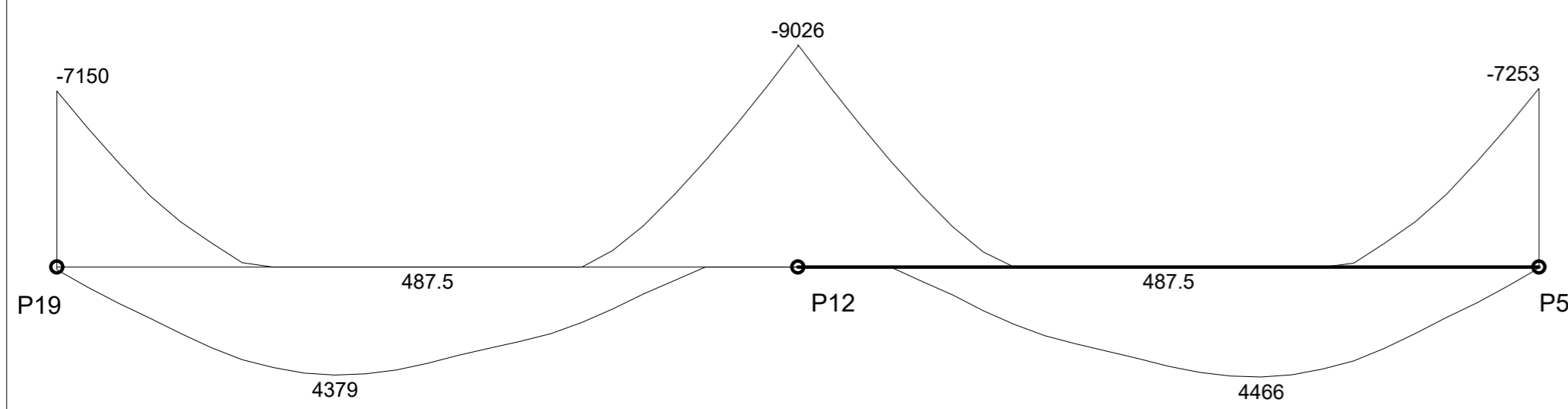
MOMENTOS FLETORES DE CÁLCULO (Mdx) [kgf.m;cm] VIGA: V10



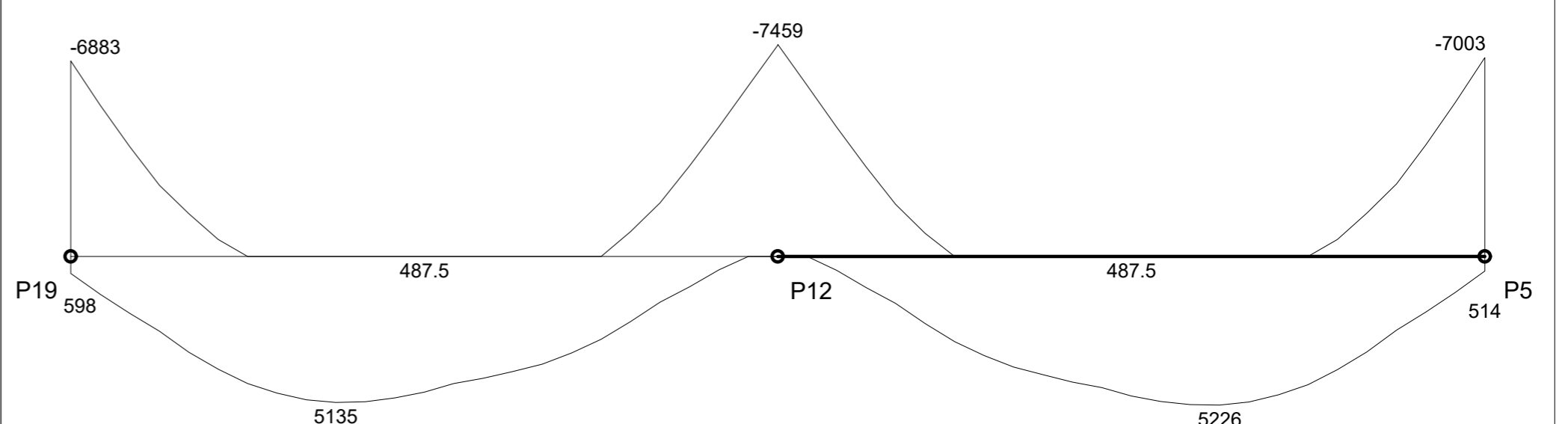
MOMENTOS FLETORES DE CÁLCULO (Mdx) [kgf.m;cm] VIGA: V10



MOMENTOS FLETORES DE CÁLCULO (Mdx) [kgf.m;cm] VIGA: V11



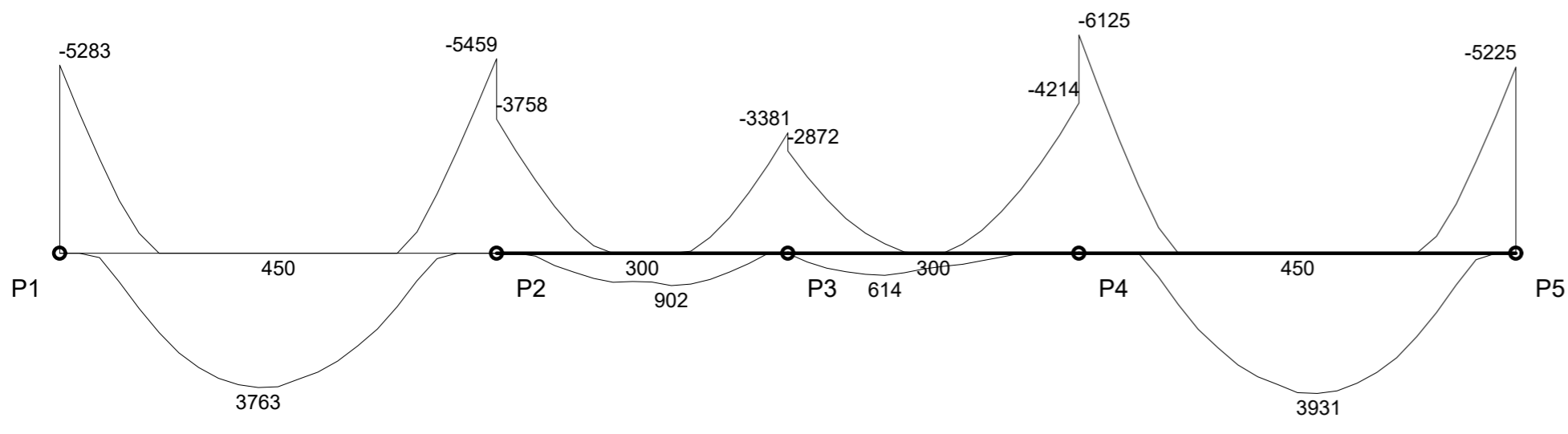
MOMENTOS FLETORES DE CÁLCULO (Mdx) [kgf.m;cm] VIGA: V11



PAVIMENTO TIPO 2

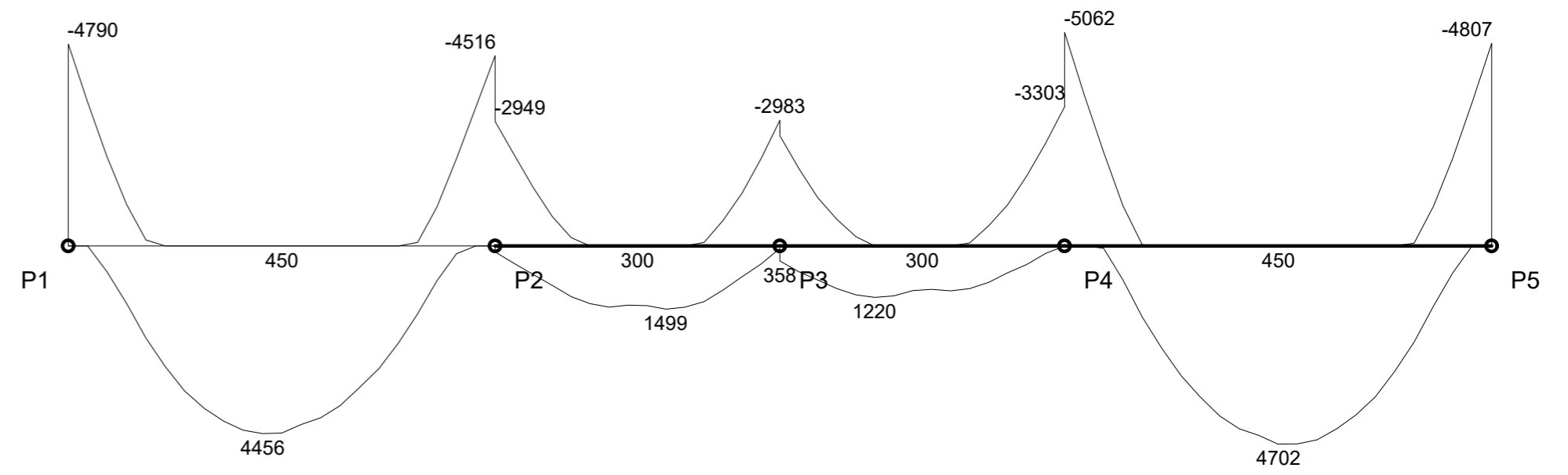
SITUAÇÃO LINEAR ELÁSTICA

MOMENTOS FLETORES DE CÁLCULO (Mdx) [kgf.m;cm] VIGA: V1

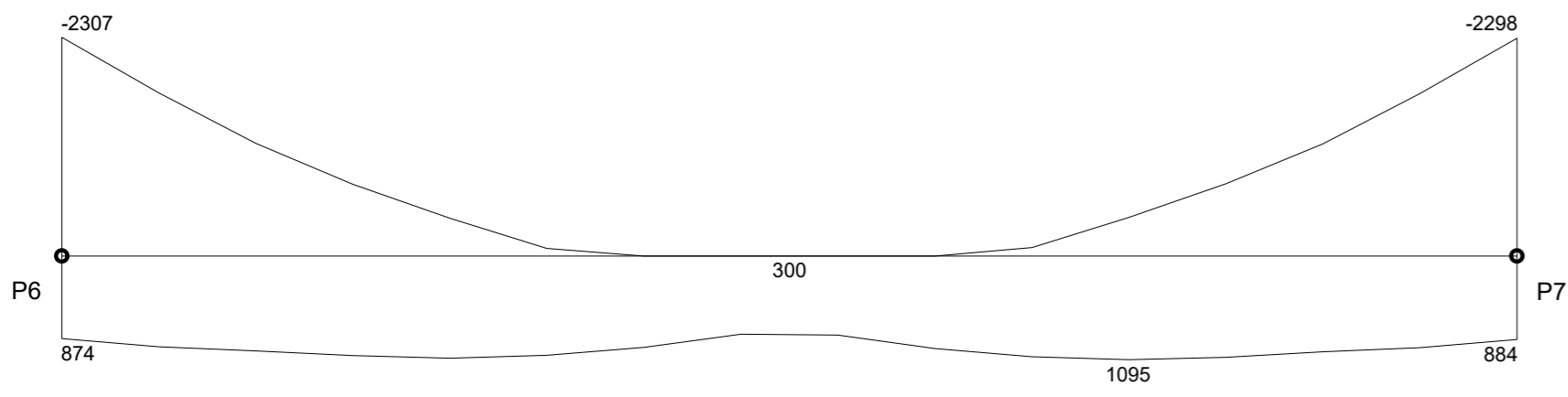


SITUAÇÃO LINEAR COM REDISTRIBUIÇÃO

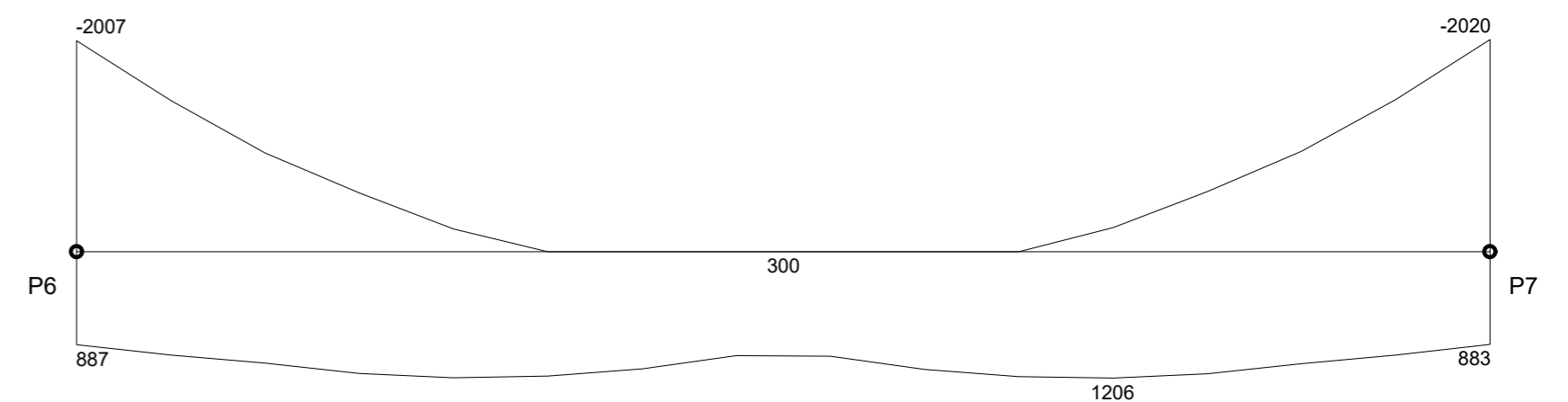
MOMENTOS FLETORES DE CÁLCULO (Mdx) [kgf.m;cm] VIGA: V1



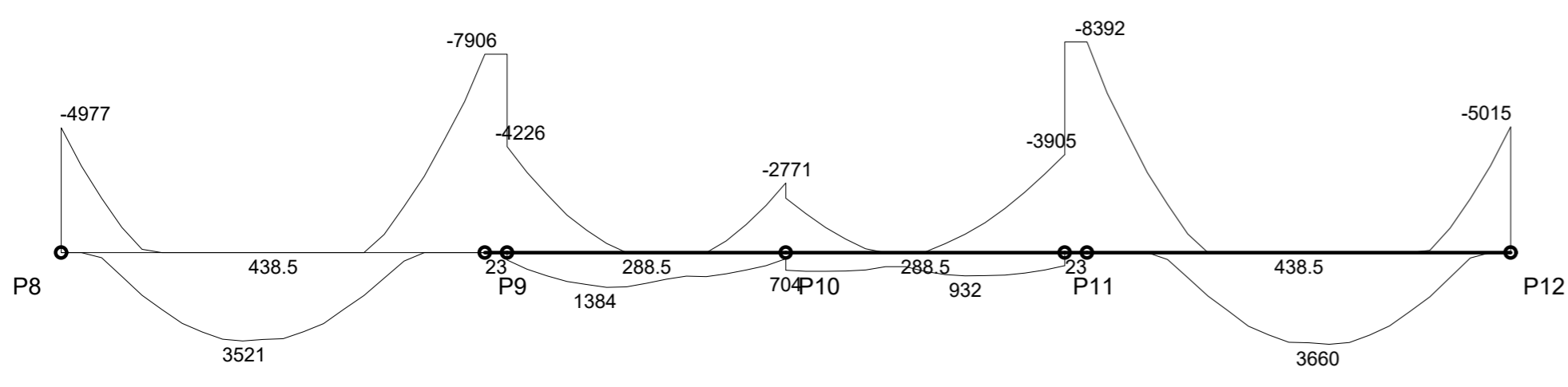
MOMENTOS FLETORES DE CÁLCULO (Mdx) [kgf.m;cm] VIGA: V2



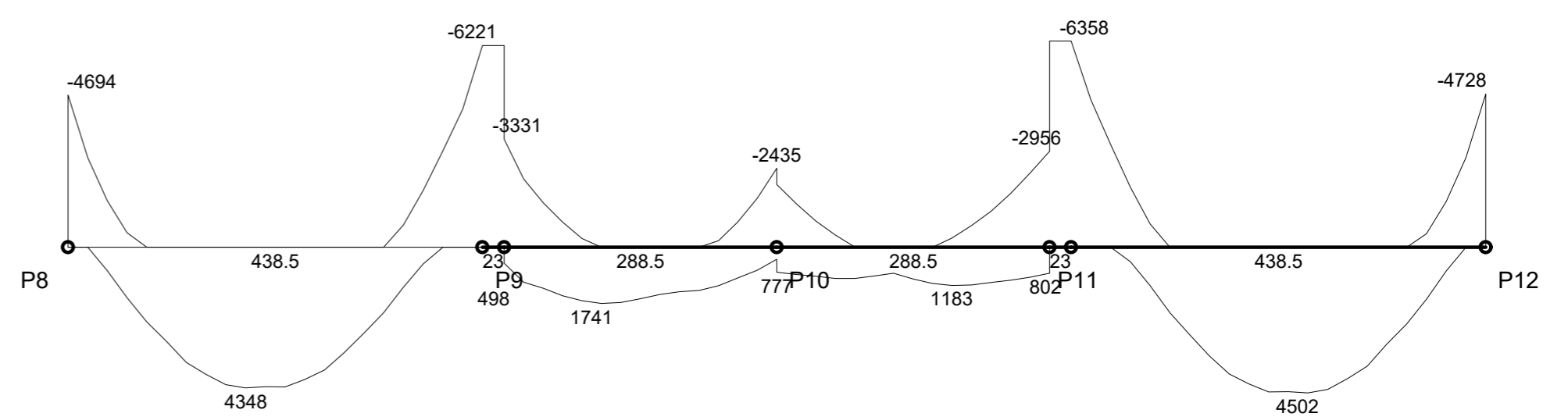
MOMENTOS FLETORES DE CÁLCULO (Mdx) [kgf.m;cm] VIGA: V2



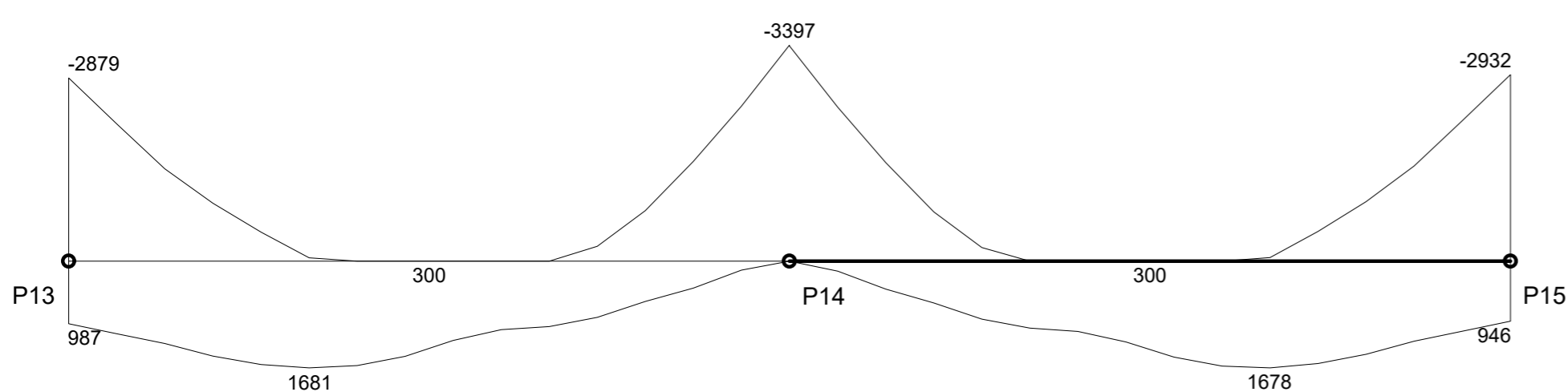
MOMENTOS FLETORES DE CÁLCULO (Mdx) [kgf.m;cm] VIGA: V3



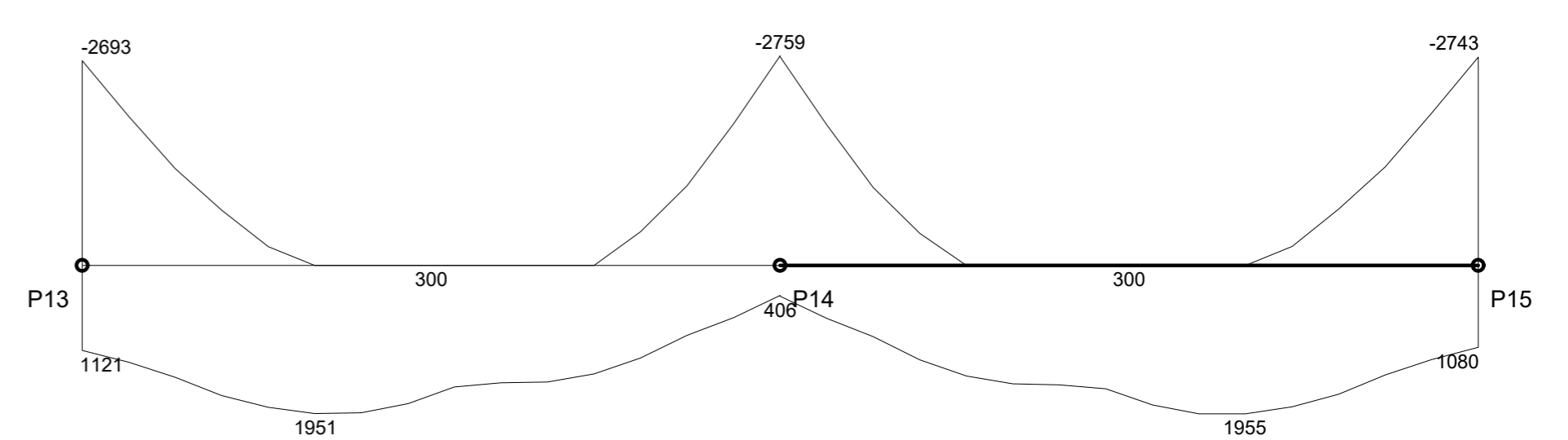
MOMENTOS FLETORES DE CÁLCULO (Mdx) [kgf.m;cm] VIGA: V3



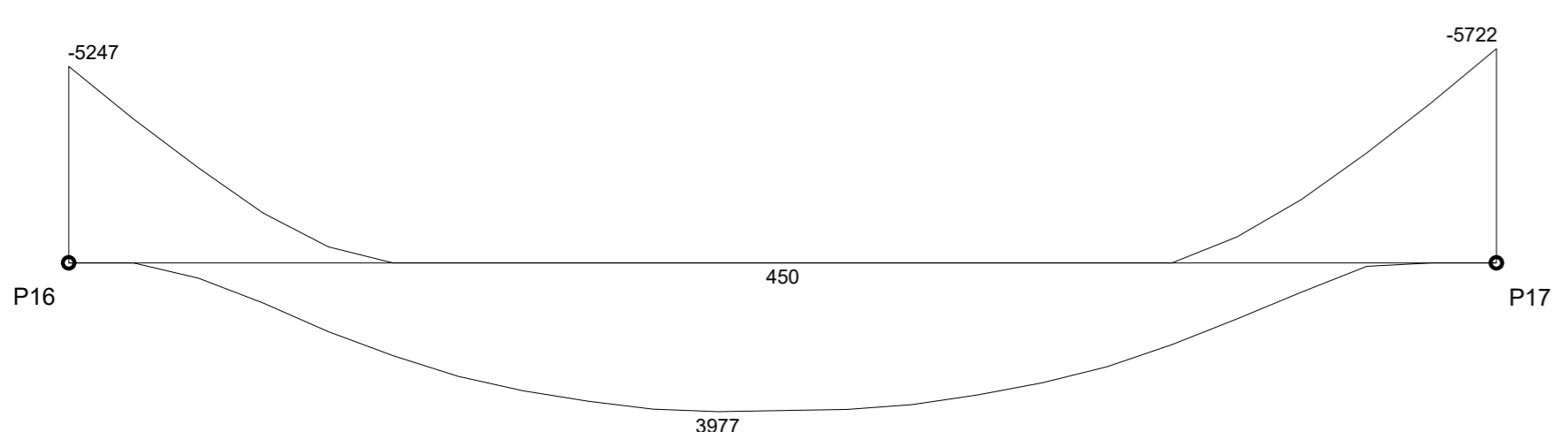
MOMENTOS FLETORES DE CÁLCULO (Mdx) [kgf.m;cm] VIGA: V4



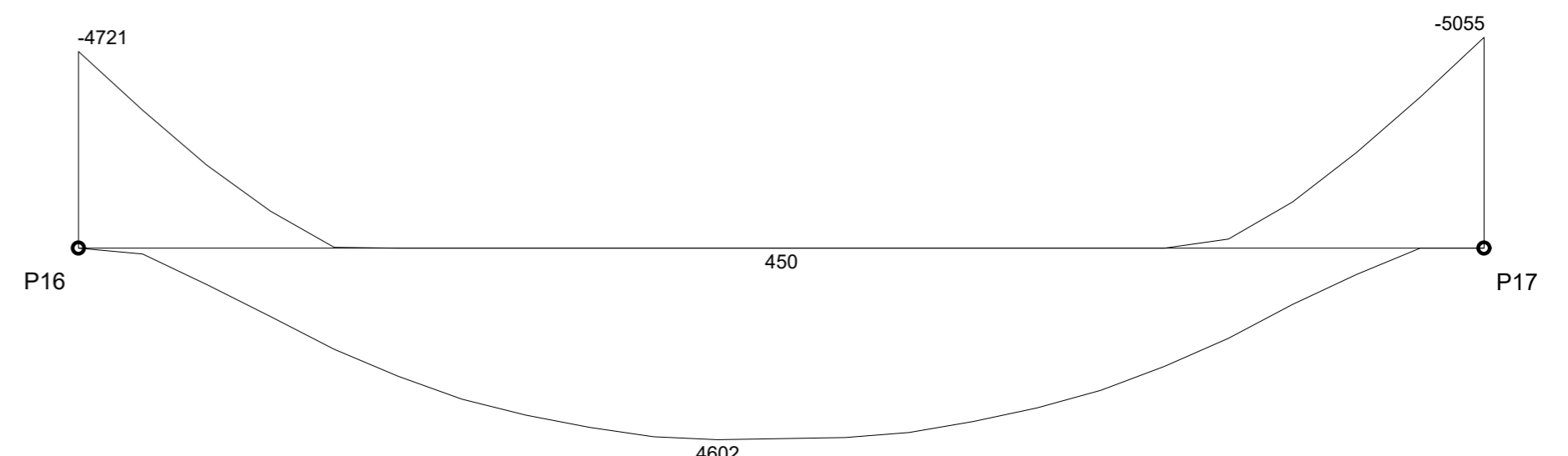
MOMENTOS FLETORES DE CÁLCULO (Mdx) [kgf.m;cm] VIGA: V4



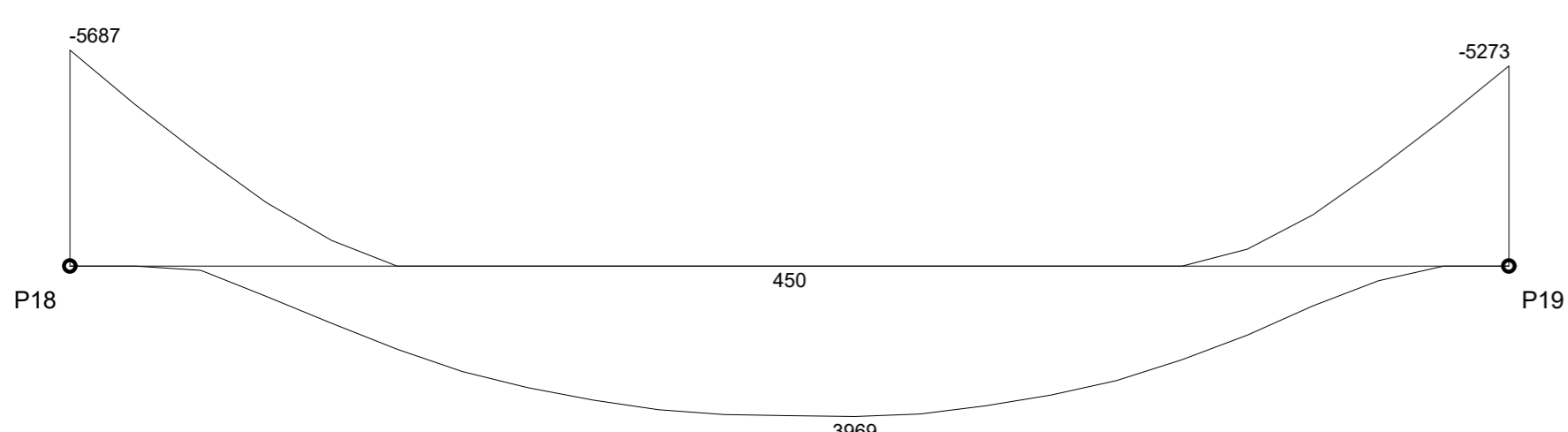
MOMENTOS FLETORES DE CÁLCULO (Mdx) [kgf.m;cm] VIGA: V5



