

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

HAYESKA DEITOS DE LIMA

AVALIAÇÃO DE ARMADURAS DE PUNÇÃO EM LAJES LISAS E LAJES
NERVURADAS

CAXIAS DO SUL
2020

HAYESKA DEITOS DE LIMA

**AVALIAÇÃO DE ARMADURAS DE PUNÇÃO EM LAJES LISAS E LAJES
NERVURADAS**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado
como requisito parcial à obtenção do grau de
bacharel em Engenharia Civil pela
Universidade de Caxias do Sul.

Orientadora: Prof.^a. Dra. Henriette Justina
Manfredini Baroni

CAXIAS DO SUL

2020

HAYESKA DEITOS DE LIMA

**AVALIAÇÃO DE ARMADURAS DE PUNÇÃO EM LAJES LISAS E LAJES
NERVURADAS**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado
como requisito parcial à obtenção do grau de
bacharel em Engenharia Civil pela
Universidade de Caxias do Sul.

Aprovada em 08/12/2020.

Banca Examinadora

Prof. Dra. Henriette Justina Manfredini Baroni
Universidade de Caxias do Sul

Prof. Dra. Ângela Gaio Graeff
Universidade Federal do Rio Grande do Sul

Prof. Me. Gustavo Ribeiro da Silva
Universidade de Caxias do Sul

“No que diz respeito ao empenho, ao compromisso, ao esforço, à dedicação, não existe meio termo. Ou você faz uma coisa bem feita ou não faz.” Ayrton Senna.

AGRADECIMENTO

Abraço combina muito com a engenharia: colunas alinhadas que dão conforto e segurança. Assim inicio meus agradecimentos, a quem sempre esteve junto nessa caminhada, que nem sempre foi fácil, mas nunca deixamos de sonhar e hoje estamos prestes a realizar este sonho.

Primeiramente, agradece a Deus e aos meus anjos, meus avós que sempre estiverem ao meu lado, me iluminando.

Agradeço, à minha família, em especial, meus pais Eneu e Vanira, que sempre estiveram ao meu lado, entenderam minhas ausências, minhas angustias, mas nunca deixaram de medir esforços para que este sonho fosse realizado, sempre com muito amor, carinho e compreensão.

Agradeço ao meu namorado, Vinicius, que chegou ao meio desta caminhada, porém sempre me deu apoio e força para seguir em frente, por ser parceiro e paciente no tempo todo.

Agradeço aos meus amigos de longa, que continuaram ao meu lado, por todo apoio. Aos meus amigos que ganhei durante a faculdade, vocês fizeram muita diferença.

Agradeço aos meus professores pelos ensinamentos, em especial à Henriette Justina Manfredini Baroni que aceitou o convite para participar deste trabalho e contribuir com todo seu conhecimento.

Agradeço à Prefeitura de Caxias do Sul (Setor de Edificações) e a Viezzer Engenharia que me acolheram como estagiária pela oportunidade de colocar em pratica os conhecimentos teóricos adquiridos durante o curso e também agregar conhecimento.

Por fim, sou grata a todos de alguma forma, direta ou indiretamente, que participaram da realização deste sonho.

RESUMO

São de grande prioridade nas construções de centros comerciais, shoppings ou até mesmo em edifícios residenciais mesmo com menor frequência, a presença de lajes lisas ou lajes nervuradas pela sua maior rapidez de construção, menor utilização de formas de madeira, menor custo e em relação ao projeto sua maior mobilidade em relação ao layout, compatibilidade entre projetos, podem ser elencados como os principais pontos para sua utilização. São estruturas que merecem um maior cuidado em seu projeto estrutural, pois são suscetíveis aos efeitos de punção na ligação entre laje-pilar. Respaldo dessas características, este trabalho tem como propósito de avaliar comparativamente as armaduras de punção, tipos conectores e estribos, para as lajes lisas e lajes nervuradas determinadas através de *softwares* comerciais e analiticamente, para estudos de caso de estruturas fictícias com a utilização de concretos de diferentes resistências à compressão. Com base nos resultados obtidos, foram constatadas diferenças significativas entre os resultados gerados através dos dois *softwares* e também dos resultados analíticos.

Palavras-chave: Laje lisa. Laje nervurada. Punção. Armadura de punção. Estribos. Conectores.

LISTA DE EQUAÇÕES

Equação 1	43
Equação 2	44
Equação 3	44
Equação 4	45
Equação 5	45
Equação 6	45
Equação 7	45
Equação 8	46
Equação 9	46
Equação 10	47
Equação 11	47
Equação 12	47
Equação 13	47
Equação 14	47
Equação 15	48
Equação 16	48
Equação 17	48
Equação 18	50
Equação 19	50
Equação 20	50
Equação 21	50
Equação 22	51
Equação 23	52

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Organização do Trabalho.....	23
Figura 2 - Esquema da Ruptura por Punção	25
Figura 3 - Regiões de Ruptura em Lajes Lisas com Armadura de Cisalhamento.	26
Figura 4 - Edifício Pipers Row Car Park.....	27
Figura 5 - Colapso Parcial Piscina, em Krasnodar, Rússia em 2013.	27
Figura 6 - Distribuição de Tensão em Torno de um Pilar com Seção Quadrada	32
Figura 7 - Desenho Esquemático de Lajes Lisas	33
Figura 8 - Laje Cogumelo Nervurada com Capitel	35
Figura 9 - Barras Dobradas.....	38
Figura 10 - Tipos de Estribos	39
Figura 11 - Pinos	40
Figura 12 - Detalhe de Conectores Tipo Pino	41
Figura 13 - Perfil Metálico	41
Figura 14 - Superfície Crítica para o Modelo de Cálculo.....	43
Figura 15 - Definição do Valor de R	49
Figura 16 - Definir W_p para Contorno C"	50
Figura 17 - Disposição da Armadura de Punção em Planta.....	52
Figura 18 - Armadura Contra Colapso Progressivo.....	53
Figura 19 - Definição da Altura Útil no Caso de Capitel	53
Figura 20 - Corte Esquemático: TQS	62
Figura 21 - Informações Iniciais: TQS	63
Figura 22 - 3D da Estrutura: Laje Lisa	64
Figura 23 - Dados Iniciais: Eberick.....	65
Figura 24 - Definição Capitel: TQS.....	67
Figura 25 - Tipo de Cubeta: TQS	68
Figura 26 - 3D da Estrutura: Laje Nervurada.....	68
Figura 27 - Definição Capitel: Eberick.....	69
Figura 28 - Tipo de Cubeta: Eberick para Laje com 32 cm	70
Figura 29 - Tipo de Cubeta: Eberick para Laje com 40 cm	71
Figura 30 - Dimensionamento: M1 – C25C e M1 – C25E com Altura de 32 cm.....	131
Figura 31 - Dimensionamento: M1 – C40C e M1 – C40E com Altura de 32 cm.....	133

Figura 32 - Dimensionamento: M1 – C25C e M1 – C25E com Altura de 40 cm.....	135
Figura 33 - Dimensionamento: M1 – C40C e M1 – C40E com Altura de 40 cm.....	137
Figura 34 – Dimensionamento: M2 – C25C e M2 – C25E com Altura de 32 cm.....	145
Figura 35 - Dimensionamento: M2 – C40C e M2 – C40E com Altura de 32 cm.....	147
Figura 36 - Dimensionamento: M2 – C25C e M2 – C25E com Altura de 40 cm.....	149
Figura 37 - Dimensionamento: M2 – C40C e M2 – C40E com Altura de 40 cm.....	151

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Valores de K.....	44
Tabela 2 – Critérios para Detalhamento de Lajes à Punção	56
Tabela 3 - Critérios de Distribuição de Armaduras.....	56
Tabela 4 - Dados do Dimensionamento dos Pilares	57
Tabela 5 - Especificações e Características dos Materiais	58
Tabela 6 - Matriz de Análise.....	60
Tabela 7 - Dimensões das Vigas: Primeiro Pavimento	64
Tabela 8 - Dimensões das Vigas: Primeiro Pavimento	65
Tabela 9 - Dimensões Capitéis: TQS	67
Tabela 10 - Dimensões Capitéis: Eberick	69
Tabela 11 - Quantitativo para M1 – A25C e M1 – A25E com h = 40 cm	73
Tabela 12 - Quantitativo para M1 – A40C e M1 – A40E com h = 40 cm	74
Tabela 13 - Quantitativo para M1 – B25C com h = 32 cm.....	75
Tabela 14 – Quantitativo para M1 – B40C com h = 32 cm.....	76
Tabela 15 - Quantitativo para M1 – B25C com h = 40 cm.....	77
Tabela 16 - Quantitativo para M1 – B40C com h = 40 cm.....	78
Tabela 17 - Dimensionamento – P1: Dados Preliminares.....	79
Tabela 18 - Dimensionamento – P1: Valor de D, Perímetro Crítico e Resistência Plástica no Contorno C	80
Tabela 19 - Dimensionamento – P1: Tensão Solicitante e Tensão Resistente no Contorno C	80
Tabela 20 - Dimensionamento – P1: Perímetro Crítico e Resistência Plástica no Contorno C'	80
Tabela 21 - Dimensionamento – P1: Tensão Solicitante e Tensão Resistente no Contorno C'	81
Tabela 22 - Dimensionamento – P1: Contorno C''	81
Tabela 23 - Dimensionamento – P1: Dados Preliminares.....	82
Tabela 24 - Dimensionamento – P1: Valor de D, Perímetro Crítico e Resistência Plástica no Contorno C	82
Tabela 25 - Dimensionamento – P1: Tensão Solicitante e Tensão Resistente no Contorno C	83

Tabela 26 - Dimensionamento – P1: Perímetro Crítico e Resistência Plástica no Contorno C'	83
Tabela 27 - Dimensionamento – P1: Tensão Solicitante e Tensão Resistente no Contorno C'	83
Tabela 28 - Dimensionamento – P1: Contorno C''	84
Tabela 29 - Dimensionamento – P2: Dados Preliminares	85
Tabela 30 - Dimensionamento – P2: Valor de D, Perímetro Crítico e Resistência Plástica no Contorno C	85
Tabela 31 - Dimensionamento – P2: Tensão Solicitante e Tensão Resistente no Contorno C	85
Tabela 32 - Dimensionamento – P2: Perímetro Crítico e Resistência Plástica no Contorno C'	86
Tabela 33 - Dimensionamento – P2: Tensão Solicitante e Tensão Resistente no Contorno C'	86
Tabela 34 - Dimensionamento - P2: Tensão Resistente no Contorno Crítico em C' com Armadura de Punção.....	87
Tabela 35 - Quantitativo para P2 – Conectores	87
Tabela 36 - Quantitativo para P2 – Estribos.....	87
Tabela 37 - Dimensionamento – P2: Contorno C''	88
Tabela 38 - Dimensionamento – P5: Dados Preliminares	89
Tabela 39 - Dimensionamento – P5: Valor de D, Perímetro Crítico e Resistência Plástica no Contorno C	89
Tabela 40 - Dimensionamento – P5: Tensão Solicitante e Tensão Resistente no Contorno C	90
Tabela 41 - Dimensionamento – P5: Perímetro Crítico e Resistência Plástica no Contorno C'	90
Tabela 42 - Dimensionamento – P5: Tensão Solicitante e Tensão Resistente no Contorno C'	90
Tabela 43 - Dimensionamento – P5: Tensão Resistente no Contorno Crítico em C' com Armadura de Punção.....	91
Tabela 44 – Quantitativo para P5 – Conectores.....	91
Tabela 45 – Quantitativo para P5 – Estribos	92
Tabela 46 - Dimensionamento – P5: Contorno C''	92
Tabela 47 - Quantitativo de Armadura P5 – Contorno C''	93

Tabela 48 – Quantitativo para M1 – C25C e M1 – C25E com h = 32 cm.....	93
Tabela 49 - Quantitativo para M1 – C40C e M1 – C40E com h = 32 cm.....	95
Tabela 50 - Quantitativo para M1 – C25C e M1 – C25E com h = 40 cm.....	96
Tabela 51 - Quantitativo para M1 – C40C e M1 – C40E com h = 40 cm.....	97
Tabela 52 - Dimensionamento Laje Lisa com H = 32 cm: 25 MPa.....	98
Tabela 53 - Dimensionamento Laje Lisa com H = 40 cm: 25 MPa.....	99
Tabela 54 - Dimensionamento Laje Lisa com H = 32 cm: 40 MPa.....	100
Tabela 55 - Dimensionamento Laje Lisa com H = 40 cm: 40 MPa.....	101
Tabela 56 – Quantitativo para M2 - A25C e M2 – A25E com h = 40 cm.....	102
Tabela 57 – Quantitativo para M2 – A40C e M2 – A40E com h = 40 cm	103
Tabela 58 – Quantitativo para M2 – C25C e M2 – C25E com h = 32 cm.....	105
Tabela 59 – Quantitativo para M2 – C40C e M2 – C40E com h = 32 cm.....	106
Tabela 60 – Quantitativo para M2 – C25C e M2 – C25E com h = 40 cm.....	108
Tabela 61 – Quantitativo para M2 – C25C e M2 – C25E com h = 40 cm.....	109
Tabela 62 - Dimensionamento Laje Nervurada com H = 32 cm: 25 MPa.....	110
Tabela 68 - Dimensionamento Laje Nervurada com H = 40 cm: 25 MPa.....	110
Tabela 64 - Dimensionamento Laje Nervurada com H = 32 cm: 40 MPa.....	111
Tabela 65 - Dimensionamento Laje Nervurada com H = 40 cm: 40 MPa.....	112

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABECE	Associação Brasileira de Engenharia e Consultoria Estrutural
ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
IBRACON	Instituto dos Auditores Independentes do Brasil
NBR	Norma Brasileira Regulamentadora

LISTA DE SÍMBOLOS

A_s	Área de Armadura de Flexão Tracionada
A_c	Área da Seção Bruta de Concreto
A_{sw}	Área de Armadura de Punção em um contorno completo paralelo a C';
α	Ângulo de Inclinação entre o Eixo da Armadura de Punção e o Plano da Laje
α_v	Coeficiente de Efetividade do Concreto
C_1	Dimensão do pilar paralela à excentricidade da força;
C_2	Dimensão do pilar perpendicular à excentricidade da força;
Cm	Centímetros
d	Altura Útil da Laje ao longo do contorno crítico C' da área de aplicação da força (cm);
f_{ck}	Resistência Característica do Concreto à Compressão
f_{cd}	Resistência de Cálculo do Concreto
f_{ywd}	Resistência de Cálculo da Armadura de Punção
F_{Sd}	Reação de Apoio
MPa	Mega Pascal
M_{sd}	Momento de cálculo no plano perpendicular à borda livre;
M_{sd}^*	Momento de cálculo resultante da excentricidade do perímetro crítico;
ρ	Taxa Geométrica de Armadura de Flexão Aderente
r	Taxa de Armadura de Flexão Tracionada
S_r	Espaçamento Radial entre Linhas de Armadura de Punção
sen	Seno
τ_{Sd}	Tensão de Cisalhamento de Cálculo
τ_{Rd}	Tensão de Cisalhamento Resistente de Cálculo
u	Perímetro Crítico Reduzido
ud	Área da Superfície Crítica
K	Coeficiente que fornece a parcela de M_{sd} transmitida ao pilar por cisalhamento;

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	21
1.1	HIPÓTESE DE PESQUISA	22
1.2	OBJETIVO PRINCIPAL	22
1.3	OBJETIVOS ESPECIFICOS	22
1.4	DELIMITAÇÕES	22
1.5	LIMITAÇÃO	22
1.6	DELINEAMENTO	23
2	PUNÇÃO	24
2.1	CONCEITOS	24
2.1.1	Punção.....	24
2.1.2	Lajes Lisas	24
2.1.3	Lajes Nervuradas.....	24
2.2	EFEITO DE PUNÇÃO	25
2.3	LAJES LISAS	32
2.4	LAJES NERVURADAS.....	34
2.5	ARMADURAS DE PUNÇÃO	35
2.5.1	Taxa de Armadura de Flexão Tracionada.....	36
2.5.2	Taxa de Armadura de Cisalhamento.....	36
2.5.3	Barras Dobradas.....	37
2.5.4	Estribos	38
2.5.5	Pinos.....	39
2.5.6	Perfil Metálico	41
2.6	FATORES QUE INFLUENCIAM A PUNÇÃO	28

2.6.1	Resistência do Concreto.....	28
2.6.1.1	Resistência do Concreto à Compressão	29
2.6.1.2	Resistência do Concreto à Tração.....	29
2.6.2	Excentricidade de Cargas.....	29
2.6.3	Altura Útil da Laje	30
2.6.4	Dimensões e Geometria dos Pilares.....	31
2.7	PRESCRIÇÕES NORMATIVAS	42
2.7.1	Método de Cálculo da NBR 6118/2014.....	42
2.7.1.1	Pilar Interno, com Efeito de Momento.....	43
2.7.1.2	Pilar de Borda.....	45
2.7.1.3	Pilar de Canto.....	46
2.7.2	Tensão Resistente nas Superfícies Críticas	46
2.7.2.1	Tensão Resistente na Superfície Crítica C (Compressão Diagonal do Concreto).....	46
2.7.2.2	Tensão Resistente na Superfície Crítica C' sem Armadura de Punção	47
2.7.2.3	Tensão Resistente na Superfície Crítica C' com Armadura de Punção	48
2.7.2.4	Tensão Resistente na Superfície Crítica C''	49
2.7.3	Armadura de Punção Obrigatória	51
2.7.4	Disposição de Armaduras de Punção	51
2.7.5	Armadura Contra Colapso Progressivo	52
2.7.6	Verificação do Capitel	53
2.8	SOFTWARE DE CÁLCULO	54
2.8.1	Eberick.....	54
2.8.2	TQS	55
3	METODOLOGIA DE PESQUISA	57
3.1	CARACTERIZAÇÃO DO ESTUDO	57
3.2	PROPRIEDADES DOS MATERIAIS	57

3.3	ANÁLISE DA ESTRUTURA.....	58
3.4	MODELOS DA ESTRUTURA.....	58
3.4.1	Modelo Lajes Lisas – Modelo 1	59
3.4.2	Modelo para Lajes Nervuradas – Modelo 2	59
3.4.3	Matriz de Análise	59
3.5	DIMENSIONAMENTO DAS ARMADURAS	61
3.5.1	Armadura de Flexão	61
3.5.2	Armadura de Cisalhamento	61
3.5.3	Armadura de Colapso Progressivo.....	61
3.6	MODELAGEM DA ESTRUTURA.....	62
3.6.1	Modelo 1: Laje Lisa.....	62
3.6.1.1	Estrutura Laje Lisa: <i>Software</i> TQS	62
3.6.1.2	Estrutura Laje Lisa: <i>Software</i> Eberick.....	64
3.6.1.3	Processo Analítico – Laje Lisa:.....	66
3.6.2	Modelo 2: Laje Nervurada.....	66
3.6.2.1	Estrutura Laje Nervurada: <i>Software</i> TQS	66
3.6.2.2	Estrutura Laje Nervurada: <i>Software</i> Eberick.....	68
3.6.2.3	Processo Analítico – Laje Nervurada.....	71
4	RESULTADOS E ANÁLISES	72
4.1	LAJE LISA	72
4.1.1	Modelos: M1 – A25C e M1 – A25E com h = 32 cm	72
4.1.2	Modelos: M1 – A40C e M1 – A40E com h = 32 cm	72
4.1.3	Modelos: M1 – A25C e M1 – A25E com h = 40 cm	72
4.1.4	Modelos: M1 – A40C e M1 – A40E com h = 40 cm	73
4.1.5	Modelos: M1 – B25C com h = 32 cm	75
4.1.6	Modelos: M1 – B40C com h = 32 cm	76

4.1.7	Modelos: M1 – B25C com h = 40 cm	77
4.1.8	Modelos: M1 – B40C com h = 40 cm	78
4.1.9	Modelos: M1 – C25C e M1 – C25E com h = 32 cm	79
4.1.9.1.1	Pilar de Canto.....	79
4.1.9.2	Pilar Interno, com Efeito de Momento.....	89
4.1.10	Modelos: M1 – C40C e M1 – C40E com h = 32 cm	94
4.1.11	Modelos: M1 – C25C e M1 – C25E com h = 40 cm	95
4.1.12	Modelos: M1 – C40C e M1 – C40E com h = 40 cm	96
4.1.13	Comparativo dos Resultados da Armadura de Punção	97
4.1.13.1	Laje Lisa de 25 MPa com h = 40 cm.....	98
4.1.14	Laje Lisa de 40 MPa com h = 32 cm	99
4.1.15	Laje Lisa de 40 MPa com h = 40 cm	100
4.2	LAJE NERVURADA.....	101
4.2.1	Modelos: M2 – A25C e M2 – A25E com h = 32 cm	101
4.2.2	Modelos: M2 – A40C e M2 – A40E com h = 32 cm	102
4.2.3	Modelos: M2 – A25C e M2 – A25E com h = 40 cm	102
4.2.4	Modelos: M2 – A40C e M2 – A40E com h = 40 cm	103
4.2.5	Modelos: M2 – B25C com h = 32 cm	104
4.2.6	Modelos: M2 – B40C com h = 32 cm	105
4.2.7	Modelos: M2 – B25C com h = 40 cm	105
4.2.8	Modelos: M2 – B40C h = 40 cm	105
4.2.9	Modelos: M2 – C25C e M2 – C25E com h = 32 cm	105
4.2.10	Modelos: M2 – C40C e M2 – C40E com h = 32 cm	106
4.2.11	Modelos: M2 – C25C e M2 – C25E com h = 40 cm	107
4.2.12	Modelos: M2 – C40C e M2 – C40E com h = 40 cm	108
4.2.13	Comparativo dos Resultados da Armadura de Punção	109
4.2.14	Laje Nervurada de 25 MPa com h = 32 cm.....	109

4.2.15	Laje Nervurada de 25 MPa com h = 40 cm.....	110
4.2.16	Laje Nervurada de 40 MPa com h = 32 cm.....	111
4.2.17	Laje Nervurada de 40 MPa com h = 40 cm.....	111
5	CONSIDERAÇÕES FINAIS	113
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	115
	APÊNDICE A - PLANTA BAIXA DA LAJE LISA: SOFTWARE EBERICK COM ALTURA DE 32 CM	120
	APÊNDICE B - PLANTA BAIXA DA LAJE LISA: SOFTWARE EBERICK COM ALTURA DE 40 CM	121
	APÊNDICE C - ARMADURA DE PUNÇÃO EM PLANTA BAIXA DO MODELO: M1 – A25C COM ALTURA DE 40 CM.....	122
	APÊNDICE D - ARMADURA DE PUNÇÃO EM PLANTA BAIXA DO MODELO: M1 – A25E COM ALTURA DE 40 CM.....	123
	APÊNDICE E - ARMADURA DE PUNÇÃO EM PLANTA BAIXA DO MODELO: M1 – A40C COM ALTURA DE 40 CM.....	124
	APÊNDICE F - ARMADURA DE PUNÇÃO EM PLANTA BAIXA DO MODELO: M1 – A40E COM ALTURA DE 40 CM.....	125
	APÊNDICE G - ARMADURA DE PUNÇÃO EM PLANTA BAIXA DO MODELO: M1 – B25C COM ALTURA DE 32 CM.....	126
	APÊNDICE H - ARMADURA DE PUNÇÃO EM PLANTA BAIXA DO MODELO: M1 – B25C COM ALTURA DE 40 CM.....	127
	APÊNDICE I - ARMADURA DE PUNÇÃO EM PLANTA BAIXA DO MODELO: M1 – B40C COM ALTURA DE 32 CM.....	128
	APÊNDICE J - ARMADURA DE PUNÇÃO EM PLANTA BAIXA DO MODELO: M1 – B40C COM ALTURA DE 40 CM.....	129
	APÊNDICE K - DIMENSIONAMENTO DO MODELO: M1 – C25C E M1 – C25E COM ALTURA DE 32 CM.....	130
	APÊNDICE L - DIMENSIONAMENTO DO MODELO: M1 – C40C E M1 – C40E COM ALTURA DE 32 CM.....	132

APÊNDICE M - DIMENSIONAMENTO DO MODELO: M1 – C25C E M1 – C25E COM ALTURA DE 40 CM.....	134
APÊNDICE N - DIMENSIONAMENTO DO MODELO: M1 – C40C E M1 – C40E COM ALTURA DE 40 CM.....	136
APÊNDICE O - PLANTA BAIXA DA LAJE NERVURADA: SOFTWARE EBERICK COM ALTURA DE 32 CM.....	138
APÊNDICE P - ARMADURA DE PUNÇÃO EM PLANTA BAIXA DO MODELO: M2 – A25C COM ALTURA DE 40 CM.....	139
APÊNDICE Q - ARMADURA DE PUNÇÃO EM PLANTA BAIXA DO MODELO: M2 – A25E COM ALTURA DE 40 CM.....	140
APÊNDICE R - ARMADURA DE PUNÇÃO EM PLANTA BAIXA DO MODELO: M2 – C40C COM ALTURA DE 40 CM.....	141
APÊNDICE S - ARMADURA DE PUNÇÃO EM PLANTA BAIXA DO MODELO: M2 – C40E COM ALTURA DE 40 CM.....	142
APÊNDICE T - ARMADURA DE PUNÇÃO EM PLANTA BAIXA DO MODELO: M2 – B25E COM ALTURA DE 32 CM.....	143
APÊNDICE U - DIMENSIONAMENTO DO MODELO: M2 – C25C E M2 – C25E COM ALTURA DE 32 CM.....	144
APÊNDICE V - DIMENSIONAMENTO DO MODELO: M2 – C40C E M2 – C40E COM ALTURA DE 32 CM.....	146
APÊNDICE W - DIMENSIONAMENTO DO MODELO: M2 – C25C E M2 – C25E COM ALTURA DE 40 CM.....	148
APÊNDICE X - DIMENSIONAMENTO DO MODELO: M2 – C40C E M2 – C40E COM ALTURA DE 40 CM.....	150

1 INTRODUÇÃO

A construção civil geralmente é um dos setores mais afetados em meio a uma crise, normalmente o setor é um dos últimos a ser atingido, porém também sua crescente é mais lenta para a recuperação. O ano de 2020 se prosperava margens boas para a construção, contudo uma pandemia mundial parecia que iria mais uma vez arruinar a economia do setor. Ao contrário do que se imaginava ocorreu um *boom* em meio à crise gerando de empregos, crescimento na venda de imóveis tendo o momento com juros baixos para o financiamento e outros fatores que auxiliam a construção num momento tão delicado.

Com isso os profissionais que trabalham na área da engenharia civil, mais precisamente com a construção civil, precisam estar em constantes atualizações para realizar as melhores escolhas tanto quanto ao projeto quanto ao dia a dia da obra. Portanto, é importante optar por técnicas construtivas mais rápidas, efetivas, com custos menores e controlada geração de resíduos. Em projetos onde se terá maiores vãos entre pilares existe a possibilidade de serem executadas as lajes lisas ou nervuradas, variando de acordo com o local de execução, escolha do profissional e cliente.

As lajes lisas ou nervuradas são executadas sem a presença de vigas, seu apoio é diretamente sob os pilares e, quando necessário, o emprego dos capitéis. Esses tipos de lajes oferecem uma maior variedade de *layout*, diminui a utilização de formas consequentemente gera um menor número de resíduos, sua execução é mais rápida e econômica. Porém, seu projeto estrutural deve ser cuidadoso e detalhado tendo em vista as armaduras de flexão, cisalhamento e o emprego da armadura de punção, juntamente com a armadura contra o colapso progressivo.

Todos esses fatores foram motivação para este trabalho focado em armaduras de punção para a laje lisa e laje nervurada, além do desafio do entendimento do assunto de punção conforme a norma NBR 6118 (ABNT, 2014), também a utilização para o dimensionamento de *softwares* comerciais. A maior lacuna seria o dimensionamento dessas lajes à punção para estudos de caso através dos *softwares* Eberick e TQS. Este trabalho foca em uma análise comparativa entre os resultados obtidos.

1.1 HIPÓTESE DE PESQUISA

A hipótese de pesquisa deste trabalho é que há uma diferença significativa entre quantitativos de armaduras de resultados no dimensionamento à punção obtido pelo desenvolvimento analítico e dos obtidos com a utilização de *softwares* comerciais de análise.

1.2 OBJETIVO PRINCIPAL

Avaliar comparativamente armaduras de punção em lajes lisas e lajes nervuradas através de um estudo fictício de caso.

1.3 OBJETIVOS ESPECIFICOS

- a) Dimensionar as lajes para estudos de caso fictícios à punção utilizando como ferramenta *softwares* comerciais e analiticamente atendendo as prescrições das normas brasileiras.
- b) Comparar quantitativamente armaduras à punção, em lajes lisas e lajes nervuradas para estudos de caso fictícios.

1.4 DELIMITAÇÕES

Armaduras de punção em lajes lisas e em lajes nervuradas com uso de cubetas plásticas, utilizando a norma NBR 6118 (ABNT, 2014).

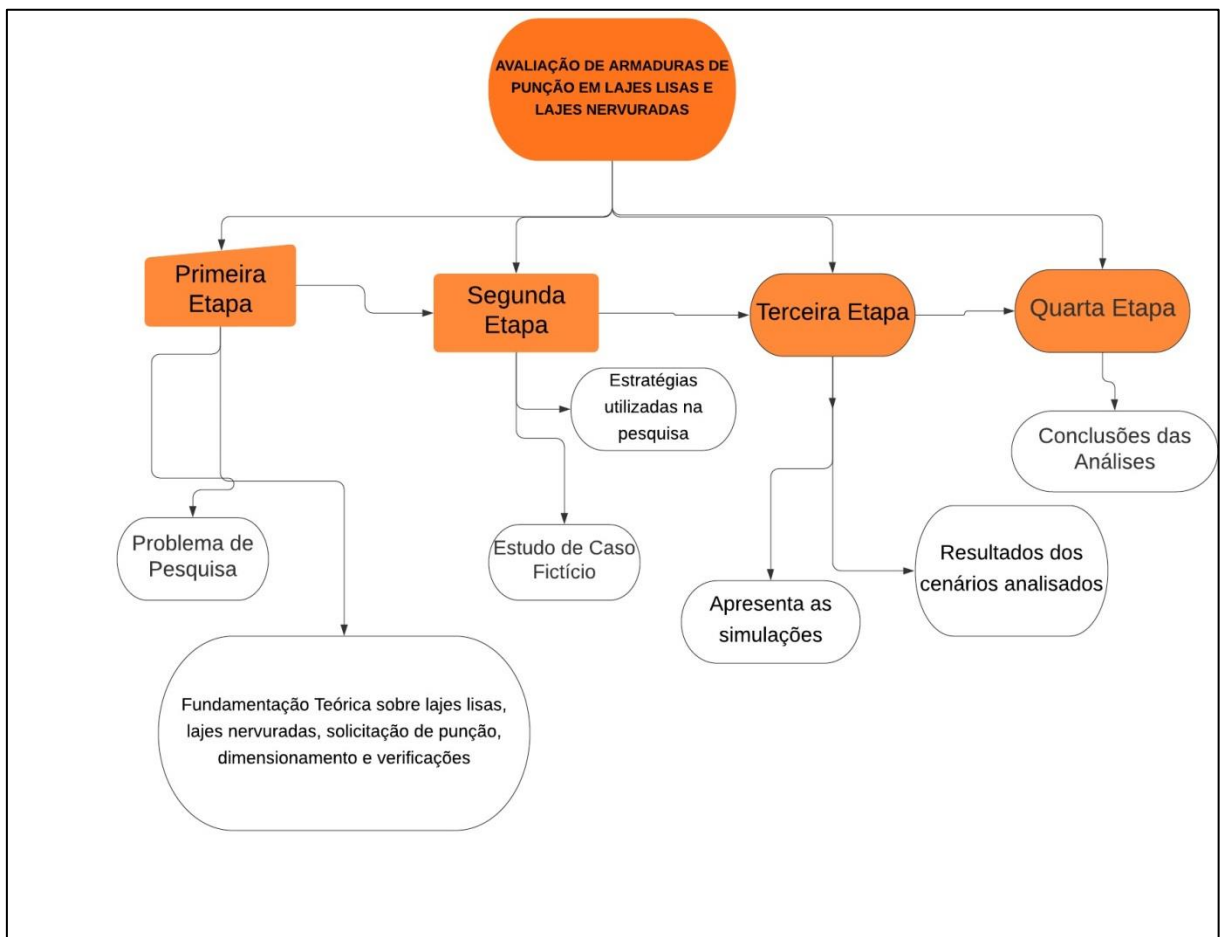
1.5 LIMITAÇÃO

Para o estudo têm-se como limitação as ferramentas de análise de *softwares* comerciais em suas versões disponibilizadas pela Universidade de Caxias do Sul.

1.6 DELINEAMENTO

Este trabalho consiste basicamente em quatro etapas: a primeira apresenta o problema e traz a fundamentação teórica sobre lajes lisas, lajes nervuradas, solicitação de punção, dimensionamento e verificações; a segunda apresenta os estudos de casos fictícios e as estratégias utilizadas na pesquisa; a terceira apresenta as simulações e resultados dos cenários analisados; e a última conclusões das análises. A Figura 1 apresenta o fluxograma da organização do trabalho.

Figura 1 - Organização do Trabalho



Fonte: Autora (2020).

2 PUNÇÃO

O sistema estrutural sem vigas oferece diversas vantagens, principalmente o menor uso de formas de madeira, proporcionando maior economia e contribuindo para facilidade em sua execução. As lajes sendo apoiadas diretamente em pilares tem como efeito associado a punção, que poderá gerar a possibilidade deste efeito inviabilizar a execução do projeto.

2.1 CONCEITOS

Os principais conceitos envolvidos neste estudo estão apresentados a seguir.

2.1.1 Punção

Segundo a NBR 6118 (ABNT, 2014), punção é o Estado Limite Último determinado por cisalhamento no entorno de forças concentradas.

2.1.2 Lajes Lisas

Um dos sistemas estruturais mais eficientes e que vem sendo amplamente utilizado é o de lajes lisas, onde a laje de concreto armado ou protendido se apoia diretamente sobre os pilares (VIEIRA et al, 2019).