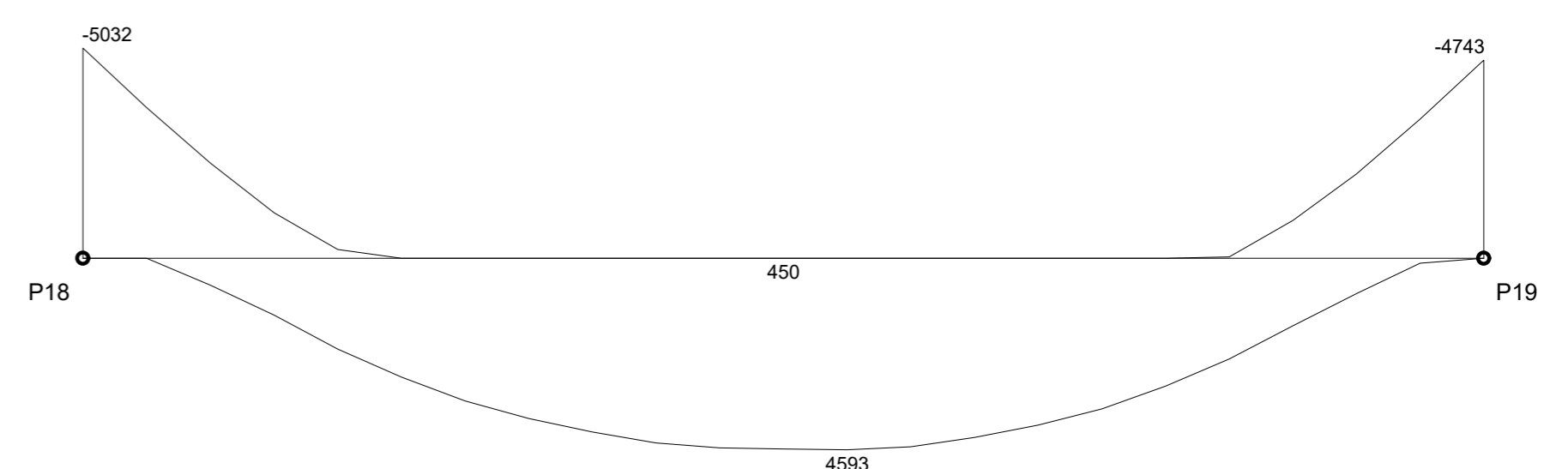
MOMENTOS FLETORES DE CÁLCULO (Mdx) [kgf.m;cm] VIGA: V5



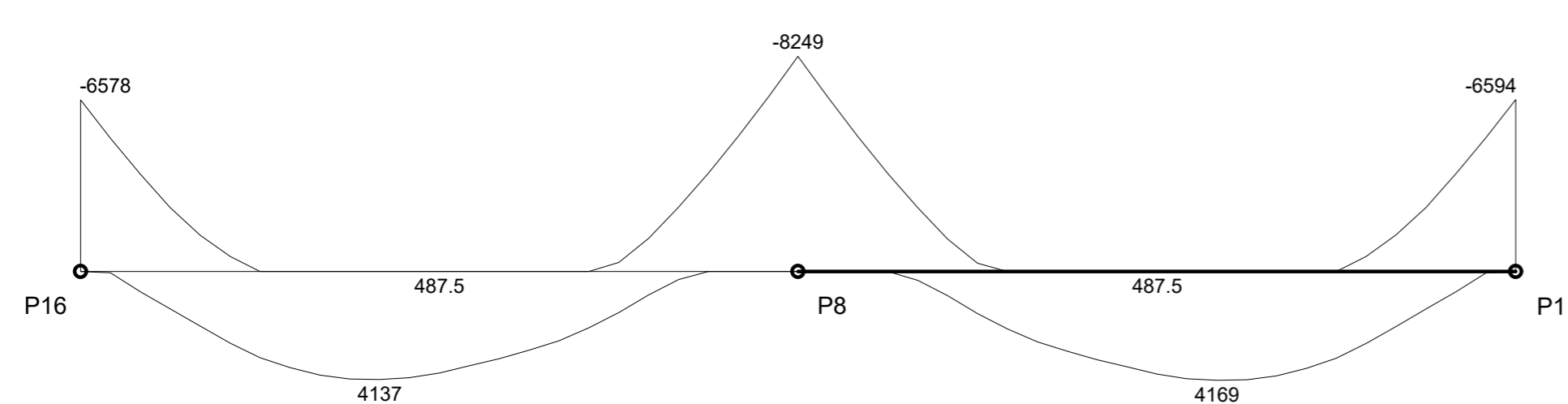
MOMENTOS FLETORES DE CÁLCULO (Mdx) [kgf.m;cm] VIGA: V6



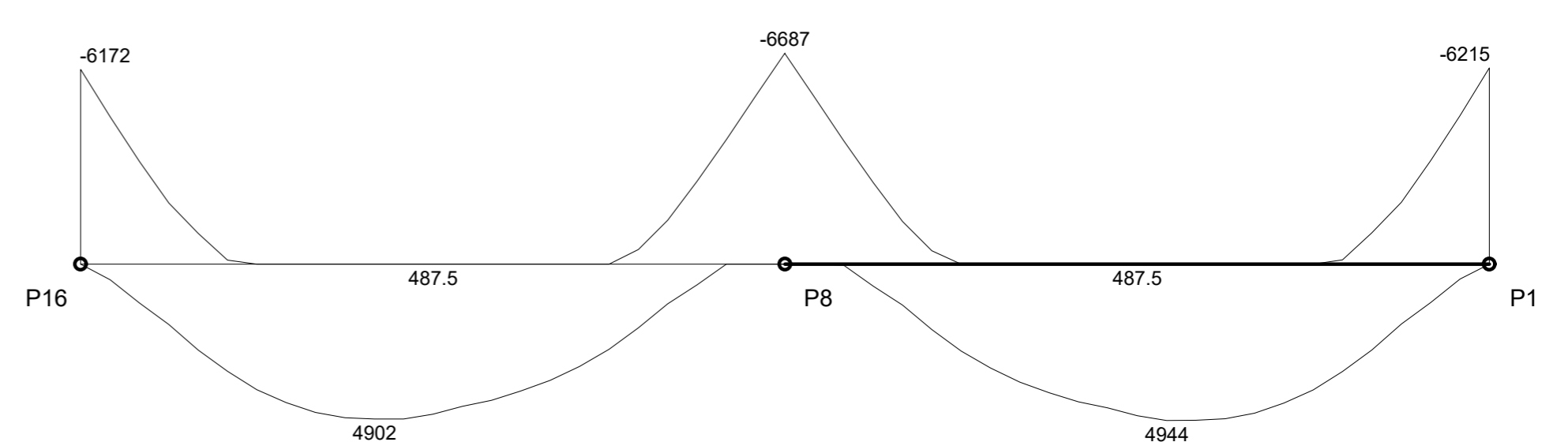
MOMENTOS FLETORES DE CÁLCULO (Mdx) [kgf.m;cm] VIGA: V6



MOMENTOS FLETORES DE CÁLCULO (Mdx) [kgf.m;cm] VIGA: V7



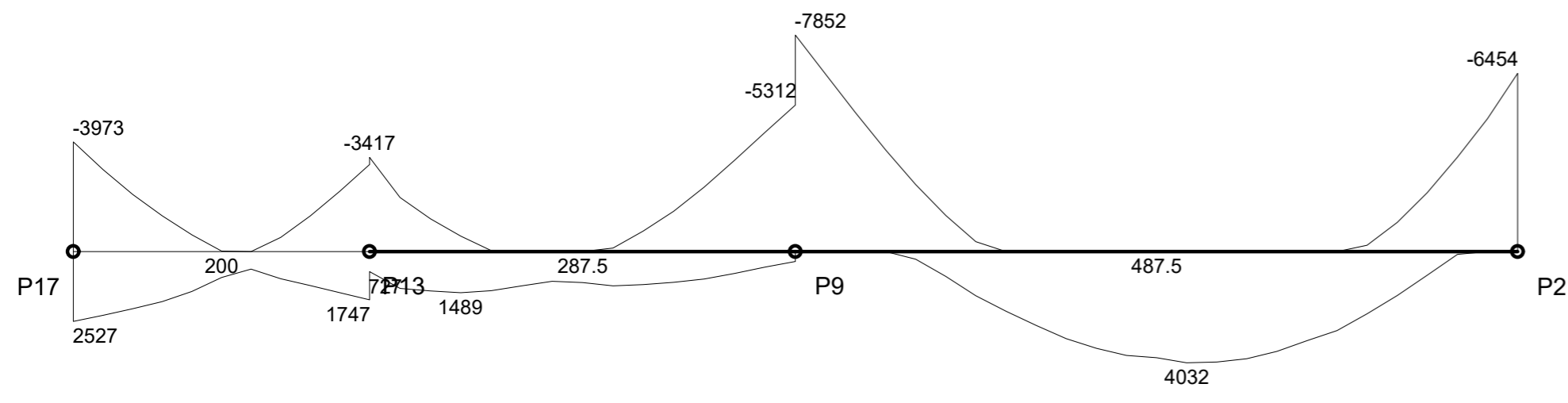
MOMENTOS FLETORES DE CÁLCULO (Mdx) [kgf.m;cm] VIGA: V7



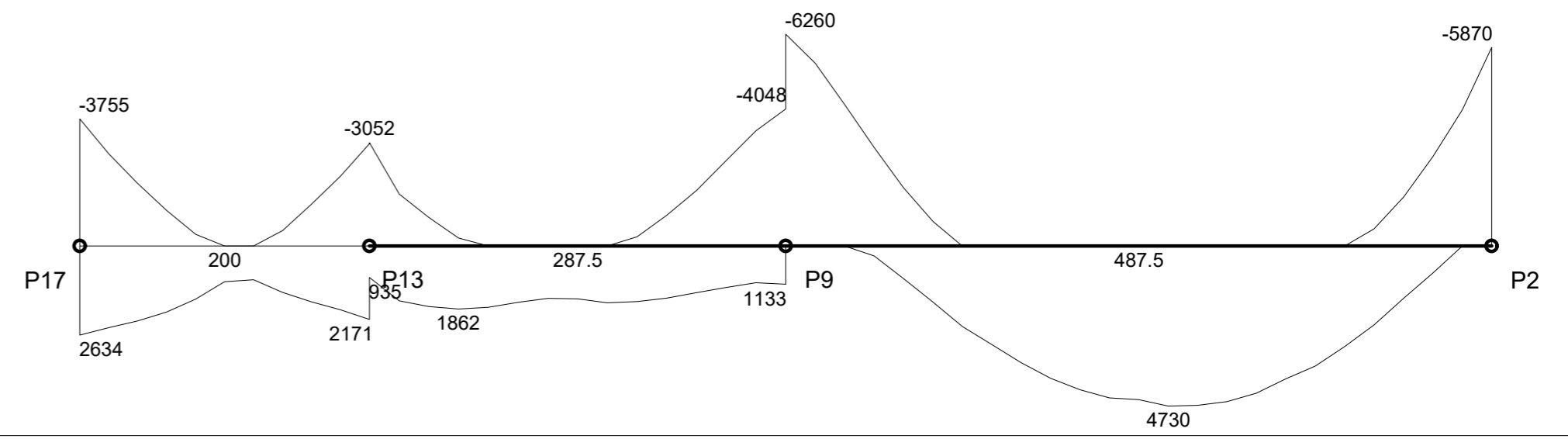
SITUAÇÃO LINEAR ELÁSTICA

SITUAÇÃO LINEAR COM REDISTRIBUIÇÃO

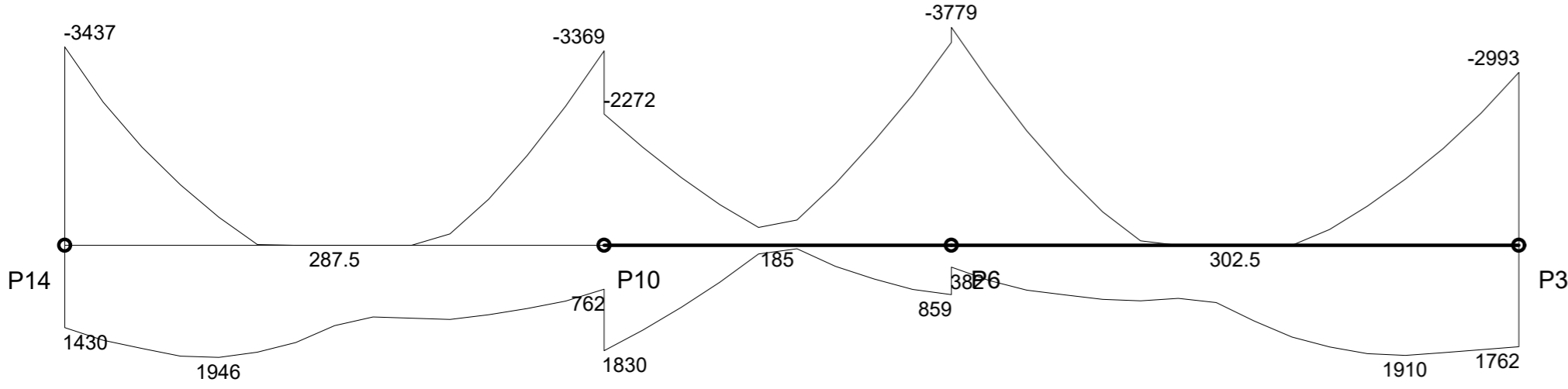
MOMENTOS FLETORES DE CÁLCULO (Mdx) [kgf.m;cm] VIGA: V8



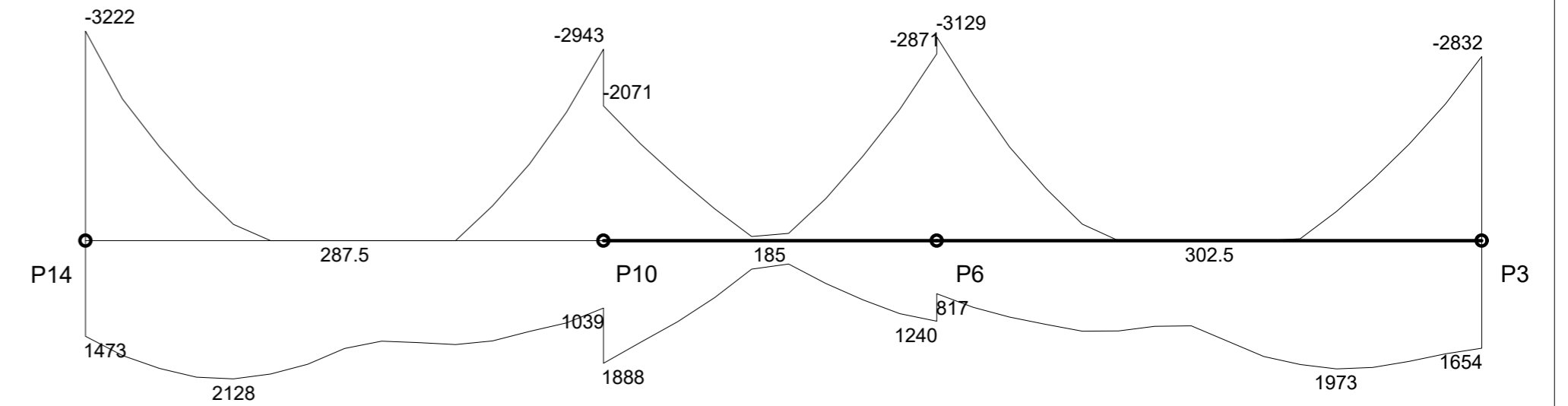
MOMENTOS FLETORES DE CÁLCULO (Mdx) [kgf.m;cm] VIGA: V8



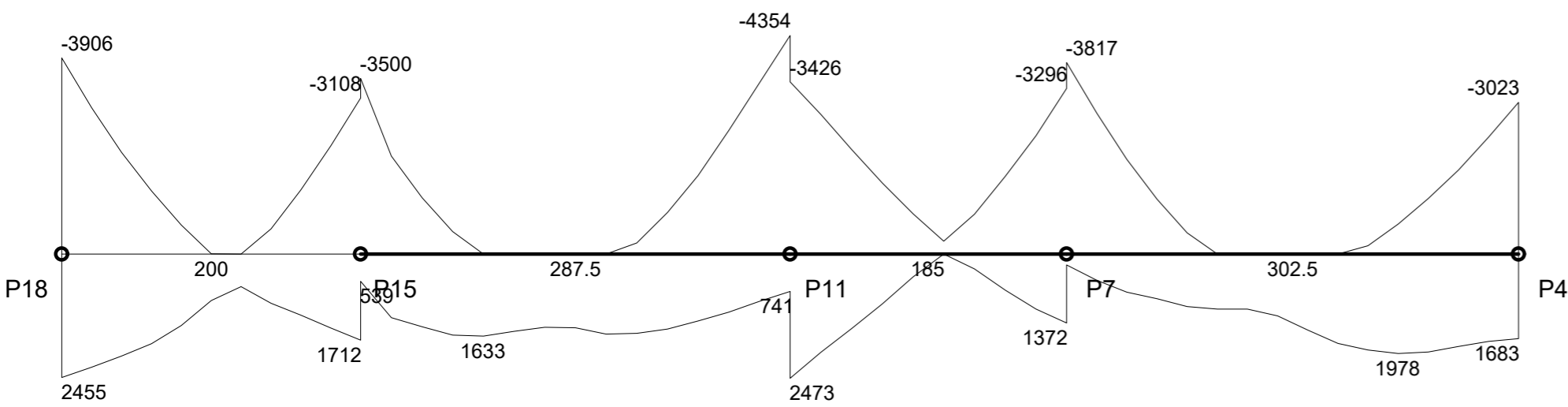
MOMENTOS FLETORES DE CÁLCULO (Mdx) [kgf.m;cm] VIGA: V9



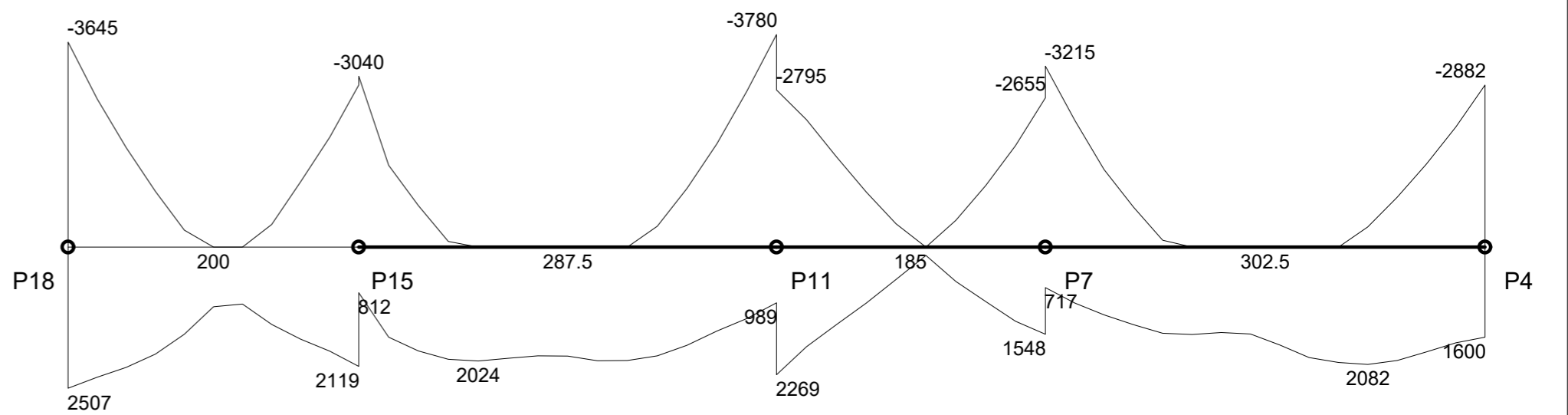
MOMENTOS FLETORES DE CÁLCULO (Mdx) [kgf.m;cm] VIGA: V9



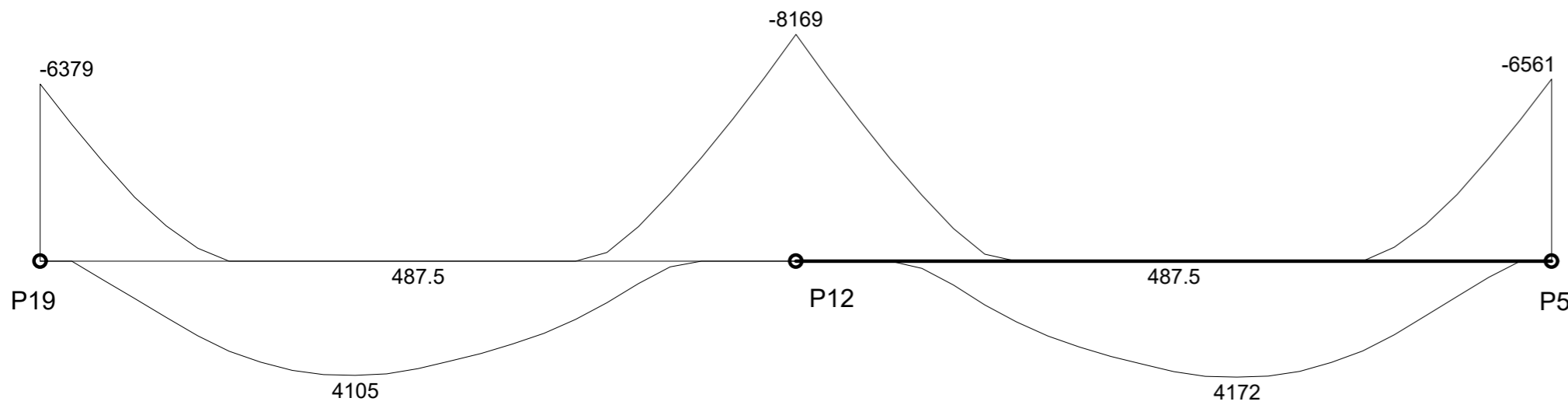
MOMENTOS FLETORES DE CÁLCULO (Mdx) [kgf.m;cm] VIGA: V10



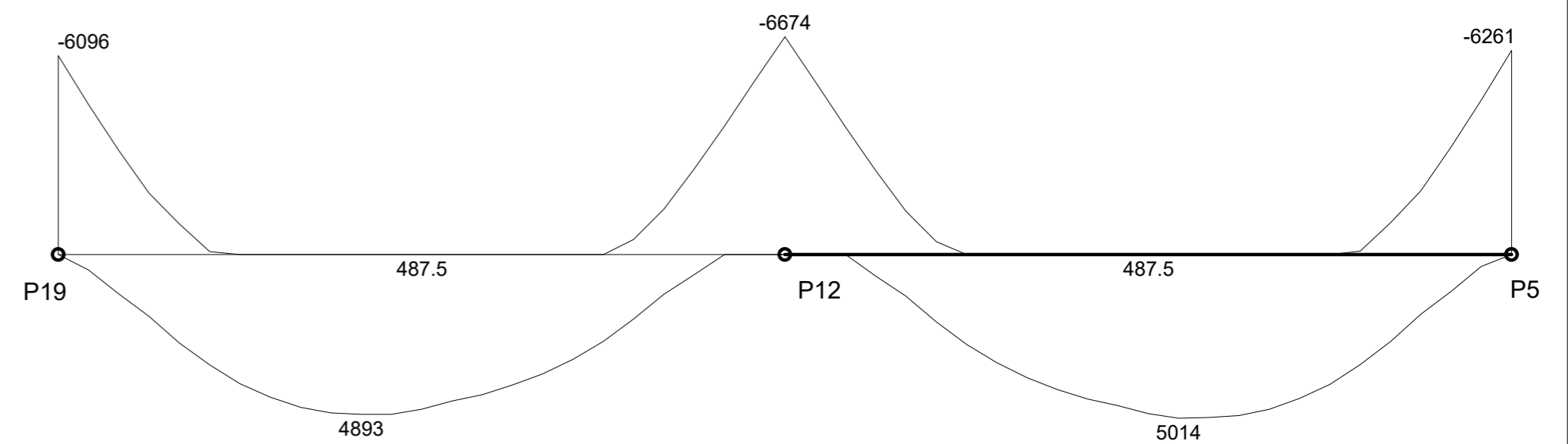
MOMENTOS FLETORES DE CÁLCULO (Mdx) [kgf.m;cm] VIGA: V10



MOMENTOS FLETORES DE CÁLCULO (Mdx) [kgf.m;cm] VIGA: V11



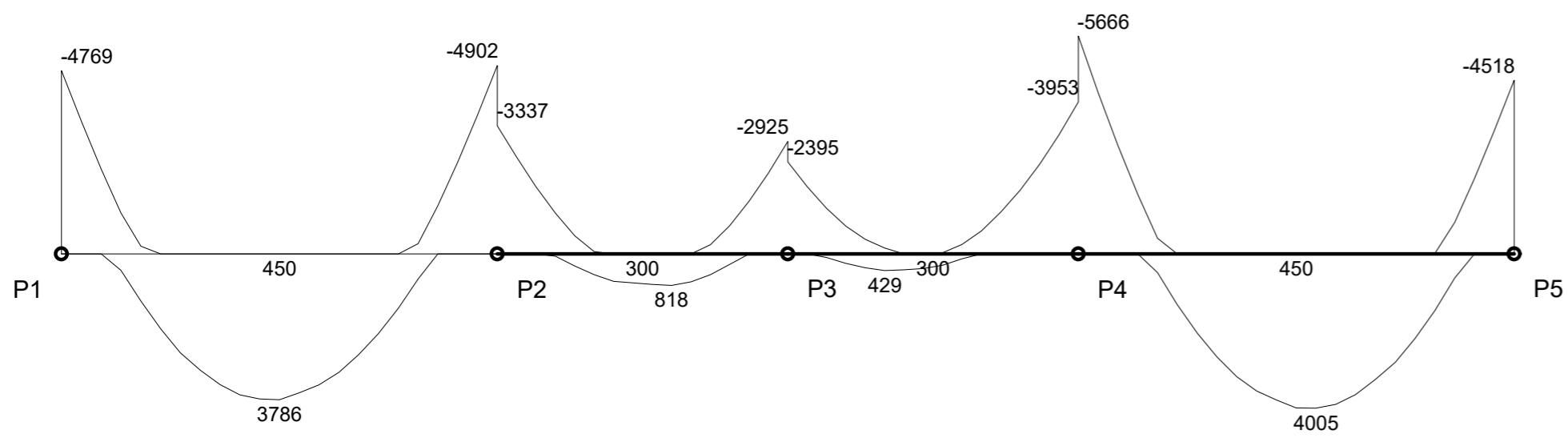
MOMENTOS FLETORES DE CÁLCULO (Mdx) [kgf.m;cm] VIGA: V11



PAVIMENTO TIPO 3

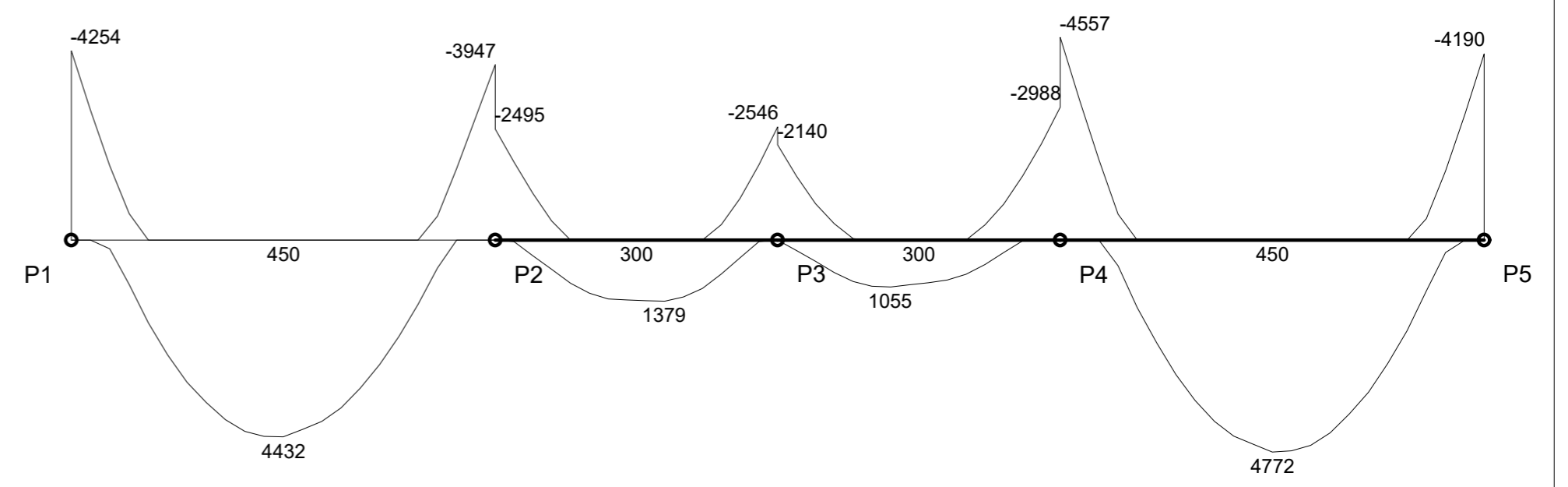
SITUAÇÃO LINEAR ELÁSTICA

MOMENTOS FLETORES DE CÁLCULO (Mdx) [kgf.m;cm] VIGA: V1

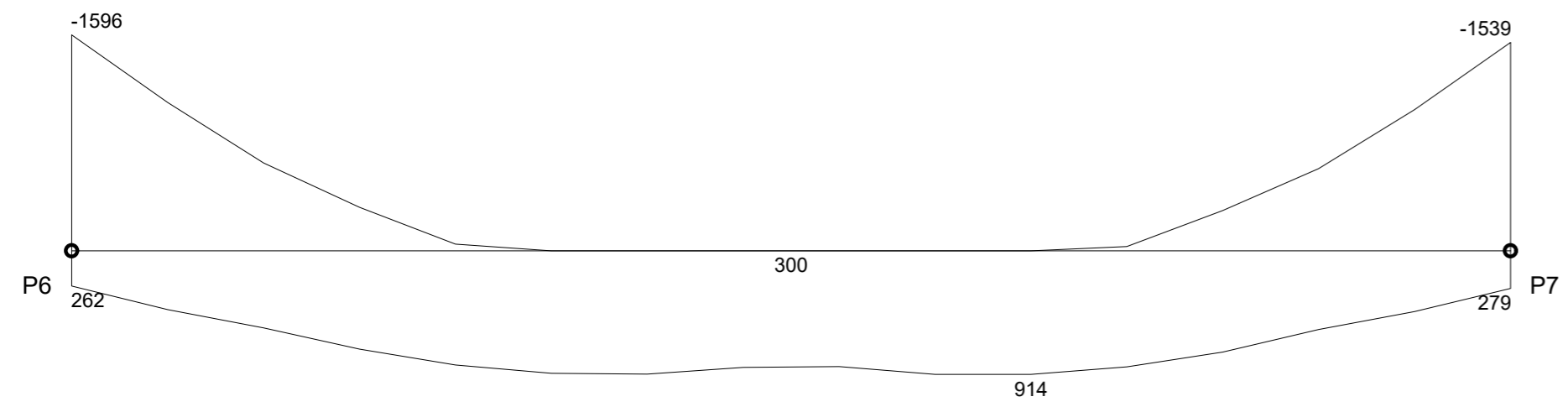


SITUAÇÃO LINEAR COM REDISTRIBUIÇÃO

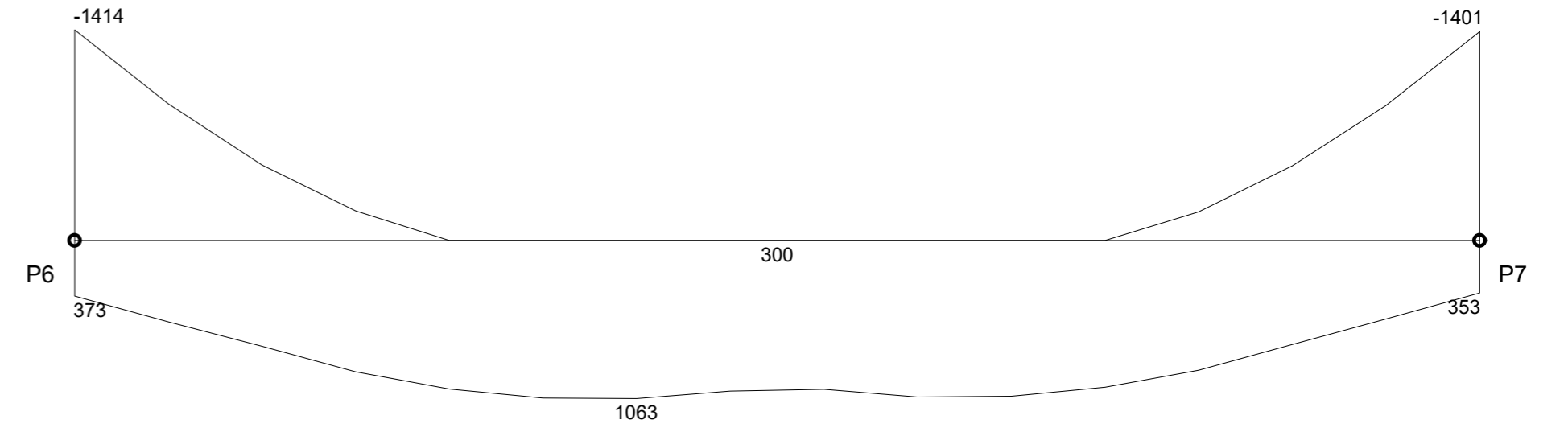
MOMENTOS FLETORES DE CÁLCULO (Mdx) [kgf.m;cm] VIGA: V1



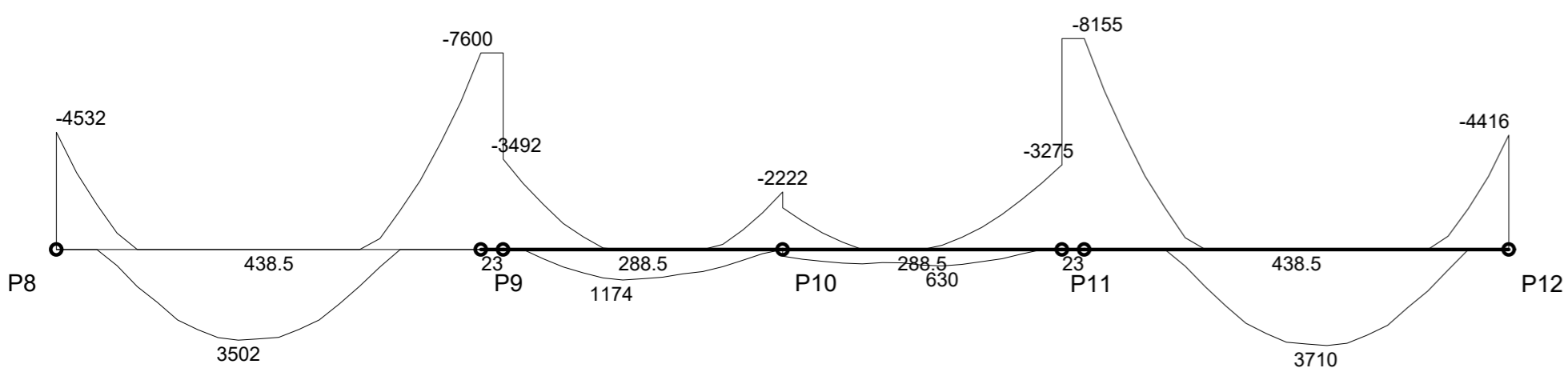
MOMENTOS FLETORES DE CÁLCULO (Mdx) [kgf.m;cm] VIGA: V2



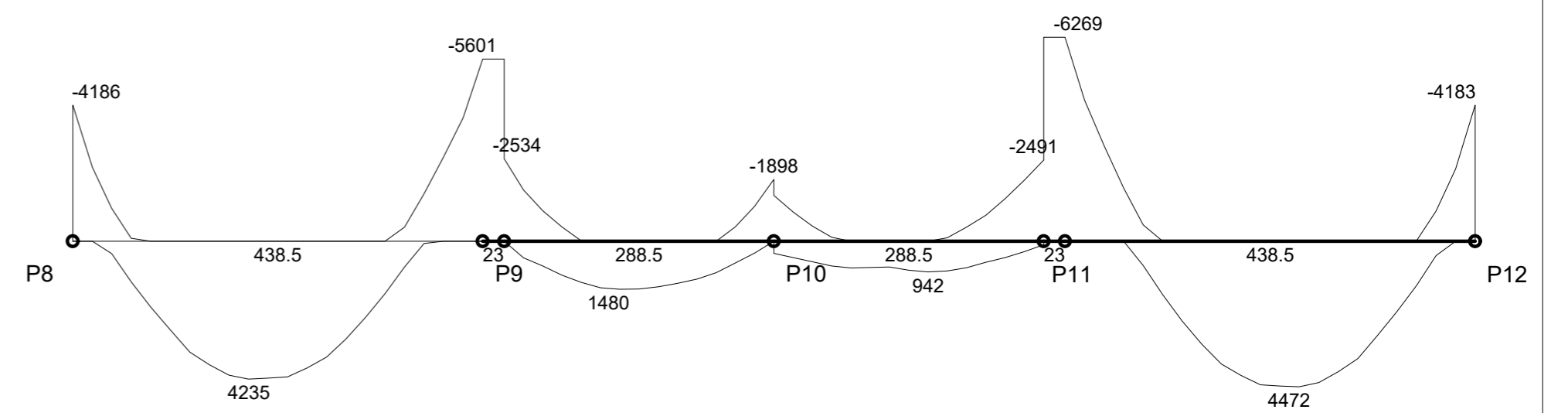
MOMENTOS FLETORES DE CÁLCULO (Mdx) [kgf.m;cm] VIGA: V2



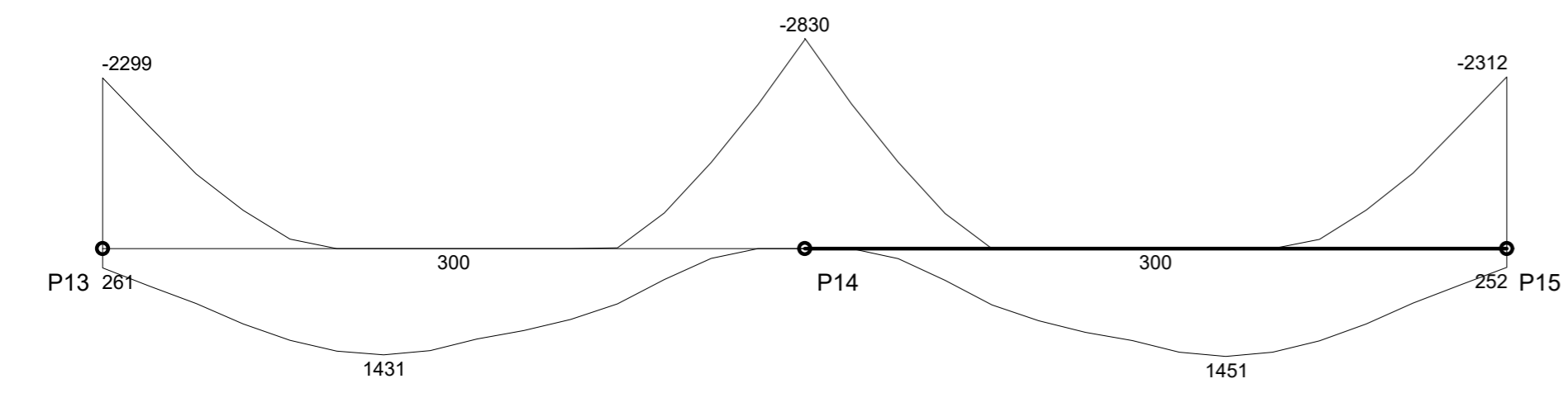
MOMENTOS FLETORES DE CÁLCULO (Mdx) [kgf.m;cm] VIGA: V3



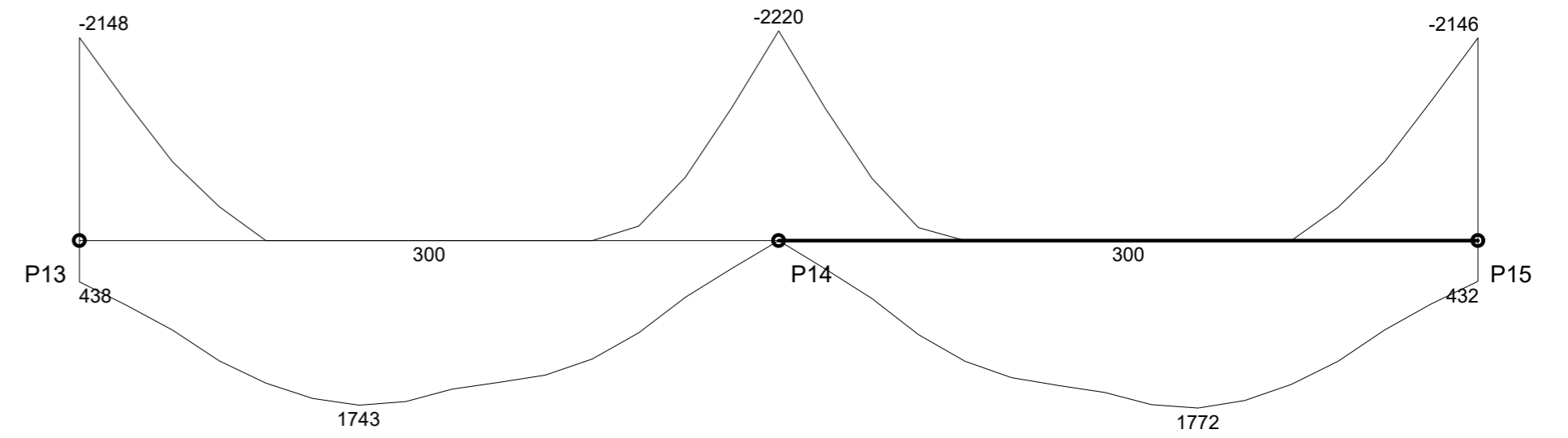
MOMENTOS FLETORES DE CÁLCULO (Mdx) [kgf.m;cm] VIGA: V3



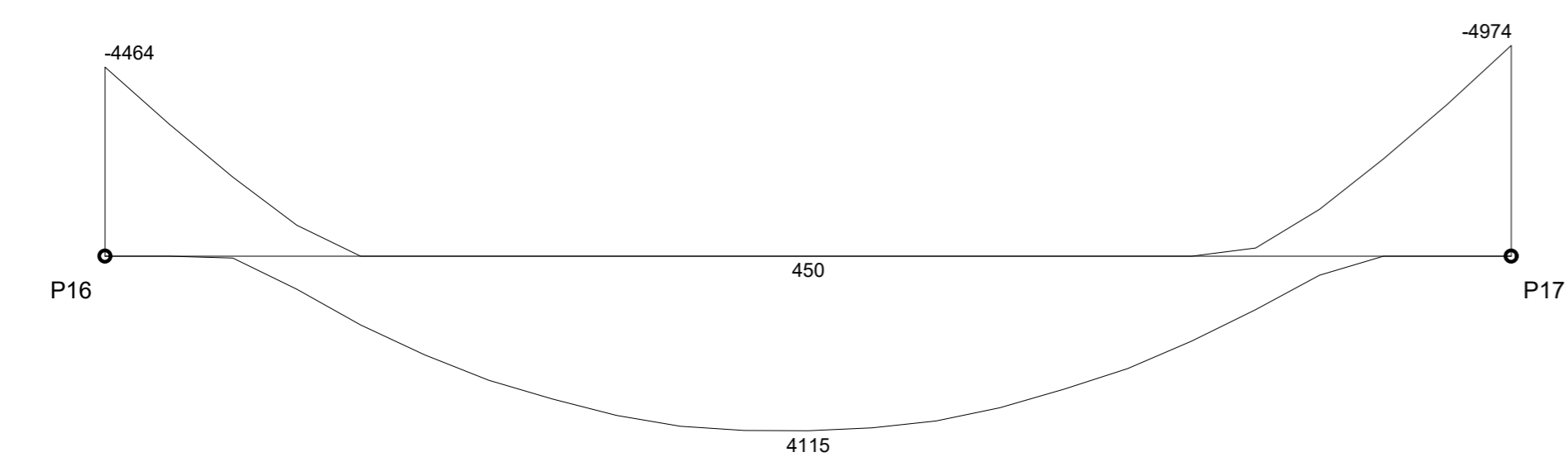
MOMENTOS FLETORES DE CÁLCULO (Mdx) [kgf.m;cm] VIGA: V4



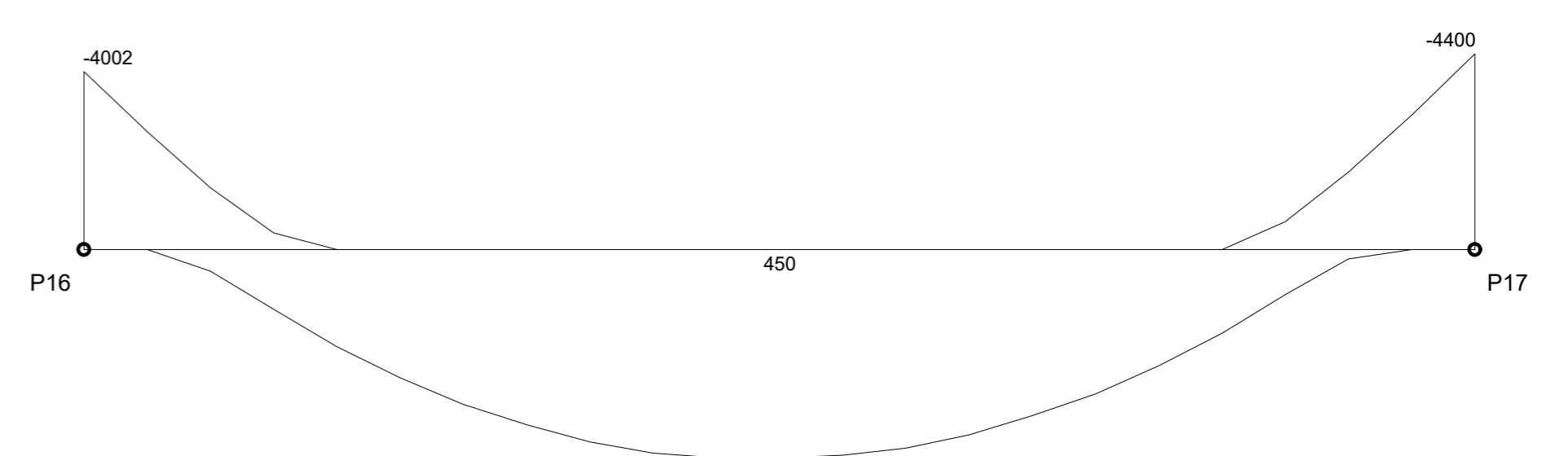
MOMENTOS FLETORES DE CÁLCULO (Mdx) [kgf.m;cm] VIGA: V4



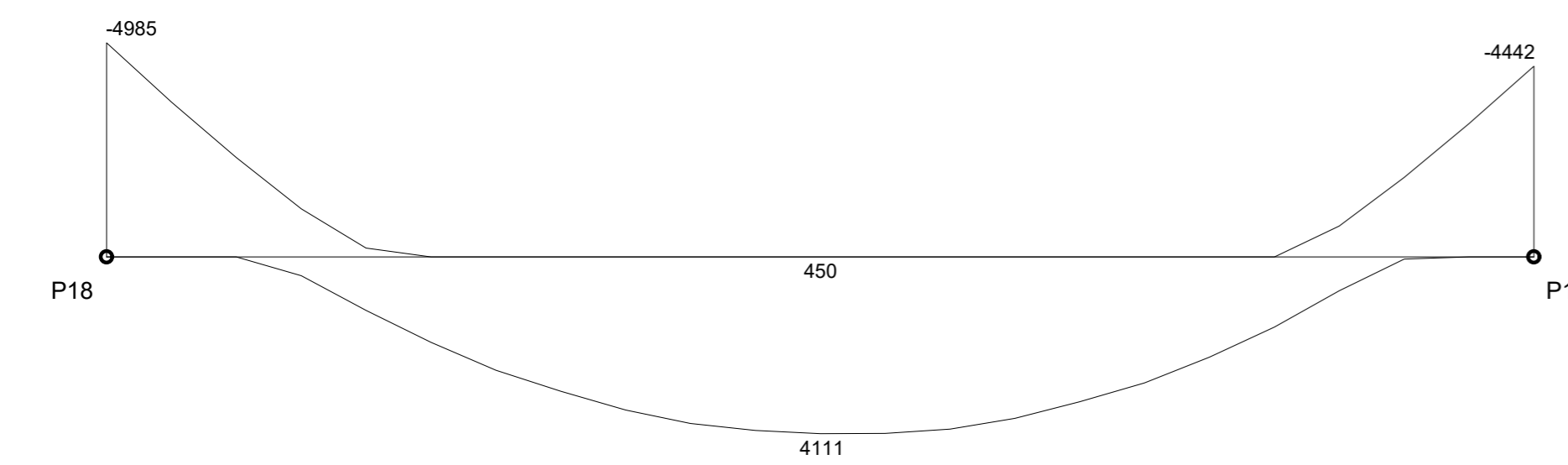
MOMENTOS FLETORES DE CÁLCULO (Mdx) [kgf.m;cm] VIGA: V5



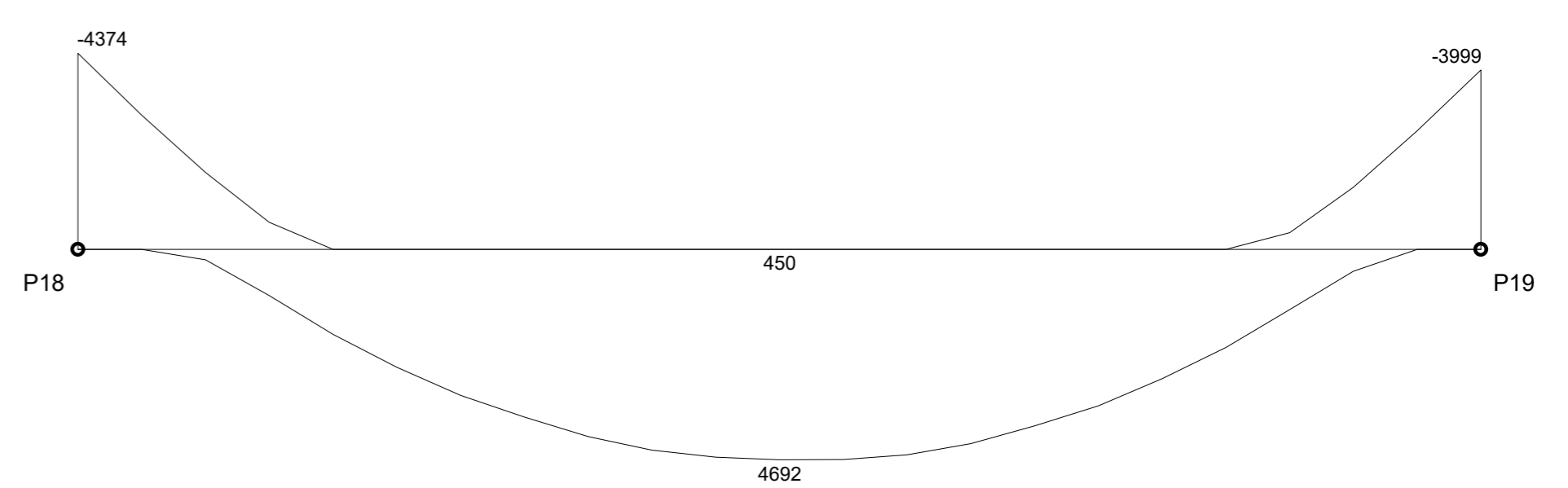
MOMENTOS FLETORES DE CÁLCULO (Mdx) [kgf.m;cm] VIGA: V5



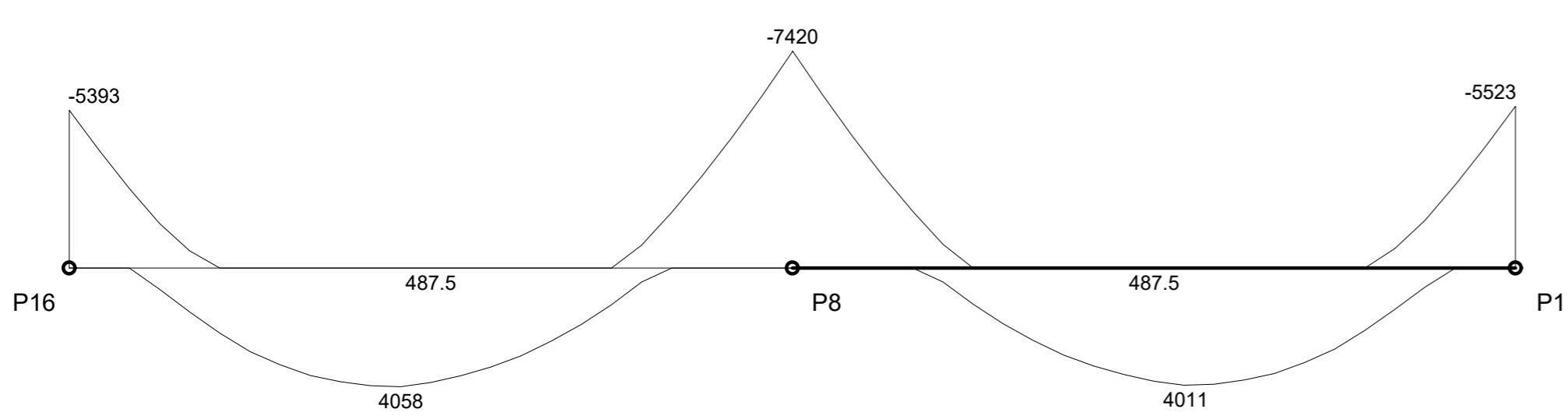
MOMENTOS FLETORES DE CÁLCULO (Mdx) [kgf.m;cm] VIGA: V6



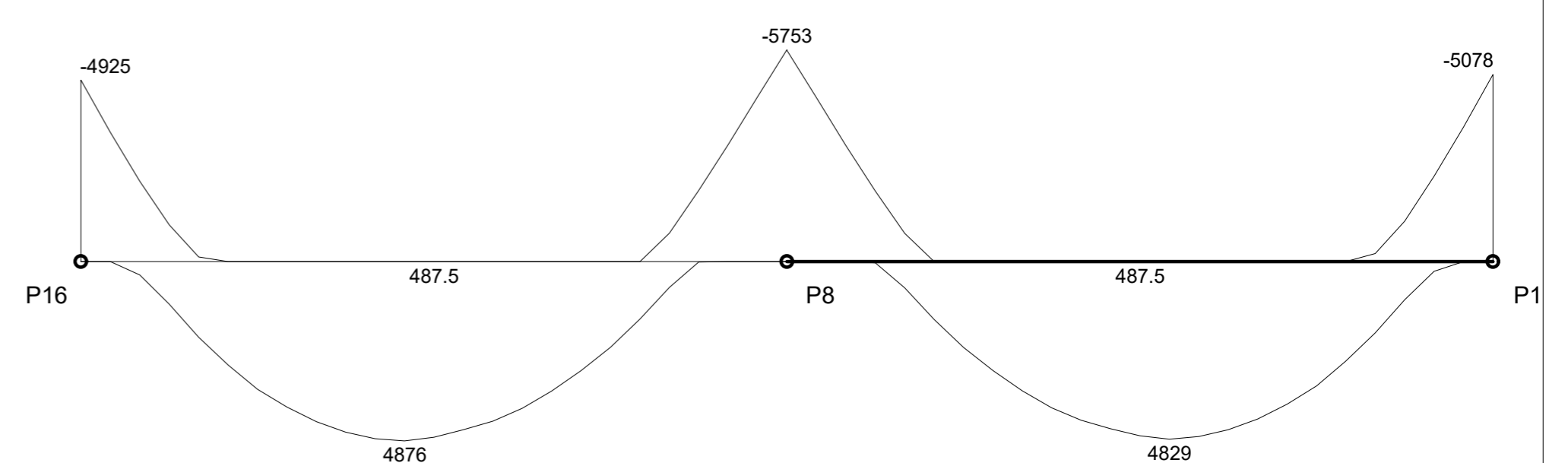
MOMENTOS FLETORES DE CÁLCULO (Mdx) [kgf.m;cm] VIGA: V6