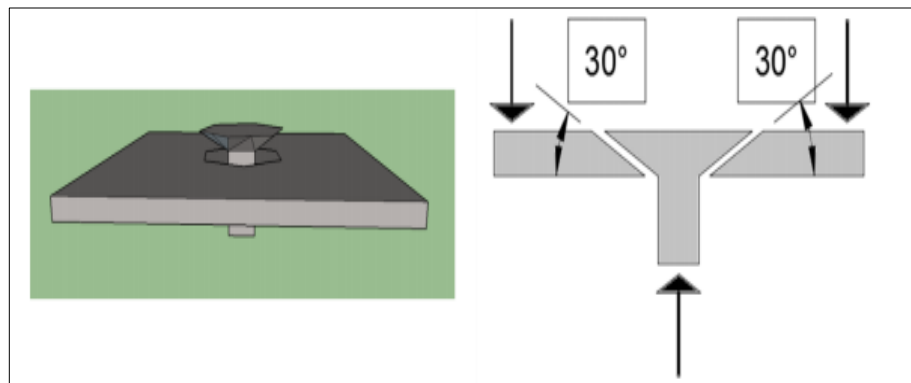
2.1.3 Lajes Nervuradas

Segundo a NBR 6118 (ABNT, 2014), as lajes nervuradas são as lajes moldadas no local ou com nervuras pré-moldadas, cuja zona de tração para momentos positivos está localizada nas nervuras entre as quais pode ser colocado material inerte.

2.2 EFEITO DE PUNÇÃO

A ruptura por punção é um fenômeno de natureza frágil, que ocorre em lajes ou sapatas delgadas, devido a um esforço concentrado em uma pequena área, gerando elevadas tensões de cisalhamento nesta região. Forma-se uma superfície tronco-cônica ou tronco-piramidal com inclinação variável das fissuras em relação a horizontal valores entre 25° e 40° (AZEVEDO, 1999). O esquema da ruptura por punção é apresentado na Figura 2.

Figura 2 - Esquema da Ruptura por Punção



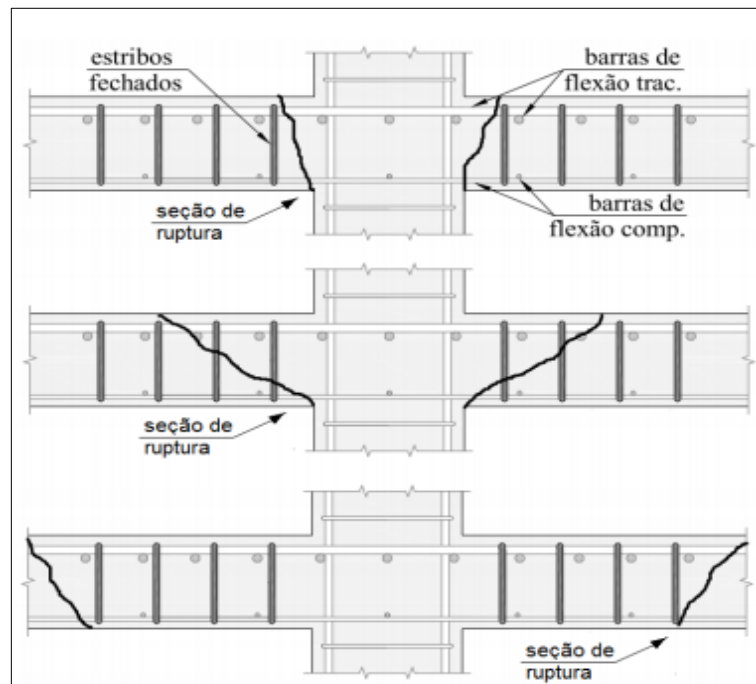
Fonte: ALVES (2017).

Para as lajes com armadura de cisalhamento a superfície de ruptura pode ocorrer em três posições distintas. A primeira posição é na região entre o pilar e a primeira camada de armadura de cisalhamento, com ruptura somente do concreto adjacente ao pilar; a segunda acontece na região com armadura de cisalhamento, com ruptura do concreto e da armadura; a terceira situação ocorre na região situada além da armadura de cisalhamento, com ruptura do concreto (CORDOVIL, 1997). A Figura 3 mostra as regiões de ruptura em lajes com armadura de cisalhamento (FERREIRA, 2010).

A punção é caracterizada pela atuação de uma força concentrada sobre uma área de um elemento estrutural plano. Essa força causará, no seu entorno, elevadas tensões cisalhantes, podendo causar a ruína deste elemento. Em lajes lisas ou nervuradas, o pilar introduz essa força concentrada, e a ruína acontece na ligação de laje-pilar (TRAUTWEIN, 2006).

Para Albuquerque (2010), a dificuldade para a determinação de equações analíticas para estimativa das tensões na região de interface laje-pilar é devido à complexidade da distribuição de tensões na região. Portanto, as normas e códigos, nacionais e internacionais, determinam a resistência ao cisalhamento da laje, considerando uma seção crítica ao entorno do pilar e ajustam os valores utilizando coeficientes obtidos experimentalmente.

Figura 3 - Regiões de Ruptura em Lajes Lisas com Armadura de Cisalhamento.



Fonte: FERREIRA (2010).

A punção ainda poderá ser classificada em assimétrica, simétrica e excêntrica. De acordo com Oliveira (2015):

A punção assimétrica, assim como a simétrica, não possui transferência de momento fletor para a força cortante. Entretanto todos os outros fatores influenciadores nessa situação podem ao mesmo tempo serem ou não assimétricos.

Considera-se punção simétrica se a geometria, o carregamento, as condições de contorno e a distribuição e constituição da armadura de flexão puderem ser considerados simétricos em relação aos eixos de simetria da ligação laje-pilar (OLIVEIRA M. H., 2015). Caracteriza-se ainda por não haver transferência

de momento fletor. Na punção simétrica, a superfície de ruptura é caracterizada por uma forma tronco-cônica (OLIVEIRA, 2015).

Colapsos decorrentes do efeito de punção, já ocorreram em diversas construções, um dos colapsos parciais aconteceu no Edifício Pipers Row Car Park em Wolverhampton, Inglaterra no ano de 1997, conforme na Figura 4.

Figura 4 - Edifício Pipers Row Car Park

a) vista da laje colapsada;

b) detalhe do pilar.



Fonte: WOOD (1997).

Outro colapso ocorreu devido à ruptura por punção, entre eles pode-se citar uma piscina, em Christchurch, em Krasnodar, Rússia em 2013, conforme Figura 5.

Figura 5 - Colapso Parcial Piscina, em Krasnodar, Rússia em 2013.



Fonte: <https://www.engenhariacivil.com/piscina-colapsa-russia>

2.3 FATORES QUE INFLUENCIAM A PUNÇÃO

Nas últimas décadas diversas pesquisas experimentais têm sido realizadas para determinar a importância de alguns parâmetros na resistência a este tipo de ruptura (DÍAZ, 2018). Ressalta-se que uma das complexidades relativas ao fenômeno da punção é enumerar todos os parâmetros que o influenciam (SANTOS E. V., 2018).

2.3.1 Resistência do Concreto

GRAF (1933) foi um dos primeiros a tentar avaliar a influência da resistência do concreto na resistência à punção, concluindo que não havia uma relação linear entre o aumento da capacidade resistente de uma ligação laje-pilar com o aumento da resistência do concreto, após MOE (1961) avaliou essa influência (FERREIRA, 2010); (SANTOS E. V., 2018).

Os resultados de pesquisas mais recentes, como as de HALLGREN (1996), que analisou lajes com concretos de elevada resistência, indicam que relacionar à resistência à punção com uma função proporcional à raiz quadrada (FERREIRA, 2010); (SANTOS E. V., 2018).

Em conformidade com Ferreira em 2010, descreveu que:

A ruptura por cisalhamento de uma estrutura de concreto sem armadura de combate a tal esforço é governada, dentre outros fatores, pela resistência à tração do concreto.

A resistência do concreto à tração é normalmente correlacionada com a resistência do concreto à compressão, e por isso as prescrições normativas e pesquisas realizadas costumam relacionar a resistência à compressão com a resistência ao cisalhamento em lajes (SILVA, 2017).

A resistência da seção é influenciada pela resistência do concreto, conforme ensaios por Talbot (1925) e Graf (1938), conforme (CARVALHO et al, 2019), isso ocorre porque a resistência da ligação laje-pilar está condicionada a resistência à tração diagonal do concreto e aos mecanismos de transferência de esforços

cisalhantes pela biela comprimida. Dessa forma, ao se elevar a resistência do concreto, aumenta-se a resistência à formação de fissuras, garante-se uma maior contribuição da interface de concreto, além de se aumentar a máxima capacidade resistente à compressão da biela comprimida.

2.3.1.1 Resistência do Concreto à Compressão

Como para fins de projeto de uma estrutura o estabelecimento da resistência à compressão é o passo inicial desse processo e as formulações normativas costumam relacionar a resistência à tração do concreto como uma função de sua resistência à compressão (FERREIRA, 2010).

Pesquisas mais recentes propostas por, MARZOUK e HUSSEIN (1991), defendem que a resistência à punção da laje varia com a raiz cúbica da resistência à compressão do concreto (SANTOS E. V., 2018). Essa conclusão é a partir de que analisaram lajes com concreto de alta resistência variando a altura útil da laje e a taxa de armadura de flexão (FERREIRA, 2010).

2.3.1.2 Resistência do Concreto à Tração

Para Rabello (2010), a resistência ao cisalhamento na ligação laje-pilar está relacionada à resistência à tração do concreto, que algumas normas consideram proporcional ao valor da raiz quadrada da resistência à compressão. Porém, o aumento dessa resistência não garante um comportamento mais dúctil para a laje em relação a sua ruína.

Fundamentalmente, a ruptura por cisalhamento de uma estrutura de concreto é função direta da resistência à tração do concreto (DÍAZ, 2018).

2.3.2 Excentricidade de Cargas

Moe em 1961, que introduziu o conceito de excentricidade do cisalhamento, onde parte do momento transferido na ligação laje-pilar é considerada transferida para as armaduras de flexão e o restante é transferido por cisalhamento ao redor do pilar, método que ainda hoje serve de base para as recomendações normativas referentes a essa situação de projeto (SANTOS E. V., 2018).

Para a punção assimétrica com excentricidade, as condições geram uma diferença na intensidade do momento fletor na ligação que é transferido da laje para o pilar por cisalhamento, torção e flexão. Este momento é chamado de momento desbalanceado ou momento de engastamento (OLIVEIRA M. H., 2015),

Em projeto de edifícios, os principais exemplos de punção excêntrica são os pilares de borda e pilares de canto, pois estes sempre estarão sujeitos à ação de excentricidades geradas pelo carregamento (OLIVEIRA M. H., 2015). A tensão solicitante depende da carga transferida da laje ao pilar, podendo ser uma carga centrada ou com excentricidade (SANTOS E. V., 2018).

Admitindo duas componentes de momentos fletores, a tensão solicitante precisa ser estudada ao longo de todo o período crítico, sendo o maior valor, em módulo, determinante para a resistência à punção (SANTOS E. V., 2018).

2.3.3 Altura Útil da Laje

A altura útil da laje é mais um dos fatores importantes que influenciam na resistência à punção de lajes lisas e lajes nervuradas.

O aumento da altura útil da laje permite que uma seção maior de concreto contribua na distribuição de esforços na ligação laje-pilar (CARVALHO et al, 2019). Assim, melhora as resistências à punção lajes lisas devido à maior espessura do concreto disponível para resistir ao cisalhamento, assim visa aumentar a espessura da laje apenas na ligação laje-pilar (SANTOS E. V., 2018).

Apesar do aumento da área permitir a atuação de uma força maior, a tensão resistente à punção no instante da ruptura é menor. Esse efeito é conhecido como size effect e está relacionado à formação e crescimento de fissuras na seção antes de se alcançar a carga última esperada. Portanto, não há um crescimento linear de resistência com o aumento da seção (CARVALHO et al, 2019).

De acordo com Fusco (1984, apud Melges, 2001) a influência do efeito de tamanho geralmente é dada em função da altura útil da laje. Este efeito refere-se ao fato de que, em igualdade de outras condições, as lajes de menor altura útil são mais resistentes que as lajes mais espessas (FARIA, 2018).

Como consequência deste fenômeno, seções com uma altura útil maior tendem a apresentar uma ruptura frágil com uma tensão resistente menor, ao passo que seções menores têm um comportamento mais dúctil e uma tensão resistente

maior seção (CARVALHO et al 2019). Além disso, mesmo com uma mesma taxa de armadura longitudinal, nas lajes de maior espessura, a armadura de tração é menos eficiente no controle da abertura das fissuras ao longo de toda a altura da seção fissurada (FARIA, 2018).

Para Bazant e CAO (1987), quando o mecanismo de falha é frágil e dependente da propagação de fissuras, como é o caso da punção, não basta realizar uma análise do limite de resistência plástico do material, o size effect deve ser levado também em consideração (SANTOS E. V., 2018).

2.3.4 Dimensões e Geometria dos Pilares

A influência da geometria e as dimensões do pilar são parâmetros que afetam a resistência de uma laje, pois determinam a forma como as tensões se distribuem na ligação laje-pilar (FERREIRA, 2010). Influenciam também na resistência à punção das ligações laje-pilar: quanto menor a seção transversal do pilar maior será o efeito de puncionamento (LEDO, 2016).

Conforme Braestrup e Regan (1985), pilares com seções circulares podem apresentar uma resistência de até 15% superior quando comparado a seções retangulares. Isto se deve ao fato de seções retangulares apresentarem concentração de tensões nos cantos (FARIA, 2018; CARVALHO et al, 2019)

De acordo com Ledo (2016), através das pesquisas realizadas por HAWKINS et al. (1971), se tem a seguinte conclusão:

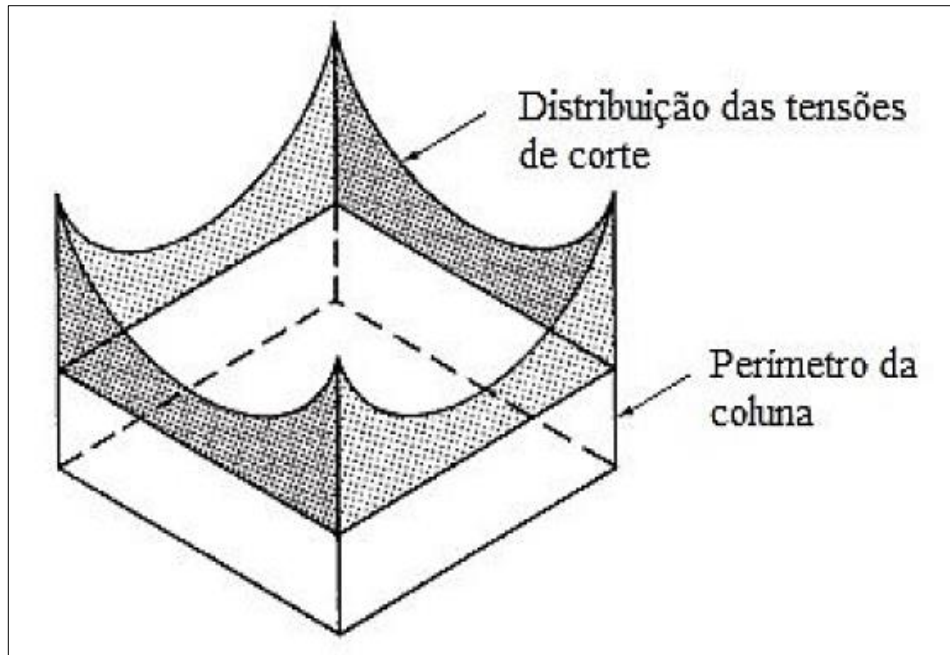
Para o caso de pilares retangulares pesquisas realizadas por concluem que quanto maior é a razão entre os lados de um pilar, a tensão nominal de cisalhamento diminui, fundamentalmente para relações acima de dois. Esta pesquisa é a base para o cálculo do índice de retangularidade de pilares (α_s) que recomenda o ACI.

Conforme citado acima as pesquisas de HAWKINS et al. (1971), é a base das recomendações do ACI que pode reduzir em mais da metade a tensão nominal de cisalhamento em torno dos pilares.

Em seus ensaios, VANDERBILT (1972) concluiu que a concentração de tensões que aparece nas lajes nos cantos dos pilares quadrados afeta a resistência à punção das mesmas, sendo de que a distribuição de tensões uniformes que

aparece em ligações com pilares circulares leva a um melhor comportamento da ligação laje-pilar, sendo maior a resistência à punção desta última que em pilares quadrados. ((LEDO, 2016); (SANTOS E. V., 2018)), assim conforme a Figura 6.

Figura 6 - Distribuição de Tensão em Torno de um Pilar com Seção Quadrada

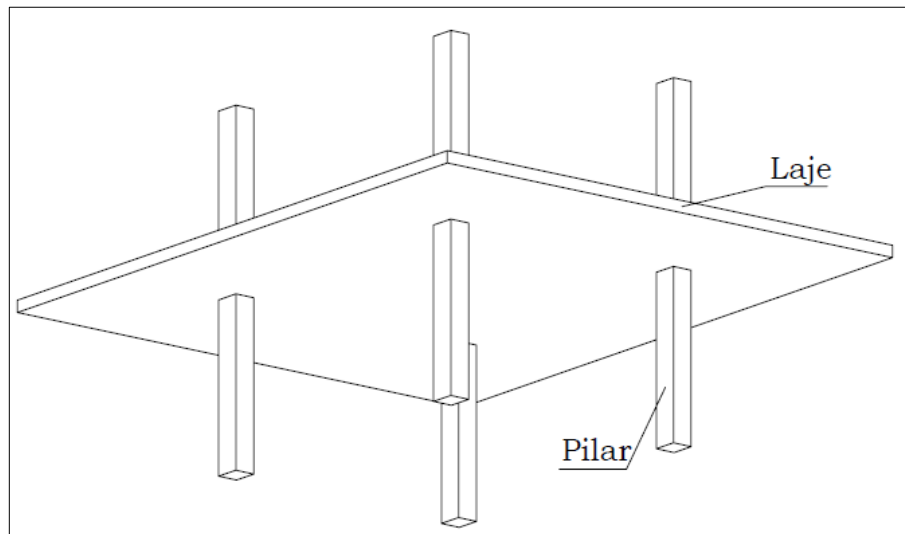


Fonte: WIGHT E MACGREGOR (2012).

2.4 LAJES LISAS

A utilização de lajes lisas tem crescido por conta das diversas vantagens que apresentam, como a alteração de layout interno, redução da altura total da edificação e redução de fôrmas pela ausência de vigas (KÜSTER et al, 2019). Pode ser considerada como vantagens na fase de construção a redução no tempo de execução, a facilitação da passagem de instalações elétricas, hidro sanitárias e de ar condicionado. Além da possibilidade de uma maior flexibilidade quanto ao projeto arquitetônico (VIEIRA et al, 2019). Na Figura 7, é possível observar a laje lisa.

Figura 7 - Desenho Esquemático de Lajes Lisas



Fonte: ALMEIDA FILHO (2002).

De acordo, com Ferreira (2010):

O aumento da popularidade deste sistema se justifica pela maior agilidade imposta ao processo construtivo, em que há simplificação das fôrmas e arranjo das armaduras do pavimento, reduzindo custos com mão-de-obra. Ainda, este sistema proporciona a redução da altura do pavimento e, portanto, do edifício, e atribui maior flexibilidade ao layout dos pavimentos. Em contrapartida, lajes lisas apresentam desvantagens relacionadas à estabilidade global, deslocamentos transversais e punção na ligação laje-pilar.

Apesar dos benefícios citados, este tipo de sistema estrutural requer uma análise mais sofisticada, principalmente no dimensionamento do Estado Limite Última (CARVALHO et al 2019). Devido ao esgotamento da capacidade resistente ao cisalhamento nas vizinhanças da ligação laje-pilar, em um modo de ruptura denominado de punção (FERREIRA et al, 2015).

A ruptura por punção está associada à tensão principal de tração decorrente da tensão de cisalhamento (CARVALHO et al 2019).

Assim, conforme Aguiar et al(2019):

Como forma de melhorar a capacidade resistente pode-se adotar algumas medidas tais como: o aumento da resistência do concreto, da taxa de

armadura de flexão, da seção transversal do pilar e da espessura da laje. Uma das formas mais eficientes para evitar esse tipo de falha, é o uso de armadura de cisalhamento que é instalada ao redor da ligação pilar-laje.

A complexa distribuição dos esforços internos na pequena porção da laje próxima ao pilar dificulta o desenvolvimento de equações analíticas para as tensões nessa região da laje (OLIVEIRA M. H., 2015). Considerando como citado acima, alguns parâmetros indispensáveis para resultados satisfatórios a exemplo da taxa de armadura à flexão, altura útil da laje e resistência à compressão do concreto (PAIVA, 2013).

As normas nacionais e internacionais estimam a tensão resistente ao cisalhamento de uma seção em torno do pilar denominada seção crítica ou perímetro crítico, e ajustam esse valor com coeficientes embasados em trabalhos experimentais (OLIVEIRA M. H., 2015).

2.5 LAJES NERVURADAS

Dentro do contexto geral do projeto estrutural de uma edificação, usualmente, as lajes respondem pela maior parte do consumo de insumos, fazendo com que a busca por soluções leves e econômicas para esses elementos seja um fator primordial para obtenção de bons resultados (SANTOS E. V., 2018).

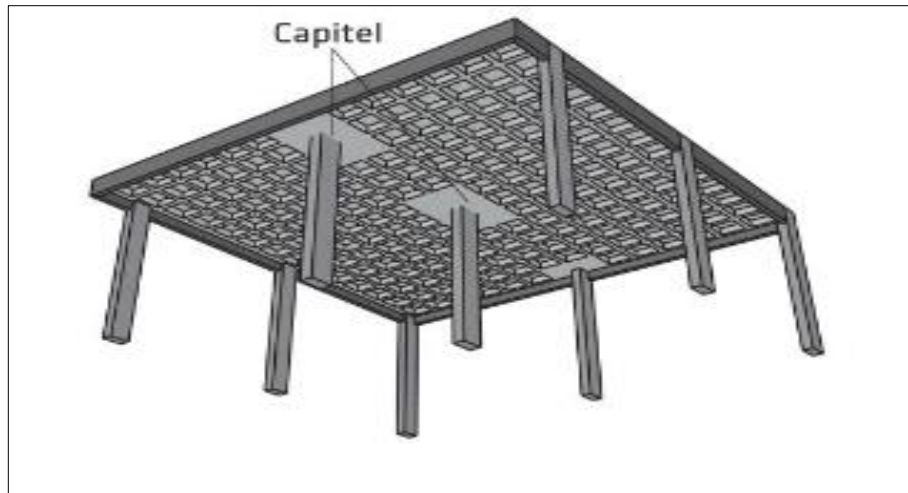
Araújo (2003, p. 144) destaca a sua vantagem em relação ao sistema convencional de laje maciça:

As lajes nervuradas exigem uma altura cerca de 50% superior à que seria necessária para as lajes maciças. Entretanto, o peso próprio da laje nervurada (e o consumo de concreto) é inferior ao da laje maciça, resultando em uma solução mais econômica para vãos acima de aproximadamente 8 m.

Conforme, (SANTOS, J.S. dos, pag. 105), nas lajes cogumelo nervuradas, o entorno dos pilares é uma região de grande concentração de tensões, e uma das tensões que precisa ser analisada com bastante cuidado é a de punção. Para combater a punção, é comum fazer uso de capitéis, que são engrossamentos da laje, formando assim uma região maciça que seja capaz de absorver as tensões,

conforme a Figura 8. Em algumas situações, o uso de capitéis é indesejado, especialmente em obras residenciais, onde se pretende ter um teto liso. Para evitar seu uso, pode-se utilizar armadura de punção na laje.

Figura 8 - Laje Cogumelo Nervurada com Capitel



Fonte: (SANTOS J.S. dos, 2017, pag. 106).

Para Dutra (2005), as lajes nervuradas são compostas por nervuras na zona de tração e uma mesa maciça de concreto na parte onde ocorre a compressão. As armaduras estão concentradas nas nervuras.

De acordo com Carvalho (2012) que diz:

Compararam-se três sistemas estruturais: nervurada com vigotas pré-moldadas, maciça e nervurada com cubetas, o sistema com lajes nervuradas com vigotas foi o mais econômico, a maciça apresentou um gasto de 11,28% a mais e as nervuradas um custo de 6,72% acima da primeira. Mesmo não sendo a escolha mais econômica, ela recomenda a utilização da laje nervurada com cubetas, por possuir menor quantidade de vigas, propiciar mudanças no layout arquitetônico, além de poder vencer grandes vãos.

2.6 ARMADURAS DE PUNÇÃO

De acordo com Rabello (2010) os principais benefícios da armadura de punção são o aumento da resistência e da ductilidade da ligação laje-pilar. Segundo a Norma Brasileira NBR 6118 (ABNT, 2014), no caso de a estabilidade global da

estrutura depender da resistência da laje à punção, deve-se prever uma armadura de punção, mesmo que a ligação passe pela verificação de punção. Essa armadura deve equilibrar no mínimo 50% da força de reação proveniente da laje no pilar.

A capacidade resistente da ligação aumenta significativamente, tanto que, de acordo com Gomes (1991), a resistência das lajes com armaduras de punção pode chegar ao dobro da resistência das lajes sem essas armaduras (GOMES, 1991, apud ALBUQUERQUE, 2015).

Apesar das vantagens, é necessário que haja cuidados especiais no uso da armadura de punção. Folgas na ancoragem e má disposição das armaduras podem provocar escorregamentos e fazer com que elas percam sua função estrutural (RABELLO, 2010).

2.6.1 Taxa de Armadura de Flexão Tracionada

Define-se taxa de armadura de flexão tracionada (p) como sendo a razão entre a área de armadura de flexão tracionada (A_s) pela área de concreto (A_c). A área de concreto (A_c) é definida como o produto da altura útil da laje (d) por uma determinada largura a ser considerada (OLIVEIRA, 2015); (LEDO, 2016); (FARIA, 2018). O aumento desta taxa de armadura de flexão tracionada nas proximidades do pilar também melhora a capacidade resistente da ligação laje-pilar (SANTOS E. V., 2018).

A taxa de armadura de flexão tracionada influencia a resistência à punção, principalmente nos casos de lajes sem armadura de cisalhamento (FARIA, 2018). O aumento de armaduras de flexão resulta no aumento da zona comprimida e, conseqüentemente, na área de concreto não fissurado disponível para resistir ao cisalhamento. Isso faz com que diminua as aberturas das fissuras de flexão (OLIVEIRA, 2015).

Estudos realizados por Broms (2005) concluíram que a resistência à punção relaciona-se diretamente com o comportamento à flexão da laje, variando em função do escoamento ou não da armadura de flexão tracionada (LEDO, 2016).

2.6.2 Taxa de Armadura de Cisalhamento

Para se evitar a ruptura por punção, muitas vezes é necessário aumentar a resistência da ligação laje-pilar (ALBUQUERQUE, 2015). E as armaduras de cisalhamento são normalmente utilizadas nessa região visando aumentar a resistência e a ductilidade das lajes e um dos tipos dessa armadura é a constituída por pinos de aço soldados a chapas metálicas (studs) (VAZ et al, 2009).

As armaduras de cisalhamento são responsáveis por absorver os esforços de tração na alma da seção; Restringir a aberturas de fissuras provocadas por tensões diagonais, preservando a interface do concreto íntegro e apto a transmissão de esforços cisalhantes; Atuar com o efeito de pino, permitindo a transferência de esforços entre as fissuras por meio da armadura (CARVALHO et al, 2019).

No entanto, para a eficácia de tais armaduras é preciso garantir boas condições de ancoragem, o que nem sempre é fácil uma vez que estas são posicionadas perpendicularmente às lajes, que são normalmente delgadas. (FERREIRA, 2010) e (SANTOS E. V., 2018).

Segundo Albuquerque (2015), diz que:

Soluções comuns como capitéis e drop panels podem ser indesejáveis do ponto de vista arquitetônico ou construtivo, e, por isso, o uso de armaduras de cisalhamento para evitar a punção, ou simplesmente, armaduras de punção, vem crescendo bastante. Essa alternativa, favorável do ponto de vista da ductilidade, pode contribuir para a mudança do tipo de ruptura previsto.

É admissível ver alguns dos principais tipos de armadura de cisalhamento como barras dobradas, estribos fechados, estribos abertos, estribos tipo “pente”, estribos inclinados, armaduras do tipo studs (pinos) e Shearheads, para lajes lisas e nervuradas.

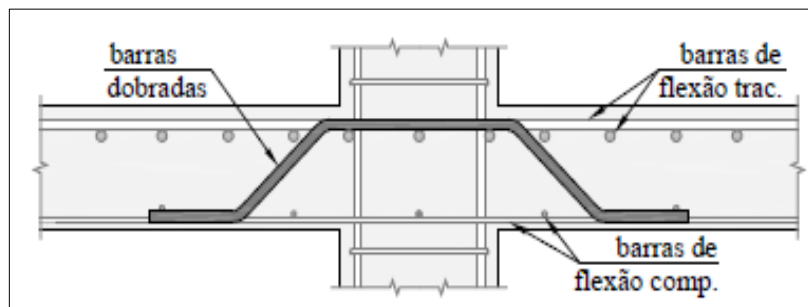
2.6.3 Barras Dobradas

As primeiras armaduras para punção testadas por GRAF (1938), ELSTNER e HOGNESTAD (1956) e ANDERSON (1963) foram barras dobradas. Essas armaduras podem ser eficientes se corretamente dimensionadas, porém podem gerar um problema construtivo grande quando for necessário o uso de várias camadas para evitar a ruptura fora da região das armaduras (FERREIRA et al 2015).

Uma alternativa para o uso eficiente deste tipo de armadura é combiná-las com outros tipos de armaduras de cisalhamento (FERREIRA, 2010).

Park & Islam (1976) apud Melges (2001), analisando de lajes carregadas simetricamente, com e sem armadura de punção, chegaram às seguintes conclusões: o uso de barras dobradas aumenta a resistência da laje, não aumentando, no entanto, a sua ductilidade (RABELLO, 2010). Takeya (1981) menciona que, além da ancoragem dessas barras serem problemática em lajes com pouca espessura, o seu uso é inadequado para ligações da laje com pilares de borda e de canto (RABELLO, 2010). Na Figura 9, consegue-se observar essa armadura.

Figura 9 - Barras Dobradas



Fonte: FERREIRA (2010).

2.6.4 Estribos

O uso de vários tipos de estribos também é comum para combater à punção, tendo ensaios com estribos fechados, estribos abertos, estribos em pente, e estribos inclinados. (FERREIRA et al, 2015).

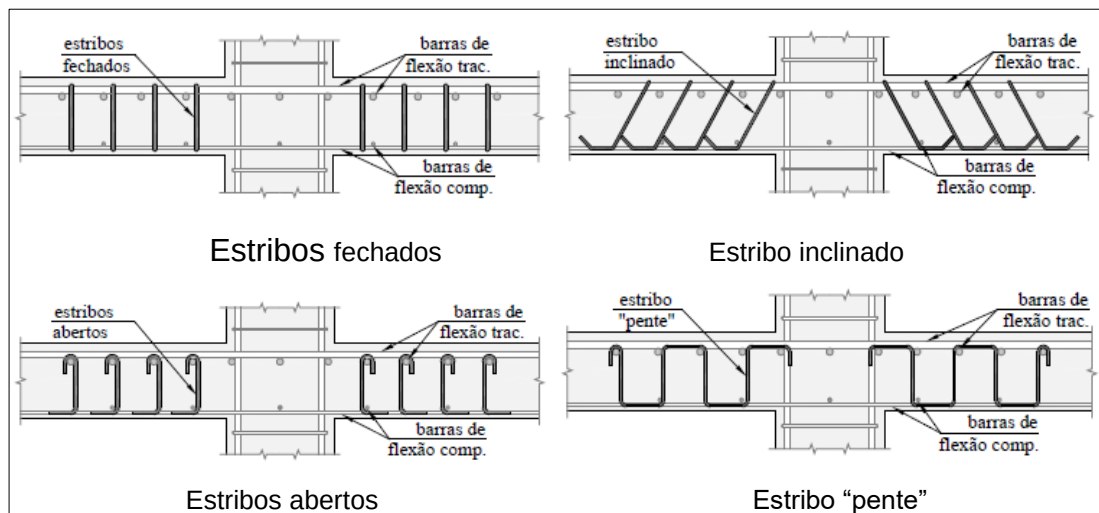
Apesar dos estribos serem escolhidos com maior frequência no Brasil, à garantia de sua ancoragem requer cuidados essenciais (ALBUQUERQUE, 2015). A ancoragem de estribos em lajes é problemática, mesmo adotando-se medidas como dobrar suas extremidades em ângulos de 90° ou 180° e usar barras horizontais passando por dentro destas dobras em ambas as extremidades do estribo ou apenas naquela localizada dentro da zona tracionada da laje (FERREIRA, 2010).

O estribo deve envolver tanto a armadura de flexão superior quanto a inferior, o que dificulta e pode atrasar o processo executivo. Rupturas nessas

ligações provocam escorregamento e já comprometem a eficiência da armadura, como mencionado por Dilger e Ghali (1981), (ALBUQUERQUE, 2015).

Estribos fechados e estribos do tipo pente são de difícil utilização por questões construtivas. Já os estribos abertos com pernas simples tendem a apresentar problemas de ancoragem, como relatado por REGAN e SAMADIAN (2001), mesmo que sejam usadas barras horizontais. Apenas os estribos inclinados, como os utilizados por OLIVEIRA et al. (2000) com inclinação de 60° , mostraram-se eficientes no combate à punção, sendo no entanto pouco utilizados por questões construtivas, conforme a Figura 10 (FERREIRA, 2010; FERREIRA et al, 2015; FARIA, 2018).

Figura 10 - Tipos de Estribos



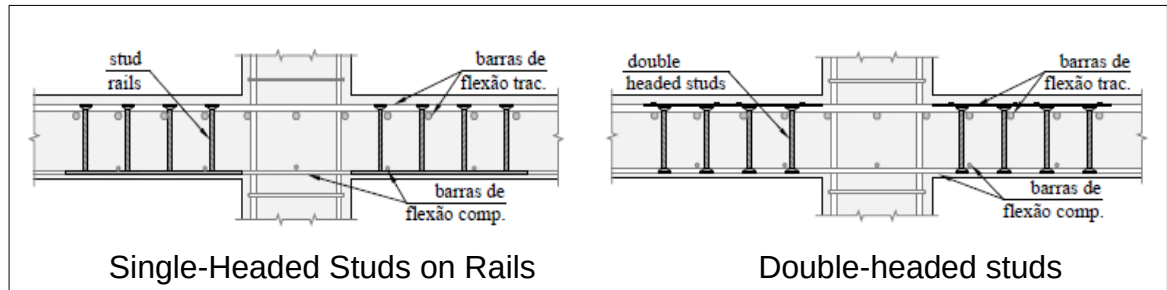
Fonte: FERREIRA (2010).

2.6.5 Pinos

As armaduras do tipo pino são também bastante eficientes no combate à punção, sendo o tipo de armadura de cisalhamento mais popular para lajes devido ao fato de serem industrializadas e fornecidas por empresas especializadas, ou seja, não necessitando de serem confeccionadas nos canteiros de obras. Outra vantagem desse tipo de armadura de cisalhamento consiste no fato de ser a mais fácil de garantir o correto espaçamento entre as diferentes camadas de armadura, uma vez que, os pinos são fixados em guias de aço (FERREIRA, 2010; CEBALLOS, 2017; FARIA 2018).

Armadura de pinos também conhecidos por Studs rails ou Double headed studs, são tipos diferentes dessa armadura, assim como na Figura 11.

Figura 11 - Pinos



Fonte: FERREIRA (2010).

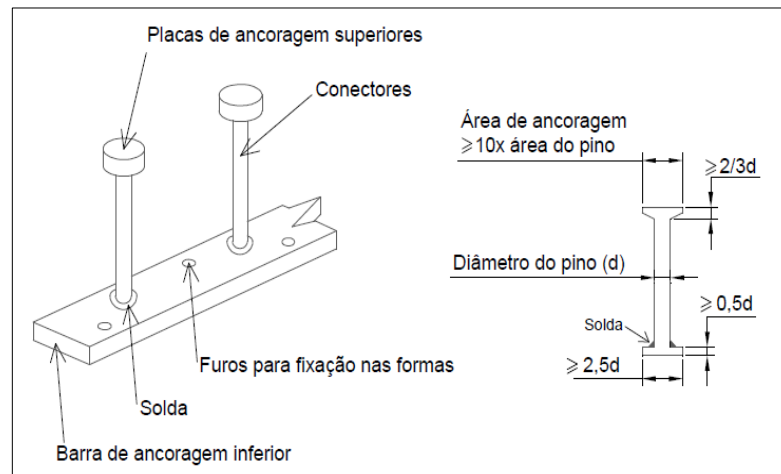
Studs rails consistem em barras soldadas em tiras de aço com cabeça de ancoragem na extremidade, são muito eficientes e de fácil montagem in loco. Double headed studs, embora menos eficientes que os studs rails como observado nos ensaios de REGAN e SAMADIAN (2001), são mais utilizados, pois sua montagem é mais simples, podendo ser colocado após a montagem das armaduras de flexão, ao contrário dos studs rails (FERREIRA et al, 2015).

De acordo com Rabello (2010), o uso de conectores tipo pino com extremidades alargadas é recomendado pela Norma Brasileira, e apresenta as seguintes vantagens:

- a) São fáceis de instalar, mesmo em lajes esbeltas;
- b) Não interferem na colocação e no posicionamento das armaduras dos pilares e de flexão das lajes;
- c) Possibilitam ancoragem mecânica satisfatória nas duas extremidades do pino, possibilitando que a armadura atinja toda a sua capacidade resistente antes da ruptura;
- d) Aumentam a resistência e a ductilidade da ligação.

Outra vantagem destas armaduras é a de que é mais fácil garantir o correto espaçamento entre as diferentes camadas de armadura, uma vez que os pinos são soldados em guias de aço (FERREIRA, 2010; CEBALLOS, 2017; FARIA 2018). Na Figura 12, observa-se o detalhamento de conectores tipo pino.

Figura 12 - Detalhe de Conectores Tipo Pino



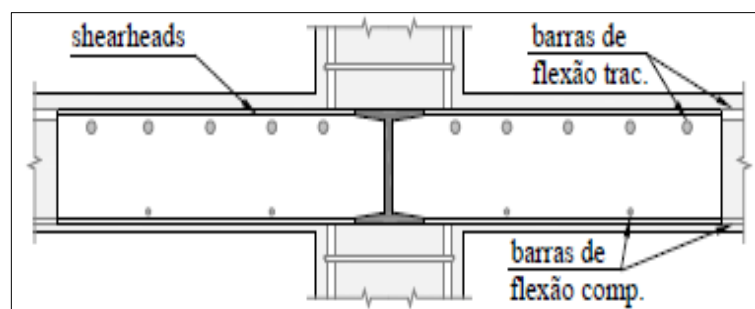
Fonte: IBRACON (2003).

2.6.6 Perfil Metálico

Apresentados os Shearheads, que nada mais são do que perfis de aço soldados de modo a formar uma grelha. É um tipo de armadura cara, normalmente usada quando há a necessidade de se deixar grandes furos na região próxima ao pilar e que exigem grandes ajustes nas armaduras de flexão (FERREIRA, 2010).

Podem ser utilizados, ao invés de conectores tipo pino, pequenos segmentos de perfis metálicos de seção transversal tipo "I", conforme mostrado em Figueiredo Filho (1989). Este tipo de armadura, conforme Figura 13, apesar de ser adequado segundo o ponto de vista da ancoragem do elemento na laje, não é recomendado segundo o ponto de vista de produção e de economia (RABELLO, 2010).

Figura 13 - Perfil Metálico



Fonte: FERREIRA (2010).

2.7 PRESCRIÇÕES NORMATIVAS

A seguir serão apresentados os métodos de verificação da punção segundo as prescrições normativas da ABNT NBR 6118/2014.

2.7.1 Método de Cálculo da NBR 6118/2014

O modelo empírico de cálculo adotado pela NBR 6118 (ABNT, 2014) é baseado no método da superfície crítica. Compara-se a tensão de cisalhamento atuante em cada uma das superfícies críticas perpendiculares ao plano médio da laje com a tensão resistente correspondente. Compara-se também a tensão solicitante máxima com a capacidade resistente da ligação, dada pela resistência do concreto à compressão diagonal (ALBUQUERQUE, 2015).

De acordo com a NBR 6118 (ABNT, 2014), o modelo de cálculo corresponde à verificação do cisalhamento em duas ou mais superfícies críticas definidas no entorno de forças concentradas. Dividas em três etapas de verificação, conforme NBR 6118 (ABNT, 2014):

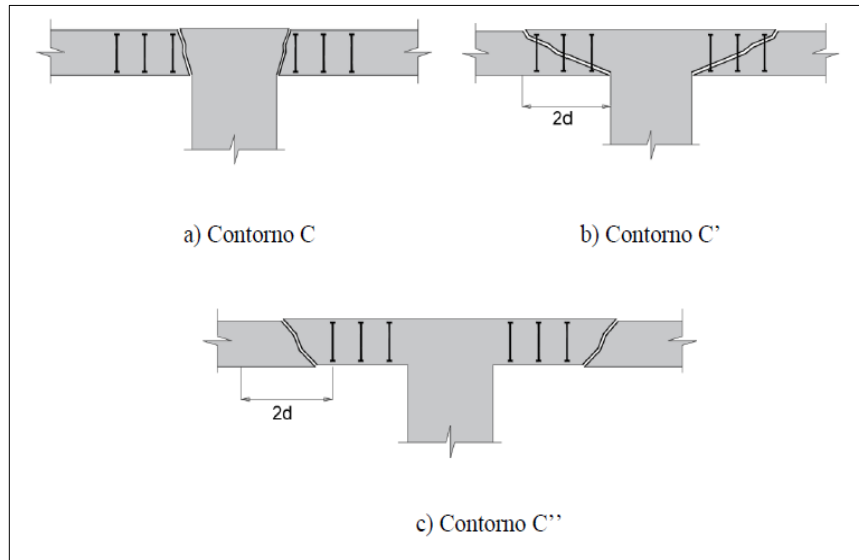
- a) Superfície crítica (contorno C), do pilar ou da carga concentrada, deve ser verificada indiretamente a tensão de compressão diagonal do concreto, através da tensão de cisalhamento.
- b) Superfície crítica (contorno C') afastada $2d$ do pilar ou carga concentrada, deve ser verificada a capacidade da ligação à punção, associada à resistência à tração diagonal. Essa verificação também é feita através de uma tensão de cisalhamento, no contorno C'.

A norma diz que, caso haja necessidade a ligação deve ser reforçada por armadura transversal.

- a) Superfície crítica (contorno C'') apenas deve ser verificada quando for necessário colocar armadura transversal.

A Figura 14 apresenta as superfícies críticas de acordo com o modelo da superfície de controle, adotado pela NBR 6118 (ABNT, 2014) (FARIA, 2018).

Figura 14 - Superfície Crítica para o Modelo de Cálculo



Fonte: FARIA (2018).

A tensão solicitante de cálculo, τ_{sd} irá variar sua equação conforme o tipo de pilar que estará sendo calculado. Neste estudo fictício de caso terá o pilar de borda, pilar de canto e pilar interno. A seguir serão apresentadas as equações para cada caso.

2.7.1.1 Pilar Interno, com Efeito de Momento

É necessária a realização dessa verificação quando além da presença da força vertical, existe também a transferência de momento da laje para o pilar, assim o efeito de assimetria deve ser considerado, conforme a Equação 1:

$$\tau_{sd} = \frac{F_{sd}}{u \cdot d} + \frac{K \cdot M_{sd}}{W_p \cdot d} \quad \text{Equação 1}$$

Onde:

F_{sd} = é a força ou reação concentrada de cálculo;

$u \cdot d$ = é a área da superfície crítica;

d = é a altura útil da laje ao longo do contorno C' , externo ao contorno, C da área de aplicação da força e deste distante $2d$ no plano da laje;

K = é o coeficiente que fornece a parcela de M_{sd} transmitida ao pilar por cisalhamento;

M_{sd} = é o efeito de momento;

W_p = é o modulo de resistência plástica.

O valor de K é definido pela Tabela 1 da NBR 6118 (ABNT, 2014) a partir das dimensões do pilar.

Tabela 1 - Valores de K

C_1/C_2	0,5	1,0	2,0	3,0
K	0,45	0,60	0,70	0,80

Fonte: NBR 6118 (ABNT, 2014)

A Equação 2 é o módulo de resistência plástica para o contorno da superfície crítica C .

$$W_{Po} = \frac{C_{1,2}^2}{2} + C_1 * C_2 \quad \text{Equação 2}$$

Onde:

W_{Po} = é o modulo de resistência plástica;

C_1 = é a dimensão do pilar paralela à excentricidade da força;

C_2 = é a dimensão do pilar perpendicular à excentricidade da força;

Através da Equação 3, Equação 4 e Equação 5 são possíveis realizar o cálculo e definir qual o valor de D será utilizado.

$$d_x = e - \left(CN + \frac{\phi x}{2} \right) \quad \text{Equação 3}$$

$$d_y = e - \left(CN + \phi x + \frac{\phi y}{2} \right)$$

Equação 4

Onde:

d_x = altura da laje em x;

d_y = altura da laje em y;

CN = cobrimento nominal conforme a classe de agressividade;

$\emptyset_x$ = armadura na direção x;

$\emptyset_y$ = armadura na direção y.

Assim, aplica – se os valores encontrados na Equação 5 para obter o resultado da altura útil da laje.

$$d = \frac{d_x + d_y}{2} \quad \text{Equação 5}$$

O valor do perímetro crítico no contorno C é calculado conforme a Equação 6, para pilares retangulares.

$$u_o = 2 * (C_1 + C_2) \quad \text{Equação 6}$$

Onde:

u_o = perímetro crítico no contorno C.

2.7.1.2 Pilar de Borda

Nesta verificação conforme a NBR 6118 (ABNT, 2014), poderá ser realizada de duas formas, são elas quando não agir momento no plano paralelo à borda livre e quando agir momento no plano paralelo à borda livre. Neste estudo fictício de caso para a verificação da armadura de punção será verificada o segundo caso, quando agir momento.

Na Equação 7, é realizada a verificação da tensão solicitante no contorno C.

$$\tau_{Sd} = \frac{F_{Sd}}{u * d} + \frac{K_1 * M_{sd1}}{W_{P1} * d} + \frac{K_2 * M_{sd2}}{W_{P2} * d} \quad \text{Equação 7}$$

$$M_{Sd1} = M_{sd} - M_{sd*} \quad \text{Equação 8}$$

Onde:

u^* = perímetro crítico reduzido;

M_{sd2} = momento de cálculo no plano paralelo à borda livre;

W_{P2} = modulo de resistência plástica na direção paralela à borda livre.

2.7.1.3 Pilar de Canto

Conforme a NBR 6118 (ABNT, 2014) a verificação para pilar de canto é aplicada a equação de pilar de borda, porém quando não age momento no plano paralelo à borda. Na Equação 9, é possível visualizar a equação.

$$\tau_{Sd} = \frac{F_{Sd}}{u^* \cdot d} + \frac{K_1 \cdot M_{Sd1}}{W_{P1} \cdot d} \quad \text{Equação 9}$$

2.7.2 Tensão Resistente nas Superfícies Críticas

No cálculo das tensões resistentes nas superfícies críticas, devem ser feitas as verificações dos contornos C e também nos contornos de C' e C'' com ou sem armaduras de punção.

2.7.2.1 Tensão Resistente na Superfície Crítica C (Compressão Diagonal do Concreto)

De acordo com a NBR 6118 (ABNT, 2014), essa verificação deve ser feita no contorno C, em lajes submetidas a punção, com ou sem armadura. Deve ser comparada a tensão de cisalhamento que leva a seção crítica à plastificação, para momentos e força axial atuantes, com a tensão resistente do concreto sob compressão diagonal (FARIA, 2018). Assim, na Equação 10 é feita essa verificação:

$$\tau_{Sd} \leq \tau_{Rd2} = 0,27 \alpha_v f_{cd} \quad \text{Equação 10}$$

$$\alpha_v = 1 - \frac{f_{ck}}{250} \quad \text{Equação 11}$$

Onde:

f_{cd} = É a resistência de cálculo do concreto à compressão cilíndrica (MPa);

α_v = É o fator de correção da resistência do concreto;

f_{ck} = É a resistência característica à compressão cilíndrica do concreto (Mpa).

2.7.2.2 Tensão Resistente na Superfície Crítica C' sem Armadura de Punção

Na NBR 6118 (ABNT, 2014), verificação de tensões na superfície crítica C' deve ser efetuada como a Equação 12.

$$\tau_{Sd} \leq \tau_{Rd1} = 0,13 \left(1 + \sqrt{\frac{20}{d}} \right) (100 \rho f_{ck})^{\frac{1}{3}} + 0,10 \sigma_{cp} \quad \text{Equação 12}$$

Sendo:

$$\rho = \sqrt{\rho_x \rho_y} \quad \text{Equação 13}$$

$$d = \frac{d_x + d_y}{2} \quad \text{Equação 14}$$

Onde:

d = altura útil da laje ao longo do contorno crítico C' da área de aplicação da força (cm);

ρ = taxa geométrica de armadura de flexão aderente (armadura não aderente deve ser desprezada);

ρ_x e ρ_y = São as taxas de armadura nas duas direções ortogonais:

- a) na largura igual à dimensão ou área carregada do pilar acrescida de 3d para cada um dos lados;
- b) no caso de proximidade da borda, prevalece a distância até a borda, quando menor que 3d.

No caso da verificação da tensão solicitante no contorno C', deverá ser calculado através da Equação 7.

Sendo o contorno C', distando 2d da face do pilar, para pilares retangulares, dado pela Equação 15.

$$u = 2 * (C_1 + C_2) + 2\pi R \quad \text{Equação 15}$$

Onde:

u = perímetro crítico no contorno C';

R = distância de 2d da face do pilar.

O módulo da resistência plástica no contorno C' é realizado conforme a Equação 16.

$$W_p = \frac{C_1^2}{2} + C_1 C_2 + 4C_2 d + 16d^2 + 2\pi d C_1 \quad \text{Equação 16}$$

Onde:

W_p = é a resistência plástica no contorno C1.

2.7.2.3 Tensão Resistente na Superfície Crítica C' com Armadura de Punção

Pela NBR 6118 (ABNT, 2014), a verificação de tensões na superfície crítica C' deve ser efetuada como a Equação 17.

$$\tau_{Sd} \leq \tau_{Rd3} = 0,10 \left(1 + \sqrt{\frac{20}{d}} \right) (100 \rho f_{ck})^{\frac{1}{3}} + 0,10 \sigma_{cp} + 1,5 \frac{d}{S_r} \frac{A_{SW} f_{ywd} \sin \alpha}{ud} \quad \text{Equação 17}$$

Onde:

S_r = É o espaçamento radial entre linhas de armadura de punção, não maior do que $0,7d$;

A_{sw} = É a área da armadura de punção em um contorno completo paralelo a C' ;

α = É o ângulo de inclinação entre o eixo da armadura de punção e o plano da laje;

u = É o perímetro crítico;

f_{ywd} = É a resistência de cálculo da armadura de punção.

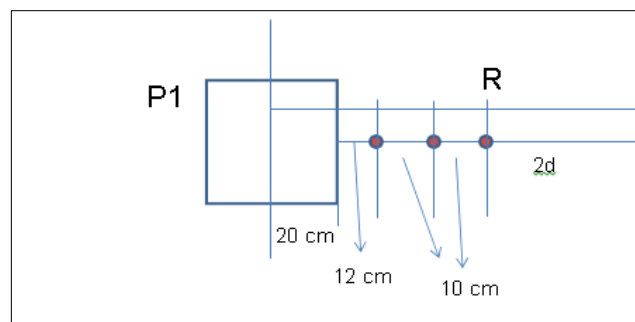
Na NBR 6118 (ABNT, 2014), diz que a f_{ywd} não maior do que 300 MPa para conectores ou 250 MPa para estribos (de aço CA-50 OU CA-60). Para lajes com espessura maior que 15 cm, esses valores podem ser aumentados.

2.7.2.4 Tensão Resistente na Superfície Crítica C''

Segundo a NBR 6118 (ABNT, 2014), quando for necessário utilizar armadura transversal de punção, ela deve ser estendida em contornos paralelos a C' até que, em um contorno C'' afastado $2d$ do último contorno de armadura, não seja mais necessária armadura, ou seja, até que $T_{Sd} \leq T_{Rd1}$.

Para encontrar o valor de R , no cálculo da tensão resistente na superfície crítica em C'' foi utilizado a distância da face do pilar até $2d$ do último contorno de armadura conforme a Figura 15 e a Equação 18.

Figura 15 - Definição do Valor de R



Fonte: Autora (2020) com base em KOVALCZUK, Eduardo F. et al (2014).

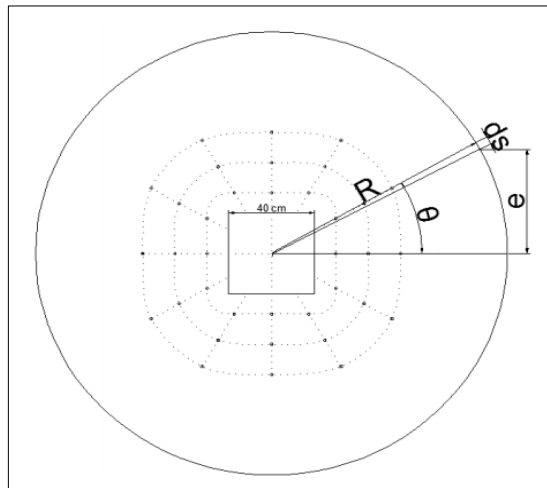
$$R = \text{distancia pilar} + Sr + 2*d \quad \text{Equação 18}$$

E com isso, é determinado o valor para o perímetro crítico, conforme a Equação 19.

$$u_n = 2 * \pi * R \quad \text{Equação 19}$$

Para determinar o valor da resistência plástica no Contorno C'', utilizou – se a integral para cálculo. Na Equação 15, consegue – se visualizar a imagem que resultou a integral.

Figura 16 - Definir Wp para Contorno C''



Fonte: KOVALCZUK, Eduardo F. et al. (2014)

A Equação 20 e a Equação 21, estão conforme KOVALCZUK, Eduardo F. et al (2014), as quais resultaram na Equação 22.

$$e = R \sin \theta \quad \text{Equação 20}$$

$$W_p = 4 \int_0^{\frac{\pi}{2}} (R^* \sin \theta) R d\theta \quad \text{Equação 21}$$

$$W_p = 4R \left[R \int_0^{\frac{\pi}{2}} (\sin \theta) d\theta \right]$$

$$W_p = 4R \left[R (\cos \theta) \Big|_0^{\frac{\pi}{2}} \right]$$

$$W_p = 4R [R (0+1)]$$

$$W_p = 4R^2$$

Equação 22

2.7.3 Armadura de Punção Obrigatória

A NBR 6118 (ABNT, 2014), diz que quando a estabilidade global da estrutura depender da resistência da laje à punção deve ser prevista armadura de punção, mesmo que $\tau_{Sd} \leq \tau_{Rd1}$. Essa armadura deve equilibrar um mínimo de 50% de F_{Sd} .

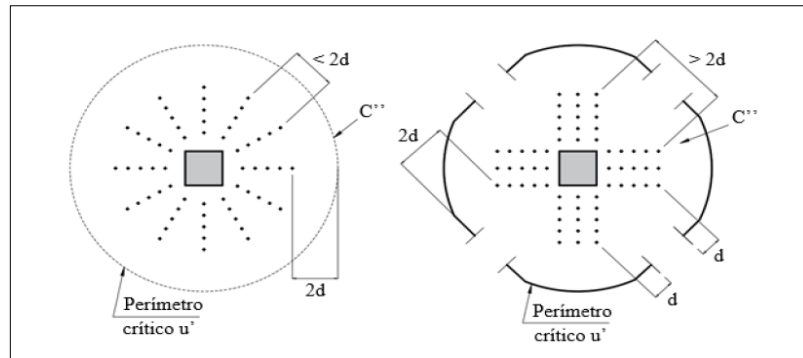
2.7.4 Disposição de Armaduras de Punção

De acordo com Faria (2018):

As armaduras para resistir à punção devem ser constituídas por estribos verticais ou conectores, com preferência pela utilização destes últimos. O diâmetro da armadura de estribos não pode superar $h/20$ e deve haver contato mecânico das barras longitudinais com os cantos dos estribos (ancoragem mecânica).

Também conforme Faria (2018), a disposição dos conectores tanto pode ser radial, quanto em linhas paralelas ou perpendiculares às faces do pilar, como mostra a Figura 17.

Figura 17 - Disposição da Armadura de Punção em Planta



Fonte: FARIA (2018).

2.7.5 Armadura Contra Colapso Progressivo

Conforme consta na NBR 6118 (ABNT, 2014), a armadura contra o colapso progressivo deve garantir a ductilidade do local e a consequente proteção contra o colapso progressivo, a armadura de flexão inferior que atravessa o contorno C deve estar suficientemente ancorada além do contorno C' ou C'' (OLIVEIRA, 2015).

Também como recomendação da NBR 6118 (ABNT, 2014), esta armadura deverá se posicionada na face inferior da laje, justamente, para atender a verificação da Equação 23.

$$A_{s, ccp} = \frac{1,5 \cdot F_{sd}}{f_{yd}} \quad \text{Equação 23}$$

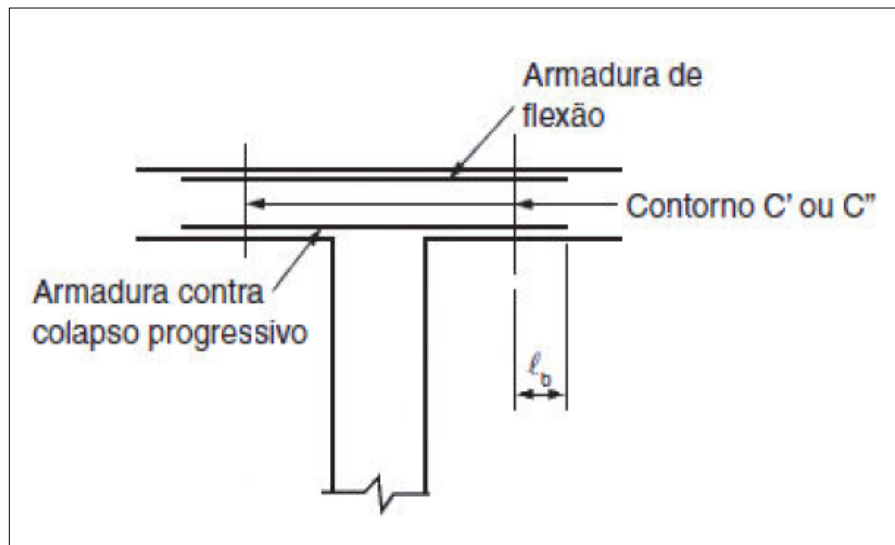
Onde:

$A_{s, ccp}$ = Armadura contra colapso progressivo;

f_{yd} = Valor de cálculo da resistência ao escoamento do aço da armadura passiva.

Na Figura 18, pode – se visualizar como este tipo de armadura é distribuído junto ao pilar.

Figura 18 - Armadura Contra Colapso Progressivo

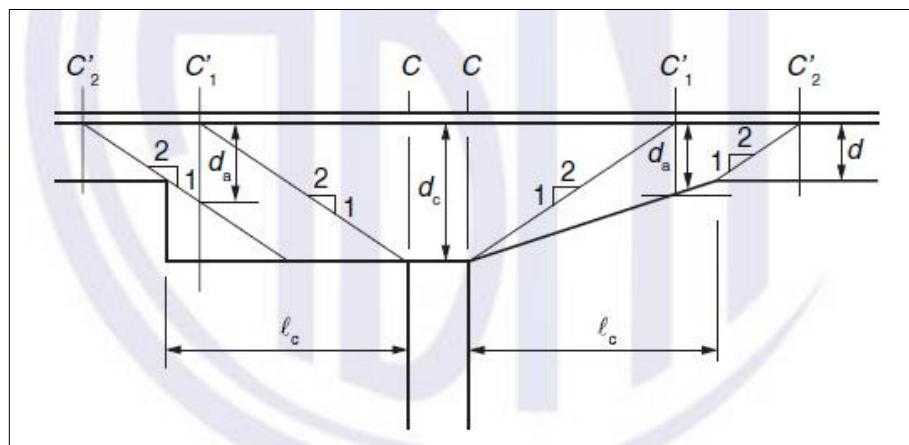


Fonte: NBR 6118 (ABNT, 2014).

2.7.6 Verificação do Capitel

Conforme as prescrições da NBR 6118 (ABNT, 2014) na laje nervurada quando necessário a presença dos capitéis, e quando não existir vigas para apoio da laje, então, a verificação é feita conforme a Figura 19.

Figura 19 - Definição da Altura Útil no Caso de Capitel



Fonte: NBR 6118 (ABNT, 2014)

Onde:

d = altura útil da laje no contorno C2';

d_c = altura útil da laje na face do pilar;

d_a = altura útil da laje no contorno C1';

l_c = distância entre a borda do capitel e a face do pilar.

Quando:

$l_c \leq 2 * (d_c - d)$ -> basta verificar o contorno C2';

$2 * (d_c - d) < l_c \leq 2 * d_c$ -> basta verificar o contorno C1';

$l_c \geq 2 * d_c$ -> necessário verificar os contornos C1' e C2'.

2.8 SOFTWARE DE CÁLCULO

Serão utilizados softwares comerciais de cálculo para o comparativo entre armaduras de punção para lajes lisas e lajes nervuradas.

2.8.1 Eberick

É um software para elaboração de projetos estruturais em concreto armado moldados in loco, pré-moldado, alvenaria estrutural e estruturas mistas englobando todas as etapas de lançamento, análise da estrutura, dimensionamento e o detalhamento dos elementos.

Ao detalhar lajes que necessitem de armadura de punção, o Eberick posiciona-as em planta e gera uma tabela com as dimensões destes elementos.

As armaduras de punção devem também respeitar espaçamentos mínimos entre as linhas de armaduras de punção, o Eberick verifica automaticamente estes limites máximos de espaçamento entre as armaduras em função da espessura de laje. É possível também, configurar o software caso seja desejável utilizar espaçamentos fixos entre as armaduras transversais, a fim de criar uma padronização. Caso sejam configurados valores que gerem espaçamentos maiores que o limite da norma, o Eberick adota os da norma.

A armadura de colapso progressivo é calculada e detalhada automaticamente pelo Eberick Gold. No Eberick, essa armadura é adicionada independentemente das armaduras longitudinais de positivas que, por ventura, já existam naquela posição.

A verificação da necessidade ou não da armadura de punção obrigatória deve ser feita em separado pelo calculista, o Eberick não faz esta verificação.

2.8.2 TQS

É um software destinado à elaboração de projetos estruturais de edificação de concreto armado. Fornecem recursos necessários para concepção estrutural, análise estrutural, dimensionamento e detalhamento de armaduras, atendendo aos requisitos das normas técnicas da ABNT.

O cálculo de punção em torno de um pilar é realizado sobre contornos ou superfícies críticas em volta do pilar, começando o primeiro contorno coincidindo com o contorno do pilar, e os demais à distância $2d$ do pilar

A norma tem uma série de regras para determinar a tensão de cisalhamento atuante nos perímetros críticos. O TQS-Lajes faz a medição da força cortante e o cálculo da tensão de cisalhamento diretamente a partir das barras da grelha. A vantagem deste procedimento é que ele é genérico, e as forças obtidas são resultado do equilíbrio da grelha, que considera todas as condições de contorno.

Entretanto, a tensão de cisalhamento varia ao longo do perímetro crítico. O TQS-Lajes quebra o perímetro crítico em subperímetros em função dos comprimentos das arestas do pilar, através de uma regra parametrizada, de maneira que cada subperímetro terá um dimensionamento e detalhamento de punção independente. A tensão resistente de compressão diagonal do concreto no contorno é dada pelas expressões da NBR 6118 (ABNT, 2014).

Se por outro lado $\tau_{sd} \leq \tau_{Rd2}$ no contorno do pilar, então, pode-se verificar se é possível dispensar a armadura de punção na seção, verificando o próximo perímetro C', através das expressões da NBR 6118 (ABNT, 2014). Se não há dispensa de armadura de punção, é preciso calculá-la e detalhá-la. Isto é feito através das expressões da NBR 6118 (ABNT, 2014). Para armadura de punção obrigatória se tem duas possibilidades usando o sistema CAD/TQS. Na primeira, integra-se a laje ao pórtico espacial através de vigas fictícias, ou vigas faixa. A segunda possibilidade é apoio direto da laje sobre o pilar.

O detalhamento da armadura de punção é feito através de cada subperímetro o programa escolhe a menor bitola de uma lista para punção, e verifica se o espaçamento entre elas é maior que um mínimo. Se não for, adota-se a

próxima bitola da lista, ou outra até que o espaçamento mínimo seja atingido. Na Tabela 2 os critérios para detalhamento de lajes à punção:

Tabela 2 – Critérios para Detalhamento de Lajes à Punção

Tipo de armadura de punção	Podem ser estribos ou conectores. A resistência máxima de cálculo é diferente entre eles.
Distribuição de armaduras	Diversos critérios de distribuição.
Espaçamento mínimo de armaduras	A bitola escolhida da lista é tal que o espaçamento no perímetro de punção seja maior que o mínimo.
Linhas de conectores	Espaçamentos entre conectores definidos na norma
Bitolas de punção	Lista de bitolas que podem ser usadas no detalhamento.

Fonte: Adaptado de TQS INFORMÁTICA LTDA (2020)

Na Tabela 3 se tem os quatros critérios de distribuição de armaduras:

Tabela 3 - Critérios de Distribuição de Armaduras

Distribuição de armaduras	Conforme vimos, a armadura pode ser distribuída reta (ortogonal às faces do pilar), radial (ortogonal, mais uma bitola adicional saindo dos vértices) e uniforme (mais bitolas completando o perímetro de punção).
Ângulo máximo para distribuição radial	Esta opção limita a armadura radial se o vértice do pilar tiver um ângulo muito aberto.
Comprimento mínimo de trecho com pelo menos uma bitola	Mesmo que não tenha sido dimensionada, é colocada pelo menos uma bitola paralela a trechos do contorno acima deste comprimento.
Número de bitolas adicionais para distribuição uniforme	Usado na distribuição uniforme.

Fonte: Adaptado de TQS INFORMÁTICA LTDA (2020)

3 METODOLOGIA DE PESQUISA

Este capítulo tem como objetivo apresentar a metodologia aplicada para o desenvolvimento do estudo comparativo entre as possibilidades de dimensionamento e detalhamento de armaduras de punção através de *softwares* comerciais e analiticamente atendendo as prescrições das normas brasileiras.

3.1 CARACTERIZAÇÃO DO ESTUDO

Para o desenvolvimento do estudo foi criada uma estrutura fictícia com dimensões em planta de (16x16) metros, de uma laje sem vigas, contendo nove pilares, tendo o uso da edificação do tipo comercial, composta dois pavimentos.

A laje e os pilares foram pré-dimensionados utilizando às expressões apresentadas por Baroni e Viero (2007). Para definição da espessura para a laje foram utilizado o cálculo através do vão de 16 metros para a altura inicial de 32 cm. A Tabela 4 apresenta a nomenclatura e dimensões dos pilares.

Tabela 4 - Dados do Dimensionamento dos Pilares

Pilar	Dimensões (cm)	Pilar	Dimensões (cm)	Pilar	Dimensões (cm)
P1	40x40	P4	40x40	P7	40x40
P2	40x40	P5	40x60	P8	40x40
P3	40x40	P6	40x40	P9	40x40

Fonte: Autora (2020).

3.2 PROPRIEDADES DOS MATERIAIS

Os dados em relação às características dos materiais e especificações para o dimensionamento da estrutura nos softwares e também para o cálculo analítico realizado conforme as prescrições da ABNT NBR 6118 (2014) e da NBR 6120 (ABNT, 2019). As principais propriedades estão apresentadas na Tabela 5, o peso próprio e carga total da laje variam de acordo com sua espessura e o tipo de laje.