MOMENTOS FLETORES DE CÁLCULO (Mdx) [kgf.m;cm] VIGA: V7



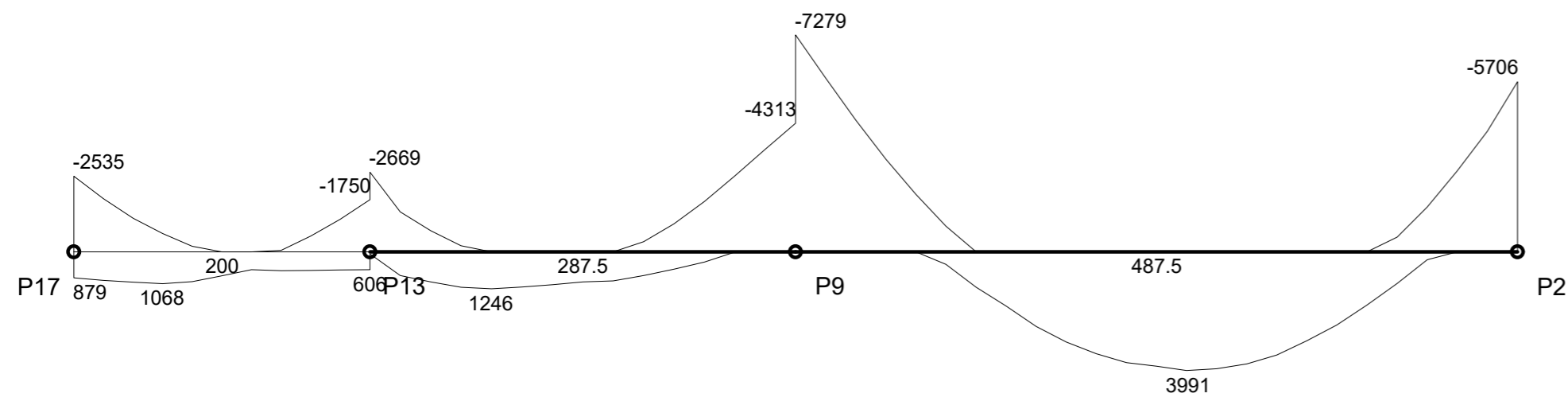
MOMENTOS FLETORES DE CÁLCULO (Mdx) [kgf.m;cm] VIGA: V7



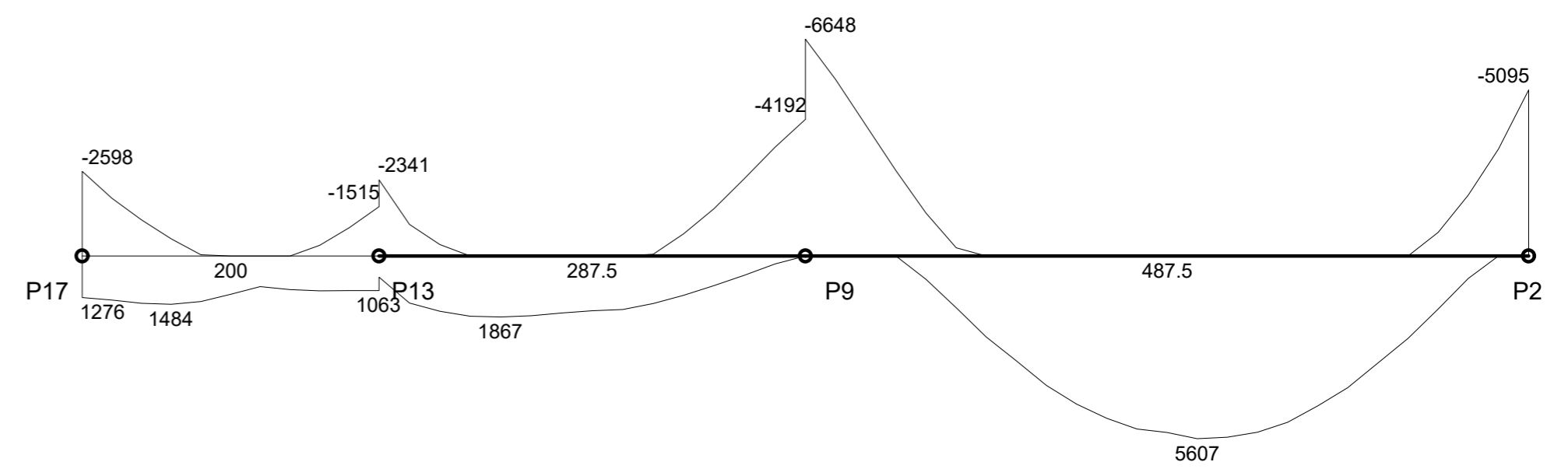
SITUAÇÃO LINEAR ELÁSTICA

SITUAÇÃO LINEAR COM REDISTRIBUIÇÃO

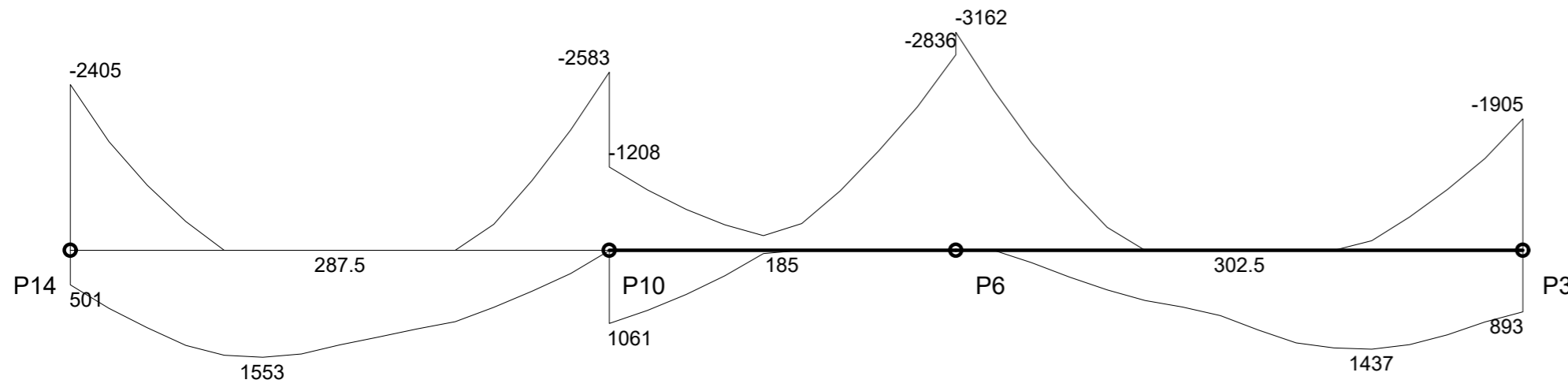
MOMENTOS FLETORES DE CÁLCULO (Mdx) [kgf.m;cm] VIGA: V8



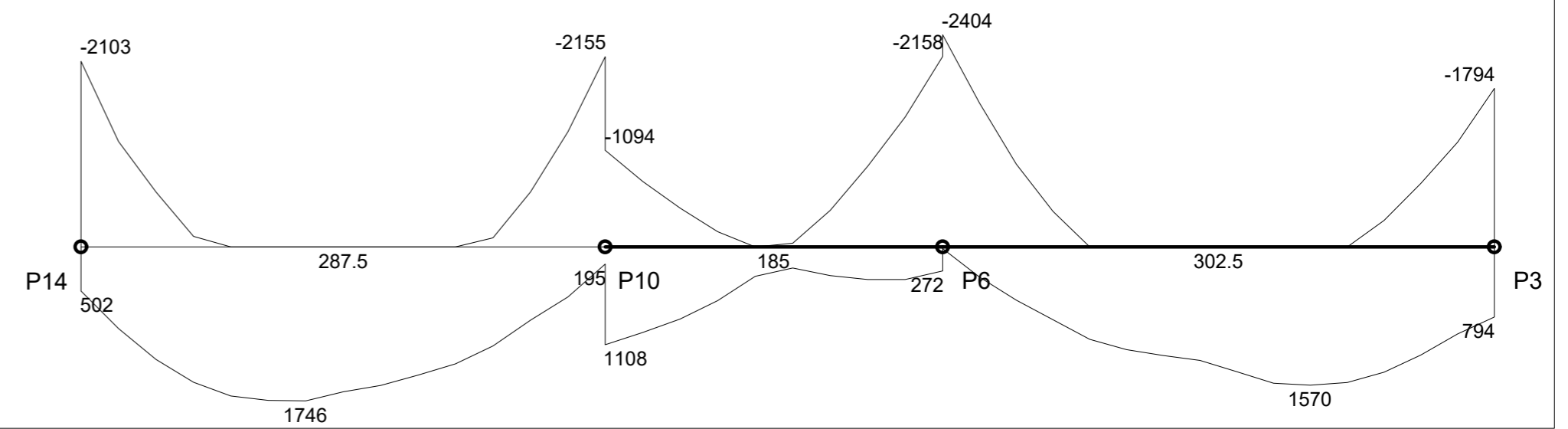
MOMENTOS FLETORES DE CÁLCULO (Mdx) [kgf.m;cm] VIGA: V8



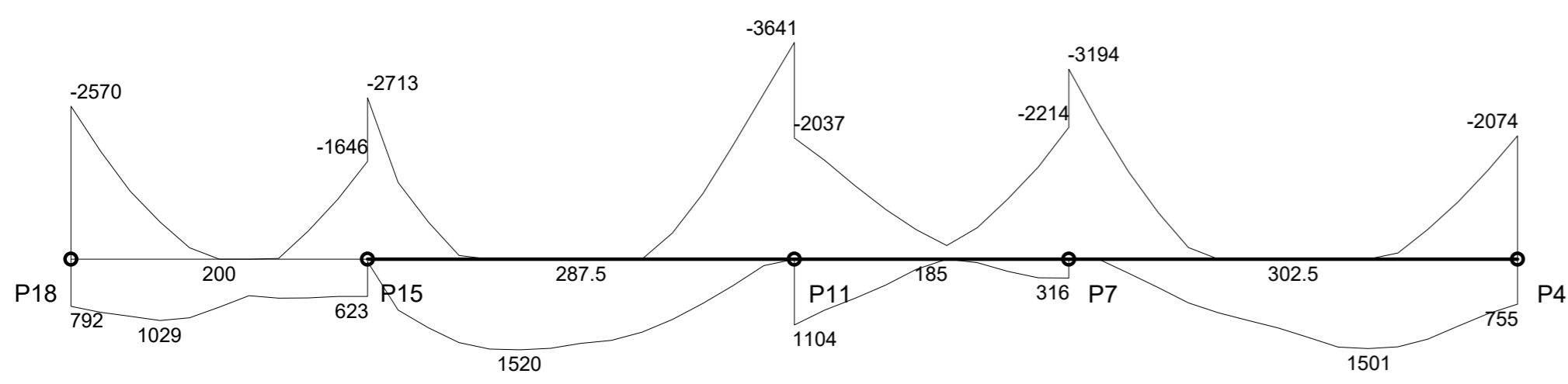
MOMENTOS FLETORES DE CÁLCULO (Mdx) [kgf.m;cm] VIGA: V9



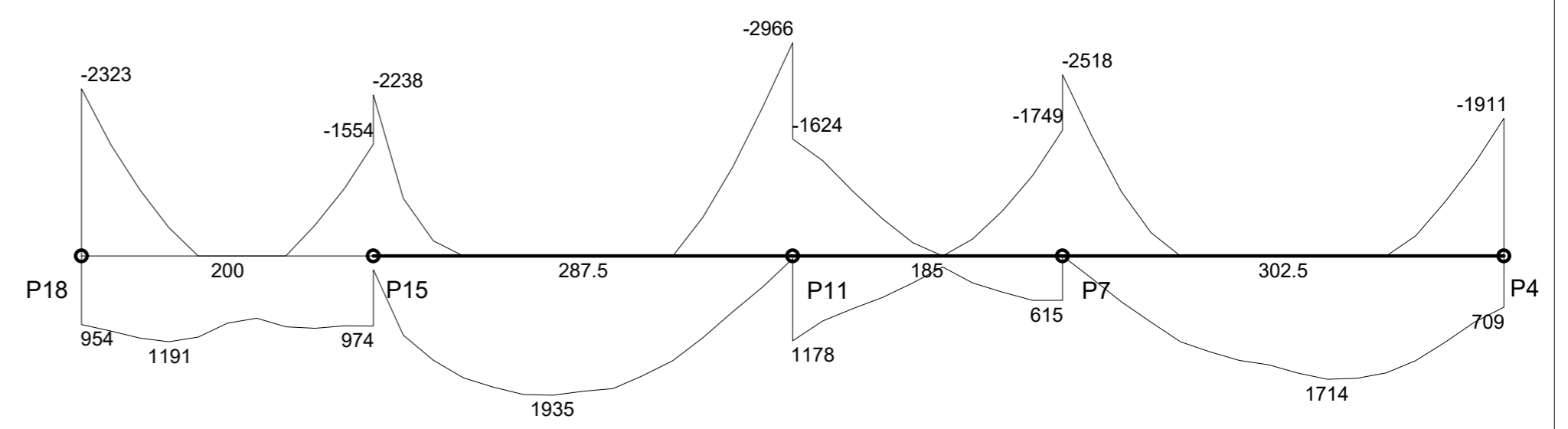
MOMENTOS FLETORES DE CÁLCULO (Mdx) [kgf.m;cm] VIGA: V9



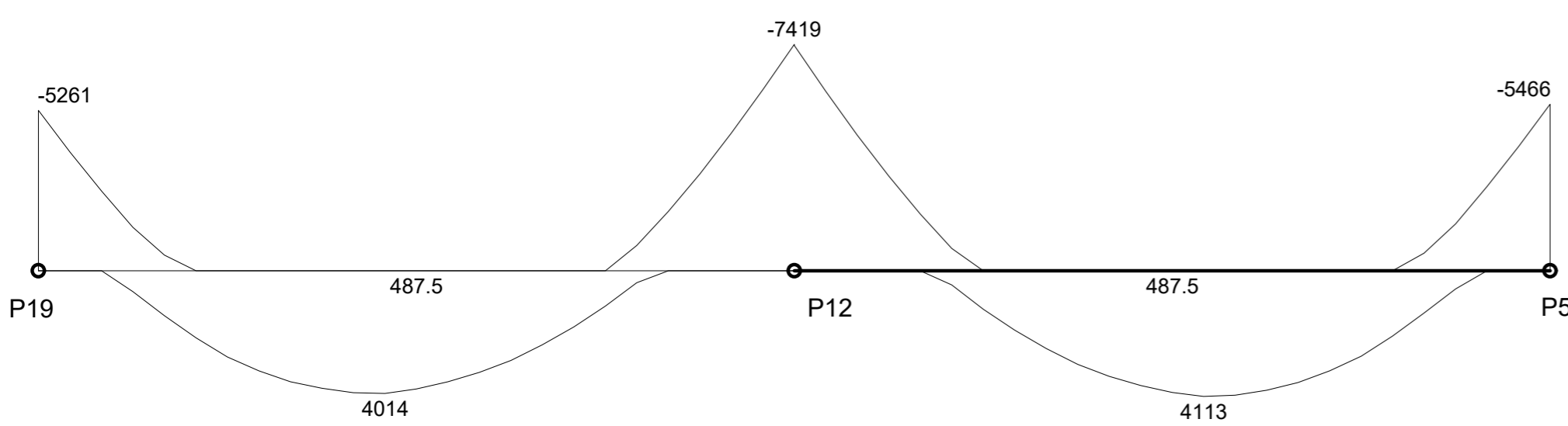
MOMENTOS FLETORES DE CÁLCULO (Mdx) [kgf.m;cm] VIGA: V10



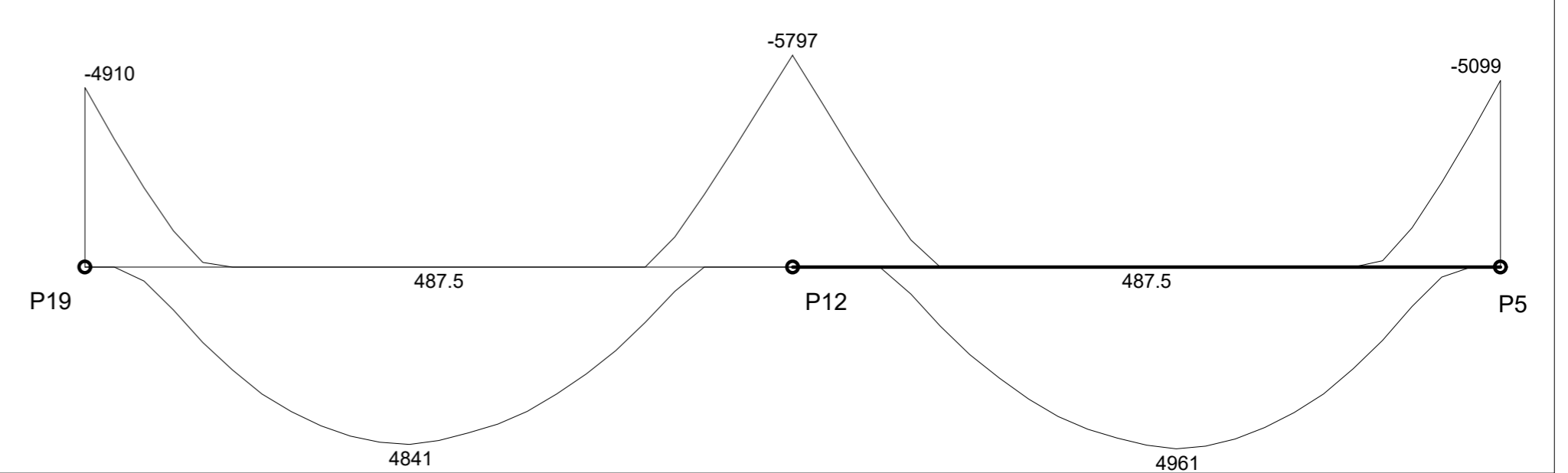
MOMENTOS FLETORES DE CÁLCULO (Mdx) [kgf.m;cm] VIGA: V10



MOMENTOS FLETORES DE CÁLCULO (Mdx) [kgf.m;cm] VIGA: V11



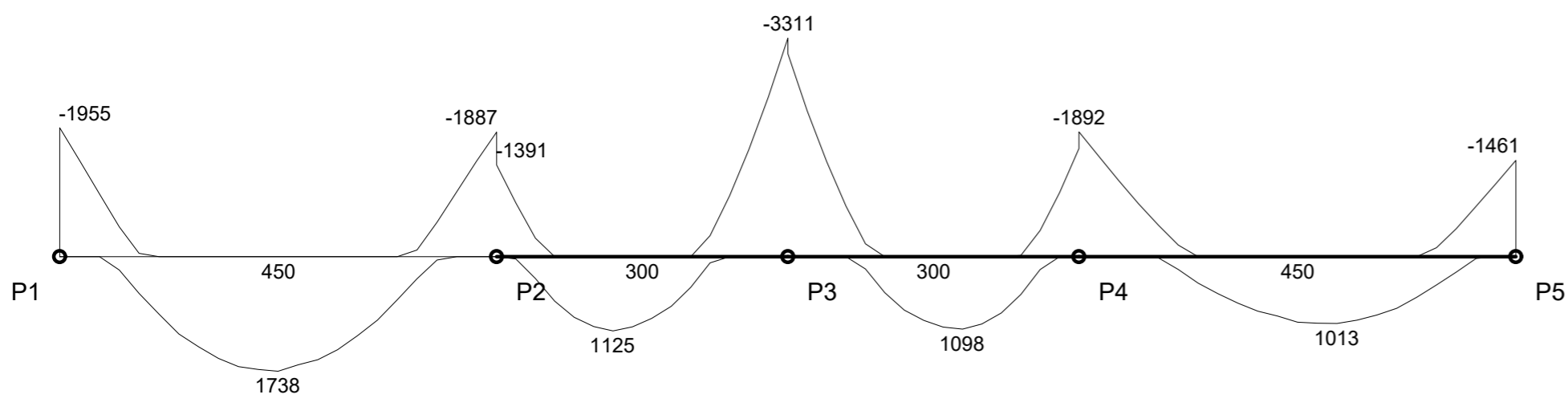
MOMENTOS FLETORES DE CÁLCULO (Mdx) [kgf.m;cm] VIGA: V11



PAVIMENTO COBERTURA

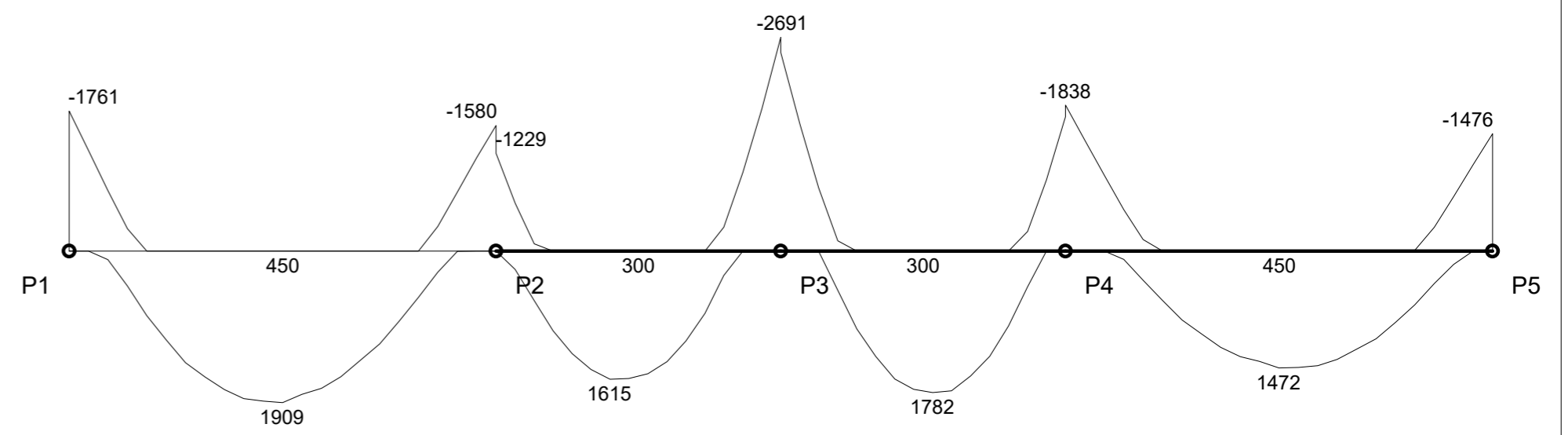
SITUAÇÃO LINEAR ELÁSTICA

MOMENTOS FLETORES DE CÁLCULO (Mdx) [kgf.m;cm] VIGA: V1

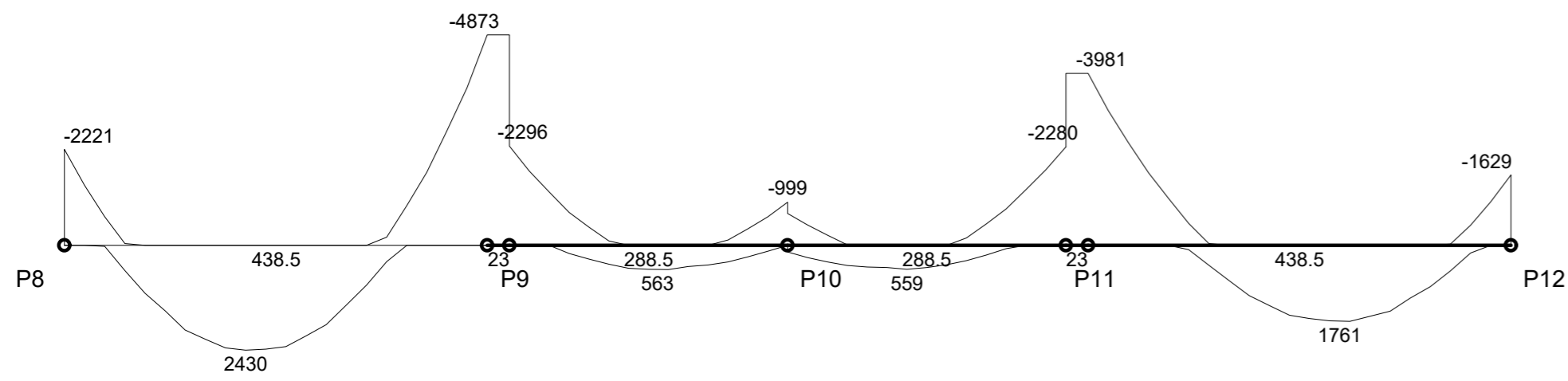


SITUAÇÃO LINEAR COM REDISTRIBUIÇÃO

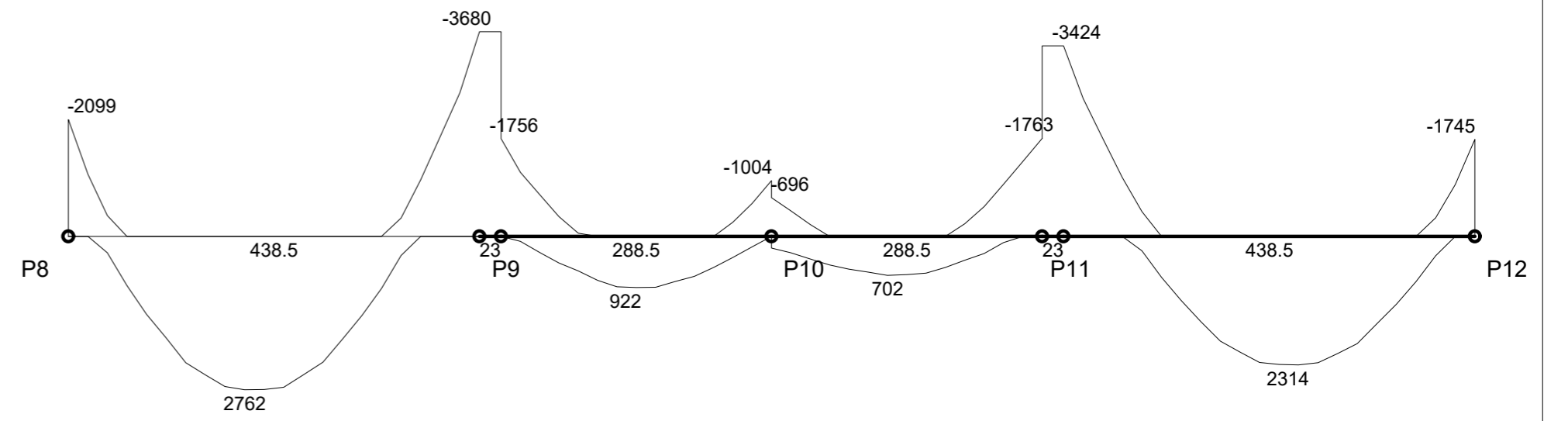
MOMENTOS FLETORES DE CÁLCULO (Mdx) [kgf.m;cm] VIGA: V1



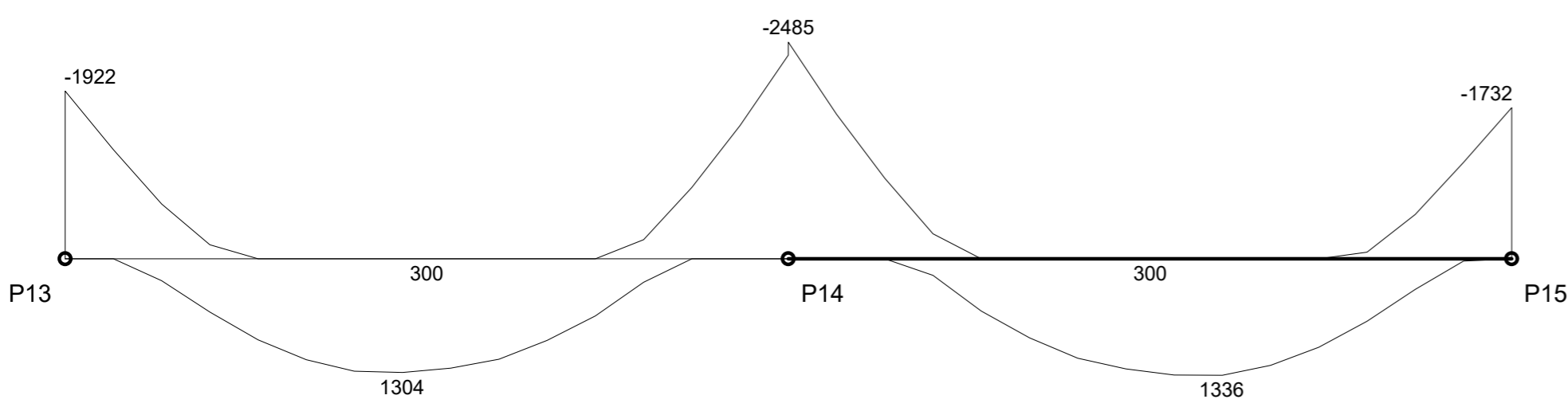
MOMENTOS FLETORES DE CÁLCULO (Mdx) [kgf.m;cm] VIGA: V2