Tabela 5 - Especificações e Características dos Materiais

Uso da Laje: Comercial	
Cargas Variáveis – Sala de Uso Geral	2,5 kN/m ²
Ação Permanente – Revestimento de Piso de Edifício Comercial (5 cm)	1,0 kN/m ²
Resistência Característica do Concreto à Compressão (f_{ck})	25 MPa 40 MPa
Tipo de Aço	CA-50
Resistência a Tensão de Escoamento	500 MPa
Armadura de Punção	Conectores
	Estribos Inclinados
Agressividade Ambiental	Classe II

Fonte: Autora (2020).

3.3 ANÁLISE DA ESTRUTURA

A modelagem da estrutura foi realizada com o uso de ferramenta computacional, de dois softwares comerciais, TQS e EBERICK. Após o processamento da estrutura, foram extraídos os dados dos esforços solicitantes e realizado o cálculo analítico das armaduras seguindo as diretrizes da ABNT NBR 6118 (2014).

Por fim, tendo todos os dimensionamentos o objetivo é fazer um paralelo entre os critérios adotados e resultados obtidos.

3.4 MODELOS DA ESTRUTURA

Foram adotados modelos baseados na estrutura fictícia, para cada um os dois tipos de lajes, laje lisa e laje nervurada, denominados Modelo 1 e Modelo 2, acrescentando-se uma letra A, B e C referindo-se respectivamente ao uso do TQS, EBERICK e processo analítico. A seguir está apresentada esta discriminação e a matriz final de análise.

3.4.1 Modelo Lajes Lisas – Modelo 1

O modelo com lajes lisas, que para o estudo deste trabalho denominamos de MODELO 1, sendo:

- M 1-A - ferramenta de análise TQS;
- M 1-B – ferramenta de análise EBERICK;
- M 1-C – cálculo analítico.

3.4.2 Modelo para Lajes Nervuradas – Modelo 2

O modelo com lajes nervuradas, para o estudo deste trabalho denominamos de MODELO 2. Para as formas deste modelo está sendo utilizadas cubetas plásticas, de dimensões de acordo com catálogo do fornecedor Atex Brasil. Também para este modelo, há o desmembramento em três modelos, sendo eles:

- M 2-A – ferramenta de análise TQS;
- M 2-B – ferramenta de análise EBERICK;
- M 2-C – cálculo analítico

3.4.3 Matriz de Análise

Para facilitar um melhor entendimento do estudo deste trabalho, em relação aos modelos que serão analisados, a Tabela 6 apresenta a matriz de análise do estudo.

Serão apresentados os tipos de laje lisa e laje nervurada, as quais foram analisadas com armadura de flexão e também com armadura de cisalhamento, e o dimensionamento da armadura de punção através de conectores e estribos inclinados tanto para a resistência de 25 MPa quanto para 40 MPa.

Tabela 6 - Matriz de Análise

Modelo	Nomenclatura	Tipo de Laje	Armadura de Punção	Análise	Fck
MODELO 1	M 1 - A 25 C	LISA	CONECTORES	TQS	25
	M 1 - A 25 E		ESTRIBOS INCLINADOS		25
	M 1 - A 40 C		CONECTORES		40
	M 1 - A 40 E		ESTRIBOS INCLINADOS		40
	M 1 - B 25 C		CONECTORES	EBERICK	25
	M 1 - B 25 E		ESTRIBOS INCLINADOS		25
	M 1 - B 40 C		CONECTORES		40
	M 1 - B 40 E		ESTRIBOS INCLINADOS		40
	M 1 - C 25 C		CONECTORES	ANALÍTICA	25
	M 1 - C 25 E		ESTRIBOS INCLINADOS		25
	M 1 - C 40 C		CONECTORES		40
	M 1 - C 40 E		ESTRIBOS INCLINADOS		40
MODELO 2	M 2 - A 25 C	NERVURADA	CONECTORES	TQS	25
	M 2 - A 25 E		ESTRIBOS INCLINADOS		25
	M 2 - A 40 C		CONECTORES		40
	M 2 - A 40 E		ESTRIBOS INCLINADOS		40
	M 2 - B 25 C		CONECTORES	EBERICK	25
	M 2 - B 25 E		ESTRIBOS INCLINADOS		25
	M 2 - B 40 C		CONECTORES		40
	M 2 - B 40 E		ESTRIBOS INCLINADOS		40
	M 2 - C 25 C		CONECTORES	ANALÍTICA	25
	M 2 - C 25 E		ESTRIBOS INCLINADOS		25
	M 2 - C 40 C		CONECTORES		40
	M 2 - C 40 E		ESTRIBOS INCLINADOS		40

Fonte: Elaborada pela Autora, 2020.

No decorrer deste trabalho, os casos de dimensionamento serão desenvolvidos com base nas informações apresentadas na matriz de análise. Os modelos M1 - B25E, M1 - B40E, M2 - B25E e M2 - B40E não serão utilizados, pois o *software* Eberick não realiza o dimensionamento para a armadura de punção do tipo estribo inclinado.

3.5 DIMENSIONAMENTO DAS ARMADURAS

O objetivo principal deste trabalho é o dimensionamento à punção, porém se faz necessário também a verificação à flexão e ao cisalhamento.

3.5.1 Armadura de Flexão

Para melhor efetividade da resistência à punção, é possível que isso ocorra com o aumento do taxa de armadura à flexão tracionada nas proximidades do pilar, conforme visto no capítulo 2.6.1, deste trabalho.

Visto que a armadura de flexão tracionada é de suma importância nas lajes, quando não há armadura de cisalhamento, conforme dito anteriormente para melhorar a resistência à punção poderá ser realizado o aumento da armadura de flexão, conseqüentemente também irá diminuir as aberturas das fissuras, causadas por essa armadura.

Portanto, está sendo feito a verificação da armadura de flexão tanto nas lajes lisas, quanto nas lajes nervuradas.

3.5.2 Armadura de Cisalhamento

Por muitas vezes, a armadura de cisalhamento não é dimensionada no caso de lajes para evitar a punção, porém esse tipo de armadura deve ser considerado para lajes lisas e lajes nervuradas. Conforme consta no capítulo 2.6.2, sobre a importância das armaduras de cisalhamento.

É também imprescindível, que haja boas condições de ancoragem para que se tenha eficácia completa dessas armaduras. Neste trabalho há a verificação da armadura de cisalhamento os tipos de estribos inclinados e conectores.

3.5.3 Armadura de Colapso Progressivo

A armadura contra colapso progressivo também é de suma importância, pois a mesma deve garantir a ductilidade local, juntamente, a proteção contra o colapso progressivo, conforme o item 2.7.5 deste trabalho. Para este tipo de armadura não

será realizado o dimensionamento e análise, apenas será feita a verificação para maior segurança da estrutura.

3.6 MODELAGEM DA ESTRUTURA

Após ser realizada a caracterização da laje tratada para o estudo fictício conforme o item 3.1 e ser exposto às propriedades dos materiais utilizados no item 3.2, assim foi feito o lançamento da estrutura nos softwares, e também as demais verificações propostas.

3.6.1 Modelo 1: Laje Lisa

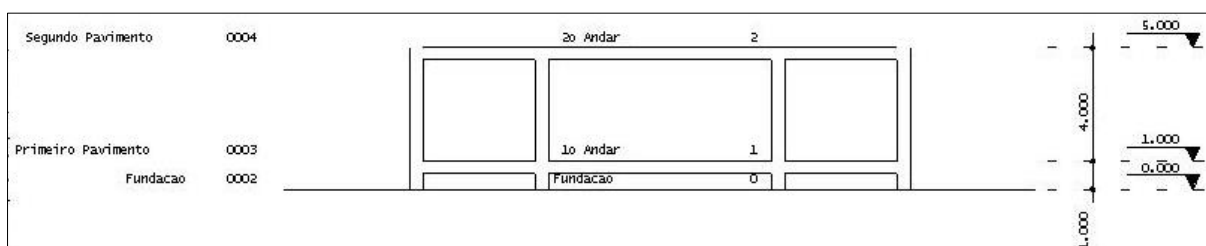
Para este modelo foi realizado o lançamento da estrutura com f_{ck} de 25 MPa e 40 MPa, juntamente, com as alturas de 32 cm e 40 cm nos *softwares* comerciais.

3.6.1.1 Estrutura Laje Lisa: *Software* TQS

Pela matriz de análise esse modelo foi denominado de M1 – A 25 C, M1 – A 25 E, M1 – A 40 C e M1 – A 40 E. Foi utilizado o *software* TQS na versão UniPro 12 - Educacional de 2021, a qual é comercializado pela TQS. Importante ressaltar que todas as unidades estão no sistema internacional (SI).

No TQS é obrigatório ter o pavimento fundação, então, colocou – se o primeiro pavimento e a seguir o segundo pavimento. Para o dimensionamento, foi realizado o lançamento dos dados iniciais como o número de pavimentos, seus níveis e suas alturas, e gerou – se a Figura 20 a qual representa o corte esquemático gerado através do *software* TQS.

Figura 20 - Corte Esquemático: TQS



Fonte: Adaptada de TQS (2020).

E o lançamento e identificação dos pavimentos, são realizados conforme, a Figura 21. E em seguida a importação da planta baixa da laje para o *software* TQS.

Figura 21 - Informações Iniciais: TQS

The screenshot displays the 'Pavimentos' (Floors) tab in the TQS software. The 'Segundo Pavimento' (Second Floor) is the active selection. The form contains the following fields and values:

- Título: Segundo Pavimento
- Número do projeto: 4
- Número de pisos: 1
- Pé-direito: 4
- Classe: ... Tipo
- Título opcional: (empty)
- Prefixo de plantas: (empty)

Below these fields are buttons for 'Avançado...' and 'Pisos auxiliares...'. A checkbox for 'Elementos inclinados/pisos auxiliares' is present. To the right, a list shows the hierarchy: 'Segundo Pavimento' (selected), 'Primeiro Pavimento', and 'Fundacao'. Action buttons 'Inserir acima', 'Inserir abaixo', 'Apagar', and 'Renomear' are located to the right of the list. A vertical scale bar indicates a height of 4 meters. At the bottom, the status bar shows 'Piso 2 Cota 5.000 m' and 'Ok'/'Cancelar' buttons.

Fonte: Adaptada de TQS (2020).

No nível fundação, encontra – se as nove sapatas todas dimensionadas e verificadas através do próprio *software* TQS. Para o primeiro pavimento, localiza – se os nove pilares que nasceram na fundação e irão morrer no termino na laje no segundo pavimento, em ternos de estabilidade da estrutura foi realizada a amarração desses pilares através de seis vigas, conforme a Tabela 7 as quais também foram lançadas e verificadas através do próprio *software* TQS.

Tabela 7 - Dimensões das Vigas: Primeiro Pavimento

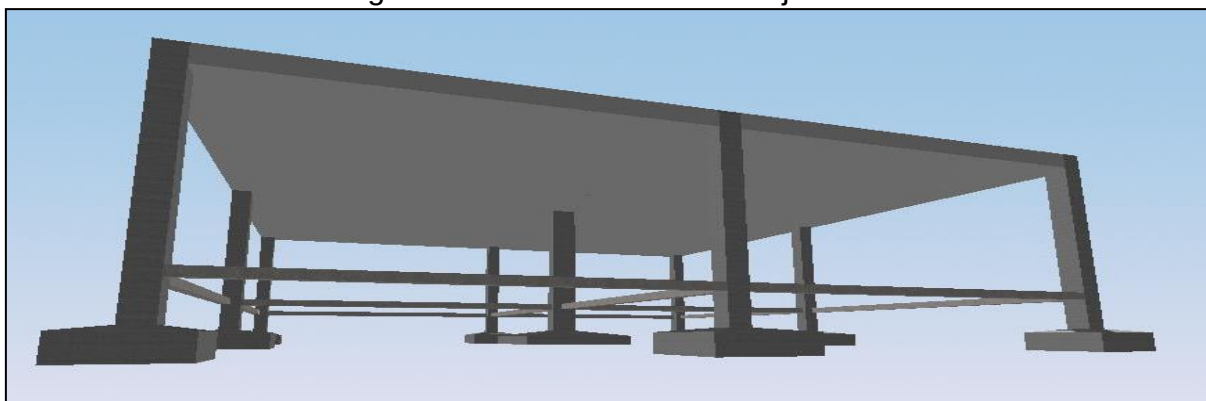
Nomenclatura da Viga	Dimensões (m)	Nomenclatura da Viga	Dimensões (m)
V1	20x20	V4	20x20
V2	20x20	V5	20x20
V3	20x20	V6	20x20

Fonte: Autora (2020).

E por fim, foi realizado o lançamento do segundo pavimento, este sendo constituído pela laje lisa, apoiada diretamente sobre os pilares sem a presença de vigas, no *software* TQS a laje maciça (L1) utilizou-se à ferramenta de fechamento de bordo para contorno, esta com uma altura de 40 cm. Para o dimensionamento da armadura de punção, foi realizado com F_{ck} de 25 MPa e 40 MPa, tendo como armadura os conectores e estribos.

Então, com isso foi gerada a planta baixa da laje lisa no *software* TQS, na Figura 22 é possível verificar a ilustração do 3D dessa estrutura.

Figura 22 - 3D da Estrutura: Laje Lisa



Fonte: Adaptado de TQS (2020).

3.6.1.2 Estrutura Laje Lisa: *Software* Eberick

O *software* Eberick utilizado foi à versão V8 Gold, como esta versão é de 2013, realizou-se manualmente as atualizações conforme a NBR 6118 (ABNT, 2014) para o dimensionamento da estrutura com todas as unidades estão no sistema

internacional (SI), através da matriz de análise foi identificado o modelo por M1 – B25 C e M1 – B40 C.

No *software* Eberick, primeiramente foi realizado o lançamento dos dados iniciais como o número de pavimentos, seus níveis e suas alturas, conforme a Figura 23. Após, a importação da planta baixa da laje.

Figura 23 - Dados Iniciais: Eberick

	Pavimento	Altura (m)	Nível (m)	Lance
1	Segundo	4.00	4.00	2
2	Primeiro	1.00	0.00	1
3				
4				
5				
6				
7				

Título:

Nível inferior: m

Lance inicial:

Fonte: Adaptado de EBERICK (2020).

Neste *software*, o primeiro pavimento é considerado as fundações contendo nove sapatas, as quais foram dimensionadas e verificadas através do próprio *software*, neste pavimento também nasceram os pilares como fundação e foram criadas as vigas para maior estabilidade da estrutura, conforme a Tabela 8.

Tabela 8 - Dimensões das Vigas: Primeiro Pavimento

Nomenclatura da Viga	Dimensões (m)
V1	20x20
V2	20x20
V3	20x20
V4	20x20
V5	20x20
V6	20x20

Fonte: Autora (2020).

No segundo pavimento foi lançada a laje lisa, a qual é apoiada diretamente sob os pilares, no *software* Eberick para ser inserida a laje maciça (L1) utilizou-se à ferramenta de barras para o contorno da laje. O estudo será feito com uma altura de

32 cm e 40 cm, tanto para o f_{ck} 25 MPa quanto para 40 MPa, para a armadura de punção foi realizado o dimensionamento apenas para conectores, pelo fato do Eberick não apresentar a opção de Estribos para armaduras de punção.

No APÊNDICE A e APÊNDICE B é possível visualizar a planta baixa desta laje.

3.6.1.3 Processo Analítico – Laje Lisa:

Na matriz de análise este modelo foi identificado como M1 – C 25 C, M1 – C 25 E, M1 – C 40 C e M1- C40 E. Através de planilhas no *software* Microsoft Excel foi realizado o dimensionamento analítico da estrutura respeitando as condições da NBR 6118 (ABNT, 2014).

Para o dimensionamento e verificação da armadura de punção foi efetuada a análise para cada pilar, considerando as diferenças entre pilar interno, pilar de canto e pilar de borda conforme as diretrizes da NBR 6118 (ABNT, 2014).

3.6.2 Modelo 2: Laje Nervurada

Conforme dito no 3.6.1, para a Laje Nervurada se levou em conta as mesmas características, juntamente com as propriedades dos materiais do estudo fictício. Com isso, foi realizado o lançamento da estrutura nos *softwares* comerciais e também no processo analítico. Para este modelo foi realizado o lançamento da estrutura com f_{ck} de 25 MPa e 40 MPa, juntamente, com as alturas de 32 cm e 40 cm.

3.6.2.1 Estrutura Laje Nervurada: *Software* TQS

Foi realizado o lançamento inicial dos dados da estrutura como número de pavimentos, pé direito, o tipo de laje e os níveis da estrutura, respectivamente. Assim, foi feita a importação da planta baixa da laje para iniciar a inserção dos demais dados. No modelo da laje nervurada para o *software* TQS foi nomeado pela matriz de análise o M2 – A 25 C, M2 – A 25 E, M2 – A 40 C e M2 – A 40 E.

Foram utilizadas as mesmas ferramentas do *software* TQS para a laje nervurada daquelas usadas para a laje lisa, o que se diferenciou foi à mudança do

tipo de laje para a nervurada e também a inserção dos capiteis nos nove pilares. Na Tabela 9 encontra – se as dimensões e altura dos capiteis. As cargas se mantiveram iguais.

Tabela 9 - Dimensões Capitéis: TQS

Nomenclatura Capitel	Dimensões Capitéis (cm)	Altura Capitel (cm)
Cap – P1	160 x 160	32 / 40
Cap – P2	360 x 160	32 / 40
Cap – P3	160 x 160	32 / 40
Cap – P4	160 x 360	32 / 40
Cap – P5	360 x 360	32 / 40
Cap – P6	160 x 360	32 / 40
Cap – P7	160 x 160	32 / 40
Cap – P8	360 x 160	32 / 40
Cap – P9	160 x 160	32 / 40

Fonte: Autora (2020).

E no TQS para definição do capitel é necessário desenhá-lo ou definir pelas nervuras, neste estudo fictício de caso foi optado pelo desenho, as dimensões foram definidas para atender a verificação da punção conforme a Figura 24.

Figura 24 - Definição Capitel: TQS

Dados atuais de capitel

Espessura cm
 Se fornecida (0), será adotada com a mesma espessura da laje

Divisor de inércia à flexão
 Se for fornecido (0), será adotado a partir dos arquivos de critérios de geração de grelhas, para lajes maciças ou nervuradas.

OK Cancelar

Fonte: Adaptado de TQS (2020).

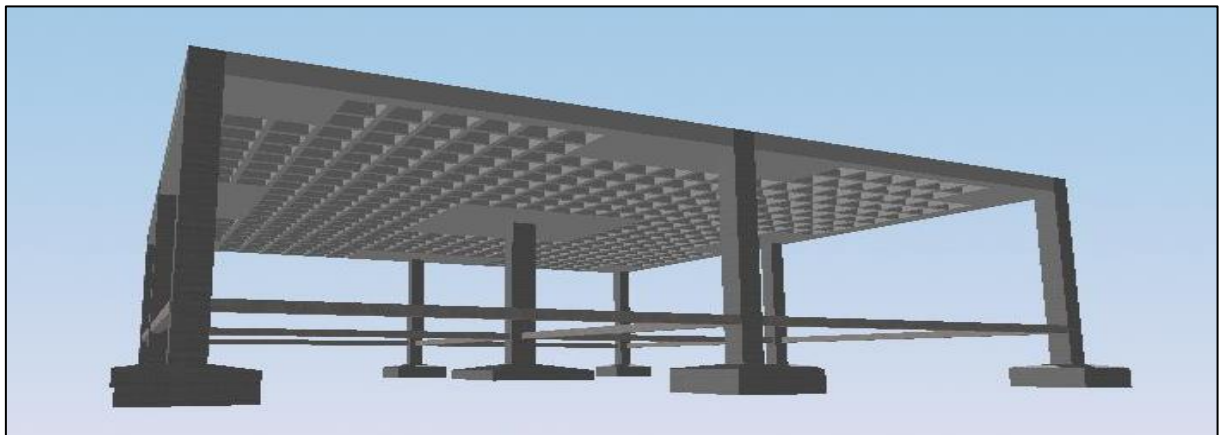
No *software* TQS, ao inserir a laje nervurada, se escolheu pelo modelo Nervurada T e a cubeta do fornecedor Atex Brasil, modelo 650 Capa 5H35, conforme a Figura 25.

Figura 25 - Tipo de Cubeta: TQS

Fonte: Adaptada de TQS (2020).

Por fim, após todos os itens definidos, gerou-se a planta baixa, conforme o APÊNDICE O. E na Figura 26 a visualização do 3D da laje nervurada, todas através do software TQS.

Figura 26 - 3D da Estrutura: Laje Nervurada



Fonte: Adaptado de TQS (2020).

3.6.2.2 Estrutura Laje Nervurada: Software Eberick

Através da matriz de análise identificou – se este modelo como M2 – B25 C e M2 – B40 C. Assim como realizada para laje lisa, foram realizados os mesmos procedimentos para o lançamento dos dados iniciais como número de pavimentos, seus níveis e suas alturas, respectivamente e posteriormente a importação da planta

baixa da laje. No Eberick, o capitel é inserido junto do pilar, assim como na Figura 27.

Figura 27 - Definição Capitel: Eberick

Fonte: Adaptada de EBERICK (2020).

Utilizou – se as mesmas ferramentas para inserção de pilares e vigas no primeiro pavimento, no segundo pavimento houve a alteração para a laje nervurada, juntamente, com a adição dos capiteis junto dos pilares, às cargas se mantiveram iguais.

Na Tabela 10, consta sobre as dimensões e altura dos capitéis para a laje lisa no *software* Eberick.

Tabela 10 - Dimensões Capitéis: Eberick

(continua)

Nomenclatura Capitel	Dimensões Capitéis (cm)	Altura Capitel (cm)
Cap – P1	160 x 160	32 /40

(conclusão)

Cap – P2	360 x 160	32 /40
Cap – P3	160 x 160	32 /40
Cap – P4	160 x 360	32 /40
Cap – P5	360 x 360	32 /40
Cap – P6	160 x 360	32 /40
Cap – P7	160 x 160	32 /40
Cap – P8	360 x 160	32 /40
Cap – P9	160 x 160	32 /40

Fonte: Autora (2020).

Assim definido também sobre o tipo de cubeta, portanto, nesta laje nervurada se tem dois tipos de cubetas, variando entre a altura de 32 cm e 40 cm, conforme a Figura 28 e Figura 29, respectivamente.

Figura 28 - Tipo de Cubeta: Eberick para Laje com 32 cm

Fonte: Adaptada de EBERICK (2020).

Figura 29 - Tipo de Cubeta: Eberick para Laje com 40 cm

Nome: L1 Tipo: Nervurada Grelha...

Cargas

Acidental: 2.5 kN/m² Revestimento: 1 kN/m²

Extra: 0 kN/m² Editar... Remover

Vigota protendida

Grupo: Vigota protendida com bloco cerâmico

Arranjo: Simples Altura: 13(8+5)

Enchimento

Tipo: Cubetas

Dimensão: B35/54/54/6.2/6.2/3

Seção

Espessura: 40 cm Elevação: 0 cm

ec: 5 cm

ee: 35 cm

enx: 12.4 cm

eny: 12.4 cm

OK Cancelar Desenho... Ajuda

Fonte: Adaptada de EBERICK (2020).

Mesmo se tratando da mesma laje com características iguais, existe diferença entre a planta de forma da laje nervurada entre o *software* Eberick e o TQS, então, no APÊNDICE O é possível visualizar a planta de forma do *software* Eberick.

3.6.2.3 Processo Analítico – Laje Nervurada

Na matriz de análise este modelo foi identificado como M2 – C 25 C, M2 – C 25 E, M2 – C 40 C e M2- C40 E. Através de planilhas no *software* Microsoft Excel foi realizada o dimensionamento analítico da estrutura respeitando as diretrizes da norma NBR 6118 (ABNT, 2014).

Para o dimensionamento e verificação da armadura de punção foi efetuada a análise para cada pilar, considerando as diferenças entre pilar interno, pilar de canto e pilar de borda conforme as diretrizes da NBR 6118 (ABNT, 2014).

4 RESULTADOS E ANÁLISES

Os resultados obtidos através dos *softwares* TQS, Eberick e Processo analítico estão apresentados na sequência deste trabalho.

4.1 LAJE LISA

Através do processamento da estrutura foi possível obter os resultados para a armadura de punção. No APÊNDICE A e APÊNDICE B consta a planta baixa da laje lisa.

4.1.1 Modelos: M1 – A25C e M1 – A25E com $h = 32$ cm

Na iminência de demonstrar os resultados para estes modelos de laje com uma altura de 32 cm. Porém, para este modelo observa-se que não foi possível processar a estrutura no *software* com 32 cm de altura para laje com um f_{ck} de 25 MPa, apresentou-se erro no processamento devido à altura, a qual, impedia o dimensionamento de algumas armaduras.

4.1.2 Modelos: M1 – A40C e M1 – A40E com $h = 32$ cm

Considerando a mesma altura de 32 cm e alterando o valor do F_{ck} para 40 MPa, foi realizado um novo processamento da estrutura, no entanto, não se obteve sucesso dos resultados sobre o quantitativo de armadura.

4.1.3 Modelos: M1 – A25C e M1 – A25E com $h = 40$ cm

Tomou como solução para o erro do processamento com a altura da laje de 32 cm, alterar-se para 40 cm, juntamente, com o f_{ck} de 25 MPa, assim obteve os resultados como está demonstrado na Tabela 11.

Tabela 11 - Quantitativo para M1 – A25C e M1 – A25E com h = 40 cm

Modelo	Pilar	Armadura de Punção	Bitola		
			6.3	8	10
M1 - A 25 C	P1	Conectores	12		
M1 - A 25 E		Estribos	15		
M1 - A 25 C	P2	Conectores		18	
M1 - A 25 E		Estribos		24	
M1 - A 25 C	P3	Conectores	12		
M1 - A 25 E		Estribos	15		
M1 - A 25 C	P4	Conectores	54		
M1 - A 25 E		Estribos	60		
M1 - A 25 C	P5	Conectores		75	
M1 - A 25 E		Estribos		87	
M1 - A 25 C	P6	Conectores	54		
M1 - A 25 E		Estribos	60		
M1 - A 25 C	P7	Conectores	12		
M1 - A 25 E		Estribos	15		
M1 - A 25 C	P8	Conectores	36		
M1 - A 25 E		Estribos	42		
M1 - A 25 C	P9	Conectores	12		
M1 - A 25 E		Estribos	15		
Quantidade Total - Conectores			192	93	0
Quantidade Total - Estribos			222	111	0

Fonte: Autora (2020).

O *software* dimensionou o quantitativo de armadura para punção por pilar e como é possível observar, nos pilares P2 e P5 há um aumento na bitola do vergalhão tanto para conectores quanto para estribos. No APÊNDICE C e APÊNDICE D pode – se visualizar as plantas desse modelo.

4.1.4 Modelos: M1 – A40C e M1 – A40E com h = 40 cm

Repetiu-se o processo de mudança da altura da laje para 40 cm, juntamente, com o aumento do F_{ck} para 40 MPa e assim se obtendo os resultados da Tabela 12 e também no APÊNDICE E e APÊNDICE F consta as plantas baixas da armadura de punção.

Tabela 12 - Quantitativo para M1 – A40C e M1 – A40E com $h = 40$ cm

Modelo	Pilar	Armadura de Punção	Bitola		
			6.3	8	10
M1 - A 40 C	P1	Conectores	12		
M1 - A 40 E		Estribos	15		
M1 - A 40 C	P2	Conectores		18	
M1 - A 40 E		Estribos		24	
M1 - A 40 C	P3	Conectores	12		
M1 - A 40 E		Estribos	15		
M1 - A 40 C	P4	Conectores	54		
M1 - A 40 E		Estribos	60		
M1 - A 40 C	P5	Conectores		75	
M1 - A 40 E		Estribos		87	
M1 - A 40 C	P6	Conectores	54		
M1 - A 40 E		Estribos	60		
M1 - A 40 C	P7	Conectores	12		
M1 - A 40 E		Estribos	15		
M1 - A 40 C	P8	Conectores	36		
M1 - A 40 E		Estribos	42		
M1 - A 40 C	P9	Conectores	12		
M1 - A 40 E		Estribos	15		
Quantidade Total - Conectores			192	93	0
Quantidade Total - Estribos			222	111	0

Fonte: Autora (2020).

4.1.5 Modelos: M1 – B25C com h = 32 cm

No *software* Eberick o dimensionamento da estrutura é realizado com sucesso para altura de 32 cm. Na

Tabela 13 é possível observar os resultados.

Tabela 13 - Quantitativo para M1 – B25C com h = 32 cm

Modelo	Pilar	Armadura de Punção	Bitola		
			6.3	8	10
M1 - B 25 C	P1	Conectores	9	-	-
M1 - B 25 E		Estribos	-	-	-
M1 - B 25 C	P2	Conectores	15	-	-
M1 - B 25 E		Estribos	-	-	-
M1 - B 25 C	P3	Conectores	9	-	-
M1 - B 25 E		Estribos	-	-	-
M1 - B 25 C	P4	Conectores	15	-	-
M1 - B 25 E		Estribos	-	-	-
M1 - B 25 C	P5	Conectores	48	-	-
M1 - B 25 E		Estribos	-	-	-
M1 - B 25 C	P6	Conectores	15	-	-
M1 - B 25 E		Estribos	-	-	-
M1 - B 25 C	P7	Conectores	9	-	-
M1 - B 25 E		Estribos	-	-	-
M1 - B 25 C	P8	Conectores	15	-	-
M1 - B 25 E		Estribos	-	-	-
M1 - B 25 C	P9	Conectores	9	-	-
M1 - B 25 E		Estribos	-	-	-
Quantidade Total - Conectores			144	-	-
Quantidade Total - Estribos			-	-	-

Fonte: Autora (2020).

Portanto, observa – se que o *software* Eberick, a armadura dimensionada é os conectores, sendo a mesma bitola de vergalhão para todos os pilares a planta baixa da armadura pode-se ser visualizada no APÊNDICE G.

4.1.6 Modelos: M1 – B40C com h = 32 cm

Na Tabela 14, contem os resultados obtidos através do dimensionamento e no APÊNDICE I possui a planta baixa com as armaduras de punção.

Tabela 14 – Quantitativo para M1 – B40C com h = 32 cm

Modelo	Pilar	Armadura de Punção	Bitola		
			6.3	8	10
M1 - B 40 C	P1	Conectores	9	-	-
M1 - B 40 E		Estribos	-	-	-
M1 - B 40 C	P2	Conectores	Não é necessário Armadura		
M1 - B 40 E		Estribos	de Punção		
M1 - B 40 C	P3	Conectores	9	-	-
M1 - B 40 E		Estribos	-	-	-
M1 - B 40 C	P4	Conectores	15	-	-
M1 - B 40 E		Estribos	-	-	-
M1 - B 40 C	P5	Conectores	24	-	-
M1 - B 40 E		Estribos	-	-	-
M1 - B 40 C	P6	Conectores	15	-	-
M1 - B 40 E		Estribos	-	-	-
M1 - B 40 C	P7	Conectores	Não é necessário Armadura		
M1 - B 40 E		Estribos	de Punção		
M1 - B 40 C	P8	Conectores	Não é necessário Armadura		
M1 - B 40 E		Estribos	de Punção		
M1 - B 40 C	P9	Conectores	9	-	-
M1 - B 40 E		Estribos	-	-	-
Quantidade Total - Conectores			81	-	-
Quantidade Total - Estribos			-	-	-

Fonte: Autora (2020).

4.1.7 Modelos: M1 – B25C com h = 40 cm

Neste modelo de laje, é possível observar na Tabela 15, alguns pilares não necessitaram de armadura de punção, o que faz ter uma boa diminuição no quantitativo para os conectores, juntamente, no APÊNDICE H possui a planta baixa das armaduras de punção.

Tabela 15 - Quantitativo para M1 – B25C com h = 40 cm

Modelo	Pilar	Armadura de Punção	Bitola		
			6.3	8	10
M1 – B 25 C	P1	Conectores	Não é necessário Armadura de		
M1 – B 25 E		Estribos	Punção		
M1 – B 25 C	P2	Conectores	15	-	-
M1 – B 25 E		Estribos	-	-	-
M1 – B 25 C	P3	Conectores	Não é necessário Armadura de		
M1 – B 25 E		Estribos	Punção		
M1 – B 25 C	P4	Conectores	15	-	-
M1 – B 25 E		Estribos	-	-	-
M1 – B 25 C	P5	Conectores	24	-	-
M1 – B 25 E		Estribos	-	-	-
M1 - B 25 C	P6	Conectores	15	-	-
M1 - B 25 E		Estribos	-	-	-
M1 - B 25 C	P7	Conectores	Não é necessário Armadura de		
M1 - B 25 E		Estribos	Punção		
M1 - B 25 C	P8	Conectores	15	-	-
M1 - B 25 E		Estribos	-	-	-
M1 - B 25 C	P9	Conectores	Não é necessário Armadura de		
M1 - B 25 E		Estribos	Punção		
Quantidade Total - Conectores			84	-	-
Quantidade Total - Estribos			-	-	-

Fonte: Autora (2020).

Por fim, no dimensionamento do modelo acima, visualiza – se que foi utilizado no dimensionamento apenas um tipo de bitola.

4.1.8 Modelos: M1 – B40C com h = 40 cm

Na Tabela 16 demonstra os resultados através do dimensionamento executado e por meio do aumento da espessura da laje e do fck do concreto, havendo assim uma redução dos pilares que necessitam dos conectores como armadura de punção.