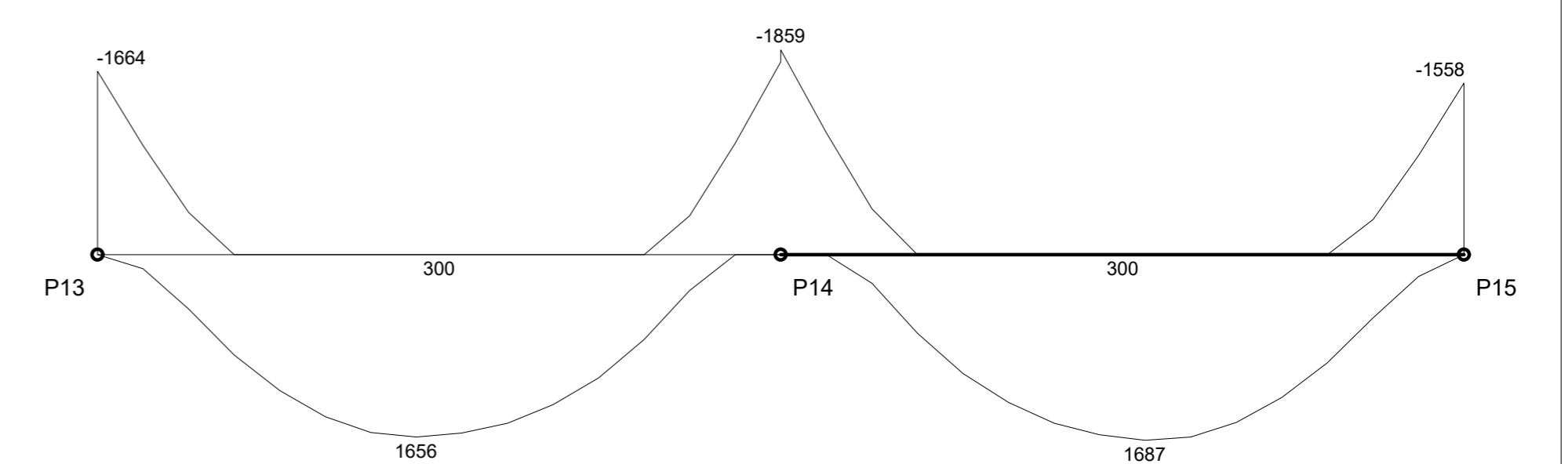
MOMENTOS FLETORES DE CÁLCULO (Mdx) [kgf.m;cm] VIGA: V2



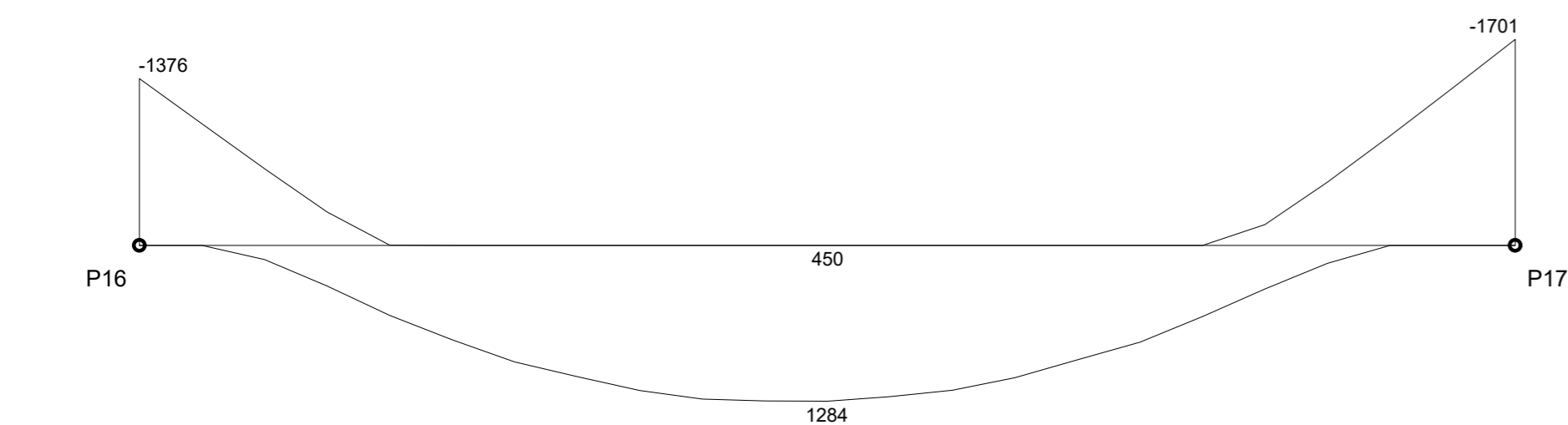
MOMENTOS FLETORES DE CÁLCULO (Mdx) [kgf.m;cm] VIGA: V3



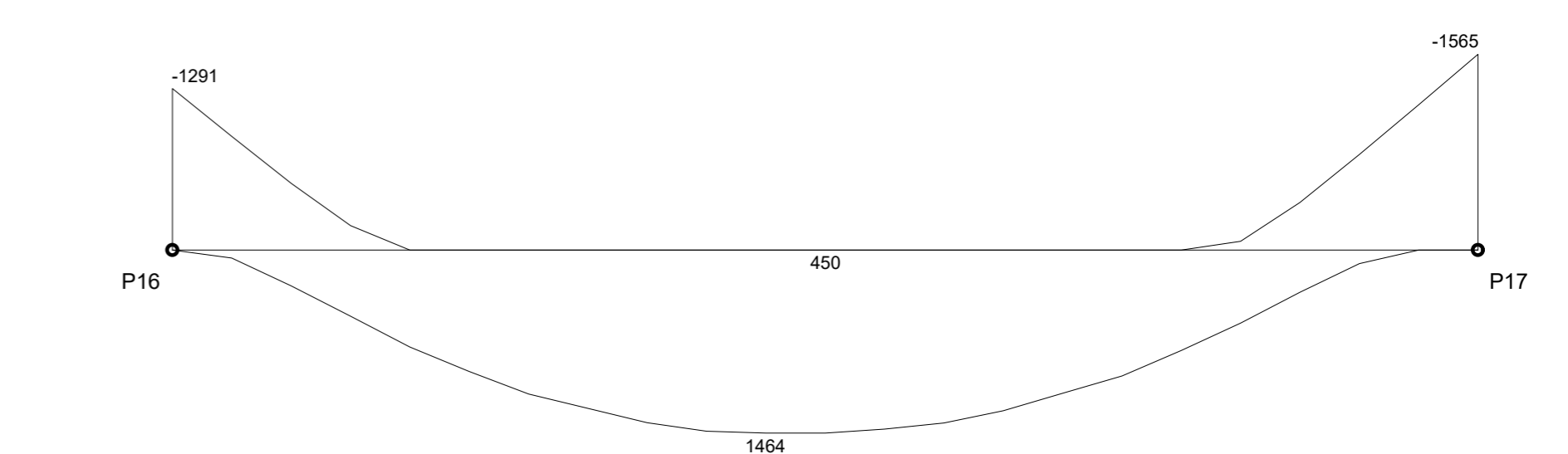
MOMENTOS FLETORES DE CÁLCULO (Mdx) [kgf.m;cm] VIGA: V3



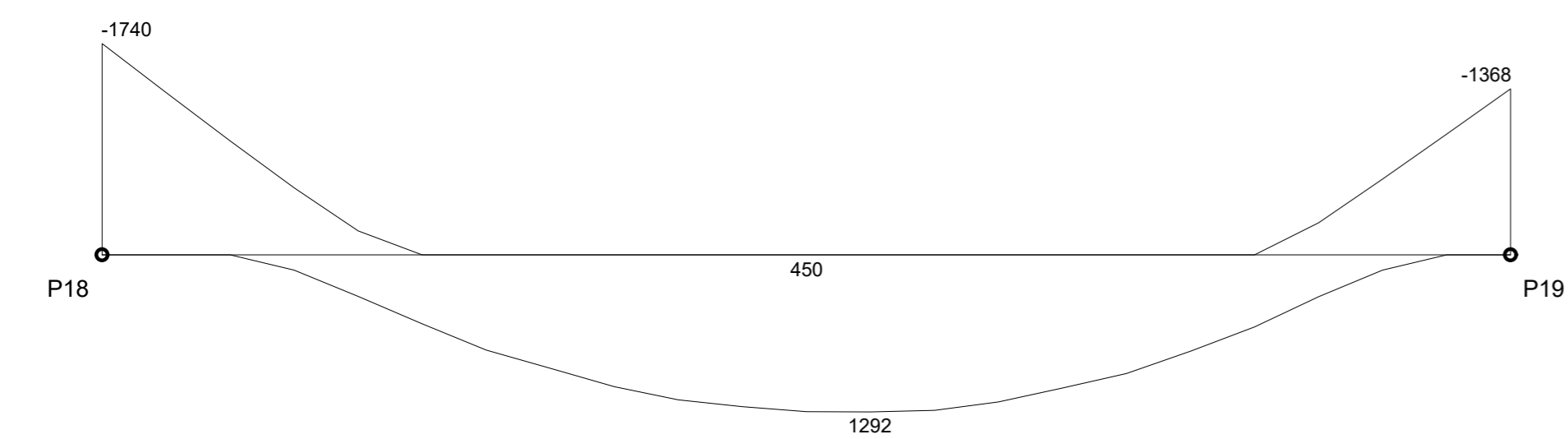
MOMENTOS FLETORES DE CÁLCULO (Mdx) [kgf.m;cm] VIGA: V4



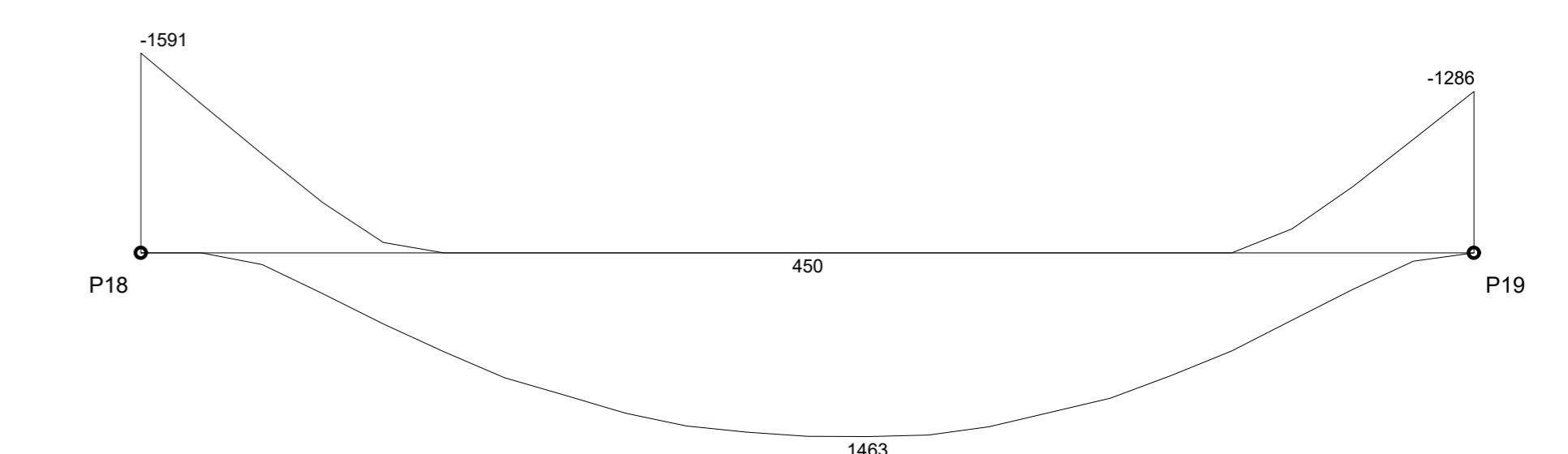
MOMENTOS FLETORES DE CÁLCULO (Mdx) [kgf.m;cm] VIGA: V4



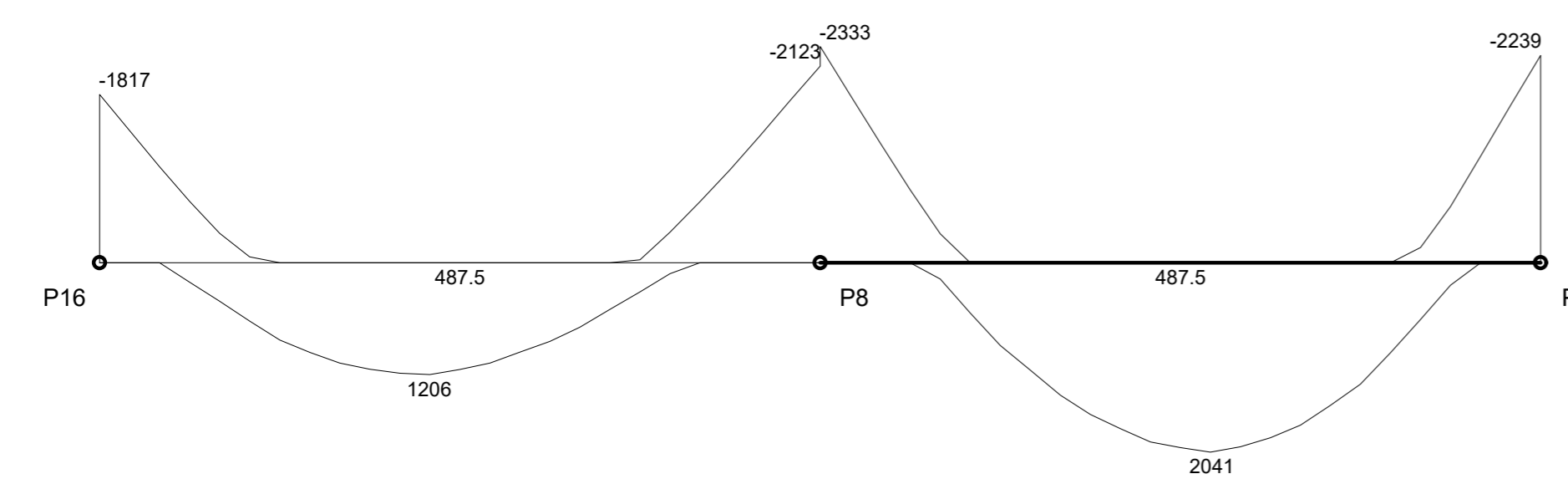
MOMENTOS FLETORES DE CÁLCULO (Mdx) [kgf.m;cm] VIGA: V5



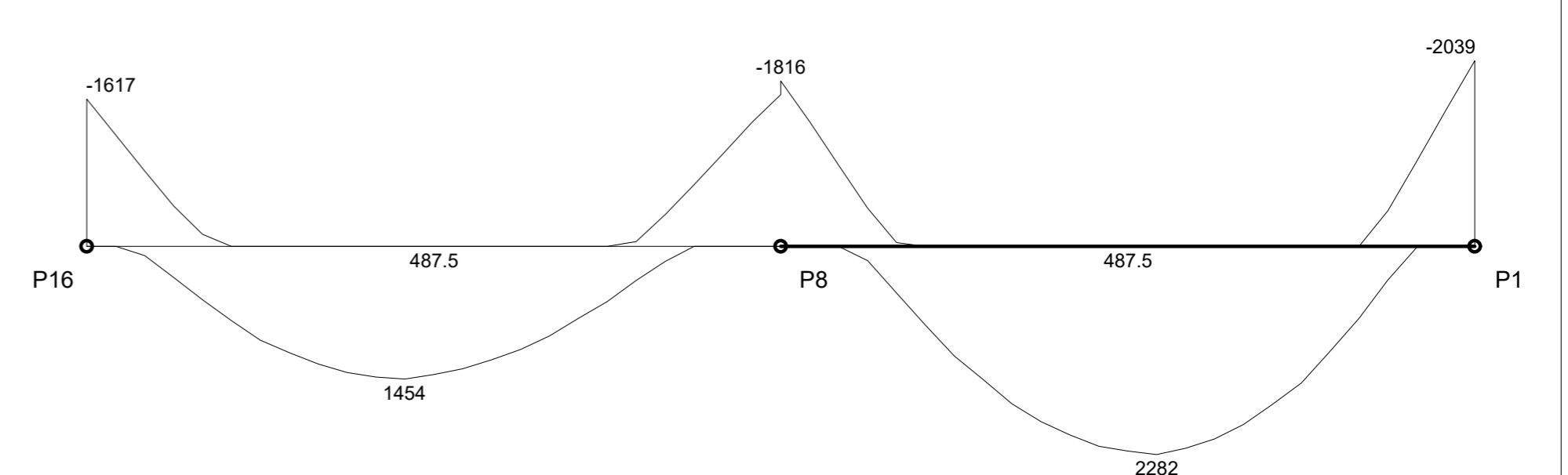
MOMENTOS FLETORES DE CÁLCULO (Mdx) [kgf.m;cm] VIGA: V5



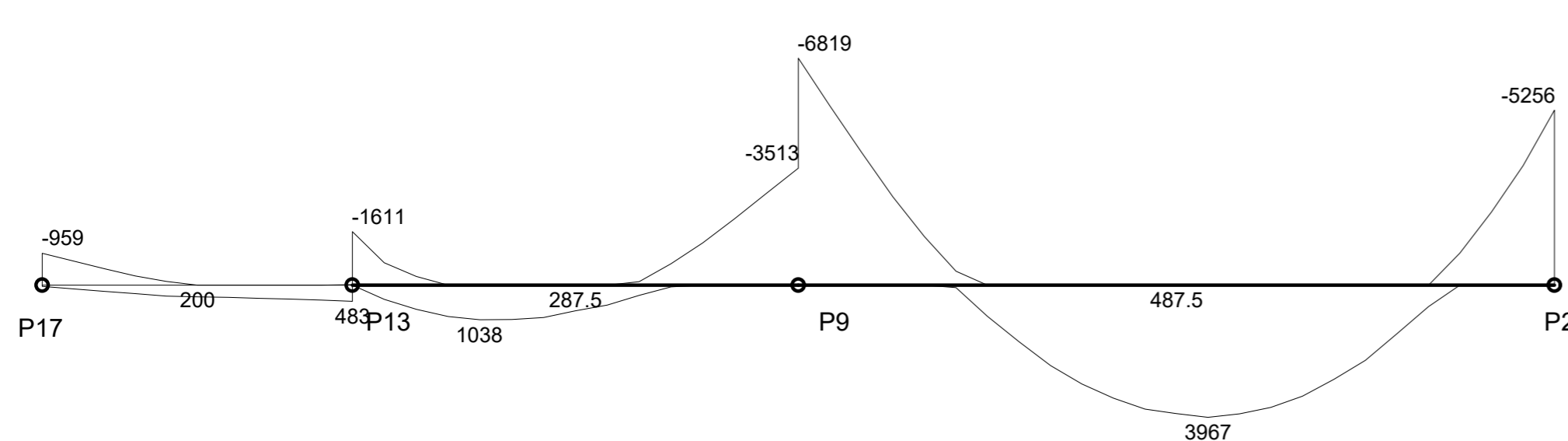
MOMENTOS FLETORES DE CÁLCULO (Mdx) [kgf.m;cm] VIGA: V6



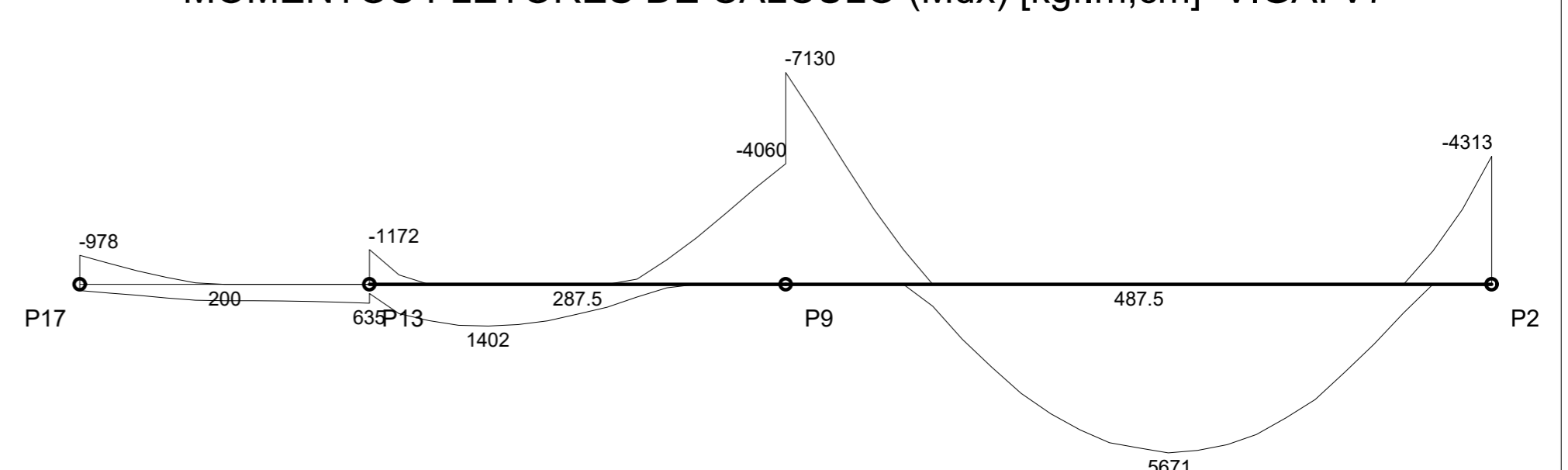
MOMENTOS FLETORES DE CÁLCULO (Mdx) [kgf.m;cm] VIGA: V6



MOMENTOS FLETORES DE CÁLCULO (Mdx) [kgf.m;cm] VIGA: V7



MOMENTOS FLETORES DE CÁLCULO (Mdx) [kgf.m;cm] VIGA: V7

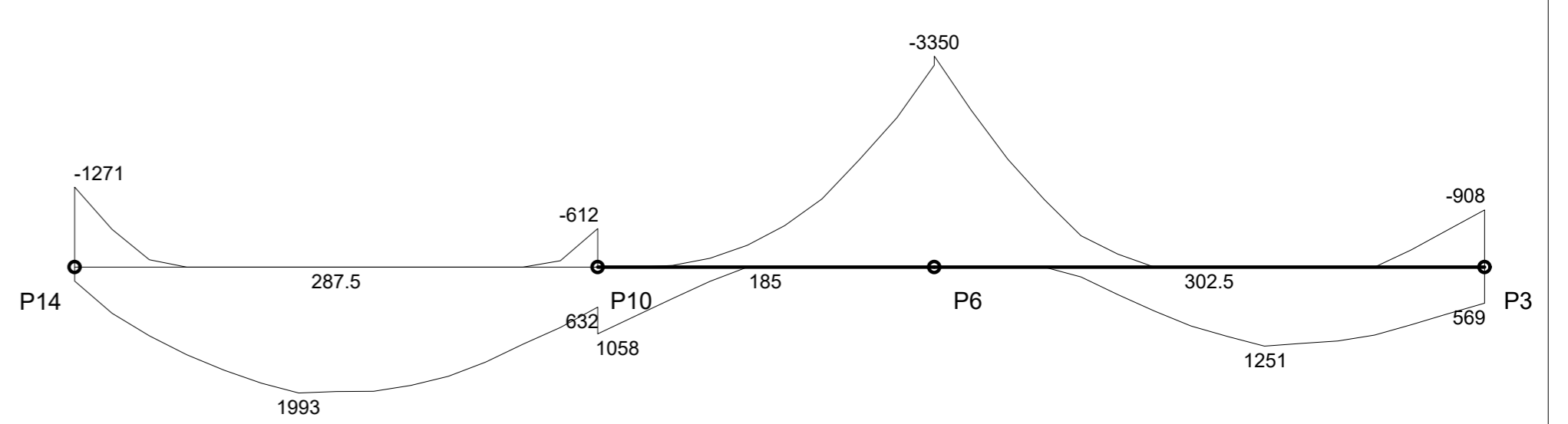
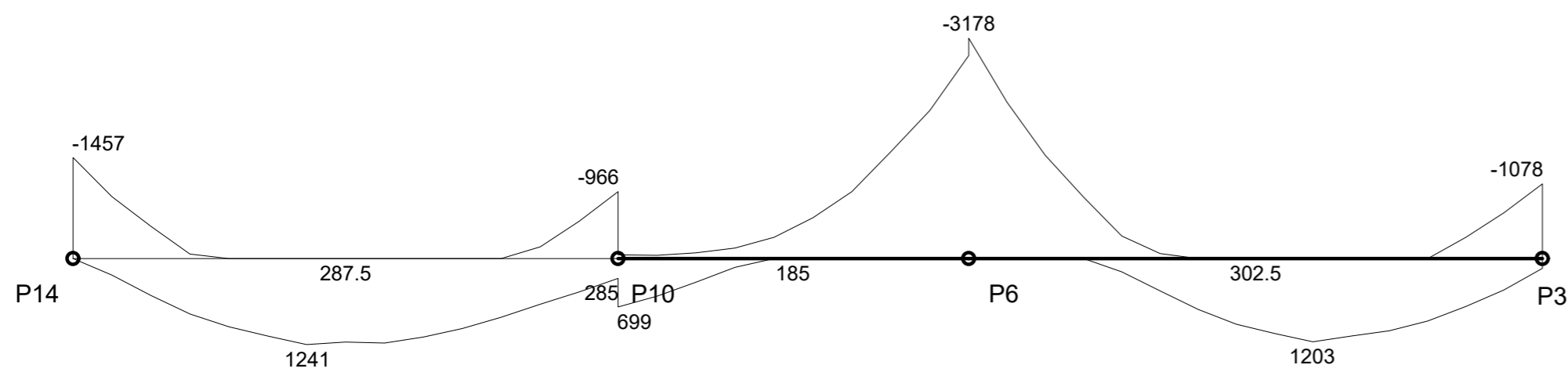


SITUAÇÃO LINEAR ELÁSTICA

SITUAÇÃO LINEAR COM REDISTRIBUIÇÃO

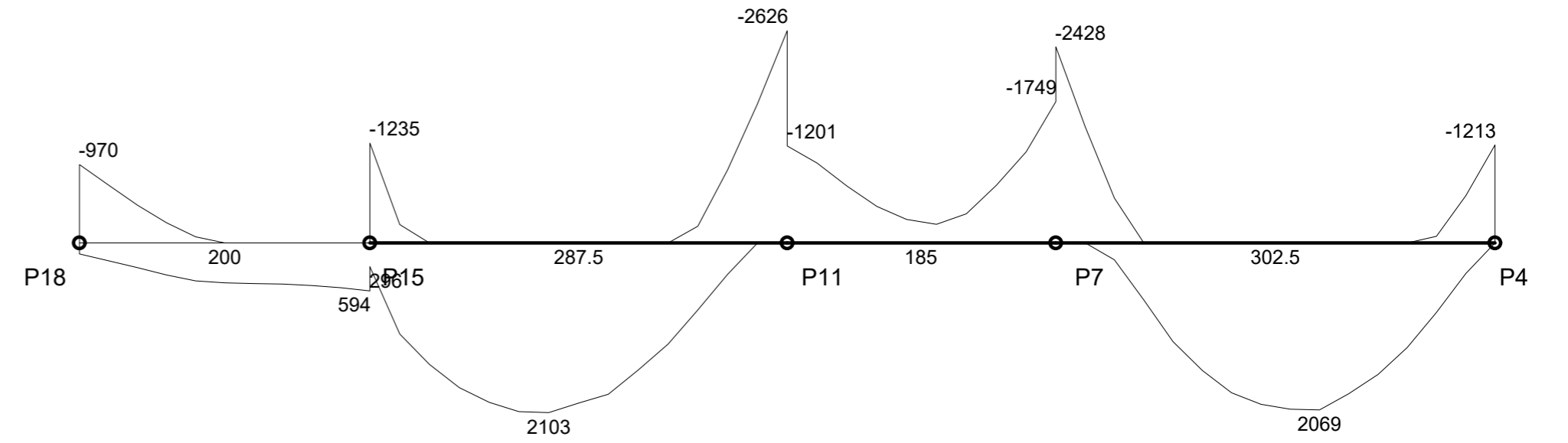
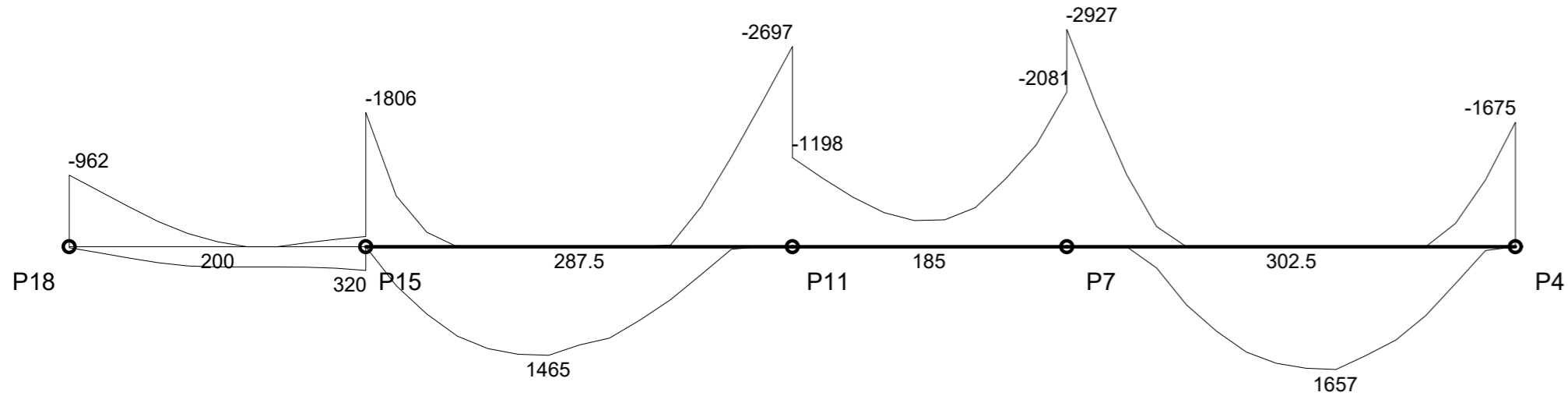
MOMENTOS FLETORES DE CÁLCULO (Mdx) [kgf.m;cm] VIGA: V8

MOMENTOS FLETORES DE CÁLCULO (Mdx) [kgf.m;cm] VIGA: V8



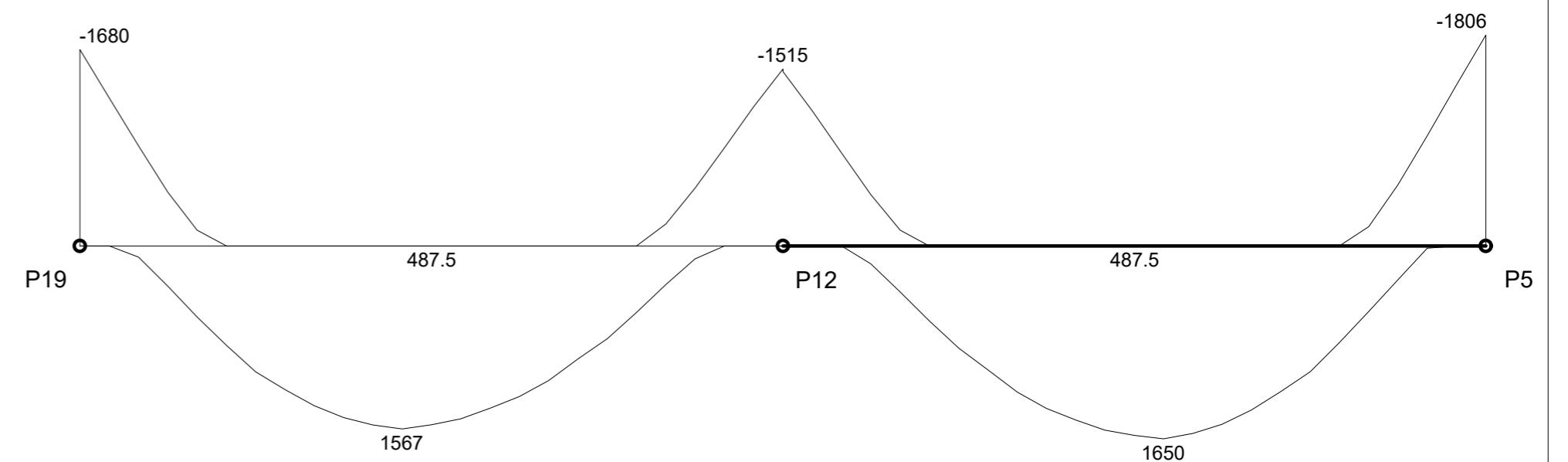
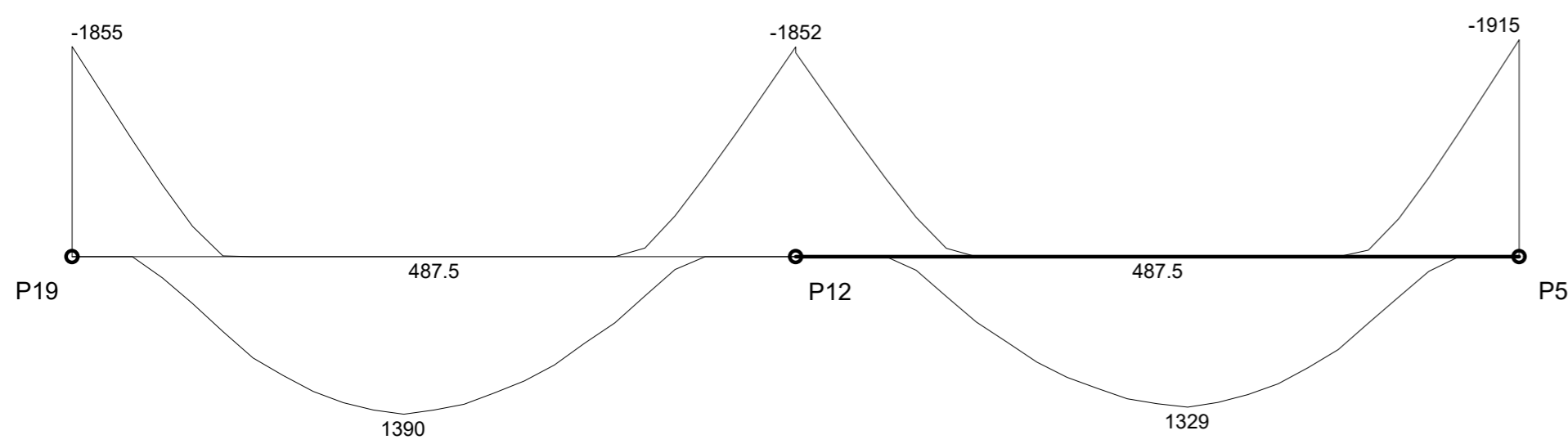
MOMENTOS FLETORES DE CÁLCULO (Mdx) [kgf.m;cm] VIGA: V9

MOMENTOS FLETORES DE CÁLCULO (Mdx) [kgf.m;cm] VIGA: V9



MOMENTOS FLETORES DE CÁLCULO (Mdx) [kgf.m;cm] VIGA: V10

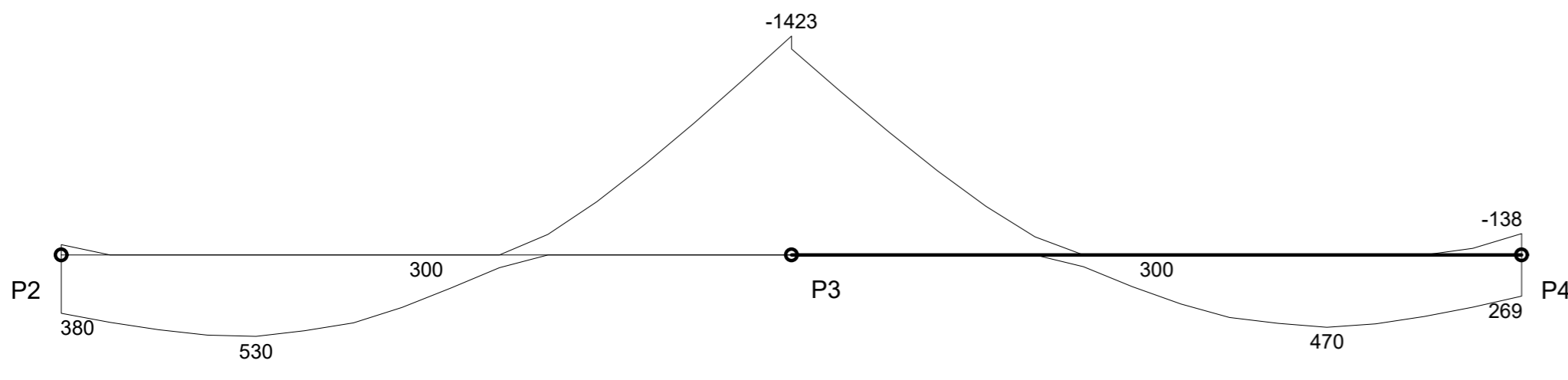
MOMENTOS FLETORES DE CÁLCULO (Mdx) [kgf.m;cm] VIGA: V10



PAVIMENTO ÁREA TÉCNICA

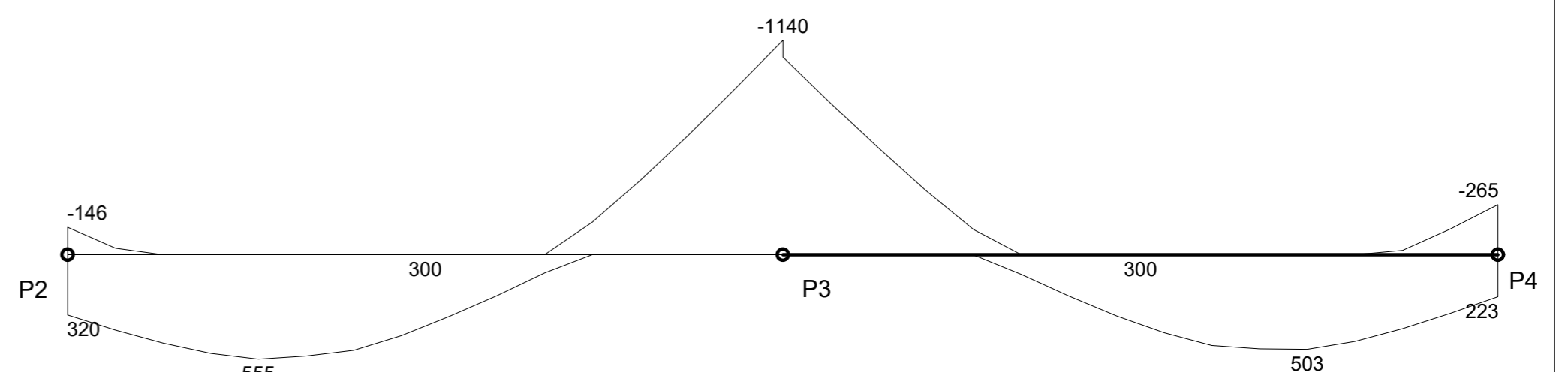
SITUAÇÃO LINEAR ELÁSTICA

MOMENTOS FLETORES DE CÁLCULO (Mdx) [kgf.m;cm] VIGA: V1

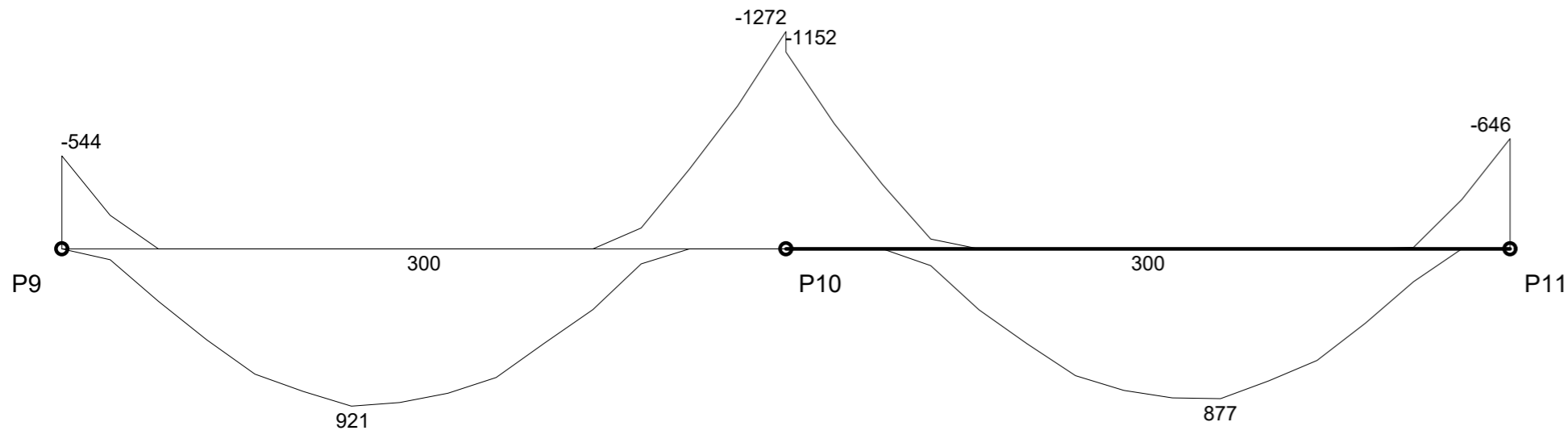


SITUAÇÃO LINEAR COM REDISTRIBUIÇÃO

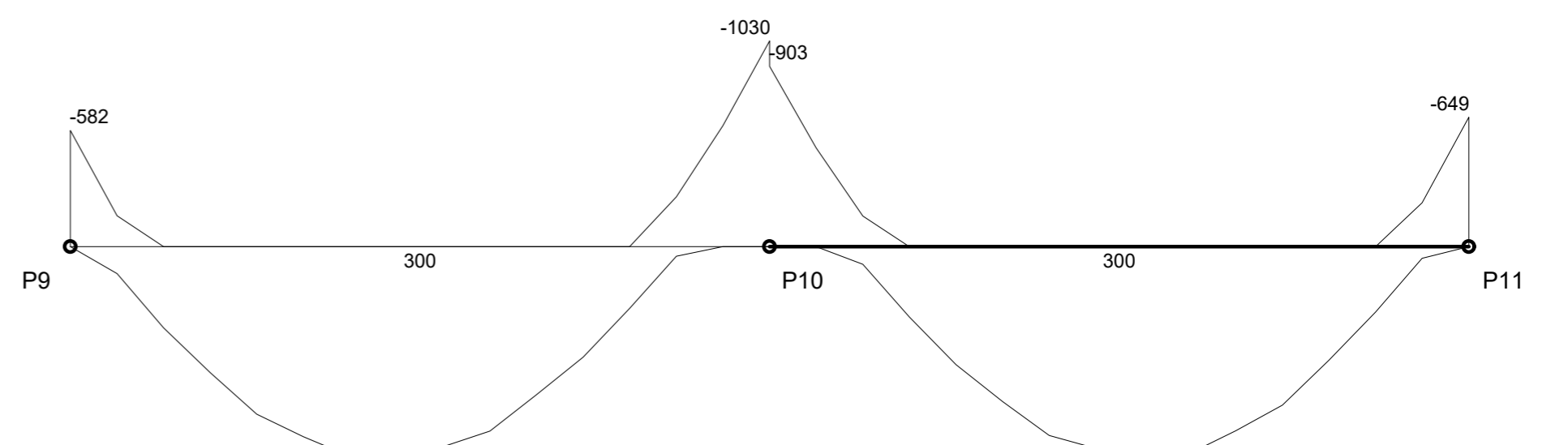
MOMENTOS FLETORES DE CÁLCULO (Mdx) [kgf.m;cm] VIGA: V1



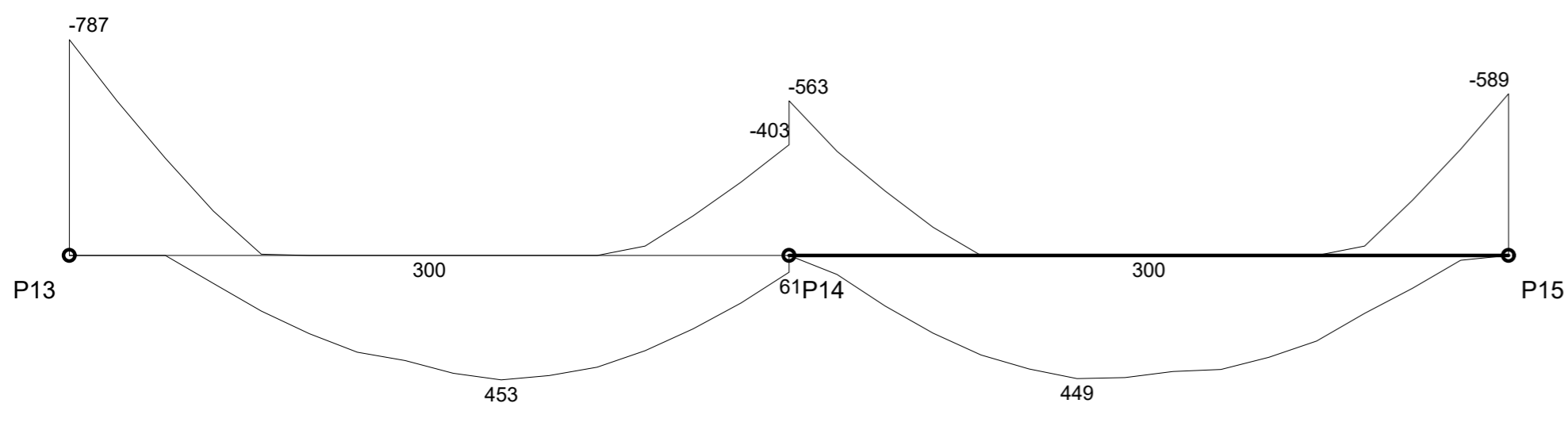
MOMENTOS FLETORES DE CÁLCULO (Mdx) [kgf.m;cm] VIGA: V2



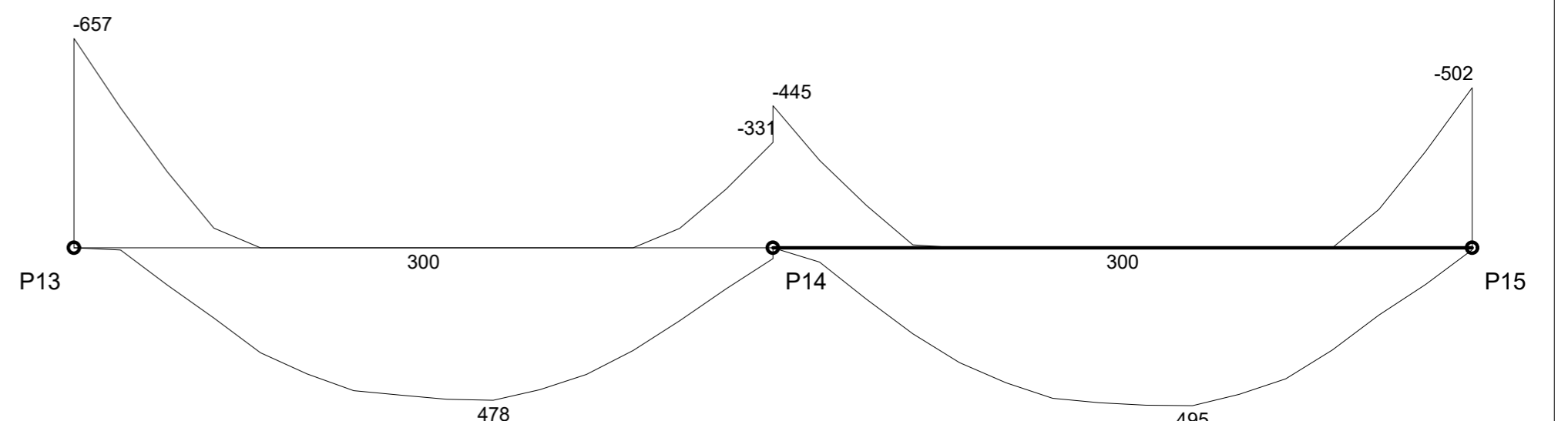
MOMENTOS FLETORES DE CÁLCULO (Mdx) [kgf.m;cm] VIGA: V2



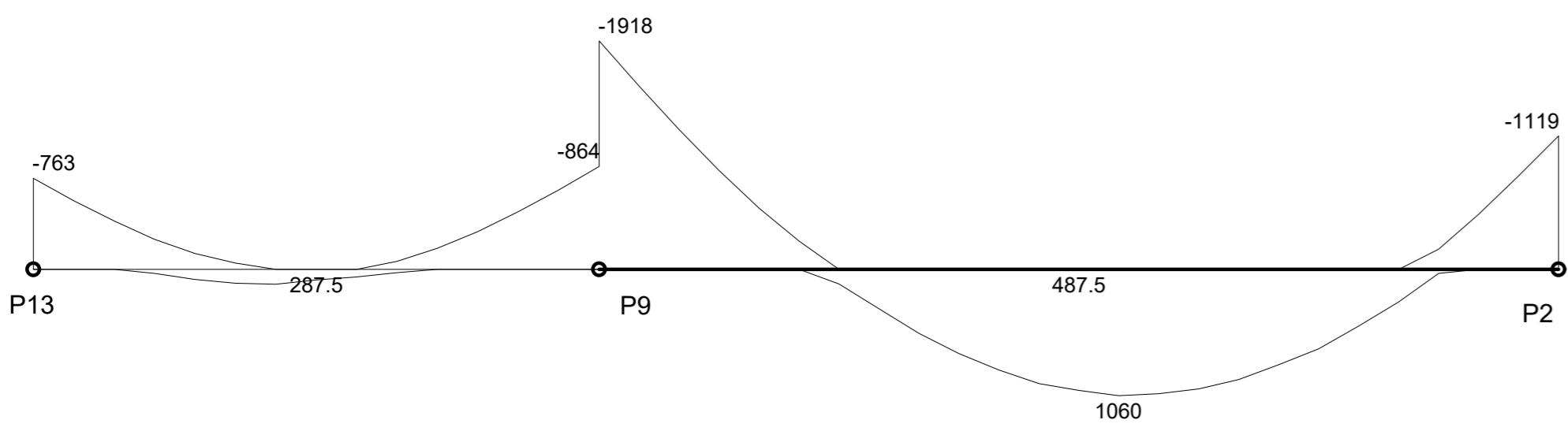
MOMENTOS FLETORES DE CÁLCULO (Mdx) [kgf.m;cm] VIGA: V3



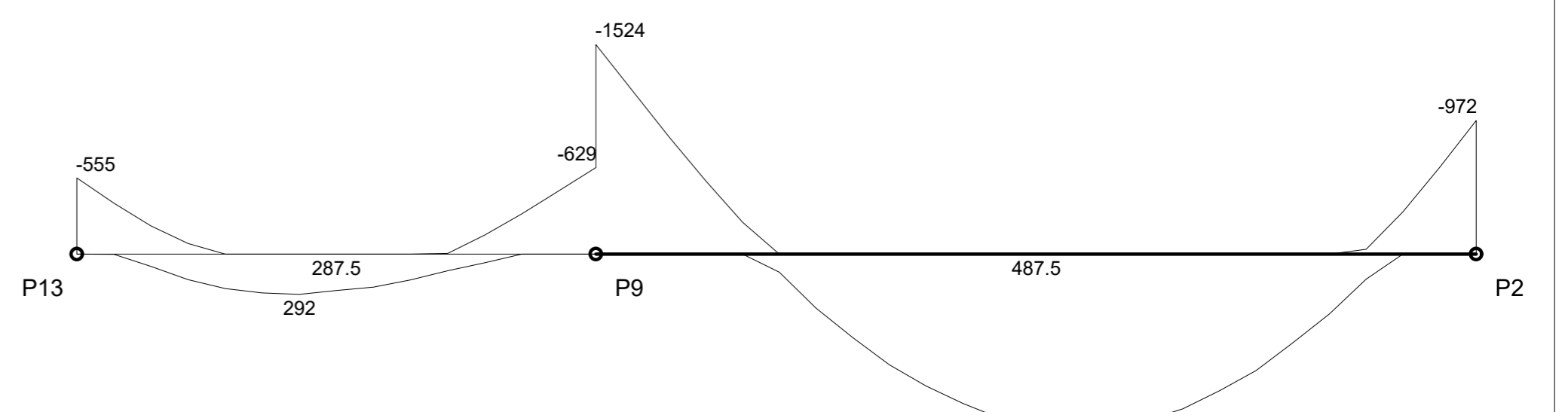
MOMENTOS FLETORES DE CÁLCULO (Mdx) [kgf.m;cm] VIGA: V3



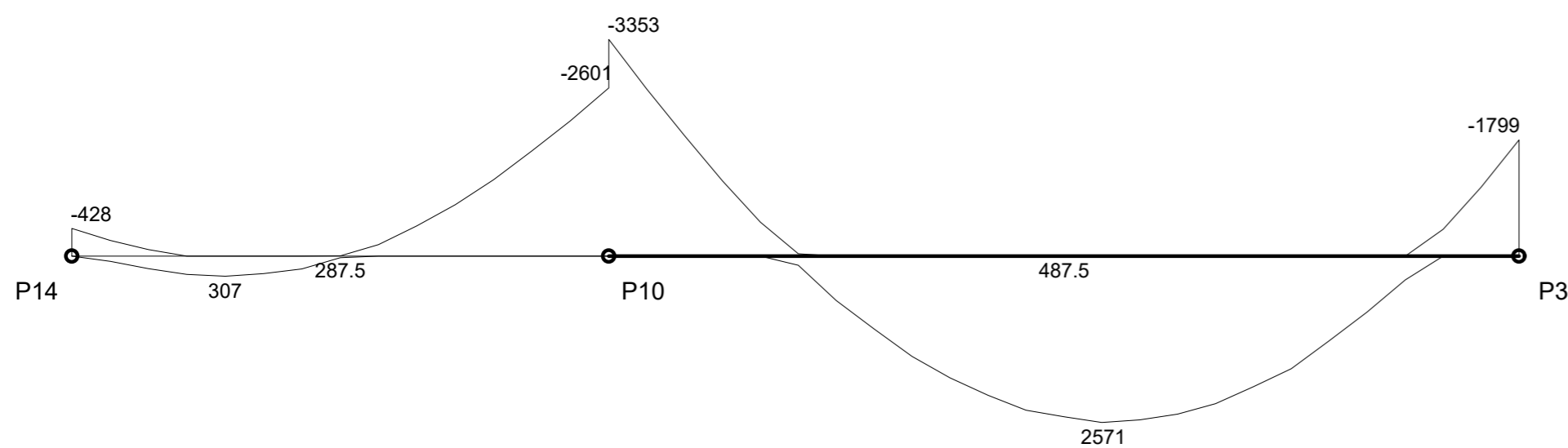
MOMENTOS FLETORES DE CÁLCULO (Mdx) [kgf.m;cm] VIGA: V4



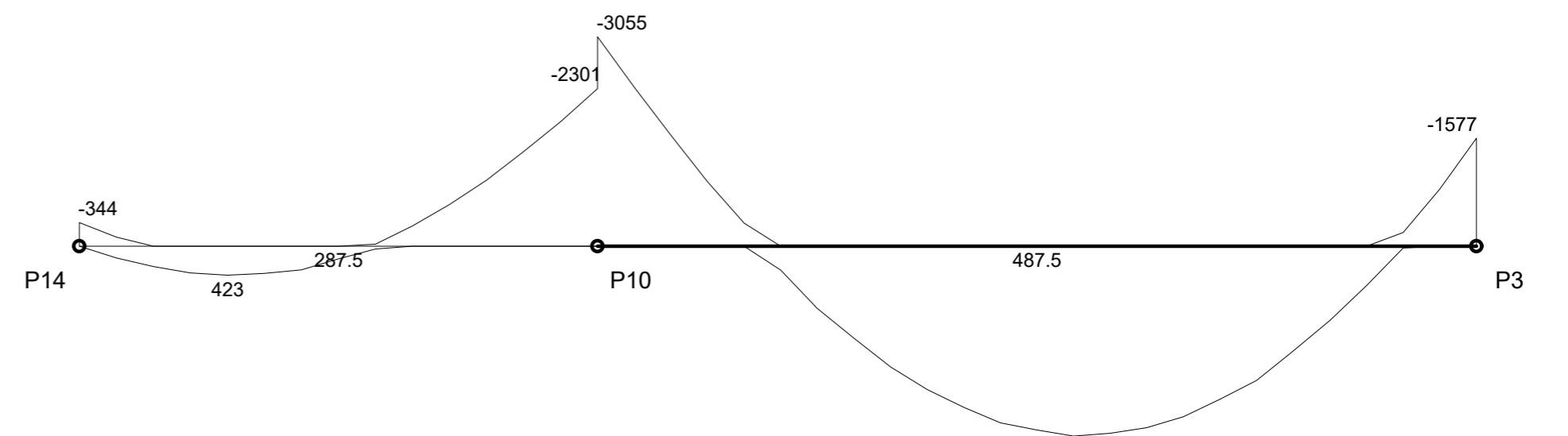
MOMENTOS FLETORES DE CÁLCULO (Mdx) [kgf.m;cm] VIGA: V4