Tabela 16 - Quantitativo para M1 – B40C com h = 40 cm

Modelo	Pilar	Armadura de Punção	Bitola		
			6.3	8	10
M1 - B 40 C	P1	Conectores	Não é necessário Armadura de		
M1 - B 40 E		Estribos	Punção		
M1 - B 40 C	P2	Conectores	Não é necessário Armadura de		
M1 - B 40 E		Estribos	Punção		
M1 - B 40 C	P3	Conectores	Não é necessário Armadura de		
M1 - B 40 E		Estribos	Punção		
M1 - B 40 C	P4	Conectores	15	-	-
M1 - B 40 E		Estribos	-	-	-
M1 - B 40 C	P5	Conectores	24	-	-
M1 - B 40 E		Estribos	-	-	-
M1 - B 40 C	P6	Conectores	15	-	-
M1 - B 40 E		Estribos	-	-	-
M1 - B 40 C	P7	Conectores	Não é necessário Armadura de		
M1 - B 40 E		Estribos	Punção		
M1 - B 40 C	P8	Conectores	Não é necessário Armadura de		
M1 - B 40 E		Estribos	Punção		
M1 - B 40 C	P9	Conectores	Não é necessário Armadura de		
M1 - B 40 E		Estribos	Punção		
Quantidade Total - Conectores			54	-	-
Quantidade Total - Estribos			-	-	-

Fonte: Autora (2020).

No APÊNDICE J, contém a planta baixa da armadura de punção.

4.1.9 Modelos: M1 – C25C e M1 – C25E com $h = 32$ cm

Neste modelo de laje foi realizado o dimensionamento de forma analítica, seguindo as prescrições da NBR 6118 (ABNT, 2014). A seguir será apresentada a forma de cálculo para cada um dos três tipos de pilares existentes, pilar de canto, pilar interno com momento e pilar de borda.

4.1.9.1.1 Pilar de Canto

Na laje desse estudo de caso fictício à punção, existem quatro pilares de canto, sendo eles P1, P3, P7 e P9. Para demonstração do cálculo realizado, será através do P1, este sendo um pilar quadrado de 40 x 40 cm. Os esforços solicitantes de cálculo utilizados foram retirados do *software* Eberick, o concreto utilizado possui resistência característica de 25 Mpa. Como o pilar de canto contém duas bordas livres, foi efetuado duas verificações separadamente.

Na Tabela 17 seguir a verificação é na borda livre em x.

Tabela 17 - Dimensionamento – P1: Dados Preliminares

$F_{sd} = 207,9 \text{ kN}$
$M_{sd} = 40,10 \text{ kN.m}$
$M_{sd*} = 1,76 \text{ kN.m}$
$M_{sd1} = 38,34 \text{ kN.m}$
$K = 0,6$

Fonte: Autora (2020).

Primeiramente, foi verificada a armadura de punção para laje com uma espessura de 32 cm com o cobrimento nominal de 2,5 cm, devido à classe de agressividade II. As armaduras nas direções x e y possui um diâmetro de 12,5 mm. Na Tabela 18, consta o valor encontrado para a altura útil da laje.

Tabela 18 - Dimensionamento – P1: Valor de D, Perímetro Crítico e Resistência Plástica no Contorno C

$d_x = 28,875 \text{ cm}$
$d_y = 27,625 \text{ cm}$
$d = 28,25 \text{ cm}$
$u_o = 160 \text{ cm}$
$W_{Pox} = W_{Poy} = 2400 \text{ cm}^2$

Fonte: Autora (2020).

Os valores de W_{Pox} e W_{Poy} são iguais, pois se tratar de um pilar quadrado. A partir desses dados, calculou – se as tensões no contorno C, conforme a Tabela 19.

Tabela 19 - Dimensionamento – P1: Tensão Solicitante e Tensão Resistente no Contorno C

$T_{sd} = 0,00815 \text{ tf/cm}^2 \text{ ou } 8,1504 \text{ Kg/cm}^2$
$T_{Rd2} = 43,39 \text{ Kg/cm}^2$
$T_{sd} \leq T_{Rd2}$
$8,1504 \text{ Kg/cm}^2 \leq 43,39 \text{ Kg/cm}^2$

Fonte: Autora (2020).

Conforme a verificação feita acima, observa – se que a tensão solicitante no contorno C é menor que a tensão resistente no contorno C, então, assim é correta a verificação. Na Tabela 20, consta os dados de perímetro crítico e Resistência Plástica para o Contorno C'. Tendo estes dados calculou – se as tensões neste contorno, conforme a Tabela 21.

Tabela 20 - Dimensionamento – P1: Perímetro Crítico e Resistência Plástica no Contorno C'

$C_1 = C_2 = 40$
$u = 515 \text{ cm}$
$W_p = 26789,00 \text{ cm}^2$

Fonte: Autora (2020).

Tabela 21 - Dimensionamento – P1: Tensão Solicitante e Tensão Resistente no Contorno C'

$\tau_{sd} = 0,0017671 \text{tf/cm}^2 \text{ ou } 1,7671 \text{ Kgf/cm}^2$
$\rho_x = 0,002378$
$\rho_y = 0,002764$
$\rho = 0,002564$
$\tau_{rd1} = 0,33179 \text{ MPa ou } 3,3179 \text{ Kgf/cm}^2$
$\tau_{sd} \leq \tau_{Rd1}$
$1,7671 \text{ Kgf/cm}^2 \leq 3,3179 \text{ Kgf/cm}^2$

Fonte: Autora (2020).

Com isso, é concluída que no P1 para o modelo M1 – C25C e M1 – C25E não é necessário à armadura de punção, devido ao fato da tensão solicitante no contorno C' ter dado um resultado menor que a tensão resistente no contorno C'.

a) Definição da superfície crítica C'':

E por fim, é realizada a verificação junto da superfície crítica em C'', ou seja, segundo a NBR 6118 (ABNT, 2014) é a armadura transversal, a qual é estendida do contorno C' até C'', afastado 2d do último contorno.

Para definição do R, a região a 2d da última linha de armaduras de punção, tomou sob a seguinte análise do pilar até o contorno C''. Na Tabela 22, encontra – se os valores do dimensionamento, juntamente, com a verificação.

Tabela 22 - Dimensionamento – P1: Contorno C''

$R = 108,5 \text{ cm}$
$u_n = 681,725 \text{ cm}$
$W_p = 47089 \text{ cm}^2$
$\tau_{sd} = 0,0012771 \text{tf/cm}^2 \text{ ou } 1,2771 \text{ Kgf/cm}^2$
$\tau_{rd1} = 0,33179 \text{ MPa ou } 3,3179 \text{ Kgf/cm}^2$
$\tau_{sd} \leq \tau_{Rd1}$
$1,2771 \leq 3,3179$

Fonte: Autora (2020).

Por conclusão, é de que tendo o valor da tensão solicitante no Contorno C'' é menor que a tensão resistente no Contorno C'', então, não necessita – se de armadura transversal afastada 2d do último contorno de armadura.

Realizada a verificação da borda livre em x para o P1, agora será realizada a verificação da borda livre em y. Na Tabela 23, consta os dados iniciais para o dimensionamento.

Tabela 23 - Dimensionamento – P1: Dados Preliminares

$F_{sd}= 207,9 \text{ kN}$
$M_{Sd}= 33,73 \text{ kN.m}$
$M_{Sd*}= 1,76 \text{ kN.m}$
$M_{Sd1}= 31,96 \text{ kN.m}$
$K= 0,6$

Fonte: Autora (2020).

Na Tabela 24 consta o valor encontrado para a altura útil da laje, perímetro critico e Resistência Plástica no Contorno C e outros parâmetros, foram utilizados os mesmos parâmetros da verificação na borda livre em x.

Tabela 24 - Dimensionamento – P1: Valor de D, Perímetro Critico e Resistência Plástica no Contorno C

$d_x= 26,875 \text{ cm}$
$d_y= 27,625 \text{ cm}$
$d = 28,25 \text{ cm}$
$u_o= 160 \text{ cm}$
$W_{P0x} = W_{P0y}=2400 \text{ cm}^2$

Fonte: Autora (2020).

Os valores de W_{P0x} e W_{P0y} são iguais, pois se tratar de um pilar quadrado. A partir desses dados, calculou – se as tensões no contorno C, conforme a Tabela 25.

Tabela 25 - Dimensionamento – P1: Tensão Solicitante e Tensão Resistente no Contorno C

$\tau_{sd} = 0,00758 \text{ tf/cm}^2 \text{ ou } 7,5752 \text{ Kgf/cm}^2$
$\tau_{Rd2} = 43,39 \text{ Kgf/cm}^2$
$\tau_{sd} \leq \tau_{Rd2}$
$7,5752 \text{ Kgf/cm}^2 \leq 43,39 \text{ Kgf/cm}^2$

Fonte: Autora (2020).

Na borda livre em y, também a tensão a tensão solicitante no contorno C é menor que a tensão resistente no contorno C, então, assim é correta a verificação. Na Tabela 26, consta os dados de perímetro crítico e Resistência Plástica para o Contorno C'. Com isso, calculou – se as tensões neste contorno, conforme a Tabela 27.

Tabela 26 - Dimensionamento – P1: Perímetro Crítico e Resistência Plástica no Contorno C'

$C_1 = C_2 = 40$
$u = 515 \text{ cm}$
$W_p = 26789,00 \text{ cm}^2$

Fonte: Autora (2020).

Tabela 27 - Dimensionamento – P1: Tensão Solicitante e Tensão Resistente no Contorno C'

$\tau_{sd} = 0,001715631 \text{ tf/cm}^2 \text{ ou } 1,71563 \text{ Kgf/cm}^2$
$\rho_x = 0,002378$
$\rho_y = 0,002764$
$\rho = 0,002564$
$\tau_{Rd1} = 0,33179 \text{ MPa ou } 3,33179 \text{ Kgf/cm}^2$
$\tau_{sd} \leq \tau_{Rd1}$
$1,71563 \text{ Kgf/cm}^2 \leq 3,33179 \text{ Kgf/cm}^2$

Fonte: Autora (2020).

Com isso, é concluída que no P1 para o modelo M1 – C25C e M1 – C25E não é necessário à armadura de punção, devido ao fato da tensão solicitante no contorno C' ter dado um resultado menor que a tensão resistente no contorno C'.

b) Definição da superfície crítica C''

E por fim, é realizada a verificação junto da superfície crítica em C'', ou seja, segundo a NBR 6118 (ABNT, 2014) é a armadura transversal, a qual é estendida do contorno C' até C'', afastado 2d do último contorno.

Para definição do R, a região a 2d da última linha de armaduras de punção, tomou sob a seguinte análise do pilar até o contorno C''. Na Tabela 28, encontra – se os valores do dimensionamento, juntamente, com a verificação.

Tabela 28 - Dimensionamento – P1: Contorno C''

$R = 108,5 \text{ cm}$
$u_n = 681,725 \text{ cm}$
$W_p = 47089 \text{ cm}^2$
$\tau_{sd} = 0,0012478 \text{ tf/cm}^2 \text{ ou } 1,2478 \text{ Kgf/cm}^2$
$\tau_{rd1} = 0,333179 \text{ MPa ou } 3,33179 \text{ Kgf/cm}^2$
$\tau_{sd} \leq \tau_{rd1}$
$1,2478 \text{ Kgf/cm}^2 \leq 3,33179 \text{ Kgf/cm}^2$

Fonte: Autora (2020).

Por conclusão, é de que tendo o valor da tensão solicitante no Contorno C'' é menor que a tensão resistente no Contorno C'', então, não necessita – se de armadura transversal afastada 2d do último contorno de armadura para a borda livre em y.

4.1.9.2 Pilar de Borda

Nesse estudo de caso fictício à punção, existem quatro pilares de borda, nomeados de P2, P4, P6 e P8. Para demonstração do cálculo realizado, será através do P2, este sendo um pilar quadrado de 40 x 40 cm.

Os esforços solicitantes de cálculo utilizados foram retirados do *software* Eberick, o concreto utilizado possui resistência característica de 25 Mpa. Todos os pilares de borda sofrem efeito de momento, então, optou – se pela análise conforme a NBR 6118 (ABNT, 2014). Quando agir momento no plano paralelo à

borda livre, inicia – se o dimensionamento, conforme a Tabela 29.

Tabela 29 - Dimensionamento – P2: Dados Preliminares

$F_{sd} = 408,64 \text{ kN}$
$M_{Sd} = 63,15 \text{ kN.m}$
$M_{Sdy} = 9,31 \text{ kN.m}$
$K = 0,6$

Fonte: Autora (2020).

Como característica da laje, será verificada com uma espessura de 32 cm com o cobrimento nominal de 2,5 cm, devido à classe de agressividade II. A armadura na direção x possui um diâmetro de 10 mm e na direção y possui um diâmetro de 12,5 mm. Na Tabela 30, consta o valor encontrado para a altura útil da laje e outros parâmetros.

Tabela 30 - Dimensionamento – P2: Valor de D, Perímetro Crítico e Resistência Plástica no Contorno C

$d_x = 29 \text{ cm}$
$d_y = 27,875 \text{ cm}$
$d = 28,4375 \text{ cm}$
$u_o = 160 \text{ cm}$
$W_{Pox} = W_{Poy} = 2400 \text{ cm}^2$

Fonte: Autora (2020).

Os valores de W_{Pox} e W_{Poy} são iguais, pois se tratar de um pilar quadrado. A partir desses dados, calculou – se as tensões no contorno C, conforme a Tabela 31.

Tabela 31 - Dimensionamento – P2: Tensão Solicitante e Tensão Resistente no Contorno C

(continua)

$\tau_{sd} = 0,01565 \text{ tf/cm}^2 \text{ ou } 15,654 \text{ Kg/cm}^2$
$\tau_{Rd2} = 43,39 \text{ Kg/cm}^2$

(conclusão)

$$\tau_{sd} \leq \tau_{Rd2}$$

$$15,654 \text{ Kgf/cm}^2 \leq 43,39 \text{ Kgf/cm}^2$$

Fonte: Autora (2020).

Conforme a verificação feita acima, observa – se que a tensão solicitante no contorno C é menor que a tensão resistente no contorno C para o P2, então, assim é correta a verificação.

Na Tabela 32, consta os dados de perímetro critico e Resistência Plástica para o Contorno C'. Tendo estes dados calculou – se as tensões neste contorno, conforme a Tabela 33.

Tabela 32 - Dimensionamento – P2: Perímetro Critico e Resistência Plástica no Contorno C'

$C_1 = C_2 = 40 \text{ cm}$
$u = 517,3562 \text{ cm}$
$W_p = 27036,19 \text{ cm}^2$

Fonte: Autora (2020).

Tabela 33 - Dimensionamento – P2: Tensão Solicitante e Tensão Resistente no Contorno C'

$\tau_{sd} = 0,003341 \text{ tf/cm}^2 \text{ ou } 3,40903 \text{ Kgf/cm}^2$
$\rho_x = 0,002014$
$\rho_y = 0,003263$
$\rho = 0,002564$
$\tau_{rd1} = 0,332506 \text{ MPa ou } 3,32506 \text{ Kgf/cm}^2$
$\tau_{sd} \leq \tau_{Rd1}$
$3,40903 \text{ Kgf/cm}^2 \geq 3,3179 \text{ Kgf/cm}^2$

Fonte: Autora (2020).

Portanto, a partir do resultado para o P2 no modelo M1 – C25C e M1 – C25E é necessário à armadura de punção. Assim, na Tabela 34 consta sobre o dimensionamento da armadura de punção.

Tabela 34 - Dimensionamento - P2: Tensão Resistente no Contorno Critico em C' com Armadura de Punção

$f_{ywd} = 300 \text{ MPa} \rightarrow \text{Conectores}$
$f_{ywd} = 250 \text{ MPa} \rightarrow \text{Estribos}$
$\alpha = 90^\circ \rightarrow \text{Conectores}$
$\alpha = 45^\circ \rightarrow \text{Estribos}$
$S_r = 10 \text{ cm}$
$\frac{A_{sw}}{S_r} = 3,5266 \text{ cm}^2/\text{cm} \rightarrow \text{Conectores}$
$A_{sw} = 35,266 \text{ cm}^2 \rightarrow \text{Conectores}$
$\frac{A_{sw}}{S_r} = 5,9849 \text{ cm}^2/\text{cm} \rightarrow \text{Estribos}$
$A_{sw} = 59,849 \text{ cm}^2 \rightarrow \text{Estribos}$

Fonte: Autora (2020)

Resultando no quantitativo para os conectores, conforme a Tabela 35. E para os estribos, conforme a Tabela 36.

Tabela 35 - Quantitativo para P2 – Conectores

Kg - Ø	Ø	nº de barras
0,196	5	180
0,283	6	125
0,312	6.3	114
0,503	8	71
0,785	10	45
1,227	12.5	29
2,011	16	18
3,142	20	12

Fonte: Autora (2020).

Tabela 36 - Quantitativo para P2 – Estribos

(continua)

Kg – Ø	Ø	nº de barras
0,196	5	306

(conclusão)

Kg – Ø	Ø	nº de barras
0,283	6	212
0,312	6.3	192
0,503	8	119
0,785	10	77
1,227	12.5	49
2,011	16	30
3,142	20	20

Fonte: Autora (2020).

c) Definição da superfície crítica C''

E por fim, é realizada a verificação junto da superfície crítica em C'', ou seja, segundo a NBR 6118 (ABNT, 2014) é a armadura transversal, a qual é estendida do contorno C' até C'', afastado 2d do último contorno. Para definição do R, a região a 2d da última linha de armaduras de punção, tomou sob a seguinte análise do pilar até o contorno C''. Na Tabela 37, encontra – se os valores do dimensionamento, juntamente, com a verificação.

Tabela 37 - Dimensionamento – P2: Contorno C''

$R = 108,875 \text{ cm}$
$u_n = 684,0818 \text{ cm}$
$W_p = 47415,06 \text{ cm}^2$
$\tau_{sd} = 0,00247 \text{ tf/cm}^2 \text{ ou } 2,470865 \text{ Kgf/cm}^2$
$\tau_{rd1} = 0,332506 \text{ MPa ou } 3,32506 \text{ Kgf/cm}^2$
$\tau_{sd} \leq \tau_{rd1}$
$2,470865 \text{ Kgf/cm}^2 \leq 3,32506 \text{ Kgf/cm}^2$

Fonte: Autora (2020).

Por conclusão, é de que tendo o valor da tensão solicitante no Contorno C'' é menor que a tensão resistente no Contorno C'', então, não necessita – se de armadura transversal afastada 2d do último contorno de armadura.

4.1.9.2 Pilar Interno, com Efeito de Momento

Para este modelo de laje no estudo de caso fictício à punção, existe apenas um pilar interno com efeito de momento, sendo o P5. A seguir está sendo apresentado o modelo de cálculo para um pilar quadrado de 60 x 60 cm.

Os esforços solicitantes de cálculo utilizados foram retirados do *software* Eberick, o concreto utilizado possui resistência característica de 25 Mpa. Inicia – se o dimensionamento, conforme a Tabela 38.

Tabela 38 - Dimensionamento – P5: Dados Preliminares

$F_{sd} = 134,65 \text{ tf}$
$M_{sd} = 0,31 \text{ tf.m}$
$K = 0,6$

Fonte: Autora (2020).

A espessura adotada laje é de 32 cm, tendo 2,5 cm de cobrimento nominal devido à classe de agressividade II. A armadura na direção x possui um diâmetro de 10 mm, já na direção y possui um diâmetro de 12,5 mm. Atraves da Tabela 39, é possível observar – se alguns parâmetros de cálculo.

Tabela 39 - Dimensionamento – P5: Valor de D, Perímetro Critico e Resistência Plástica no Contorno C

$d_x = 29 \text{ cm}$
$d_y = 27,875 \text{ cm}$
$d = 28,4375 \text{ cm}$
$u_o = 240 \text{ cm}$
$W_{Pox} = 5400 \text{ cm}^2$

Fonte: Autora (2020).

Os valores de W_{Pox} e W_{Poy} são iguais, pois se tratar de um pilar quadrado. A partir desses dados, calculou – se as tensões no contorno C, conforme a Tabela 40.

Tabela 40 - Dimensionamento – P5: Tensão Solicitante e Tensão Resistente no Contorno C

$\tau_{sd} = 0,01973 \text{ tf/cm}^2 \text{ ou } 19,73 \text{ Kgf/cm}^2$
$\tau_{Rd2} = 43,39 \text{ Kgf/cm}^2$
$\tau_{sd} \leq \tau_{Rd2}$
$19,73 \text{ Kgf/cm}^2 \leq 43,39 \text{ Kgf/cm}^2$

Fonte: Autora (2020).

Conforme a verificação feita acima, observa – se que a tensão solicitante no contorno C é menor que a tensão resistente no contorno C para o P5, então, assim é correta a verificação. Na Tabela 41, consta os dados de perímetro crítico e Resistência Plástica para o Contorno C'. Tendo estes dados calculou – se as tensões neste contorno, conforme a Tabela 42.

Tabela 41 - Dimensionamento – P5: Perímetro Crítico e Resistência Plástica no Contorno C'

$C_1 = C_2 = 60 \text{ cm}$
$u = 597,3562 \text{ cm}$
$W_p = 35884,75 \text{ cm}^2$

Fonte: Autora (2020).

Tabela 42 - Dimensionamento – P5: Tensão Solicitante e Tensão Resistente no Contorno C'

$\tau_{sd} = 0,00793 \text{ tf/cm}^2 \text{ ou } 7,9266 \text{ Kgf/cm}^2$
$\rho_x = 0,002759$
$\rho_y = 0,007439$
$\rho = 0,004531$
$\tau_{Rd1} = 0,3748 \text{ MPa ou } 3,748 \text{ Kgf/cm}^2$
$\tau_{sd} \leq \tau_{Rd1}$
$7,9266 \text{ Kgf/cm}^2 \geq 3,748 \text{ Kgf/cm}^2$

Fonte: Autora (2020).

Portanto, a partir do resultado para o P5 no modelo M1 – C25C e M1 –

C25E é necessário à armadura de punção. Assim, na Tabela 43 consta sobre o dimensionamento da armadura de punção.

Tabela 43 - Dimensionamento – P5: Tensão Resistente no Contorno Critico em C' com Armadura de Punção

$f_{ywd} = 300 \text{ Mpa} \rightarrow \text{Conectores}$
$f_{ywd} = 250 \text{ Mpa} \rightarrow \text{Estribos}$
$\alpha = 90^\circ \rightarrow \text{Conectores}$
$\alpha = 45^\circ \rightarrow \text{Estribos}$
$S_r = 10 \text{ cm}$
$\frac{A_{sw}}{S_r} = 9,9742 \text{ cm}^2/\text{cm} \rightarrow \text{Conectores}$
$A_{sw} = 99,742 \text{ cm}^2 \rightarrow \text{Conectores}$
$\frac{A_{sw}}{S_r} = 16,9268 \text{ cm}^2/\text{cm} \rightarrow \text{Estribos}$
$A_{sw} = 169,268 \text{ cm}^2 \rightarrow \text{Estribos}$

Fonte: Autora (2020).

Resultando no quantitativo para os conectores, conforme a Tabela 44. E para os estribos, conforme a Tabela 45.

Tabela 44 – Quantitativo para P5 – Conectores

Kg – $\emptyset$	$\emptyset$	nº de barras
0,196	5	509
0,283	6	353
0,312	6.3	320
0,503	8	199
0,785	10	128
1,227	12.5	82
2,011	16	50
3,142	20	32

Fonte: Autora (2020).

Tabela 45 – Quantitativo para P5 – Estribos

Kg – Ø	Ø	nº de barras
0,196	5	864
0,283	6	599
0,312	6.3	543
0,503	8	337
0,785	10	216
1,227	12.5	138
2,011	16	85
3,142	20	54

Fonte: Autora (2020).

a) Definição da superfície crítica C''

E por fim, é realizada a verificação junto da superfície crítica em C'', ou seja, segundo a NBR 6118 (ABNT, 2014) é a armadura transversal, a qual é estendida do contorno C' até C'', afastado 2d do último contorno.

Para definição do R, a região a 2d da última linha de armaduras de punção, tomou sob a seguinte análise do pilar até o contorno C''. Na Tabela 46, encontra – se os valores do dimensionamento, juntamente, com a verificação.

Tabela 46 - Dimensionamento – P5: Contorno C''

$R = 118,875 \text{ cm}$
$u_n = 746,9137 \text{ cm}$
$W_p = 56525,06 \text{ cm}^2$
$\tau_{sd} = 0,00635 \text{ tf/cm}^2 \text{ ou } 6,3509 \text{ Kgf/cm}^2$
$\tau_{rd1} = 0,3734 \text{ MPa ou } 3,734 \text{ Kgf/cm}^2$
$\tau_{sd} \leq \tau_{Rd1}$
$6,3509 \text{ Kgf/cm}^2 \geq 3,734 \text{ Kgf/cm}^2$

Fonte: Autora (2020).

Portanto, tendo o valor da tensão solicitante no Contorno C'' é maior que a tensão resistente no Contorno C'', então, necessita – se de armadura transversal afastada 2d do último contorno de armadura. Para isso, foi executada uma nova verificação das três condições descritas pela norma e com isso, para o P5 terá que se adicionar uma nova linha para armadura de punção, conforme o quantitativo da Tabela 47.

Tabela 47 - Quantitativo de Armadura P5 – Contorno C''

Kg – Ø	Ø	nº de barras	
		Conectores	Estribos
0,196	5	503	853
0,283	6	348	591
0,312	6.3	316	536
0,503	8	196	333
0,785	10	126	213
1,227	12.5	81	137
2,011	16	49	84
3,142	20	32	54

Fonte: Autora (2020).

A partir dos cálculos analíticos foi possível gerar a Tabela 48 com o quantitativo para conectores e estribos de todos os pilares dos modelos M1 – C25C e M1 – C25E.

Tabela 48 – Quantitativo para M1 – C25C e M1 – C25E com h = 32 cm

(continua)

Modelo	Pilar	Armadura de Punção	Bitola		
			6.3	8	10
M1 – C 25 C	P1	Conectores	Não é necessário Armadura de Punção		
M1 – C 25 E		Estribos			
M1 – C 25 C	P2	Conectores	114	71	45
M1 – C 25 E		Estribos	192	119	77

(conclusão)

Modelo	Pilar	Armadura de Punção	Bitola		
			6.3	8	10
M1 – C 25 C	P3	Conectores	Não é necessário Armadura de		
M1 – C 25 E		Estribos	Punção		
M1 – C 25 C	P4	Conectores	137	85	55
M1 – C 25 E		Estribos	232	144	92
M1 – C 25 C	P5	Conectores	636	395	254
M1 - C 25 E		Estribos	1079	670	429
M1 - C 25 C	P6	Conectores	134	84	54
M1 - C 25 E		Estribos	228	141	91
M1 - C 25 C	P7	Conectores	Não é necessário Armadura de		
M1 - C 25 E		Estribos	Punção		
M1 - C 25 C	P8	Conectores	135	85	54
M1 - C 25 E		Estribos	231	143	92
M1 - C 25 C	P9	Conectores	Não é necessário Armadura de		
M1 - C 25 E		Estribos	Punção		
Quantidade Total – Conectores			1156	720	462
Quantidade Total – Estribos			1962	1217	781

Fonte: Autora (2020).

No APÊNDICE K encontra – se todas as tabelas de dimensionamento de todos os pilares para os modelos M1 – C25C e M1 – C25E.

4.1.10 Modelos: M1 – C40C e M1 – C40E com h = 32 cm

Neste modelo a armadura foi dimensionada da mesma forma do item 4.1.10, alterando a resistência do concreto para 40 MPa. Na Tabela 49, encontra-se os resultados deste modelo.

Tabela 49 - Quantitativo para M1 – C40C e M1 – C40E com h = 32 cm

Modelo	Pilar	Armadura de Punção	Bitola		
			6.3	8	10
M1 – C 40 C	P1	Conectores	Não é necessário Armadura de		
M1 – C 40 E		Estribos	Punção		
M1 - C 40 C	P2	Conectores	132	82	53
M1 - C 40 E		Estribos	224	139	89
M1 - C 40 C	P3	Conectores	Não é necessário Armadura de		
M1 - C 40 E		Estribos	Punção		
M1 - C 40 C	P4	Conectores	134	83	53
M1 - C 40 E		Estribos	226	141	90
M1 - C 40 C	P5	Conectores	630	391	251
M1 - C 40 E		Estribos	1072	666	426
M1 - C 40 C	P6	Conectores	131	81	52
M1 - C 40 E		Estribos	222	138	89
M1 - C 40 C	P7	Conectores	Não é necessário Armadura de		
M1 - C 40 E		Estribos	Punção		
M1 - C 40 C	P8	Conectores	137	85	55
M1 - C 40 E		Estribos	232	144	92
M1 - C 40 C	P9	Conectores	Não é necessário Armadura de		
M1 - C 40 E		Estribos	Punção		
Quantidade Total – Conectores			1164	722	464
Quantidade Total – Estribos			1976	1228	786

Fonte: Autora (2020).

Para visualizar as tabelas de dimensionamento dos modelos M1 – C40C e M1 – C40E, localiza – se no APÊNDICE L.

4.1.11 Modelos: M1 – C25C e M1 – C25E com h = 40 cm

O dimensionamento da armadura foi realizado da mesma forma do item 4.1.10, alterando a espessura da laje para 40 cm. Na Tabela 50, encontra-se os resultados deste modelo.

Tabela 50 - Quantitativo para M1 – C25C e M1 – C25E com h = 40 cm

Modelo	Pilar	Armadura de Punção	Bitola		
			6.3	8	10
M1 - C 25 C	P1	Conectores	Não é necessário Armadura de		
M1 - C 25 E		Estribos	Punção		
M1 - C 25 C	P2	Conectores	88	55	35
M1 - C 25 E		Estribos	124	77	50
M1 - C 25 C	P3	Conectores	Não é necessário Armadura de		
M1 - C 25 E		Estribos	Punção		
M1 - C 25 C	P4	Conectores	85	53	34
M1 - C 25 E		Estribos	120	75	48
M1 - C 25 C	P5	Conectores	599	372	239
M1 - C 25 E		Estribos	948	589	378
M1 - C 25 C	P6	Conectores	86	53	34
M1 - C 25 E		Estribos	121	75	48
M1 - C 25 C	P7	Conectores	Não é necessário Armadura de		
M1 - C 25 E		Estribos	Punção		
M1 - C 25 C	P8	Conectores	86	54	35
M1 - C 25 E		Estribos	122	76	49
M1 - C 25 C	P9	Conectores	Não é necessário Armadura de		
M1 - C 25 E		Estribos	Punção		
Quantidade Total – Conectores			944	587	377
Quantidade Total – Estribos			1435	892	573

Fonte: Autora (2020).

No APÊNDICE M é possível visualizar as tabelas de dimensionamento dos modelos M1 – C25C e M1 – C25E com altura de 40 cm para todos os pilares.

4.1.12 Modelos: M1 – C40C e M1 – C40E com h = 40 cm

Neste modelo a armadura foi dimensionada da mesma forma do item 4.1.10, alterando a resistência do concreto para 40 MPa, juntamente com a espessura da laje, passando para 40 cm. Na Tabela 51, encontra-se os resultados deste modelo.

Tabela 51 - Quantitativo para M1 – C40C e M1 – C40E com h = 40 cm

Modelo	Pilar	Armadura de Punção	Bitola		
			6.3	8	10
M1 - C 40 C	P1	Conectores	Não é necessário Armadura de		
M1 - C 40 E		Estribos	Punção		
M1 - C 40 C	P2	Conectores	80	50	32
M1 - C 40 E		Estribos	113	70	45
M1 - C 40 C	P3	Conectores	Não é necessário Armadura de		
M1 - C 40 E		Estribos	Punção		
M1 - C 40 C	P4	Conectores	78	49	31
M1 - C 40 E		Estribos	111	69	44
M1 - C 40 C	P5	Conectores	548	340	218
M1 - C 40 E		Estribos	866	538	345
M1 - C 40 C	P6	Conectores	78	48	31
M1 - C 40 E		Estribos	110	68	44
M1 - C 40 C	P7	Conectores	Não é necessário Armadura de		
M1 - C 40 E		Estribos	Punção		
M1 - C 40 C	P8	Conectores	79	49	32
M1 - C 40 E		Estribos	111	69	45
M1 - C 40 C	P9	Conectores	Não é necessário Armadura de		
M1 - C 40 E		Estribos	Punção		
Quantidade Total – Conectores			863	536	344
Quantidade Total – Estribos			1311	814	523

Fonte: Autora (2020).

Para visualizar as tabelas de dimensionamento dos modelos M1 – C40C e M1 – C40E com altura de 40 cm, localiza – se no APÊNDICE N.

4.1.13 Comparativo dos Resultados da Armadura de Punção

Foram obtidos os resultados os dimensionamentos realizados através dos *softwares* comerciais e também pelo processo analítico da laje lisa com fck de 25 MPa e com uma altura de 32 cm, estes encontram – se na Tabela 52.

Tabela 52 - Dimensionamento Laje Lisa com H = 32 cm: 25 MPa

Software	Modelo	Armadura de Punção	Bitola (Ø)	Quantidade	Taxa de Armadura (kgf/m³)
Eberick	M1 - B 25 C	Conectores	6.3	144	0,1207
ANALÍTICO	M1 - C 25 C	Conectores	10	462	1,1134
	M1 - C 25 E	Estribos	10	781	1,8762
TQS	M1 - A 25 C	Conectores	-	-	-
	M1 - A 25 E	Estribos	-	-	-

Fonte: Autora (2020).

No *software* TQS a laje lisa com altura de 32 cm e fck de 25 MPa não foi executável o processamento da estrutura, portanto fica impossibilitado a avaliação no comparativo entre *softwares*.

4.1.13.1 Laje Lisa de 25 MPa com h = 40 cm

Devido ao erro no processamento da estrutura com altura de 32 cm, realizou – se a mudança na altura da laje lisa para 40 cm e assim se deu um sucesso no processamento por completo na laje lisa. Então, pode – se observar os resultados obtidos no dimensionamento através da Tabela 53.

Tabela 53 - Dimensionamento Laje Lisa com H = 40 cm: 25 MPa

Software	Modelo	Armadura de Punção	Bitola (Ø)	Quantidade	Taxa de Armadura (kgf/m³)
Eberick	M1 - B 25 C	Conectores	6.3	84	0,0804
ANALÍTICO	M1 - C 25 C	Conectores	10	377	0,9086
	M1 - C 25 E	Estribos	10	573	1,3765
TQS	M1 - A 25 C	Conectores	6.3 8	285	0,2649
	M1 - A 25 E	Estribos	6.3 8	333	0,2846

Fonte: Autora (2020).

Pelo fato do *software* Eberick não realizar o dimensionamento para estribos como armadura de punção, fica impossibilitado uma comparação nesse tipo de armadura, mas sendo realizada uma análise, é possível concluir que apesar da estrutura ter as mesmas características o dimensionamento pelo *software* TQS possui uma quantidade maior na armadura de punção.