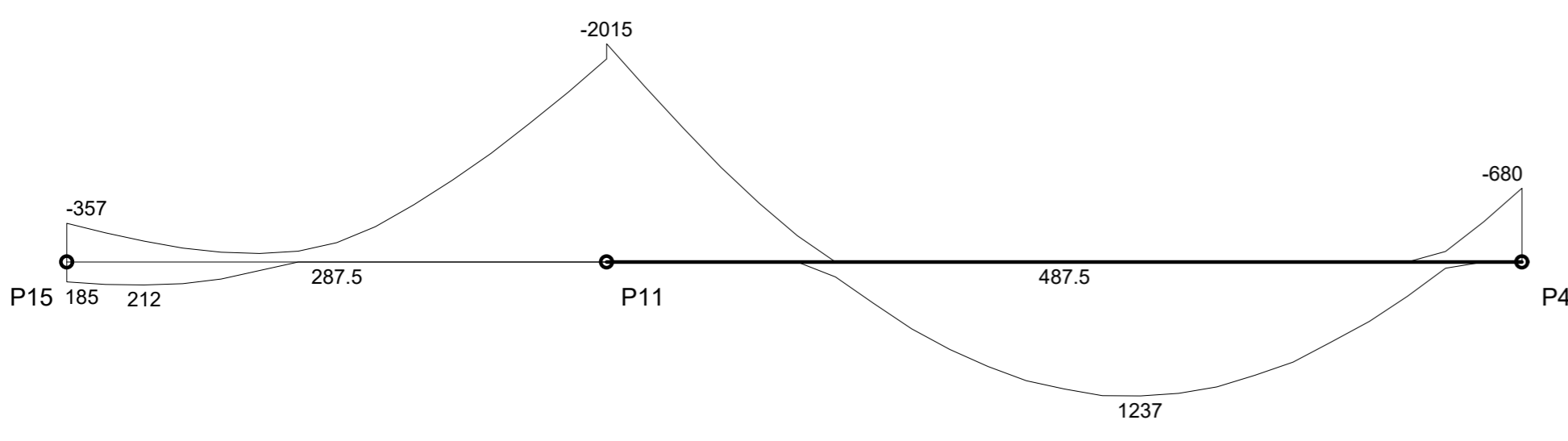
MOMENTOS FLETORES DE CÁLCULO (Mdx) [kgf.m;cm] VIGA: V5



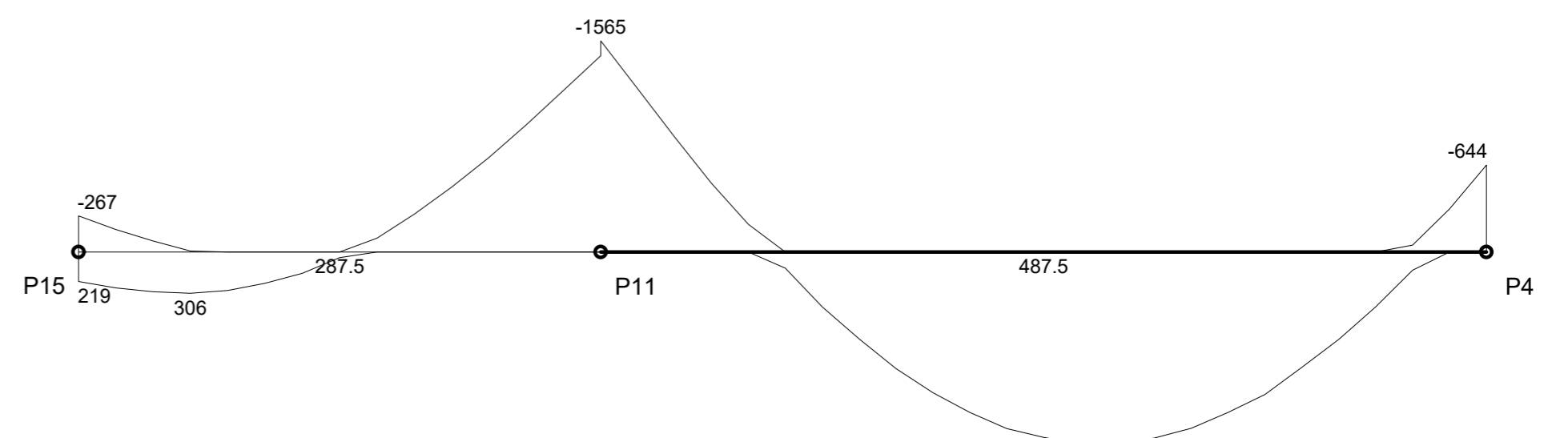
MOMENTOS FLETORES DE CÁLCULO (Mdx) [kgf.m;cm] VIGA: V5



MOMENTOS FLETORES DE CÁLCULO (Mdx) [kgf.m;cm] VIGA: V6



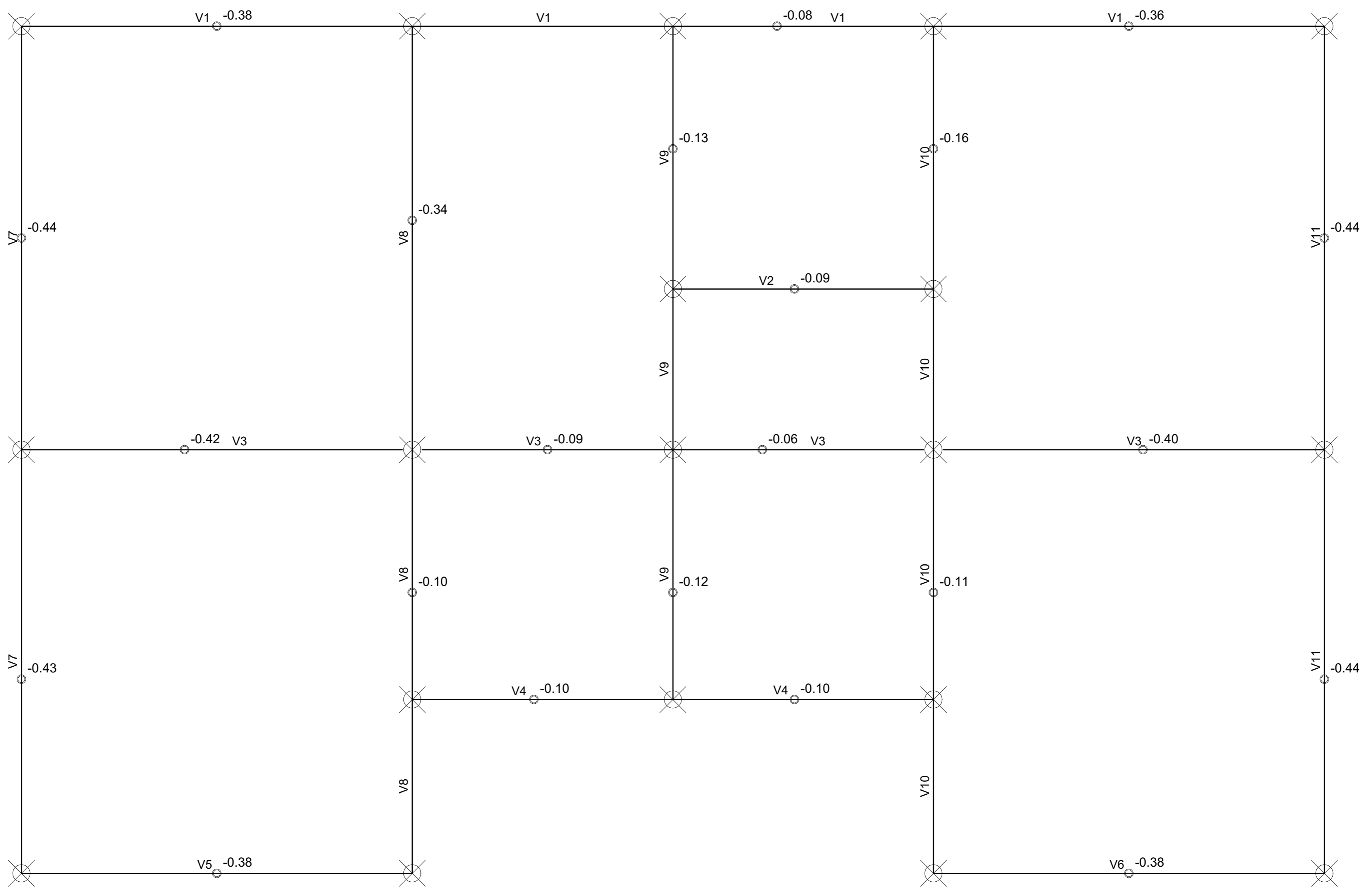
MOMENTOS FLETORES DE CÁLCULO (Mdx) [kgf.m;cm] VIGA: V6



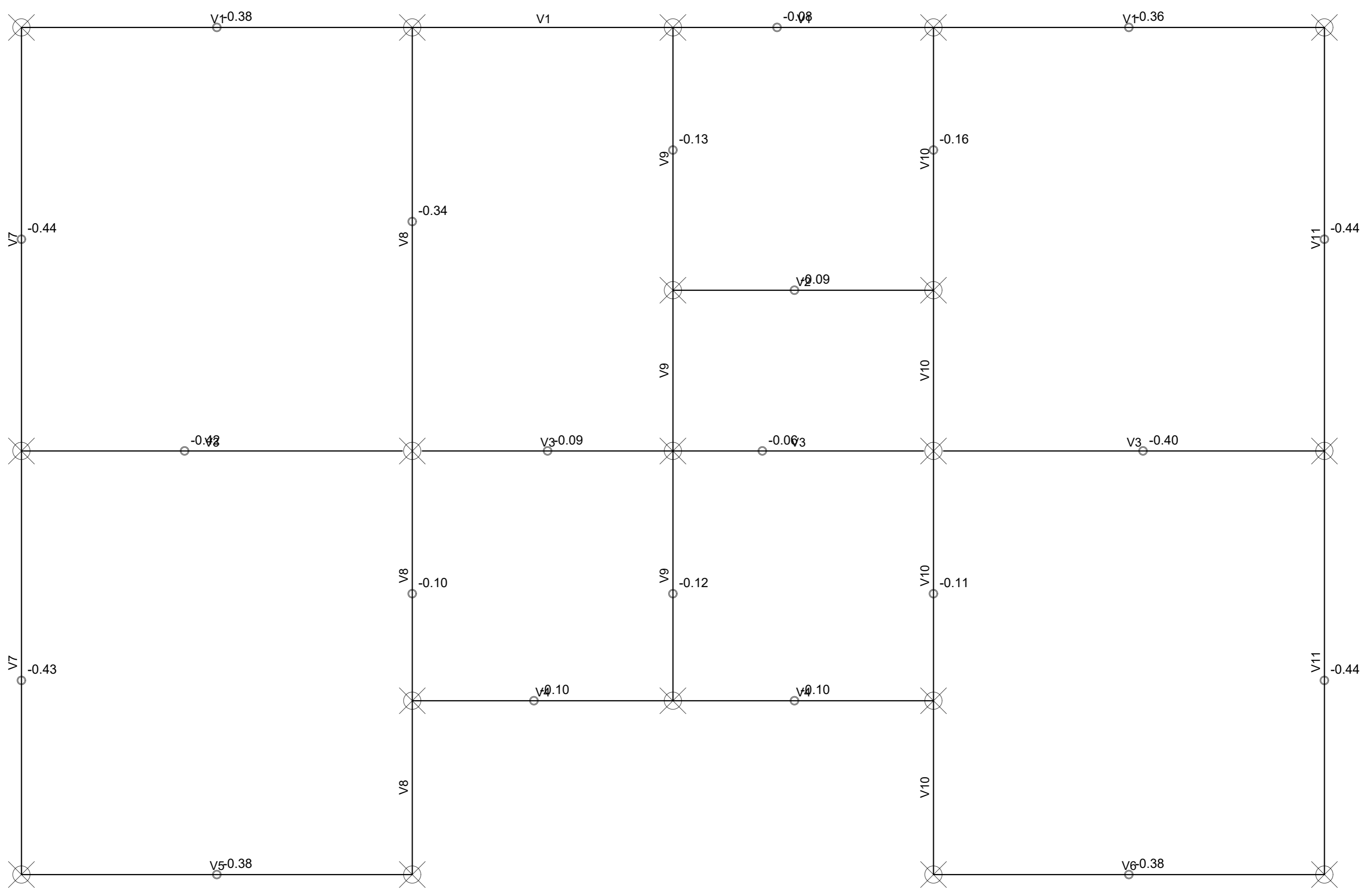
APÊNDICE E – COMPARATIVOS DESLOCAMENTOS (FLECHAS)