4.1.14 Laje Lisa de 40 MPa com h = 32 cm

Após se obter os resultados com o fck de 25 MPa, foi realizado o processamento da estrutura com um fck de 40 MPa e se obteve os seguintes resultados, conforme a Tabela 54.

Tabela 54 - Dimensionamento Laje Lisa com H = 32 cm: 40 MPa

Software	Modelo	Armadura de Punção	Bitola (Ø)	Quantidade	Taxa de Armadura (kgf/m ³)
Eberick	M1 - B 40 C	Conectores	6.3	81	0,0802
ANALITICO	M1 - C 40 C	Conectores	10	464	1,1136
	M1 - C 40 E	Estribos	10	786	1,8882
TQS	M1 - A 40 C	Conectores	-	-	-
	M1 - A 40 E	Estribos	-	-	-

Fonte: Autora (2020).

Mesmo sendo efetuada a mudança na resistência do concreto para 40 MPa, o *software* TQS não realizou o processamento da estrutura para o dimensionamento da armadura de punção.

4.1.15 Laje Lisa de 40 MPa com h = 40 cm

Além do aumento na altura da laje, alterou – se também a resistência do concreto para o valor de 40 MPa e assim se tornou possível o dimensionamento, como já havia ocorrido para a mesma altura de laje, porém com uma resistência de concreto menor.

Na Tabela 55 evidência os resultados obtidos para esta laje com as características descritas acima..

Tabela 55 - Dimensionamento Laje Lisa com H = 40 cm: 40 MPa

Software	Modelo	Armadura de Punção	Bitola (Ø)	Quantidade	Taxa de Armadura (kgf/m ³)
Eberick	M1 - B 40 C	Conectores	6.3	54	0,0516
ANALÍTICO	M1 - C 40 C	Conectores	10	344	0,8290
	M1 - C 40 E	Estribos	10	523	1,2564
TQS	M1 - A 40 C	Conectores	6.3 8	285	0,2649
	M1 - A 40 E	Estribos	6.3 8	333	0,2846

Fonte: Autora (2020).

Para o modelo M1 - B 40 C, observa – se uma quantidade bem menor de conectores em relação ao modelo M1 – A 40 C, ou seja, isso se deve porque no modelo M1 - B 40 C o *software* avalia a necessidade da armadura de punção apenas nos pilares P4, P5 e P6, diferente do modelo M1 – A 40 C que o *software* dimensiona a armadura de punção para todos os pilares da estrutura. Para o modelo M1 – C 40 C, também não é necessário armadura de punção em todos os pilares, no P1, P3, P7 e P9 não há a presença desse tipo de armadura.

4.2 LAJE NERVURADA

Após ser realizado o lançamento total da estrutura foi capaz de realizar o processamento para obter os resultados para a laje nervurada, a respeito deste tipo de laje, elas possuem uma altura mínima de capa de 5 cm. Assim como foi feito para a laje lisa, na nervurada houve apenas a verificação das armaduras de flexão e cisalhamento e para armadura de punção o dimensionamento e análise dos resultados obtidos.

4.2.1 Modelos: M2 – A25C e M2 – A25E com h = 32 cm

Neste primeiro modelo de laje, observou – se o erro no processamento da estrutura, devido a altura de 32 cm juntamente com a combinação do Fck de 25 MPa. E através do APÊNDICE O pode – se observar a planta baixa da laje nervurada.

4.2.2 Modelos: M2 – A40C e M2 – A40E com h = 32 cm

Neste modelo da laje nervurada, realizou – se a mudança do Fck para 40 MPa permanecendo a espessura de 32 cm, juntamente, com os capitéis como apoio nos pilares com uma altura também de 32 cm. Contudo, observa – se que novamente não foi possível processar a estrutura no *software* com essas características acima citada.

4.2.3 Modelos: M2 – A25C e M2 – A25E com h = 40 cm

A partir do erro no processamento da estrutura com uma laje de espessura de 32 cm, então, alterou – se para 40 cm e retornou – se o Fck para 25 MPa para ser refeito o processamento e assim se deu os resultados conforme a Tabela 56. E no APÊNDICE P e no APÊNDICE Q consta a planta baixa coma disposição das armaduras.

Tabela 56 – Quantitativo para M2 - A25C e M2 – A25E com h = 40 cm

(continua)

Modelo	Pilar	Armadura de Punção	Bitola		
			6.3	8	10
M2- A 25 C	P1	Conectores	12		
M2 – A 25 E		Estribos	15		
M2 - A 25 C	P2	Conectores	24		
M2 - A 25 E		Estribos	30		
M2 - A 25 C	P3	Conectores	12		
M2 - A 25 E		Estribos	15		
M2 - A 25 C	P4	Conectores	24		
M2 - A 25 E		Estribos	30		

(conclusão)					
Modelo	Pilar	Armadura de Punção	Bitola		
			6.3	8	10
M2 - A 25 C	P5	Conectores	84		
M2 - A 25 E		Estribos	96		
M2 - A 25 C	P6	Conectores	30		
M2 - A 25 E		Estribos	36		
M2 - A 25 C	P7	Conectores	12		
M2 - A 25 E		Estribos	15		
M2 - A 25 C	P8	Conectores	30		
M2 - A 25 E		Estribos	36		
M2 - A 25 C	P9	Conectores	12		
M2 - A 25 E		Estribos	15		
Quantidade Total - Conectores			240	0	0
Quantidade Total - Estribos			288	0	0

Fonte: Autora (2020).

4.2.4 Modelos: M2 – A40C e M2 – A40E com h = 40 cm

A partir do processamento com a alteração da espessura da laje para 40 cm, foi realizado a mudança do Fck para 40 MPa e assim reprocessado a estrutura para observar os resultados, na Tabela 57 consta os novos valores obtidos. E através do APÊNDICE R e APÊNDICE S pode – se observar a planta baixa com as respectivas armaduras de punção.

Tabela 57 – Quantitativo para M2 – A40C e M2 – A40E com h = 40 cm

(continua)

Modelo	Pilar	Armadura de Punção	Bitola		
			6.3	8	10
M2- A 40 C	P1	Conectores	12		
M2 - A 40 E		Estribos	15		
M2 - A 40 C	P2	Conectores	24		
M2 - A 40 E		Estribos	30		

(conclusão)					
Modelo	Pilar	Armadura de Punção	Bitola		
			6.3	8	10
M2 - A 40 C	P3	Conectores	12		
M2 - A 40 E		Estribos	15		
M2 - A 40 C	P4	Conectores	24		
M2 - A 40 E		Estribos	30		
M2 - A 40 C	P5	Conectores	84		
M2 - A 40 E		Estribos	96		
M2 - A 40 C	P6	Conectores	30		
M2 - A 40 E		Estribos	36		
M2 - A 40 C	P7	Conectores	12		
M2 - A 40 E		Estribos	15		
M2 - A 40 C	P8	Conectores	30		
M2 - A 40 E		Estribos	36		
M2 - A 40 C	P9	Conectores	12		
M2 - A 40 E		Estribos	15		
Quantidade Total - Conectores			240	0	0
Quantidade Total - Estribos			288	0	0

Fonte: Autora (2020).

4.2.5 Modelos: M2 – B25C com h = 32 cm

Neste modelo foi utilizada a versão V8 Gold do software Eberick, porém quando realizado o processamento da estrutura foi observado que esta versão do *software* não dimensiona e nem calcula a quantidade de armadura para punção. Então, o que fica impossibilitado de se obter os resultados nesses modelos.

Então, todos os modelos que são a respeito do M2 – B25C e M2 – B40C, não fazendo diferença se a altura da laje for de 32 cm ou 40 cm não se obteve sucesso no quantitativo para armadura de punção no APÊNDICE T, é possível visualizar a planta baixa apenas com as verificações nos pilares e seus respectivos capitéis.

4.2.6 Modelos: M2 – B40C com h = 32 cm

Como consta no item 4.2.5, este modelo também não obteve o quantitativo para armadura de punção.

4.2.7 Modelos: M2 – B25C com h = 40 cm

Como consta no item 4.2.5, este modelo também não obteve o quantitativo para armadura de punção.

4.2.8 Modelos: M2 – B40C h = 40 cm

Como consta no item 4.2.5, este modelo também não obteve o quantitativo para armadura de punção.

4.2.9 Modelos: M2 – C25C e M2 – C25E com h = 32 cm

E para o dimensionamento foram executados conforme o item 4.1.9, devido em volta do pilar ser uma região maciça com a presença do capitel. E assim, se obteve os resultados conforme a Tabela 58

Tabela 58 – Quantitativo para M2 – C25C e M2 – C25E com h = 32 cm

(continua)

Modelo	Pilar	Armadura de Punção	Bitola		
			6.3	8	10
M2 - C 25 C	P1	Conectores	Não é necessário Armadura de Punção		
M2 - C 25 E		Estribos			
2 - C 25 C	P2	Conectores	Não é necessário Armadura de Punção		
M2 - C 25 E		Estribos			
M2 - C 25 C	P3	Conectores	Não é necessário Armadura de Punção		
M2 - C 25 E		Estribos			
M2 - C 25 C	P4	Conectores	240	149	96
M2 - C 25 E		Estribos	407	252	162

(conclusão)					
Modelo	Pilar	Armadura de Punção	Bitola		
			6.3	8	10
M2 - C 25 C	P5	Conectores	159	99	63
M2 - C 25 E		Estribos	269	167	107
M2 - C 25 C	P6	Conectores	273	170	109
M2 - C 25 E		Estribos	463	287	184
M2 - C 25 C	P7	Conectores	Não é necessário		
M2 - C 25 E		Estribos	Armadura de Punção		
M2 - C 25 C	P8	Conectores	Não é necessário		
M2 - C 25 E		Estribos	Armadura de Punção		
M2 - C 25 C	P9	Conectores	Não é necessário		
M2 - C 25 E		Estribos	Armadura de Punção		
Quantidade Total - Conectores			672	418	268
Quantidade Total - Estribos			1139	706	453

Fonte: Autora (2020).

E para o dimensionamento completo é possível visualizar - lo no APÊNDICE U.

4.2.10 Modelos: M2 – C40C e M2 – C40E com h = 32 cm

No dimensionamento foram executados conforme o item 4.1.9, devido em volta do pilar ser uma região maciça com a presença do capitel. E assim, se obteve os resultados conforme a Tabela 59.

Tabela 59 – Quantitativo para M2 – C40C e M2 – C40E com h = 32 cm

(conclusão)					
Modelo	Pilar	Armadura de Punção	Bitola		
			6.3	8	10
2 – C 25 C	P1	Conectores	Não é necessário		
M2 – C 25 E		Estribos	Armadura de Punção		

(conclusão)					
Modelo	Pilar	Armadura de Punção	Bitola		
			6.3	8	10
M2 – C 25 C	P2	Conectores	Não é necessário Armadura		
M2 – C 25 E		Estribos	de Punção		
M2 – C 25 C	P3	Conectores	Não é necessário Armadura		
M2 – C 25 E		Estribos	de Punção		
M2 – C 25 C	P4	Conectores	192	119	76
M2 – C 25 E		Estribos	325	202	129
M2 – C 25 C	P5	Conectores	Não é necessário Armadura		
M2 – C 25 E		Estribos	de Punção		
M2 - C 25 C	P6	Conectores	271	168	108
M2 - C 25 E		Estribos	460	285	183
M2 - C 25 C	P7	Conectores	Não é necessário Armadura		
M2 - C 25 E		Estribos	de Punção		
M2 - C 25 C	P8	Conectores	Não é necessário Armadura		
M2 - C 25 E		Estribos	de Punção		
M2 - C 25 C	P9	Conectores	Não é necessário Armadura		
M2 - C 25 E		Estribos	de Punção		
Quantidade Total - Conectores			463	287	184
Quantidade Total - Estribos			785	487	312

Fonte: Autora (2020).

E para o dimensionamento completo é possível visualizar- ló no APÊNDICE V.

4.2.11 Modelos: M2 – C25C e M2 – C25E com h = 40 cm

Conforme dito anteriormente sobre a forma do dimensionamento. Na Tabela 60, consta sobre os resultados deste modelo.

Tabela 60 – Quantitativo para M2 – C25C e M2 – C25E com h = 40 cm

Modelo	Pilar	Armadura de Punção	Bitola		
			6.3	8	10
M2 - C 25 C	P1	Conectores	Não é necessário Armadura de Punção		
M2 - C 25 E		Estribos			
M2 - C 25 C	P2	Conectores	147	91	59
M2 - C 25 E		Estribos	248	154	99
M2 - C 25 C	P3	Conectores	Não é necessário Armadura de Punção		
M2 - C 25 E		Estribos			
M2 - C 25 C	P4	Conectores	148	92	58
M2 - C 25 E		Estribos	251	156	100
M2 - C 25 C	P5	Conectores	8	5	4
M2 - C 25 E		Estribos	14	9	6
M2 - C 25 C	P6	Conectores	Não é necessário Armadura de Punção		
M2 - C 25 E		Estribos			
M2 - C 25 C	P7	Conectores	Não é necessário Armadura de Punção		
M2 - C 25 E		Estribos			
M2 - C 25 C	P8	Conectores	Não é necessário Armadura de Punção		
M2 - C 25 E		Estribos			
M2 - C 25 C	P9	Conectores	Não é necessário Armadura de Punção		
M2 - C 25 E		Estribos			
Quantidade Total - Conectores			303	188	121
Quantidade Total - Estribos			513	319	205

Fonte: Autora (2020).

E para o dimensionamento completo é possível visualizar- ló no APÊNDICE W.

4.2.12 Modelos: M2 – C40C e M2 – C40E com h = 40 cm

Conforme dito anteriormente sobre a forma do dimensionamento. Na Tabela 61 consta sobre os resultados deste modelo.

Tabela 61 – Quantitativo para M2 – C25C e M2 – C25E com h = 40 cm

Modelo	Pilar	Armadura de Punção	Bitola		
			6.3	8	10
M2 - C 25 C	P1	Conectores	Não é necessário Armadura de Punção		
M2 - C 25 E		Estribos			
M2 - C 25 C	P2	Conectores	Não é necessário Armadura de Punção		
M2 - C 25 E		Estribos			
M2 - C 25 C	P3	Conectores	Não é necessário Armadura de Punção		
M2 - C 25 E		Estribos			
M2 - C 25 C	P4	Conectores	Não é necessário Armadura de Punção		
M2 - C 25 E		Estribos			
M2 - C 25 C	P5	Conectores	Não é necessário Armadura de Punção		
M2 - C 25 E		Estribos			
M2 - C 25 C	P6	Conectores	Não é necessário Armadura de Punção		
M2 - C 25 E		Estribos			
M2 - C 25 C	P7	Conectores	Não é necessário Armadura de Punção		
M2 - C 25 E		Estribos			
M2 - C 25 C	P8	Conectores	Não é necessário Armadura de Punção		
M2 - C 25 E		Estribos			
M2 - C 25 C	P9	Conectores	Não é necessário Armadura de Punção		
M2 - C 25 E		Estribos			
Quantidade Total - Conectores			-	-	-
Quantidade Total - Estribos			-	-	-

Fonte: Autora (2020).

E para o dimensionamento completo é possível APÊNDICE U - visualizar- ló no APÊNDICE X.

4.2.13 Comparativo dos Resultados da Armadura de Punção

4.2.14 Laje Nervurada de 25 MPa com h = 32 cm

O processamento da estrutura realizada no *software* TQS para a laje nervurada com 32 cm de altura não se obteve sucesso, devido ser impossível o dimensionamento com esta altura. E para o *software* Eberick, a versão utilizada não calcula e dimensiona a armadura de punção, conforme a Tabela 62

Tabela 62 - Dimensionamento Laje Nervurada com H = 32 cm: 25 MPa

Software	Modelo	Armadura de Punção	Bitola (Ø)	Quantidade	Taxa de Armadura (kgf/m ³)
Eberick	M2 - B 25 C	Conectores	-	-	-
ANÁLITICO	M2 - C 25 C	Conectores	10	268	0,4430
	M2 - C 25 E	Estribos	10	453	1,1130
TQS	M2 - A 25 C	Conectores	-	-	-
	M2 - A 25 E	Estribos	-	-	-

Fonte: Autora (2020).

4.2.15 Laje Nervurada de 25 MPa com h = 40 cm

Tendo um Fck de 25 MPa e aumentando a espessura da laje nervurada, houve o dimensionamento através do *software* TQS, juntamente com o dimensionamento do processo analítico. Através da Tabela 63, é possível visualizar o comparativo da armadura de punção.

Tabela 63 - Dimensionamento Laje Nervurada com H = 40 cm: 25 MPa

(continua)

Software	Modelo	Armadura de Punção	Bitola (Ø)	Quantidade	Taxa de Armadura (kgf/m ³)
Eberick	M2 - B 25 C	Conectores	-	-	-
ANALÍTICO	M2 - C 25 C	Conectores	10	121	0,1560

(conclusão)					
ANALÍTICO	M2 - C 25 E	Estribos	10	205	0,2986
TQS	M2 - A 25 C	Conectores	6.3	240	0,3190
	M2 - A 25 E	Estribos	6.3	288	0,4532

Fonte: Autora (2020).

4.2.16 Laje Nervurada de 40 MPa com h = 32 cm

Embora tenha sido efetuado o aumento em relação à resistência do concreto, não foi possível ter sucesso no processamento da estrutura no *software* TQS com a altura da laje de 32 cm. Assim, na Tabela 64 constam os resultados para o modelo.

Tabela 64 - Dimensionamento Laje Nervurada com H = 32 cm: 40 MPa

Software	Modelo	Armadura de Punção	Bitola (Ø)	Quantidade	Taxa de Armadura (kgf/m³)
Eberick	M2 - B 40 C	Conectores	-	-	-
ANALÍTICO	M2 - C 40 C	Conectores	10	184	0,3067
	M2 - C 40 E	Estribos	10	312	0,6082
TQS	M2 - A 40 C	Conectores	-	-	-
	M2 - A 40 E	Estribos	-	-	-

Fonte: Autora (2020).

4.2.17 Laje Nervurada de 40 MPa com h = 40 cm

Para o processo analítico visualiza – se que não é necessária à armadura de punção, diferente do *software* TQS, conforme a Tabela 65.

Tabela 65 - Dimensionamento Laje Nervurada com H = 40 cm: 40 MPa

Software	Modelo	Armadura de Punção	Bitola (Ø)	Quantidade	Taxa de Armadura (kgf/m ³)
Eberick	M2 - B 40 C	Conectores	-	-	-
ANALÍTICO	M2 - C 40 C	Conectores	0	0	0
	M2 - C 40 E	Estribos	0	0	0
TQS	M2 - A 40 C	Conectores	6.3	240	0,3190
	M2 - A 40 E	Estribos	6.3	288	0,4532

Fonte: Autora (2020).

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A civilização moderna está sempre em busca de melhores alternativas para diminuir o tempo de construção, melhores situações econômicas, menor geração de resíduos da construção. Progressivamente estes fatores citados irão se tornando imprescindível para melhorar o canteiro de obra.

Atualmente, as lajes lisas e lajes nervuradas são ótimas opções para quem procura os fatores citados acima e também para quem está em busca de melhores condições de layout favorecendo mudanças no dia a dia, mas com isso deve haver a busca por projetos completos que contemplem todas as situações de segurança em relação ao projeto estrutural da construção. As lajes lisas e nervuradas por não existir a presença de vigas e serem apoiadas diretamente sob os pilares, nessa região de ligação é aonde encontra – se uma maior fragilidade, podendo haver um colapso progressivo, chamado efeito de punção. Nesses propósitos, os resultados deste trabalho colaboram com uma análise comparativa das armaduras de punção, tendo sido feito o dimensionamento em softwares comerciais e analiticamente.

Conforme o que já foi fundamentado, o principal motivo que direcionou este trabalho foi comparar e avaliar quantitativamente as armaduras de punção para lajes lisas e nervuradas a partir do dimensionamento realizado para um estudo de caso fictício. Para isso, foi criada uma estrutura para atender a demanda proposta, após foi lançada a estrutura nos *softwares* Eberick e TQS e assim por fim processou – se estas estruturas para ser feita a análise.

Devido às situações que foram aparecendo ao longo do uso dos softwares, foram realizadas análises de diversos modelos para as lajes lisas e lajes nervuradas.

Com o uso dos *softwares* e no processo analítico, chegaram-se aos seguintes resultados, para a laje lisa no *software* Eberick tendo a altura de 32 cm com fck de 25 MPa para o fck de 40 MPa, reduziu-se em 56,25% o quantitativo total, já na altura de 40 com estes dois fck houve uma redução ainda maior de 64,28%. Para o *software* TQS não houve um poder de comparação devido ao *software* não realizar o dimensionamento na altura de 32 cm. Já no processo analítico houve um aumento de 0,43% com uma altura de 32 cm e para altura de 40 cm com fck 25 MPa para o fck de 40 MPa, houve uma redução de 8,75% para os conectores e 8,73% para os estribos

E os resultados na Laje nervurada chegaram-se aos seguintes resultados, para a laje lisa no *software* TQS não houve um poder de comparação devido ao *software* não realizar o dimensionamento na altura de 32 cm, também no *software* Eberick tanto para altura de 32 cm, quanto, para altura de 40 cm nos dois fck analisados não foi possível à avaliação do dimensionamento através da versão utilizada. Já no processo analítico houve uma redução de 68,65% para os conectores e 68,87% para os estribos. com uma altura de 32 cm e para altura de 40 cm com fck 25 MPa para o fck de 40 MPa, houve uma redução total tanto para os conectores quanto para os estribos

Portanto, observando o dimensionamento e consequentemente os resultados acima sobre o uso das armaduras de punção para Laje Lisa e Laje Nervurada, observa-se que em todos os modelos apresentados se tem uma diferença entre eles, sendo assim, mesmo com as características iguais os resultados são diferentes. E assim percebe-se ser imprescindível o uso dessas armaduras, e um cuidado maior da hora da escolha de qual tipo de armadura será executada, devido à maior dificuldade da execução no caso de estribos inclinados. Preconiza-se, em tempo, para o prosseguimento deste estudo, sob aos resultados quantitativos da armadura de punção para Laje Nervurada através do *software* Eberick.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGUIAR, Camila A. et al. **Análise experimental de punção em lajes lisas de concreto armado com furo adjacente ao pilar.** São Paulo, IBRACON, 2019.

ALBUQUERQUE, Elaine Jaricuna Pereira de. **Punção em Lajes Lisas com Armadura de Cisalhamento e Pilares de Centro Retangulares.** Tese (Doutorado em Engenharia) – Universidade de Brasília, Faculdade de Tecnologia, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Brasília – DF, 2010.

ALBUQUERQUE, Elaine Jaricuna Pereira de. **Punção em Lajes Lisas com Armadura de Cisalhamento e Pilares de Centro Reentrante.** Tese (Doutorado em Engenharia) – Universidade de Brasília, Faculdade de Tecnologia, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Brasília – DF, 2015.

ALMEIDA FILHO, Fernando Menezes. **Estruturas de Pisos de Edifício com a Utilização de Cordoalhas Engraxadas.** Departamento de Engenharia de Estruturas, Escola de Engenharia de São Carlos: USP. 2002. 284 p.

ALVES, Vinícius Sandovani da Silva. **Avaliação do efeito de punção em lajes lisas de concreto com fibras com a variação do índice de retangularidade.** 2017. 142 f. Dissertação (mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Uberlândia. Uberlândia, MG, 2017.

ARAÚJO, José Milton. **Curso de Concreto Armado.** Ed. Dunas. 2ªed. Vol. 4. Rio Grande, RS: 2003.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6118:** Projeto de Estruturas de Concreto- Procedimento. Rio de Janeiro, 2014.

AZEVEDO, A. P. **Resistência e Ductilidade das Ligações Laje-Pilar em Lajes-Cogumelo de Concreto de Alta Resistência Armado com Fibras de Aço e Armadura Transversal de Pinos.** 1999. 194 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade de São Paulo. São Paulo, SP, 1999.

BARONI, H. J. M.; VIERO, E. H. **Pré Dimensionamento de Elementos Estruturais de Concreto Armado**. In: Anais 49º Congresso Brasileiro de Concreto Armado - CBC 2007. São Paulo: IBRACON, 2007.

CARVALHO, M. A. de. **Análise comparativa estrutural e econômica entre as lajes maciças, nervurada treliçada e nervurada com cuba plástica em um edifício de 10 pavimentos**. 2012. 79 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Civil) – Universidade Estadual de Feira de Santana, Feira de Santana.

CARVALHO, Matheus L. et al. **Estudo da confiabilidade da punção em lajes lisas sem armadura de cisalhamento de acordo com a NBR6118**. Volume 10, São Paulo, IBRACON, 2017.

CARVALHO, Rodolfo A. et al. **Estudo da punção em lajes lisas com pilares interno**. São Paulo, IBRACON, 2019.

CEBALLOS, Manuel Alejandro. **Análise Experimental à Punção em Lajes Tipo Bubbledeck com Armadura de Cisalhamento**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade de Brasília, Faculdade de Tecnologia, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Brasília – DF, 2017.

CORDOVIL, Fábio A. B. **Lajes de Concreto Armado - Punção**. Florianópolis: Editora da UFSC, 1997.

DÍAZ, Rafael Andrés Sanabria. **Análise Numérica da Resistência à Punção de Lajes Lisas Protendidas com Cabos Não Aderentes**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo, Campinas, 2018.

DUTRA, Clairson. **Análise teórica e experimental de lajes cogumelo nervuradas em escala reduzida**. Santa Maria, 2005. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Santa Maria.

EBERICK – ALTOQI. **Detalhamento Laje à Punção: Critérios de Detalhamento.** 2011

FARIA, Jhonatan Willian Souza. **Dimensionamento à Punção de Lajes Lisas Apoiadas em Pilares de Seção Transversal Elíptica e Semi-Elíptica.** Dissertação (Mestrado ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil) - Universidade Federal de Ouro Preto, Departamento de Engenharia Civil, Ouro Preto, 2018.

FERREIRA, Maurício de Pina. **Punção em Lajes Lisas de Concreto Armado com Armaduras de Cisalhamento e Momentos Desbalanceados.** Tese (Doutorado em Engenharia) – Universidade de Brasília, Faculdade de Tecnologia, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Brasília – DF, 2010.

FERREIRA, Maurício Pina et al. **Influência do Índice de Retangularidade dos Pilares e das Condições de Contorno na Resistência à Punção de Ligações Laje-Pilar.** Volume 8, São Paulo, IBRACON, 2015.

KOVALCZUK, Eduardo F. et al. **Punção em Lajes Lisas: Influência da Altura Útil da Laje no Dimensionamento.** Trabalho de Conclusão de Curso (em Engenharia Civil) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba – PR, 2014.

KÜSTER, Leandro D. et al.; **Análise estrutural da punção em lajes lisas: estudo numérico referente à influência da geometria e forma de aplicação de carregamento em lajes lisas ensaiadas a punção nos deslocamentos dos modelos.** São Paulo, IBRACON, 2019.

LEDO, Mauricio Menéndez. **Análise Experimental à Punção de Lajes Lisas Tipo Bubbledeck com Pilar Interno.** Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade de Brasília, Faculdade de Tecnologia, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Brasília – DF, 2016.

MELGES, José Luíz Pinheiro. **Punção em Lajes: Exemplos de Cálculo e Análise Teórico-Experimental.** São Carlos, 1995.

MOREIRA, Jéssica P. **Armaduras de Cisalhamento para o Aumento da Resistência à Punção em Lajes Lisas**. São Paulo, IBRACON, 2015.

OLIVEIRA, Marcos Honorato. **Punção em Lajes Lisas com Armadura de Cisalhamento Submetidas a Carregamento Excêntrico e Apoiadas sobre Pilares Retangulares**. Tese (Doutorado em Engenharia) – Universidade de Brasília, Faculdade de Tecnologia, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Brasília – DF, 2015.

OLIVEIRA, Túlio Pessoa Souto Maior de. **Utilização de Capitéis para Aumento de Resistência à Punção em Lajes de Concreto Armado**. Dissertação (Pós Graduação em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Pernambuco, Centro de Tecnologia e Geociências, Pernambuco, 2015.

PAIVA, Odilson da Silvade. **Análise do Efeito de Retangularidade dos Pilares nos Critérios Normativos de Dimensionamento à Punção em Lajes Lisas de Concreto Armado**. Dissertação (Pós Graduação em Engenharia Civil) – Universidade Federal do Pará, Centro Tecnológico, Departamento de Engenharia Civil, Belém, 2013.

RABELLO, Fernando Toppan. **Análise Comparativa de Normas para a Punção em Lajes de Concreto Armado**. Dissertação (Pós Graduação em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2010.

SACRAMENTO, Paulo Víctor Prazeres et al. **Punção em lajes lisas de concreto armado sem armadura de cisalhamento**. São Paulo, IBRACON, 2012.

SANTOS, J. S. (2017). **Desconstruindo o Projeto Estrutural de Edifício**. In: **Desconstruindo o Projeto Estrutural de Edifício**. Editora: Editora Oficina de Textos; Edição: 1, São Paulo –SP, 2017.

SANTOS, Eduardo Veloso. **Punção em Lajes Lisas - Método de Cálculo, Prescrições Normativas**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) –

Universidade de Brasília, Faculdade de Tecnologia, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Brasília – DF, 2018.

SILVA, Gustavo Ribeiro da. **Análise da Confiabilidade da Ligação Laje-Pilar Interno Sob Punção de Acordo com a NBR-6118:2014.** Dissertação (Pós Graduação em Engenharia Civil) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2017.

SILVA, Gustavo R. da et al.; **Confiabilidade da ligação laje-pilar interno sob punção de acordo com a NBR 6118:2014.** Volume 11, São Paulo, IBRACON, 2018.

TRAUTWEIN, Leandro Mouta. **Punção em Lajes Cogumelo de Concreto Armado: Análise Experimental e Numérica.** Tese (Doutorado em Engenharia) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2006.

TQS INFORMÁTICA LTDA. **Dominando os sistemas CAD/TQS®: Manual III – Análise Estrutural.** São Paulo: TQS, 2013.

VAZ, Ana P. R. et al. **Estudo sobre Armadura Mínima de Cisalhamento de Lajes-Cogumelo de Concreto Armado.** Volume 2, São Paulo, IBRACON, 2009.

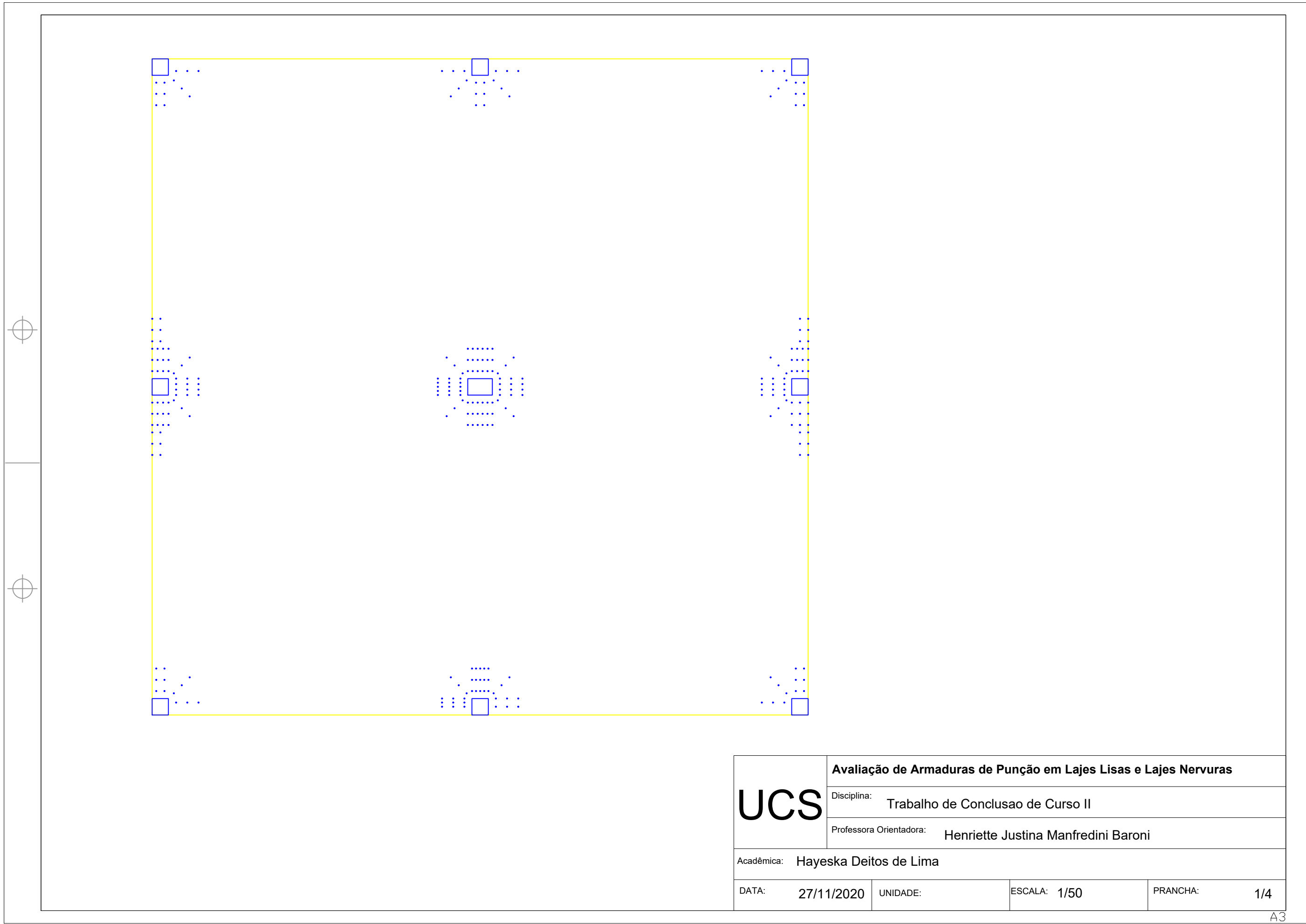
VIEIRA, Pedro H. S. M. V. et al **Punção em Lajes Lisas de Concreto Armado com Aberturas Adjacentes Conforme Normas Vigentes.** São Paulo, IBRACON, 2019.

WOOD, J.G.M. **Pipers Row Car Park, Wolverhampton: Quantitative Study of the Causes of the Partial Collapse on 20th March 1997.** Report presented to Structural Studies & Design Ltd. Inglaterra, 1997. 209p.

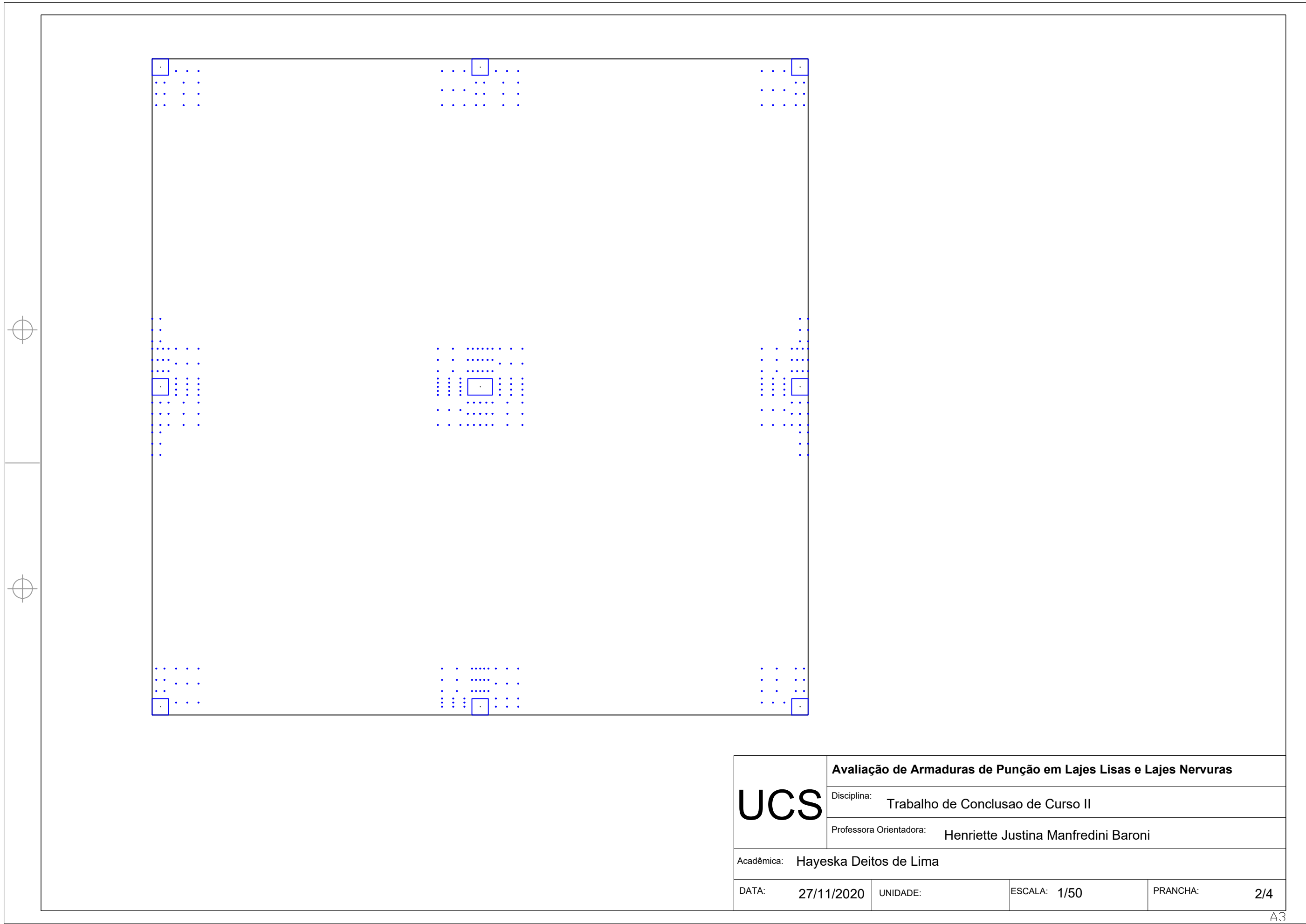
**APÊNDICE A - PLANTA BAIXA DA LAJE LISA: SOFTWARE EBERICK COM
ALTURA DE 32 CM**

**APÊNDICE B - PLANTA BAIXA DA LAJE LISA: SOFTWARE EBERICK COM
ALTURA DE 40 CM**

**APÊNDICE C - ARMADURA DE PUNÇÃO EM PLANTA BAIXA DO MODELO: M1
– A25C COM ALTURA DE 40 CM**

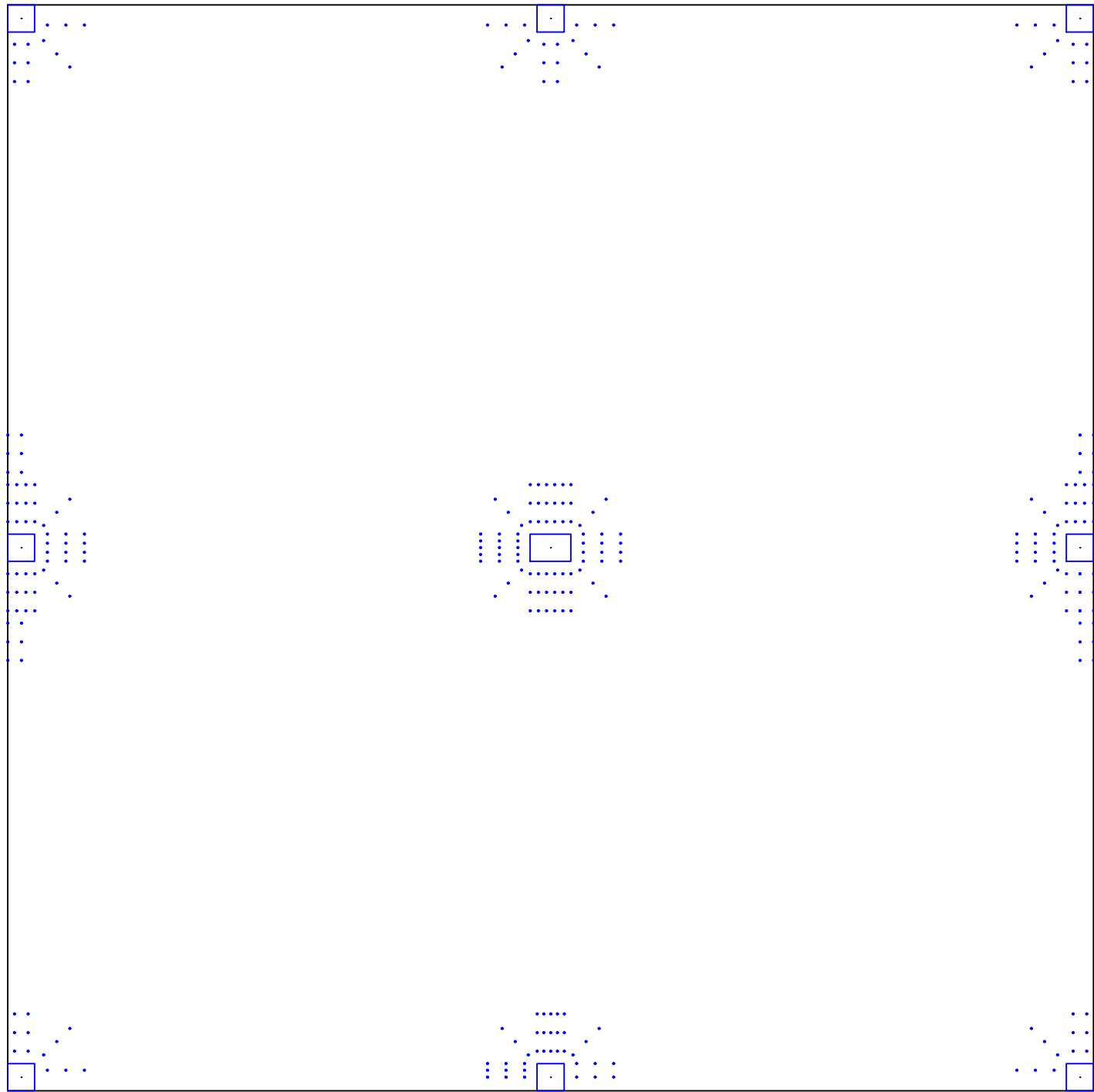


**APÊNDICE D - ARMADURA DE PUNÇÃO EM PLANTA BAIXA DO MODELO: M1
– A25E COM ALTURA DE 40 CM**



UCS	Avaliação de Armaduras de Punção em Lajes Lisas e Lajes Nervuras			
	Disciplina: Trabalho de Conclusao de Curso II			
	Professora Orientadora: Henriette Justina Manfredini Baroni			
Acadêmica: Hayeska Deitos de Lima				
DATA:	27/11/2020	UNIDADE:	ESCALA: 1/50	PRANCHA: 2/4

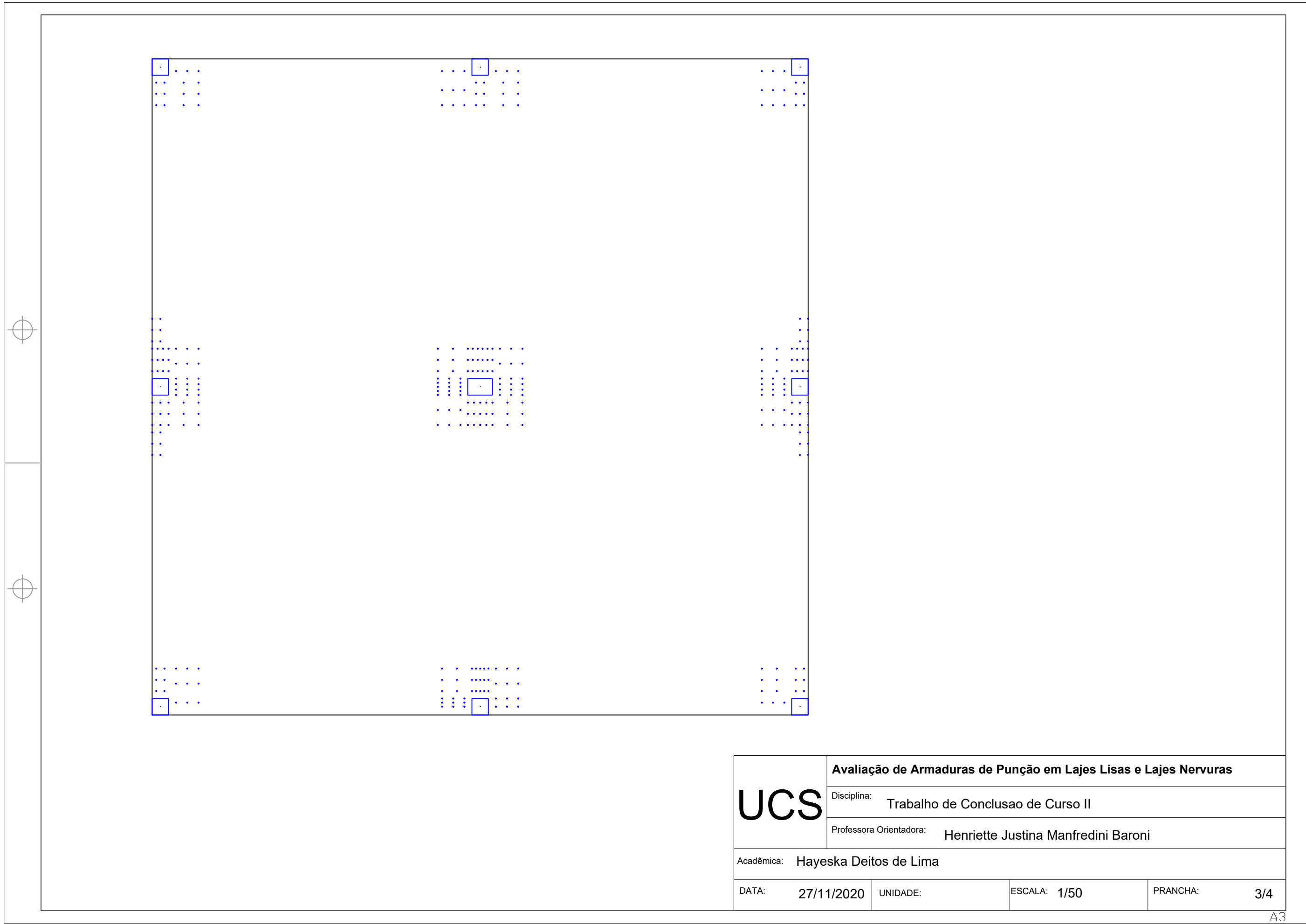
**APÊNDICE E - ARMADURA DE PUNÇÃO EM PLANTA BAIXA DO MODELO: M1
– A40C COM ALTURA DE 40 CM**



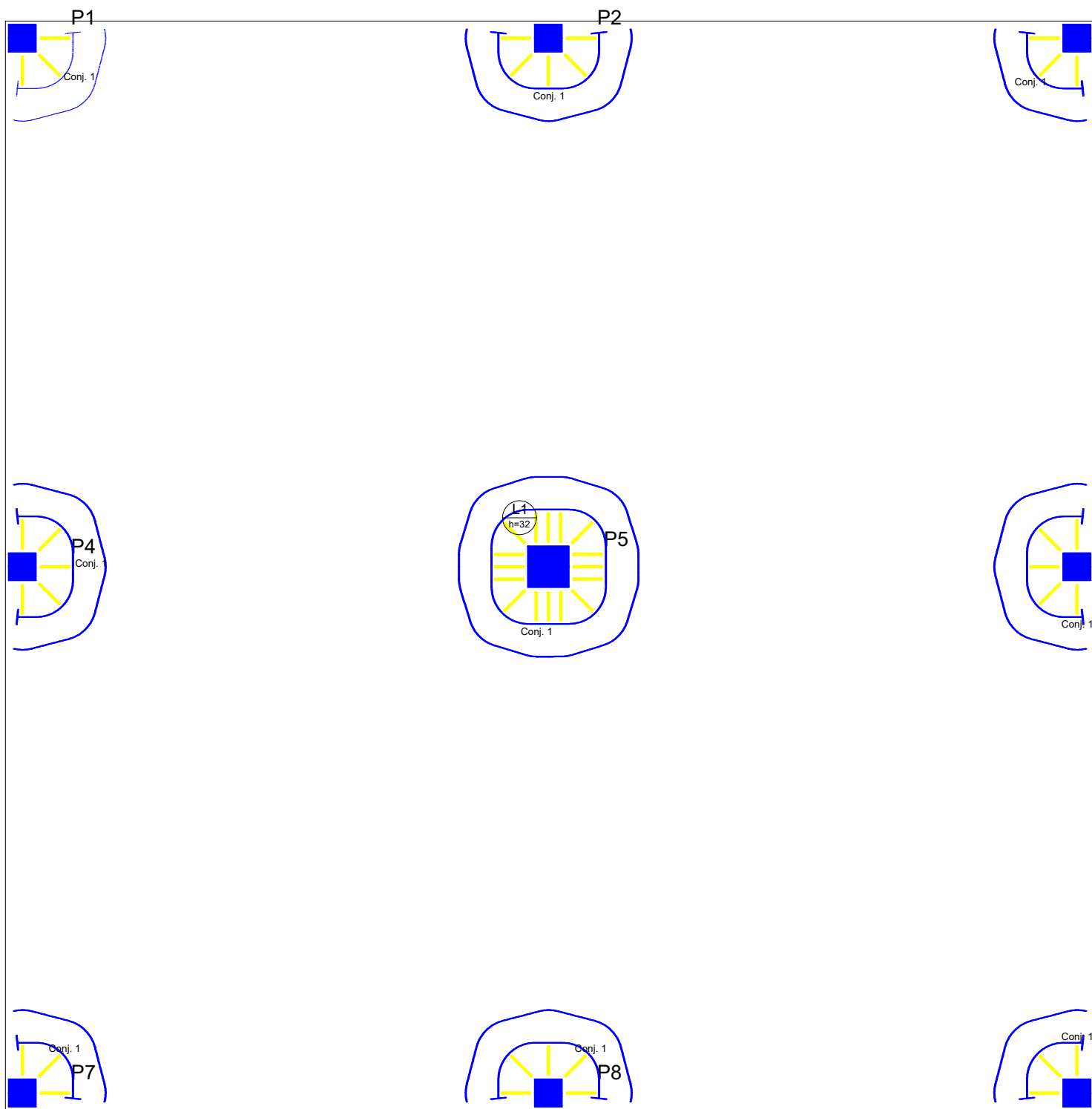
UCS

Avaliação de Armaduras de Punção em Lajes Lisas e Lajes Nervuras			
Disciplina: Trabalho de Conclusao de Curso II			
Professora Orientadora: Henriette Justina Manfredini Baroni			
Acadêmica: Hayeska Deitos de Lima			
DATA:	27/11/2020	UNIDADE:	ESCALA: 1/50
PRANCHA:			4/4

**APÊNDICE F - ARMADURA DE PUNÇÃO EM PLANTA BAIXA DO MODELO: M1
– A40E COM ALTURA DE 40 CM**



**APÊNDICE G - ARMADURA DE PUNÇÃO EM PLANTA BAIXA DO MODELO: M1
– B25C COM ALTURA DE 32 CM**



ARMADURA DE PUNÇÃO									
Conjunto	Quant.	Dim. chapa (cm)	Característica dos conectores						
			Aço	Diam. (mm)	Comp. (cm)	Espaço. Pilar (cm)	Espaço. Conectores (cm)	Quant. por chapa	Quant. total
1	48	42.5x2.5	CA50	6.3	28.6	8	20	3	144

Esforços de Punção							
Pilar	Fsd (kN)	Msdh (kN.m)	Taxa As_x Taxa As_y Taxa As (%)	Tsd C Tsd C' Tsd C" (MPa)	Trd2 C Trd1 C' Trd3 C" (MPa)	Asw punção (cm²)	Situação do pilar
P1	182.4	0.0 0.8	0.205 0.205 0.205	0.4 0.5 0.3	4.3 0.4 0.4	0.9	Ok
P2	468.9	7.0 55.7	0.340 0.668 0.476	1.7 0.7 0.4	4.3 0.6 0.5	1.6	Ok
P3	184.2	0.1 0.8	0.205 0.205 0.205	0.4 0.5 0.3	4.3 0.4 0.4	0.9	Ok
P4	460.8	53.5 6.3	0.657 0.340 0.472	1.6 0.7 0.4	4.3 0.6 0.5	1.6	Ok
P5	1326.8	65.3 66.5	1.121 1.195 1.157	2.6 0.9 0.6	4.3 0.7 0.7	5.0	Ok
P6	468.7	55.1 6.5	0.708 0.340 0.490	1.7 0.7 0.4	4.3 0.6 0.5	1.6	Ok
P7	181.4	0.4 0.5	0.205 0.205 0.205	0.4 0.5 0.3	4.3 0.4 0.4	0.9	Ok
P8	461.0	6.8 53.6	0.340 0.541 0.429	1.6 0.7 0.4	4.3 0.5 0.5	1.6	Ok
P9	182.5	0.5 0.5	0.205 0.205 0.205	0.4 0.5 0.3	4.3 0.4 0.4	0.9	Ok

Verificação de punção das lajes do pavimento
Segundo Pavimento (Nível 400)
escala 1:50

UCS

Avaliação de Armaduras de Punção em Lajes Lisas e Lajes Nervuras

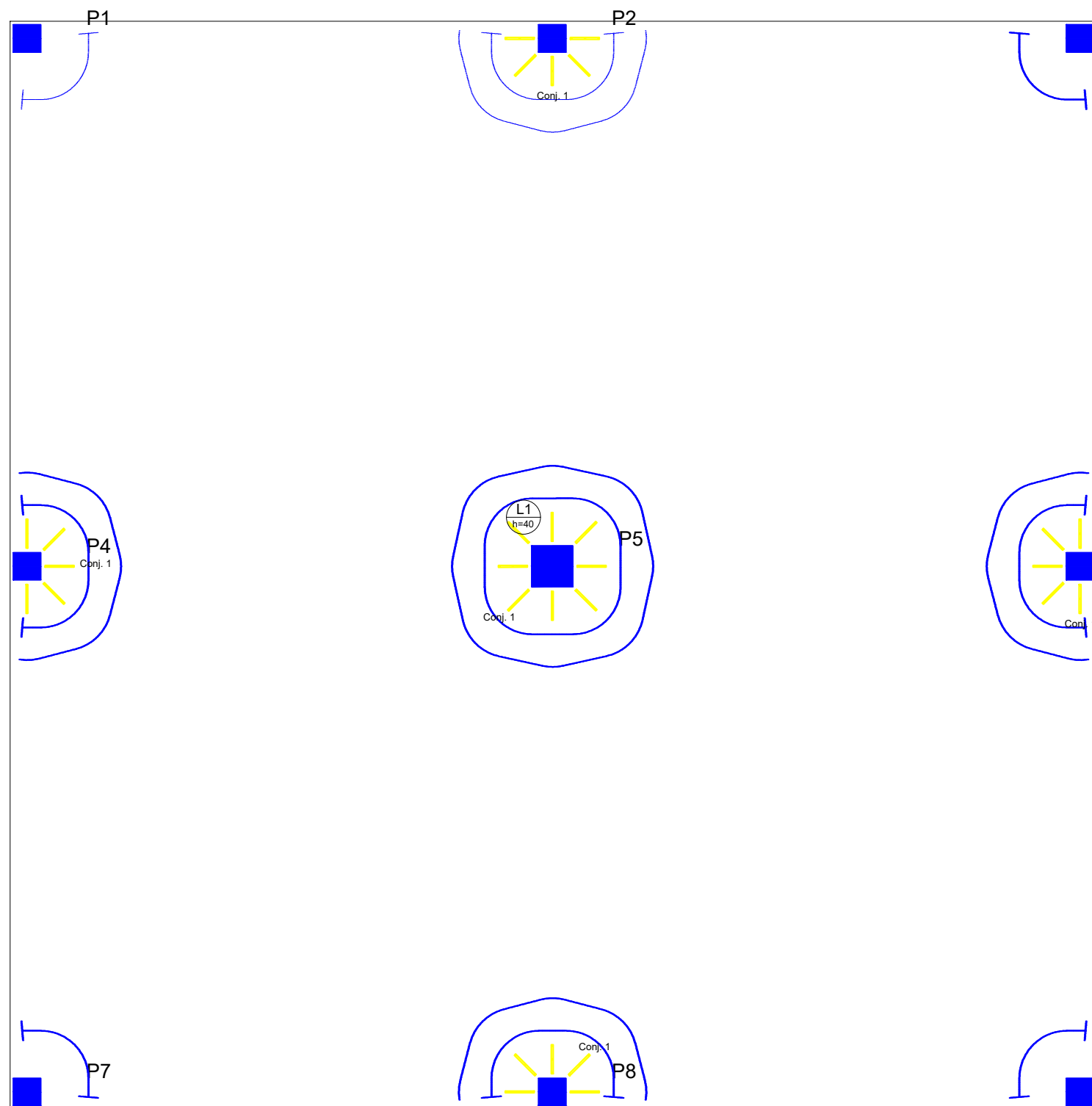
Disciplina: Trabalho de Conclusão de Curso II

Professora Orientadora: Henriette Justina Manfredini Baroni

Acadêmica: Hayeska Deitos de Lima

DATA: 27/11/2020 UNIDADE: ESCALA: 1/50 PRANCHA: 1/4

**APÊNDICE H - ARMADURA DE PUNÇÃO EM PLANTA BAIXA DO MODELO: M1
– B25C COM ALTURA DE 40 CM**



Verificação de punção das lajes do pavimento Segundo Pavimento (Nível 400)

escala 1:50

P3

ARMADURA DE PUNÇÃO								
Conjunto	Quant.	Dim. chapa (cm)	Característica dos conectores					
			Aço	Diam. (mm)	Comp. (cm)	Espaç. Pilar (cm)	Espaç. Conectores (cm)	Quant. por chapa
1	28	42.5x2.5	CA50	6.3	36.6	8	20	3
								84

Esforços de Punção							
Pilar	Fsd (kN)	Msdh (kN.m)	Taxa As_x Taxa As_y (%)	Tsd C' Tsd C" (MPa)	Trd2 C' Trd1 C' Trd3 C" (MPa)	Asw punção (cm²)	Situação do pilar
P1	204.2	2.3 1.7	0.210 0.211 0.210	0.4 0.4 ---	4.3 0.4 ---	0.0	Ok
P2	546.8	7.2 36.7	0.351 0.421 0.384	1.3 0.5 0.3	4.3 0.5 0.4	1.6	Ok
P3	206.2	2.2 1.7	0.211 0.210 0.210	0.4 0.4 ---	4.3 0.4 ---	0.0	Ok
P4	538.4	35.4 6.5	0.421 0.351 0.384	1.3 0.5 0.3	4.3 0.5 0.4	1.6	Ok
P5	1594.3	80.8 82.1	0.764 0.764 0.764	2.4 0.7 0.5	4.3 0.6 0.5	2.5	Ok
P6	546.5	36.3 6.6	0.420 0.351 0.384	1.3 0.5 0.3	4.3 0.5 0.4	1.6	Ok
P7	203.0	2.0 1.9	0.210 0.210 0.210	0.4 0.4 ---	4.3 0.4 ---	0.0	Ok
P8	538.7	7.0 35.5	0.351 0.376 0.363	1.3 0.5 0.3	4.3 0.5 0.4	1.6	Ok
P9	204.3	1.9 1.9	0.210 0.210 0.210	0.4 0.4 ---	4.3 0.4 ---	0.0	Ok

P6

P9

UCS

Avaliação de Armaduras de Punção em Lajes Lisas e Lajes Nervuras

Disciplina: Trabalho de Conclusao de Curso II

Professora Orientadora: Henriette Justina Manfredini Baroni

Acadêmica: Hayeska Deitos de Lima

DATA: 27/11/2020

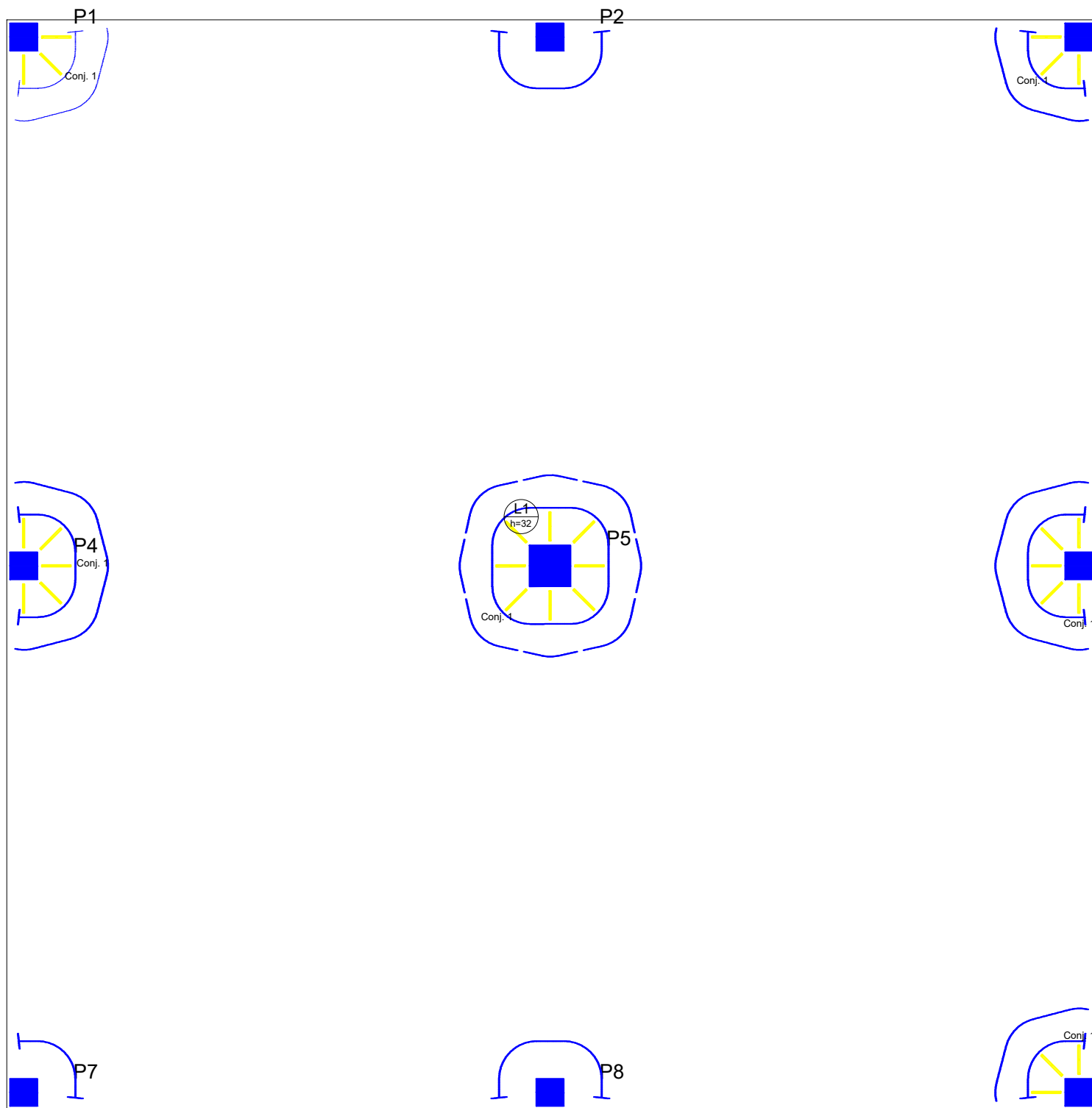
UNIDADE:

ESCALA: 1/50

PRANCHA:

2/4

**APÊNDICE I - ARMADURA DE PUNÇÃO EM PLANTA BAIXA DO MODELO: M1 –
B40C COM ALTURA DE 32 CM**



Verificação de punção das lajes do pavimento
Segundo Pavimento (Nível 400)

escala 1:50

P3

ARMADURA DE PUNÇÃO									
Conjunto	Quant.	Dim. chapa (cm)	Característica dos conectores						
			Aço	Diam. (mm)	Comp. (cm)	Espaç. Pilar (cm)	Espaç. Conectores (cm)	Quant. por chapa	Quant. total
1	27	42.5x2.5	CA25	6.3	28.6	8	20	3	81

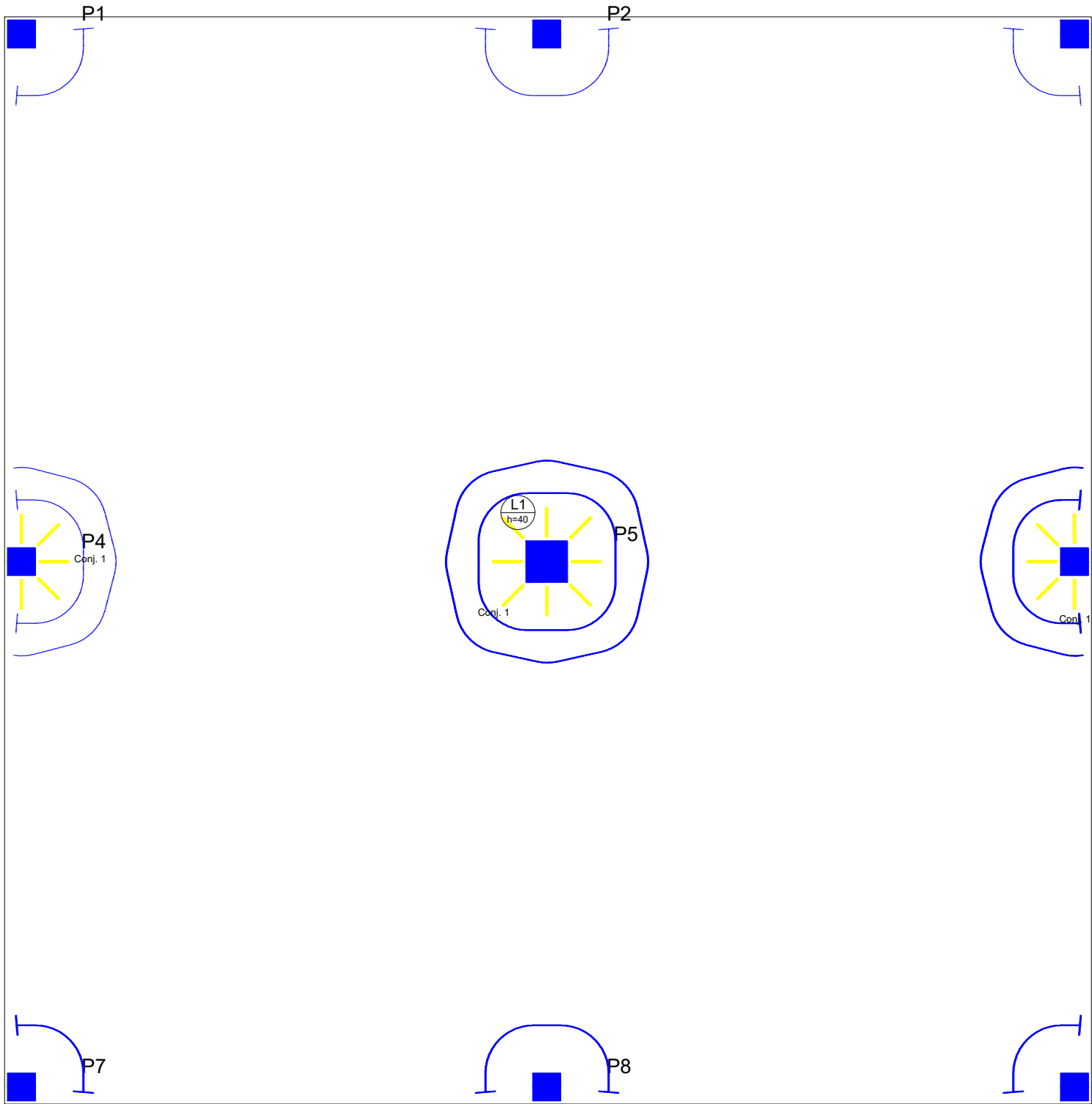
P6

Esforços de Punção							
Pilar	Fsd (kN)	Msdh (kN.m)	Taxa As_x Taxa As_y Taxa As (%)	Tsd C Tsd C' Tsd C" (MPa)	Trd2 C Trd1 C' Trd3 C" (MPa)	Asw punção (cm²)	Situação do pilar
P1	182.4	0.0 0.8	0.275 0.113 0.176	0.4 0.5 0.3	6.5 0.5 0.4	0.9	Ok
P2	469.0	7.1 55.9	0.446 0.645 0.536	1.6 0.6 ---	6.5 0.7 ---	0.0	Ok
P3	184.2	0.1 0.8	0.113 0.275 0.176	0.4 0.5 0.3	6.5 0.5 0.4	0.9	Ok
P4	460.9	53.7 6.3	0.603 0.203 0.349	1.6 0.6 0.4	6.5 0.6 0.5	1.6	Ok
P5	1326.6	64.8 66.0	1.057 1.082 1.069	2.5 0.9 0.6	6.5 0.8 0.7	2.5	Ok
P6	468.8	55.3 6.5	0.612 0.209 0.358	1.6 0.6 0.4	6.5 0.6 0.5	1.6	Ok
P7	181.4	0.4 0.5	0.275 0.113 0.176	0.4 0.5 ---	6.5 0.5 ---	0.0	Ok
P8	461.1	6.8 53.8	0.446 0.541 0.491	1.6 0.6 ---	6.5 0.6 ---	0.0	Ok
P9	182.5	0.5 0.5	0.275 0.113 0.176	0.4 0.5 0.3	6.5 0.5 0.4	0.9	Ok