PAVIMENTO TÉRREO

SITUAÇÃO LINEAR ELÁSTICA

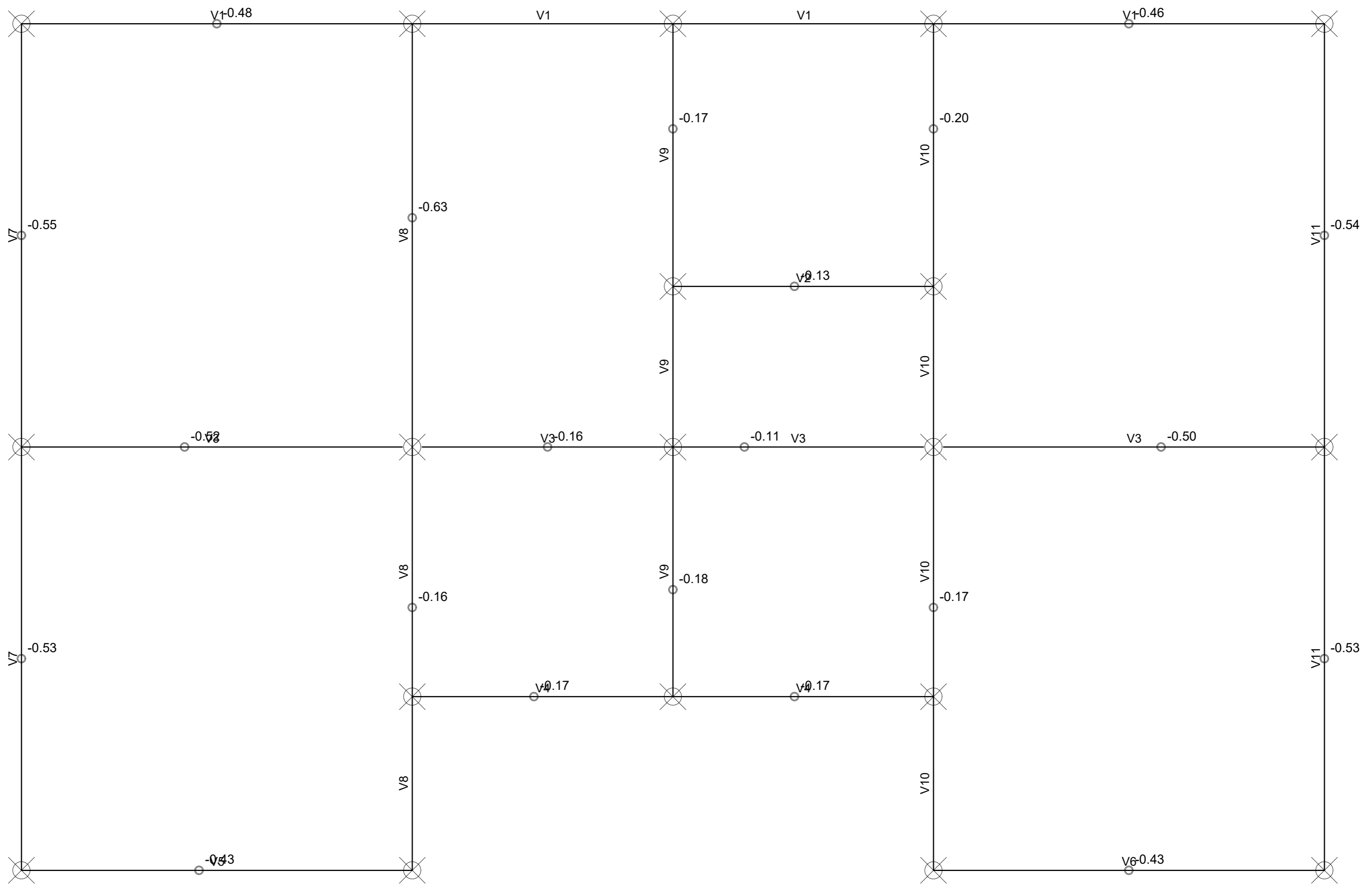


SITUAÇÃO LINEAR COM REDISTRIBUIÇÃO

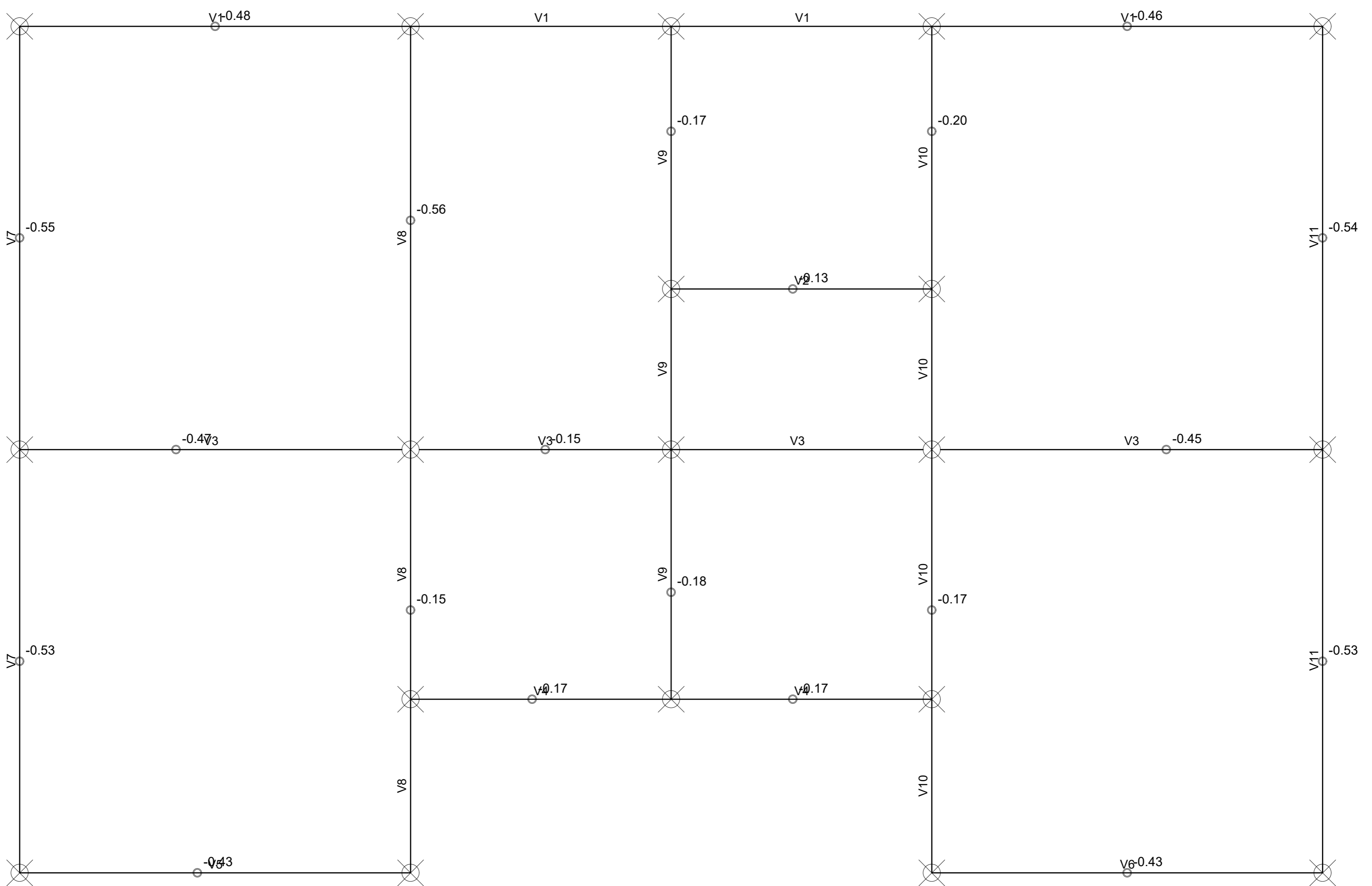


PAVIMENTO TIPO 1

SITUAÇÃO LINEAR ELÁSTICA

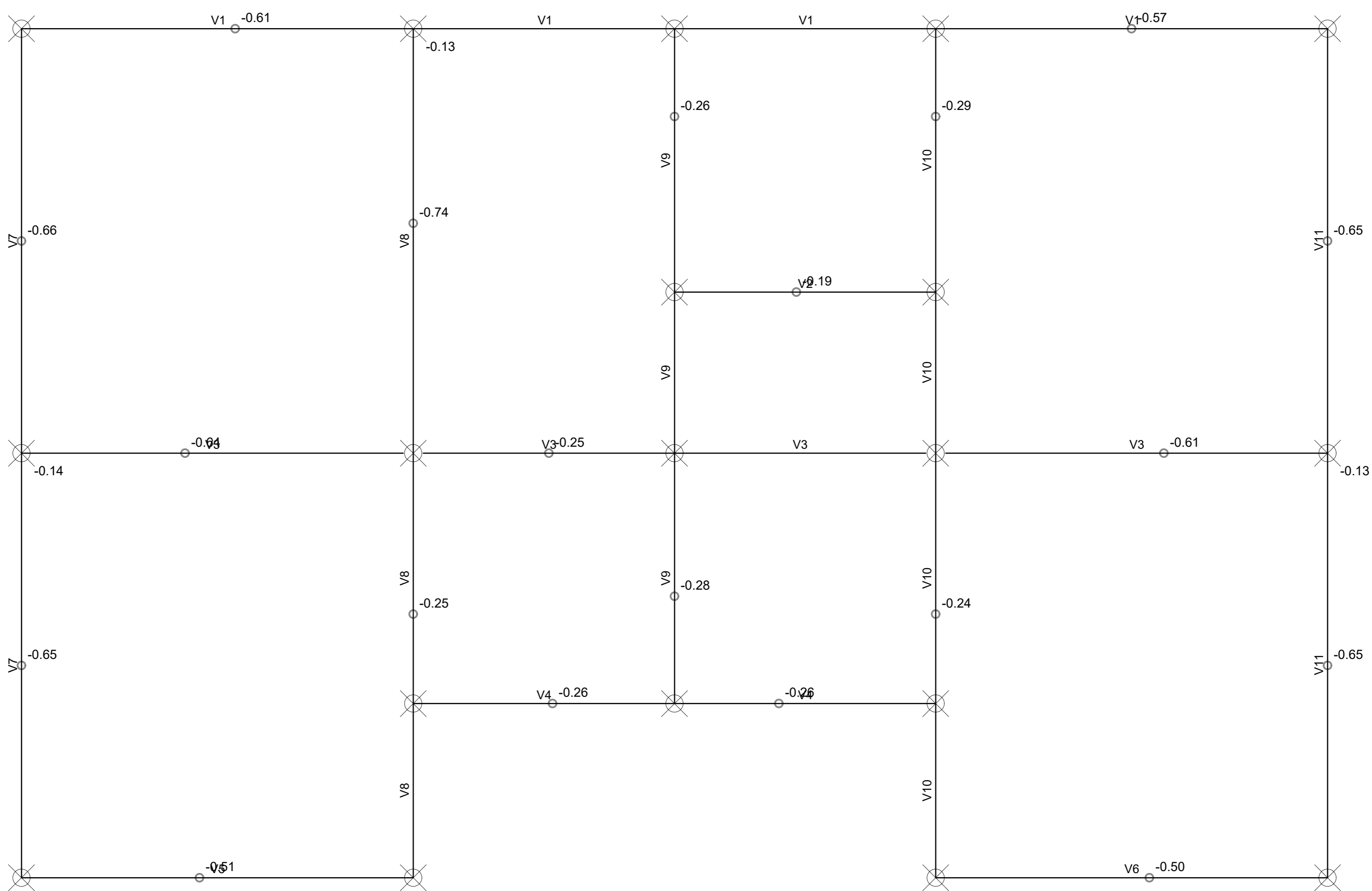


SITUAÇÃO LINEAR COM REDISTRIBUIÇÃO

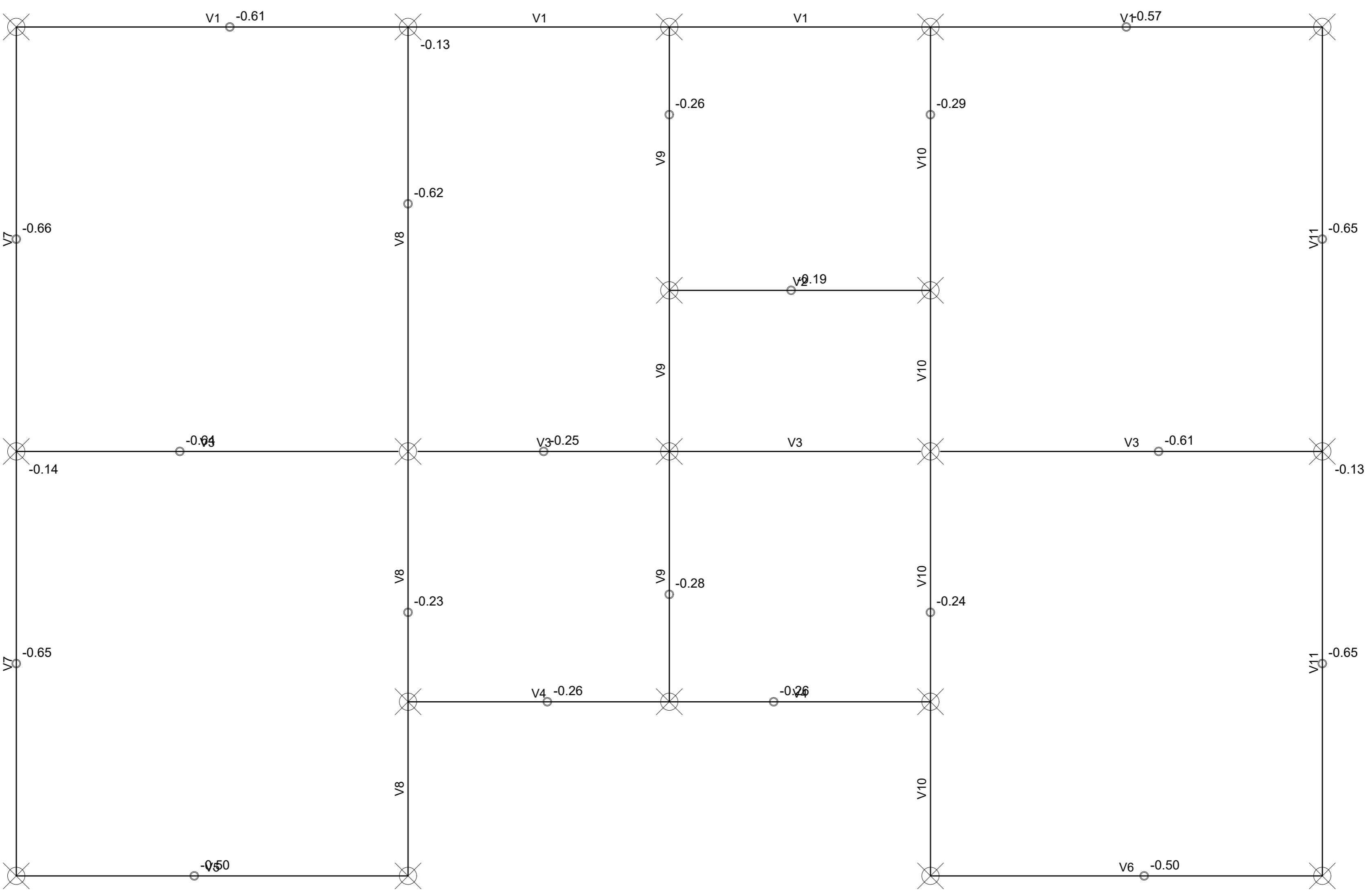


PAVIMENTO TIPO 3

SITUAÇÃO LINEAR ELÁSTICA

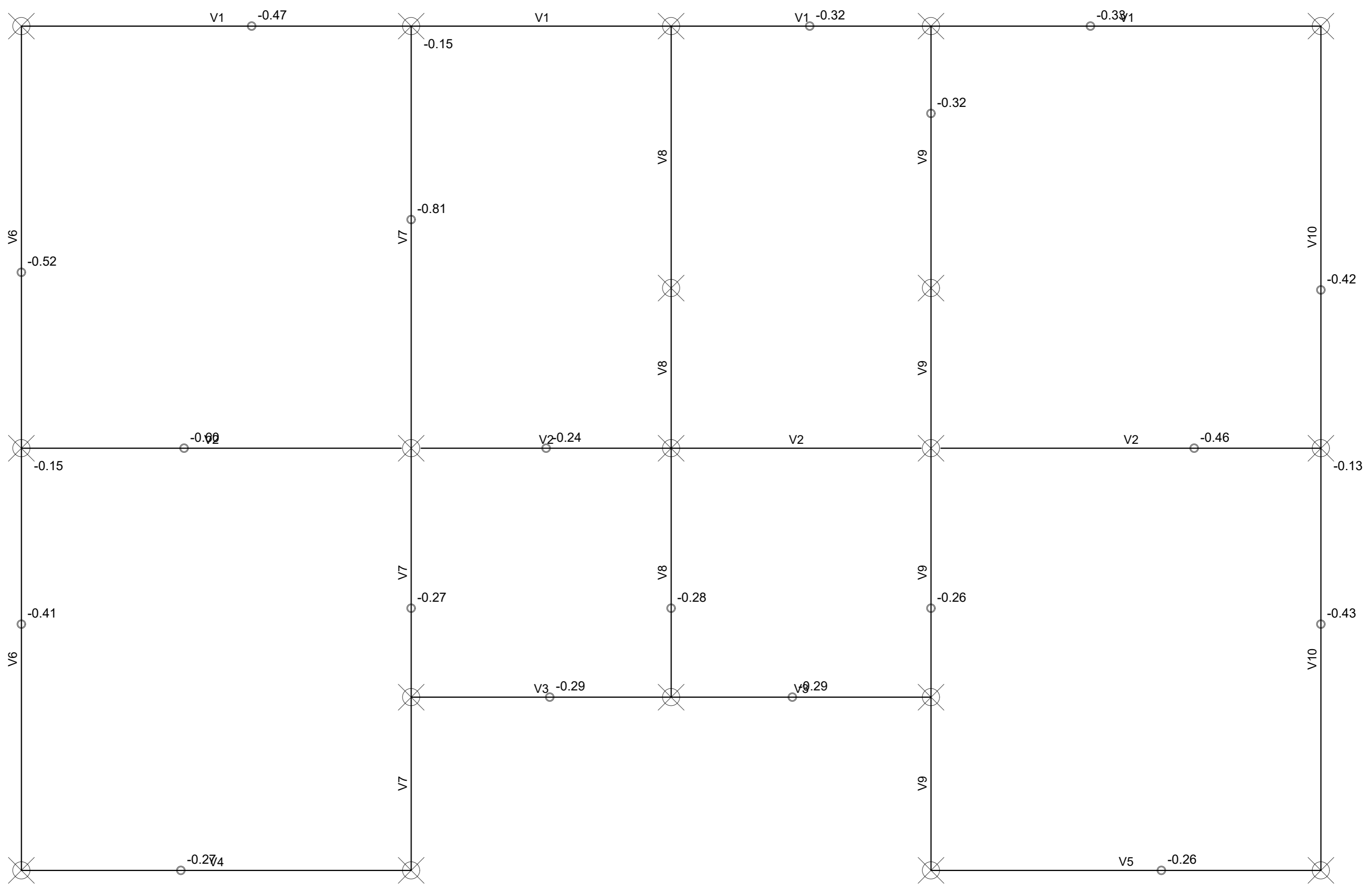


SITUAÇÃO LINEAR COM REDISTRIBUIÇÃO

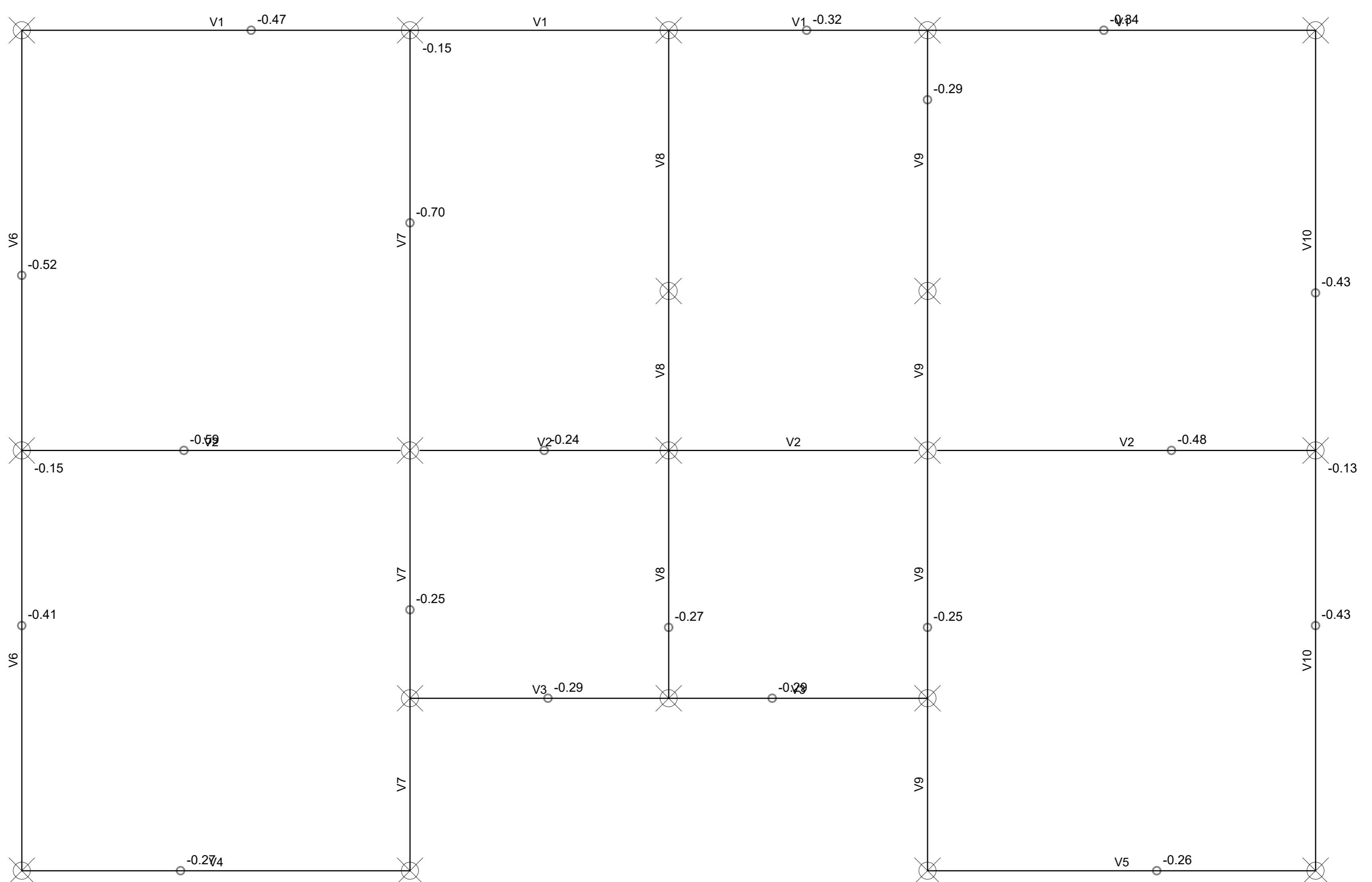


PAVIMENTO COBERTURA

SITUAÇÃO LINEAR ELÁSTICA

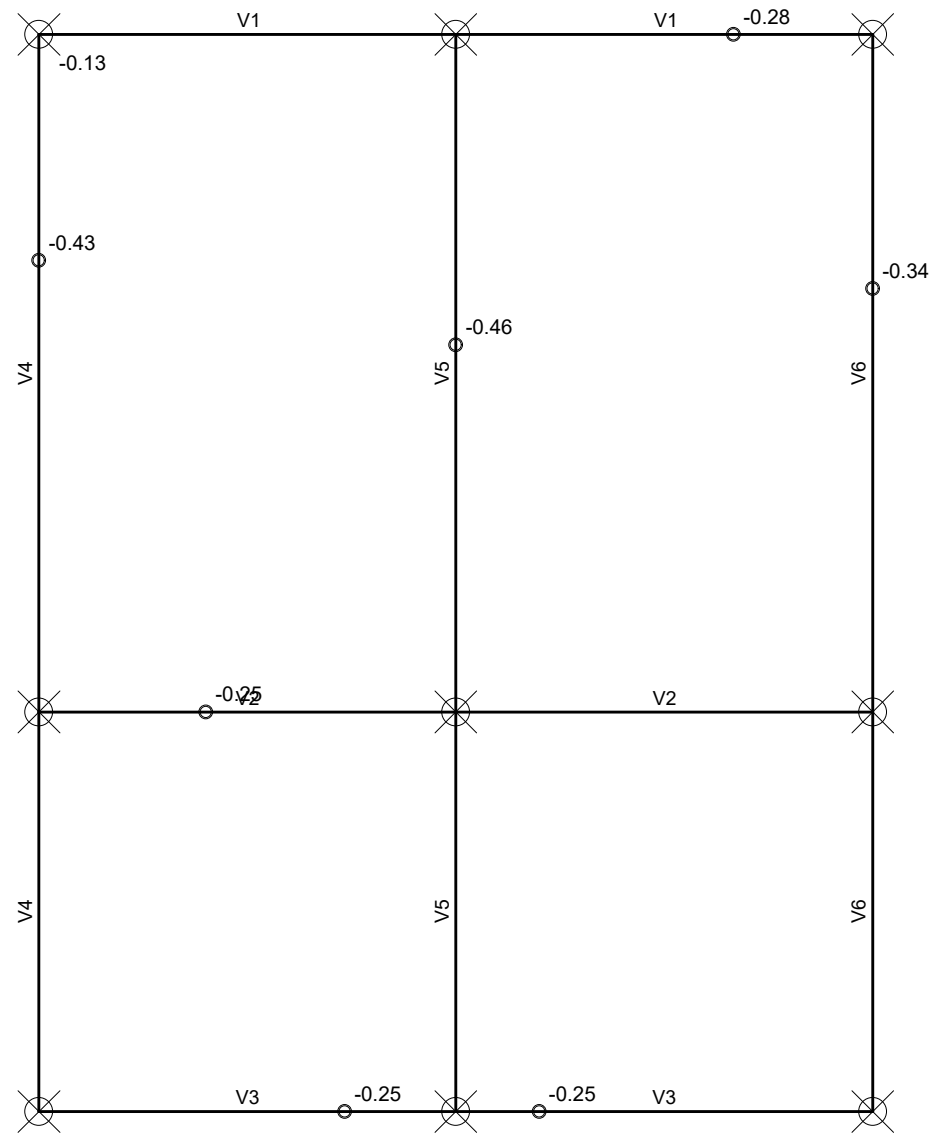


SITUAÇÃO LINEAR COM REDISTRIBUIÇÃO

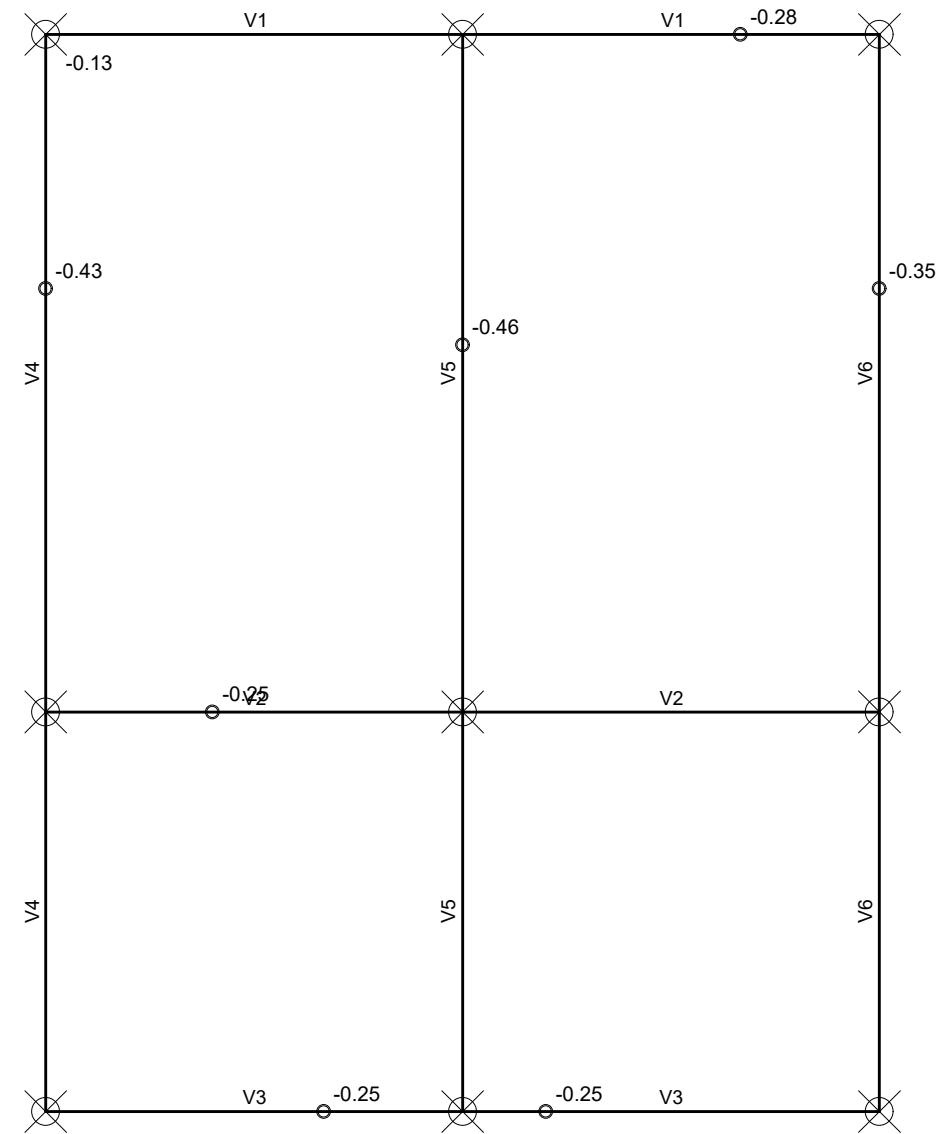


PAVIMENTO ÁREA TÉCNICA

SITUAÇÃO LINEAR ELÁSTICA



SITUAÇÃO LINEAR COM REDISTRIBUIÇÃO



APÊNDICE F – DESLOCAMENTOS (FLECHAS) TABELADOS

PAVIMENTO:	TÉRREO	
Viga	Vão	Situação
		Linear Elástica/ Linear com Redistribuição
V1	1	-0,38
	2	-0,10
	3	-0,08
	4	-0,36
V2	1	-0,09
V3	1	-0,42
	2	-0,09
	3	-0,06
	4	-0,40
V4	1	-0,10
	2	-0,10
V5	1	-0,38
V6	1	-0,38
V7	1	-0,43
	2	-0,44
V8	1	-0,06
	2	-0,10
	3	-0,34
V9	1	-0,12
	2	-0,05
	3	-0,13
V10	1	-0,06
	2	-0,11
	3	-0,04
	4	-0,16
V11	1	-0,44
	2	-0,44

PAVIMENTO:	TIPO 1		
Viga	Vão	Situação	
		Linear Elástica	Linear com Redistribuição
V1	1	-0,48	-0,48
	2	-0,22	-0,22
	3	-0,16	-0,16
	4	-0,46	-0,46
V2	1	-0,13	-0,13
V3	1	-0,52	-0,47
	2	-0,16	-0,15
	3	-0,11	-0,11
	4	-0,50	-0,45
V4	1	-0,17	-0,17
	2	-0,17	-0,17
V5	1	-0,43	-0,43
V6	1	-0,43	-0,43
V7	1	-0,53	-0,53
	2	-0,55	-0,55
V8	1	-0,12	-0,12
	2	-0,16	-0,15
	3	-0,63	-0,56
V9	1	-0,18	-0,18
	2	-0,11	-0,11
	3	-0,17	-0,17
V10	1	-0,12	-0,12
	2	-0,17	-0,17
	3	-0,08	-0,08
	4	-0,20	-0,20
V11	1	-0,53	-0,53
	2	-0,54	-0,54

PAVIMENTO:	TIPO 2		
Viga	Vão	Situação	
		Linear Elástica	Linear com Redistribuição
V1	1	-0,55	-0,56
	2	-0,30	-0,31
	3	-0,22	-0,22
	4	-0,52	-0,52
V2	1	-0,16	-0,16
V3	1	-0,59	-0,60
	2	-0,21	-0,21
	3	-0,16	-0,16
	4	-0,56	-0,56
V4	1	-0,22	-0,22
	2	-0,22	-0,22
V5	1	-0,47	-0,47
V6	1	-0,46	-0,46
V7	1	-0,60	-0,60
	2	-0,62	-0,62
V8	1	-0,17	-0,17
	2	-0,21	-0,21
	3	-0,69	-0,70
V9	1	-0,24	-0,24
	2	-0,16	-0,16
	3	-0,22	-0,22
V10	1	-0,17	-0,17
	2	-0,21	-0,21
	3	-0,11	-0,11
	4	-0,25	-0,25
V11	1	-0,60	-0,60
	2	-0,61	-0,61

PAVIMENTO:		TIPO 3	
Viga	Vão	Situação	
		Linear Elástica	Linear com Redistribuição
V1	1	-0,61	-0,61
	2	-0,36	-0,37
	3	-0,27	-0,26
	4	-0,57	-0,57
V2	1	-0,19	-0,19
V3	1	-0,64	-0,64
	2	-0,25	-0,25
	3	-0,19	-0,19
	4	-0,61	-0,61
V4	1	-0,26	-0,26
	2	-0,26	-0,26
V5	1	-0,51	-0,50
V6	1	-0,50	-0,50
V7	1	-0,65	-0,65
	2	-0,66	-0,66
V8	1	-0,21	-0,20
	2	-0,25	-0,23
	3	-0,74	-0,62
V9	1	-0,28	-0,28
	2	-0,19	-0,19
	3	-0,26	-0,26
V10	1	-0,21	-0,20
	2	-0,24	-0,24
	3	-0,13	-0,13
	4	-0,29	-0,29
V11	1	-0,65	-0,65
	2	-0,65	-0,65

PAVIMENTO:	COBERTURA		
Viga	Vão	Situação	
		Linear Elástica	Linear com Redistribuição
V1	1	-0,47	-0,47
	2	-0,40	-0,40
	3	-0,32	-0,32
	4	-0,33	-0,34
V2	1	-0,60	-0,59
	2	-0,24	-0,24
	3	-0,22	-0,22
	4	-0,46	-0,48
V3	1	-0,29	-0,29
	2	-0,29	-0,29
V4	1	-0,27	-0,27
V5	1	-0,26	-0,26
V6	1	-0,41	-0,41
	2	-0,52	-0,52
V7	1	-0,23	-0,22
	2	-0,27	-0,25
	3	-0,81	-0,70
V8	1	-0,28	-0,27
	2	-0,22	-0,27
	3	-0,27	0,00
V9	1	-0,23	-0,22
	2	-0,26	-0,25
	3	-0,15	-0,15
	4	-0,32	-0,29
V10	1	-0,43	-0,43
	2	-0,42	-0,43

PAVIMENTO:	ÁREA TÉCNICA		
Viga	Vão	Situação	
		Linear Elástica	Linear com Redistribuição
V1	1	-0,38	-0,38
	2	-0,28	-0,28
V2	1	-0,25	-0,25
	2	-0,21	-0,21
V3	1	-0,25	-0,25
	2	-0,25	-0,25
V4	1	-0,22	-0,23
	2	-0,43	-0,43
V5	1	-0,24	-0,25
	2	-0,46	-0,46
V6	1	-0,21	-0,21
	2	-0,34	-0,35

APÊNDICE G – QUANTITATIVOS DE AÇO

PAVIMENTO	TÉRREO			
	Linear elástico		Linear com redistribuição	
	Quant (barras)	C. Total (m)	Quant (barras)	C. Total (m)
5.0	63	688,6	63	671,5
6.3	2	17,3	4	34,6
8.0	6	54,6	6	55
10.0	19	198,8	14	149,6
12.5	20	215,7	28	299,7
16.0	9	90,6	5	49,7

PAVIMENTO:	TIPO 1			
	Linear elástico		Linear com redistribuição	
	Quant (barras)	C. Total (m)	Quant (barras)	C. Total (m)
5.0	64	688,6	64	696,5
6.3	2	17,3	3	25,8
8.0	5	44,5	6	61,9
10.0	18	192,6	12	127,1
12.5	20	209,3	26	280,8
16.0	13	132,1	10	104,2

PAVIMENTO	TIPO 2			
	Linear elástico		Linear com redistribuição	
	Quant (barras)	C. Total (m)	Quant (barras)	C. Total (m)
5.0	64	688,6	61	663
6.3	2	17,3	4	34,6
8.0	8	79	9	88,5
10.0	25	272,7	13	138,4
12.5	10	102,1	23	242,9
16.0	11	112,7	9	97,4

PAVIMENTO	TIPO 3			
	Linear elástico		Linear com redistribuição	
	Quant (barras)	C. Total (m)	Quant (barras)	C. Total (m)
5.0	64	688,6	64	683,7
6.3	2	17,3	4	34,6
8.0	5	46,2	8	85,9
10.0	24	256,7	11	109,3
12.5	11	111,1	27	286,1
16.0	11	110,6	4	34,1

PAVIMENTO:	COBERTURA			
Diam.	Linear elástico		Linear com redistribuição	
	Quant (barras)	C. Total (m)	Quant (barras)	C. Total (m)
5.0	64	695	68	740
6.3	-	-	-	-
8.0	5	49,4	12	121,6
10.0	38	410,6	39	422
12.5	4	35,5	4	34,8
16.0	2	20,3	-	-

PAVIMENTO:	ÁREA TÉCNICA			
Diam.	Linear elástico		Linear com redistribuição	
	Quant (barras)	C. Total (m)	Quant (barras)	C. Total (m)
5.0	30	331,5	30	331,5
6.3	-	-	-	-
8.0	-	-	-	-
10.0	25	264,1	25	264,1
12.5	-	-	-	-
16.0	-	-	-	-

APÊNDICE H – QUANTITATIVOS DE CUSTOS

PAVIMENTO:	TÉRREO	
Diam.	Linear elástico	Linear com redistribuição
	Custo R\$	Custo R\$
5.0	R\$ 1.089,48	R\$ 1.087,38
6.3	R\$ 47,78	R\$ 95,56
8.0	R\$ 230,46	R\$ 230,46
10.0	R\$ 1.085,47	R\$ 799,82
12.5	R\$ 1.730,00	R\$ 2.422,00
16.0	R\$ 1.274,04	R\$ 707,80
TOTAL	R\$ 5.457,23	R\$ 5.343,02

PAVIMENTO:	TIPO 1	
Diam.	Linear elástico	Linear com redistribuição
	Custo R\$	Custo R\$
5.0	R\$ 1.104,64	R\$ 1.101,98
6.3	R\$ 47,78	R\$ 71,67
8.0	R\$ 192,05	R\$ 230,46
10.0	R\$ 1.028,34	R\$ 685,56
12.5	R\$ 1.730,00	R\$ 2.249,00
16.0	R\$ 1.840,28	R\$ 1.415,60
TOTAL	R\$ 5.943,09	R\$ 5.754,27

PAVIMENTO:	TIPO 2	
Diam.	Linear elástico	Linear com redistribuição
	Custo R\$	Custo R\$
5.0	R\$ 1.104,64	R\$ 1.048,98
6.3	R\$ 47,78	R\$ 95,56
8.0	R\$ 307,28	R\$ 345,69
10.0	R\$ 1.428,25	R\$ 742,69
12.5	R\$ 865,00	R\$ 1.989,50
16.0	R\$ 1.557,16	R\$ 1.274,04
TOTAL	R\$ 5.310,11	R\$ 5.496,46

PAVIMENTO:	TIPO 3	
Diam.	Linear elástico	Linear com redistribuição
	Custo R\$	Custo R\$
5.0	R\$ 1.104,64	R\$ 1.104,64
6.3	R\$ 47,78	R\$ 95,56
8.0	R\$ 192,05	R\$ 307,28
10.0	R\$ 1.371,22	R\$ 628,43
12.5	R\$ 951,50	R\$ 2.335,50
16.0	R\$ 1.557,16	R\$ 566,24
TOTAL	R\$ 5.224,25	R\$ 5.037,65

PAVIMENTO:	COBERTURA	
Diam.	Linear elástico	Linear com redistribuição
	Custo R\$	Custo R\$
5.0	R\$ 1.104,64	R\$ 1.170,80
6.3	-	-
8.0	-	R\$ 460,92
10.0	R\$ 2.170,94	R\$ 2.228,07
12.5	R\$ 346,00	R\$ 346,00
16.0	R\$ 283,12	-
TOTAL	R\$ 3.904,70	R\$ 4.205,79

PAVIMENTO:	ÁREA TÉCNICA	
Diam.	Linear elástico	Linear com redistribuição
	Custo R\$	Custo R\$
5.0	R\$ 524,49	R\$ 524,49
6.3	-	-
8.0	-	-
10.0	R\$ 1.428,25	R\$ 1.428,25
12.5	-	-
16.0	-	-
TOTAL	R\$ 1.952,74	R\$ 1.952,74

APÊNDICE I – ÁREAS DE AÇO

PAVIMENTO:	Térreo			
Viga	Armadura Positiva		Armadura Negativa	
	Linear Elástico	Linear com redistribuição	Linear Elástico	Linear com redistribuição
	Soma dos Vãos	Soma dos Vãos	Soma dos nós	Soma dos nós
V1	7,66	8,48	14,76	12,7
V2	1,01	1,01	2,85	2,33
V3	6,16	7,14	18,34	14,98
V4	3,38	3,38	5,54	5,07
V5	2,33	2,7	6,63	5,74
V6	2,32	2,7	6,62	5,73
V7	5,04	5,9	13,71	12,07
V8	4,85	5,06	12,76	10,95
V9	3,78	3,89	9,79	8,56
V10	6,7	6,42	13,65	11,83
V11	4,99	5,88	13,42	11,91

PAVIMENTO:	Tipo 1			
Viga	Armadura Positiva		Armadura Negativa	
	Linear Elástico	Linear com redistribuição	Linear Elástico	Linear com redistribuição
	Soma dos Vãos	Soma dos Vãos	Soma dos nós	Soma dos nós
V1	7,93	8,78	15,95	13,8
V2	1,01	1,01	3,19	2,71
V3	6,3	7,51	20,01	15,1
V4	3,38	3,38	6,1	5,4
V5	2,34	2,71	7,02	6,21
V6	2,34	2,71	7,02	6,2
V7	5,21	6,08	14,48	12,94
V8	5,84	6,35	16,2	12,89
V9	4,31	4,32	10,12	9,07
V10	7,09	6,98	13,3	12,16
V11	5,17	6,1	14,2	12,89

PAVIMENTO:	Tipo 2			
Viga	Armadura Positiva		Armadura Negativa	
	Linear Elástico	Linear com redistribuição	Linear Elástico	Linear com redistribuição
	Soma dos Vãos	Soma dos Vãos	Soma dos nós	Soma dos nós
V1	7,85	8,73	14,99	12,96
V2	1,01	1,01	2,66	2,31
V3	6,27	7,5	18,65	14,95
V4	3,38	3,38	5,34	5,07
V5	2,31	2,69	6,47	5,73
V6	2,31	2,69	6,46	5,73
V7	4,84	5,78	12,91	11,41
V8	5,1	5,71	13,61	11,52
V9	3,27	3,43	8,02	7,24
V10	5,28	5,39	11,07	9,93
V11	4,82	5,81	12,69	11,39

PAVIMENTO:	Tipo 3			
Viga	Armadura Positiva		Armadura Negativa	
	Linear Elástico	Linear com redistribuição	Linear Elástico	Linear com redistribuição
	Soma dos Vãos	Soma dos Vãos	Soma dos nós	Soma dos nós
V1	7,91	8,76	13,33	11,53
V2	1,01	1,01	2,02	2,02
V3	6,29	7,32	17,21	13,46
V4	3,38	3,38	5,07	5,07
V5	2,4	2,74	5,53	4,9
V6	2,39	2,75	5,52	4,88
V7	4,69	5,69	10,93	9,27
V8	5,08	6,03	11,56	8,99
V9	3,03	3,03	5,87	4,9
V10	4,72	4,82	8,52	7,33
V11	4,72	5,75	10,82	9,31

PAVIMENTO:	Cobertura			
Viga	Armadura Positiva		Armadura Negativa	
	Linear Elástico	Linear com redistribuição	Linear Elástico	Linear com redistribuição
	Soma dos Vãos	Soma dos Vãos	Soma dos nós	Soma dos nós
V1	6,76	6,76	6,98	6,76
V2	4,44	4,97	8,72	7,53
V3	3,38	3,38	5,07	5,07
V4	1,69	1,69	3,38	3,38
V5	1,69	1,69	3,38	3,38
V6	3,38	3,38	5,07	5,07
V7	5,06	6,07	10,36	8,86
V8	5,07	7,5	6,91	9
V9	4,72	5,78	7,04	7,02
V10	3,38	3,38	5,07	5,07

PAVIMENTO:	ÁREA TÉCNICA			
Viga	Armadura Positiva		Armadura Negativa	
	Linear Elástico	Linear com redistribuição	Linear Elástico	Linear com redistribuição
	Soma dos Vãos	Soma dos Vãos	Soma dos nós	Soma dos nós
V1	3,38	3,38	5,07	5,07
V2	3,38	3,38	5,07	5,07
V3	3,38	3,38	5,07	5,07
V4	3,38	3,38	5,07	5,07
V5	3,38	3,38	5,07	5,07
V6	3,38	3,38	5,07	5,07