P9

UCS	Avaliação de Armaduras de Punção em Lajes Lisas e Lajes Nervuras				
	Disciplina: Trabalho de Conclusao de Curso II				
	Professora Orientadora: Henriette Justina Manfredini Baroni				
Acadêmica: Hayeska Deitos de Lima					
DATA:	27/11/2020	UNIDADE:	ESCALA: 1/50	PRANCHA:	3/4

**APÊNDICE J - ARMADURA DE PUNÇÃO EM PLANTA BAIXA DO MODELO: M1
– B40C COM ALTURA DE 40 CM**



Verificação de punção das lajes do pavimento
Segundo Pavimento (Nível 400)

escala 1:50

P3

ARMADURA DE PUNÇÃO									
Conjunto	Quant.	Dim. chapa (cm)	Característica dos conectores						
			Aço	Diam. (mm)	Comp. (cm)	Espaç. Pilar (cm)	Espaç. Conectores (cm)	Quant. por chapa	Quant. total
1	18	42.5x2.5	CA25	6.3	36.6	8	20	3	54

P6

Esforços de Punção								
Pilar	Fsd (kN)	Msdh (kN.m)	Taxa As_x Taxa As_y Taxa As (%)	Tsd C Tsd C' Tsd C'' (MPa)	Trd2 C Trd1 C' Trd3 C'' (MPa)	Asw punção (cm²)	Situação do pilar	
P1	205.1	2.3 1.7	0.208 0.133 0.166	0.4 0.3 ---	5.1 0.4 ---	0.0	Ok	
P2	547.1	7.4 38.4	0.347 0.410 0.377	1.3 0.5 ---	5.1 0.5 ---	0.0	Ok	
P3	207.1	2.2 1.7	0.133 0.208 0.166	0.4 0.4 ---	5.1 0.4 ---	0.0	Ok	
P4	538.6	37.0 6.7	0.416 0.222 0.304	1.3 0.5 0.3	5.1 0.5 0.4	1.6	Ok	
P5	1589.9	80.2 81.5	0.706 0.755 0.731	2.4 0.7 0.5	5.1 0.6 0.5	2.5	Ok	
P6	546.9	37.9 6.8	0.415 0.222 0.304	1.3 0.5 0.3	5.1 0.5 0.4	1.6	Ok	
P7	203.8	2.0 1.9	0.208 0.133 0.166	0.4 0.3 ---	5.1 0.4 ---	0.0	Ok	
P8	538.8	7.2 37.1	0.347 0.354 0.351	1.3 0.5 ---	5.1 0.5 ---	0.0	Ok	
P9	205.2	1.9 1.9	0.208 0.133 0.166	0.4 0.3 ---	5.1 0.4 ---	0.0	Ok	

P9

UCS

Avaliação de Armaduras de Punção em Lajes Lisas e Lajes Nervuras

Disciplina: Trabalho de Conclusao de Curso II

Professora Orientadora: Henriette Justina Manfredini Baroni

Acadêmica: Hayeska Deitos de Lima

DATA:	27/11/2020	UNIDADE:	ESCALA:	1/50	PRANCHA:	4/4
-------	------------	----------	---------	------	----------	-----

**APÊNDICE K - DIMENSIONAMENTO DO MODELO: M1 – C25C E M1 – C25E
COM ALTURA DE 32 CM**

Figura 30 - Dimensionamento: M1 – C25C e M1 – C25E com Altura de 32 cm

P1 - Pilar de Canto			
Verificação à Tensão Resistente de Compressão Diagonal do Concreto na Superfície Crítica C			
$\sigma_{sd} = 8,1504 \text{ Kgf/cm}^2$	$\sigma_{Rd2} = 43,39 \text{ Kgf/cm}^2$	$\sigma_{sd} = 7,5775 \text{ Kgf/cm}^2$	$\sigma_{Rd2} = 43,39 \text{ Kgf/cm}^2$
$\sigma_{sd} \leq \sigma_{Rd} - \text{OK}$		$\sigma_{sd} \leq \sigma_{Rd} - \text{OK}$	
Verificação à Tensão Resistente na Superfície Crítica C' sem armadura de punção			
$\sigma_{sd} = 1,7671 \text{ Kgf/cm}^2$	$\sigma_{Rd1} = 3,3317 \text{ Kgf/cm}^2$	$\sigma_{sd} = 1,7156 \text{ Kgf/cm}^2$	$\sigma_{Rd1} = 3,3317 \text{ Kgf/cm}^2$
$\sigma_{sd} \leq \sigma_{Rd1} - \text{OK}$		$\sigma_{sd} \leq \sigma_{Rd1} - \text{OK}$	
Verificação à Superfície Crítica em C''			
$\sigma_{sd} = 1,2771 \text{ Kgf/cm}^2$	$\sigma_{Rd1} = 3,3318 \text{ Kgf/cm}^2$	$\sigma_{sd} = 1,2478 \text{ Kgf/cm}^2$	$\sigma_{Rd1} = 3,3318 \text{ Kgf/cm}^2$
$\sigma_{sd} \leq \sigma_{Rd1} - \text{OK}$		$\sigma_{sd} \leq \sigma_{Rd1} - \text{OK}$	
P2 - Pilar de Borda			
Verificação à Tensão Resistente de Compressão Diagonal do Concreto na Superfície Crítica C			
$\sigma_{sd} = 15,6549 \text{ Kgf/cm}^2$	$\sigma_{Rd2} = 43,39 \text{ Kgf/cm}^2$	$\sigma_{sd} \leq \sigma_{Rd2} - \text{OK}$	
Verificação à Tensão Resistente na Superfície Crítica C' sem armadura de punção			
$\sigma_{sd} = 3,4090 \text{ Kgf/cm}^2$	$\sigma_{Rd1} = 3,3250 \text{ Kgf/cm}^2$	$\sigma_{sd} \leq \sigma_{Rd1} - \text{Necessita de Armadura de Punção}$	
Verificação à Tensão Resistente na Superfície Crítica C' com armadura de punção			
Armadura para Conectores: $A_{sw} = 35,2665$ Nº de Barras: Ø 6.3 - 114 / Ø 8 - 71 / Ø 10 - 45		Armadura para Estribos: $A_{sw} = 59,8493$ Nº de Barras: Ø 6.3 - 192 / Ø 8 - 119 / Ø 10 - 77	
Verificação à Superfície Crítica em C''			
$\sigma_{sd} = 2,4708 \text{ Kgf/cm}^2$	$\sigma_{Rd1} = 3,3250 \text{ Kgf/cm}^2$	$\sigma_{sd} \leq \sigma_{Rd1} - \text{OK}$	
P3 - Pilar de Canto			
Verificação à Tensão Resistente de Compressão Diagonal do Concreto na Superfície Crítica C			
$\sigma_{sd} = 7,4513 \text{ Kgf/cm}^2$	$\sigma_{Rd2} = 43,39 \text{ Kgf/cm}^2$	$\sigma_{sd} = 7,1061 \text{ Kgf/cm}^2$	$\sigma_{Rd2} = 43,39 \text{ Kgf/cm}^2$
$\sigma_{sd} \leq \sigma_{Rd} - \text{OK}$		$\sigma_{sd} \leq \sigma_{Rd} - \text{OK}$	
Verificação à Tensão Resistente na Superfície Crítica C' sem armadura de punção			
$\sigma_{sd} = 1,9534 \text{ Kgf/cm}^2$	$\sigma_{Rd1} = 3,2209 \text{ Kgf/cm}^2$	$\sigma_{sd} = 1,8915 \text{ Kgf/cm}^2$	$\sigma_{Rd1} = 3,2209 \text{ Kgf/cm}^2$
$\sigma_{sd} \leq \sigma_{Rd1} - \text{OK}$		$\sigma_{sd} \leq \sigma_{Rd1} - \text{OK}$	
Verificação à Superfície Crítica em C''			
$\sigma_{sd} = 1,2204 \text{ Kgf/cm}^2$	$\sigma_{Rd1} = 3,2209 \text{ Kgf/cm}^2$	$\sigma_{sd} = 1,2027 \text{ Kgf/cm}^2$	$\sigma_{Rd1} = 3,2209 \text{ Kgf/cm}^2$
$\sigma_{sd} \leq \sigma_{Rd1} - \text{OK}$		$\sigma_{sd} \leq \sigma_{Rd1} - \text{OK}$	
P4 - Pilar de Borda			
Verificação à Tensão Resistente de Compressão Diagonal do Concreto na Superfície Crítica C			
$\sigma_{sd} = 18,3517 \text{ Kgf/cm}^2$	$\sigma_{Rd2} = 43,39 \text{ Kgf/cm}^2$	$\sigma_{sd} \leq \sigma_{Rd2} - \text{OK}$	
Verificação à Tensão Resistente na Superfície Crítica C' sem armadura de punção			
$\sigma_{sd} = 4,0756 \text{ Kgf/cm}^2$	$\sigma_{Rd1} = 3,4416 \text{ Kgf/cm}^2$	$\sigma_{sd} \leq \sigma_{Rd1} - \text{Necessita de Armadura de Punção}$	
Verificação à Tensão Resistente na Superfície Crítica C' com armadura de punção			
Armadura para Conectores: $A_{sw} = 42,5171$ Nº de Barras: Ø 6.3 - 137 / Ø 8 - 85 / Ø 10 - 55		Armadura para Estribos: $A_{sw} = 72,1540$ Nº de Barras: Ø 6.3 - 232 / Ø 8 - 144 / Ø 10 - 92	
Verificação à Superfície Crítica em C''			
$\sigma_{sd} = 2,4708 \text{ Kgf/cm}^2$	$\sigma_{Rd1} = 3,3250 \text{ Kgf/cm}^2$	$\sigma_{sd} \leq \sigma_{Rd1} - \text{OK}$	
P5 - Pilar Interno com Efeito de Momento			
Verificação à Tensão Resistente de Compressão Diagonal do Concreto na Superfície Crítica C			
$\sigma_{sd} = 19,7301 \text{ Kgf/cm}^2$	$\sigma_{Rd2} = 43,39 \text{ Kgf/cm}^2$	$\sigma_{sd} \leq \sigma_{Rd2} - \text{OK}$	
Verificação à Tensão Resistente na Superfície Crítica C' sem armadura de punção			
$\sigma_{sd} = 7,9266 \text{ Kgf/cm}^2$	$\sigma_{Rd1} = 3,7483 \text{ Kgf/cm}^2$	$\sigma_{sd} \leq \sigma_{Rd1} - \text{Necessita de Armadura de Punção}$	
Verificação à Tensão Resistente na Superfície Crítica C' com armadura de punção			
Armadura para Conectores: $A_{sw} = 99,7421$ Nº de Barras: Ø 6.3 - 320 / Ø 8 - 199 / Ø 10 - 128		Armadura para Estribos: $A_{sw} = 169,2681$ Nº de Barras: Ø 6.3 - 543 / Ø 8 - 337 / Ø 10 - 216	
Verificação à Superfície Crítica em C''			
$\sigma_{sd} = 6,3394 \text{ Kgf/cm}^2$	$\sigma_{Rd1} = 3,7342 \text{ Kgf/cm}^2$	$\sigma_{sd} \leq \sigma_{Rd1} - \text{Necessita de Armadura de Punção}$	
Verificação à Tensão Resistente na Superfície Crítica C' com armadura de punção			
Armadura para Conectores: $A_{sw} = 98,4089$ Nº de Barras: Ø 6.3 - 316 / Ø 8 - 196 / Ø 10 - 126		Armadura para Estribos: $A_{sw} = 167,0054$ Nº de Barras: Ø 6.3 - 536 / Ø 8 - 333 / Ø 10 - 213	
P6 - Pilar de Borda			
Verificação à Tensão Resistente de Compressão Diagonal do Concreto na Superfície Crítica C			
$\sigma_{sd} = 18,0022 \text{ Kgf/cm}^2$	$\sigma_{Rd2} = 43,39 \text{ Kgf/cm}^2$	$\sigma_{sd} \leq \sigma_{Rd2} - \text{OK}$	
Verificação à Tensão Resistente na Superfície Crítica C' sem armadura de punção			
$\sigma_{sd} = 3,9983 \text{ Kgf/cm}^2$	$\sigma_{Rd1} = 3,3751 \text{ Kgf/cm}^2$	$\sigma_{sd} \leq \sigma_{Rd1} - \text{Necessita de Armadura de Punção}$	
Verificação à Tensão Resistente na Superfície Crítica C' com armadura de punção			
Armadura para Conectores: $A_{sw} = 41,7560$ Nº de Barras: Ø 6.3 - 134 / Ø 8 - 84 / Ø 10 - 54		Armadura para Estribos: $A_{sw} = 70,8624$ Nº de Barras: Ø 6.3 - 228 / Ø 8 - 141 / Ø 10 - 91	
Verificação à Superfície Crítica em C''			
$\sigma_{sd} = 2,8999 \text{ Kgf/cm}^2$	$\sigma_{Rd1} = 3,3775 \text{ Kgf/cm}^2$	$\sigma_{sd} \leq \sigma_{Rd1} - \text{OK}$	
P7 - Pilar de Canto			
Verificação à Tensão Resistente de Compressão Diagonal do Concreto na Superfície Crítica C			
$\sigma_{sd} = 8,1223 \text{ Kgf/cm}^2$	$\sigma_{Rd2} = 43,39 \text{ Kgf/cm}^2$	$\sigma_{sd} = 7,6902 \text{ Kgf/cm}^2$	$\sigma_{Rd2} = 43,39 \text{ Kgf/cm}^2$
$\sigma_{sd} \leq \sigma_{Rd} - \text{OK}$		$\sigma_{sd} \leq \sigma_{Rd} - \text{OK}$	
Verificação à Tensão Resistente na Superfície Crítica C' sem armadura de punção			
$\sigma_{sd} = 1,7961 \text{ Kgf/cm}^2$	$\sigma_{Rd1} = 3,3775 \text{ Kgf/cm}^2$	$\sigma_{sd} = 1,7494 \text{ Kgf/cm}^2$	$\sigma_{Rd1} = 3,3775 \text{ Kgf/cm}^2$
$\sigma_{sd} \leq \sigma_{Rd1} - \text{OK}$		$\sigma_{sd} \leq \sigma_{Rd1} - \text{OK}$	
Verificação à Superfície Crítica em C''			
$\sigma_{sd} = 1,2998 \text{ Kgf/cm}^2$	$\sigma_{Rd1} = 3,3775 \text{ Kgf/cm}^2$	$\sigma_{sd} = 1,7671 \text{ Kgf/cm}^2$	$\sigma_{Rd1} = 3,3775 \text{ Kgf/cm}^2$
$\sigma_{sd} \leq \sigma_{Rd1} - \text{OK}$		$\sigma_{sd} \leq \sigma_{Rd1} - \text{OK}$	
P8 - Pilar de Borda			
Verificação à Tensão Resistente de Compressão Diagonal do Concreto na Superfície Crítica C			
$\sigma_{sd} = 17,5296 \text{ Kgf/cm}^2$	$\sigma_{Rd2} = 43,39 \text{ Kgf/cm}^2$	$\sigma_{sd} \leq \sigma_{Rd2} - \text{OK}$	
Verificação à Tensão Resistente na Superfície Crítica C' sem armadura de punção			
$\sigma_{sd} = 4,0353 \text{ Kgf/cm}^2$	$\sigma_{Rd1} = 3,3777 \text{ Kgf/cm}^2$	$\sigma_{sd} \leq \sigma_{Rd1} - \text{Necessita de Armadura de Punção}$	
Verificação à Tensão Resistente na Superfície Crítica C' com armadura de punção			
Armadura para Conectores: $A_{sw} = 42,3649$ Nº de Barras: Ø 6.3 - 136 / Ø 8 - 85 / Ø 10 - 54		Armadura para Estribos: $A_{sw} = 71,8956$ Nº de Barras: Ø 6.3 - 231 / Ø 8 - 143 / Ø 10 - 92	
Verificação à Superfície Crítica em C''			
$\sigma_{sd} = 2,9480 \text{ Kgf/cm}^2$	$\sigma_{Rd1} = 3,3777 \text{ Kgf/cm}^2$	$\sigma_{sd} \leq \sigma_{Rd1} - \text{OK}$	
P9 - Pilar de Canto			
Verificação à Tensão Resistente de Compressão Diagonal do Concreto na Superfície Crítica C			
$\sigma_{sd} = 8,2212 \text{ Kgf/cm}^2$	$\sigma_{Rd2} = 43,39 \text{ Kgf/cm}^2$	$\sigma_{sd} = 7,6460 \text{ Kgf/cm}^2$	$\sigma_{Rd2} = 43,39 \text{ Kgf/cm}^2$
$\sigma_{sd} \leq \sigma_{Rd} - \text{OK}$		$\sigma_{sd} \leq \sigma_{Rd} - \text{OK}$	
Verificação à Tensão Resistente na Superfície Crítica C' sem armadura de punção			
$\sigma_{sd} = 1,7950 \text{ Kgf/cm}^2$	$\sigma_{Rd1} = 3,3774 \text{ Kgf/cm}^2$	$\sigma_{sd} = 1,7434 \text{ Kgf/cm}^2$	$\sigma_{Rd1} = 3,3774 \text{ Kgf/cm}^2$
$\sigma_{sd} \leq \sigma_{Rd1} - \text{OK}$		$\sigma_{sd} \leq \sigma_{Rd1} - \text{OK}$	
Verificação à Superfície Crítica em C''			
$\sigma_{sd} = 1,2986 \text{ Kgf/cm}^2$	$\sigma_{Rd1} = 3,3774 \text{ Kgf/cm}^2$	$\sigma_{sd} = 1,2693 \text{ Kgf/cm}^2$	$\sigma_{Rd1} = 3,3774 \text{ Kgf/cm}^2$
$\sigma_{sd} \leq \sigma_{Rd1} - \text{OK}$		$\sigma_{sd} \leq \sigma_{Rd1} - \text{OK}$	

Fonte: Autora (2020).

**APÊNDICE L - DIMENSIONAMENTO DO MODELO: M1 – C40C E M1 – C40E
COM ALTURA DE 32 CM**

Fonte: Autora (2020).

**APÊNDICE M - DIMENSIONAMENTO DO MODELO: M1 – C25C E M1 – C25E
COM ALTURA DE 40 CM**

Fonte: Autora (2020).

**APÊNDICE N - DIMENSIONAMENTO DO MODELO: M1 – C40C E M1 – C40E
COM ALTURA DE 40 CM**

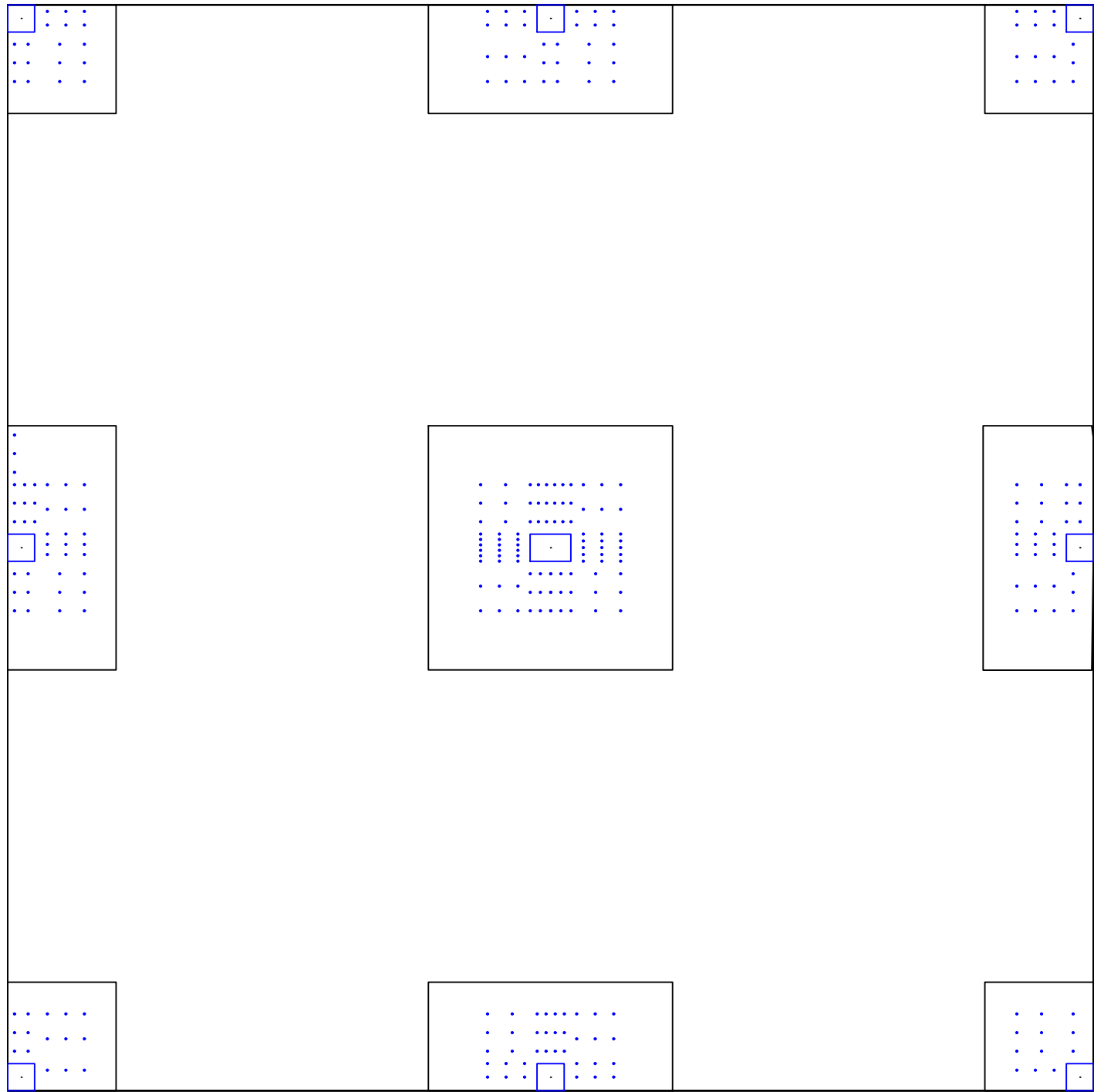
Figura 33 - Dimensionamento: M1 – C40C e M1 – C40E com Altura de 40 cm

P1 - Pilar de Canto			
Verificação à Tensão Resistente de Compressão Diagonal do Concreto na Superfície Crítica C			
Csd = 5,0948 Kgf/cm²	CRd2 = 64,80 Kgf/cm²	Csd = 5,8258 Kgf/cm²	CRd2 = 64,80 Kgf/cm²
Csd ≤ CRd - OK		Csd ≤ CRd - OK	
Verificação à Tensão Resistente na Superfície Crítica C' sem armadura de punção			
Csd =1,1025 Kgf/cm²	CRd1 = 2,1507 Kgf/cm²	Csd =1,1482 Kgf/cm²	CRd1 = 2,1507 Kgf/cm²
Csd ≤ CRd1 - OK		Csd ≤ CRd1 - OK	
Verificação à Superfície Crítica em C"			
Csd = 0,8556 Kgf/cm²	CRd1 = 2,1507 Kgf/cm²	Csd =0,8839Kgf/cm²	CRd1 = 2,1507 Kgf/cm²
Csd ≤ CRd1 - OK		Csd ≤ CRd1 - OK	
P2 - Pilar de Borda			
Verificação à Tensão Resistente de Compressão Diagonal do Concreto na Superfície Crítica C			
Csd = 13,2034 Kgf/cm²	CRd2 = 64,80 Kgf/cm²	Csd ≤ CRd2 - OK	
Verificação à Tensão Resistente na Superfície Crítica C' sem armadura de punção			
Csd = 2,7965 Kgf/cm²	CRd1 = 2,1902 Kgf/cm²	Csd ≤ CRd1 - Necessita de Armadura de Punção	
Verificação à Tensão Resistente na Superfície Crítica C' com armadura de punção			
Armadura para Conectores: Asw = 24,8651		Armadura para Estribos: Asw = 35,1646	
Nº de Barras: Ø 6.3 - 80 / Ø 8 - 50 / Ø 10 - 32		Nº de Barras: Ø 6.3 - 113 / Ø 8 - 70 / Ø 10 - 45	
Verificação à Superfície Crítica em C"			
Csd = 2,1466 Kgf/cm²	CRd1 = 2,1902 Kgf/cm²	Csd ≤ CRd1 - OK	
P3 - Pilar de Canto			
Verificação à Tensão Resistente de Compressão Diagonal do Concreto na Superfície Crítica C			
Csd = 5,7293 Kgf/cm²	CRd2 = 64,80 Kgf/cm²	Csd = 6,4534 Kgf/cm²	CRd2 = 64,80 Kgf/cm²
Csd ≤ CRd - OK		Csd ≤ CRd - OK	
Verificação à Tensão Resistente na Superfície Crítica C' sem armadura de punção			
Csd = 1,2864 Kgf/cm²	CRd1 = 2,1507 Kgf/cm²	Csd =1,3770 Kgf/cm²	CRd1 = 2,1507 Kgf/cm²
Csd ≤ CRd1 - OK		Csd ≤ CRd1 - OK	
Verificação à Superfície Crítica em C"			
Csd = 0,8859 Kgf/cm²	CRd1 = 2,1507 Kgf/cm²	Csd =0,9139 Kgf/cm²	CRd1 = 2,1507 Kgf/cm²
Csd ≤ CRd1 - OK		Csd ≤ CRd1 - OK	
P4- Pilar de Borda			
Verificação à Tensão Resistente de Compressão Diagonal do Concreto na Superfície Crítica C			
Csd = 14,8419 Kgf/cm²	CRd2 = 64,80 Kgf/cm²	Csd ≤ CRd2 - OK	
Verificação à Tensão Resistente na Superfície Crítica C' sem armadura de punção			
Csd = 2,7236 Kgf/cm²	CRd1 = 2,1581 Kgf/cm²	Csd ≤ CRd1 - Necessita de Armadura de Punção	
Verificação à Tensão Resistente na Superfície Crítica C' com armadura de punção			
Armadura para Conectores: Asw = 24,3225		Armadura para Estribos: Asw = 34,3972	
Nº de Barras: Ø 6.3 - 78 / Ø 8 - 49 / Ø 10 - 31		Nº de Barras: Ø 6.3 - 111 / Ø 8 - 69 / Ø 10 - 44	
Verificação à Superfície Crítica em C"			
Csd = 2,0140 Kgf/cm²	CRd1 = 2,1581 Kgf/cm²	Csd ≤ CRd1 - OK	
P5 - Pilar Interno com Efeito de Momento			
Verificação à Tensão Resistente de Compressão Diagonal do Concreto na Superfície Crítica C			
Csd = 19,0862 Kgf/cm²	CRd2 = 64,80 Kgf/cm²	Csd ≤ CRd2 - OK	
Verificação à Tensão Resistente na Superfície Crítica C' sem armadura de punção			
Csd = 6,5634 Kgf/cm²	CRd1 = 2,1015 Kgf/cm²	Csd ≤ CRd1 - Necessita de Armadura de Punção	
Verificação à Tensão Resistente na Superfície Crítica C' com armadura de punção			
Armadura para Conectores: Asw = 68,6500		Armadura para Estribos: Asw = 97,0858	
Nº de Barras: Ø 6.3 - 221 / Ø 8 - 137 / Ø 10 - 88		Nº de Barras: Ø 6.3 - 312 / Ø 8 - 194 / Ø 10 - 124	
Verificação à Superfície Crítica em C"			
Csd = 5,4127 Kgf/cm²	CRd1 = 4,1675 Kgf/cm²	Csd ≤ CRd1 - Necessita de Armadura de Punção	
Verificação à Tensão Resistente na Superfície Crítica C' com armadura de punção			
Armadura para Conectores: Asw = 101,7891		Armadura para Estribos: Asw = 172,7418	
Nº de Barras: Ø 6.3 - 327 / Ø 8 - 203 / Ø 10 - 130		Nº de Barras: Ø 6.3 - 554 / Ø 8 - 344 / Ø 10 - 221	
P6 - Pilar de Borda			
Verificação à Tensão Resistente de Compressão Diagonal do Concreto na Superfície Crítica C			
Csd = 13,0566 Kgf/cm²	CRd2 = 64,80 Kgf/cm²	Csd ≤ CRd2 - OK	
Verificação à Tensão Resistente na Superfície Crítica C' sem armadura de punção			
Csd = 2,7651 Kgf/cm²	CRd1 = 2,4979 Kgf/cm²	Csd ≤ CRd1 - Necessita de Armadura de Punção	
Verificação à Tensão Resistente na Superfície Crítica C' com armadura de punção			
Armadura para Conectores: Asw = 24,1345		Armadura para Estribos: Asw = 34,1314	
Nº de Barras: Ø 6.3 - 78 / Ø 8 - 48 / Ø 10 - 31		Nº de Barras: Ø 6.3 - 110 / Ø 8 - 68 / Ø 10 - 44	
Verificação à Superfície Crítica em C"			
Csd = 2,0440 Kgf/cm²	CRd1 = 2,4979 Kgf/cm²	Csd ≤ CRd1 - OK	
P7 - Pilar de Canto			
Verificação à Tensão Resistente de Compressão Diagonal do Concreto na Superfície Crítica C			
Csd = 9,3086 Kgf/cm²	CRd2 = 64,80 Kgf/cm²	Csd = 8,5568 Kgf/cm²	CRd2 = 64,80 Kgf/cm²
Csd ≤ CRd - OK		Csd ≤ CRd - OK	
Verificação à Tensão Resistente na Superfície Crítica C' sem armadura de punção			
Csd =1,3622 Kgf/cm²	CRd1 = 2,1508 Kgf/cm²	Csd =1,3151 Kgf/cm²	CRd1 = 2,1508 Kgf/cm²
Csd ≤ CRd1 - OK		Csd ≤ CRd1 - OK	
Verificação à Superfície Crítica em C"			
Csd = 1,0153 Kgf/cm²	CRd1 = 2,1508 Kgf/cm²	Csd =0,9862 Kgf/cm²	CRd1 = 2,1508 Kgf/cm²
Csd ≤ CRd1 - OK		Csd ≤ CRd1 - OK	
P8 - Pilar de Borda			
Verificação à Tensão Resistente de Compressão Diagonal do Concreto na Superfície Crítica C			
Csd = 12,9551 Kgf/cm²	CRd2 = 64,80 Kgf/cm²	Csd ≤ CRd2 - OK	
Verificação à Tensão Resistente na Superfície Crítica C' sem armadura de punção			
Csd = 2,7524 Kgf/cm²	CRd1 = 2,1902 Kgf/cm²	Csd ≤ CRd1 - Necessita de Armadura de Punção	
Verificação à Tensão Resistente na Superfície Crítica C' com armadura de punção			
Armadura para Conectores: Asw = 24,4489		Armadura para Estribos: Asw = 34,5760	
Nº de Barras: Ø 6.3 - 79 / Ø 8 - 49 / Ø 10 - 32		Nº de Barras: Ø 6.3 - 111 / Ø 8 - 69 / Ø 10 - 45	
Verificação à Superfície Crítica em C"			
Csd = 2,0730Kgf/cm²	CRd1 = 2,1902 Kgf/cm²	Csd ≤ CRd1 - OK	
P9 - Pilar de Canto			
Verificação à Tensão Resistente de Compressão Diagonal do Concreto na Superfície Crítica C			
Csd = 7,8689 Kgf/cm²	CRd2 = 64,80 Kgf/cm²	Csd = 9,2482 Kgf/cm²	CRd2 = 64,80 Kgf/cm²
Csd ≤ CRd - OK		Csd ≤ CRd - OK	
Verificação à Tensão Resistente na Superfície Crítica C' sem armadura de punção			
Csd =1,2765 Kgf/cm²	CRd1 = 2,1506 Kgf/cm²	Csd =1,3628 Kgf/cm²	CRd1 = 2,1506 Kgf/cm²
Csd ≤ CRd1 - OK		Csd ≤ CRd1 - OK	
Verificação à Superfície Crítica em C"			
Csd = 0,9633 Kgf/cm²	CRd1 = 2,1506 Kgf/cm²	Csd =1,0167 Kgf/cm²	CRd1 = 2,1506 Kgf/cm²
Csd ≤ CRd1 - OK		Csd ≤ CRd1 - OK	

Fonte: Autora (2020).

**APÊNDICE O - PLANTA BAIXA DA LAJE NERVURADA: SOFTWARE EBERICK
COM ALTURA DE 32 CM**

**APÊNDICE P - ARMADURA DE PUNÇÃO EM PLANTA BAIXA DO MODELO: M2
– A25C COM ALTURA DE 40 CM**



UCS

Avaliação de Armaduras de Punção em Lajes Lisas e Lajes Nervuras

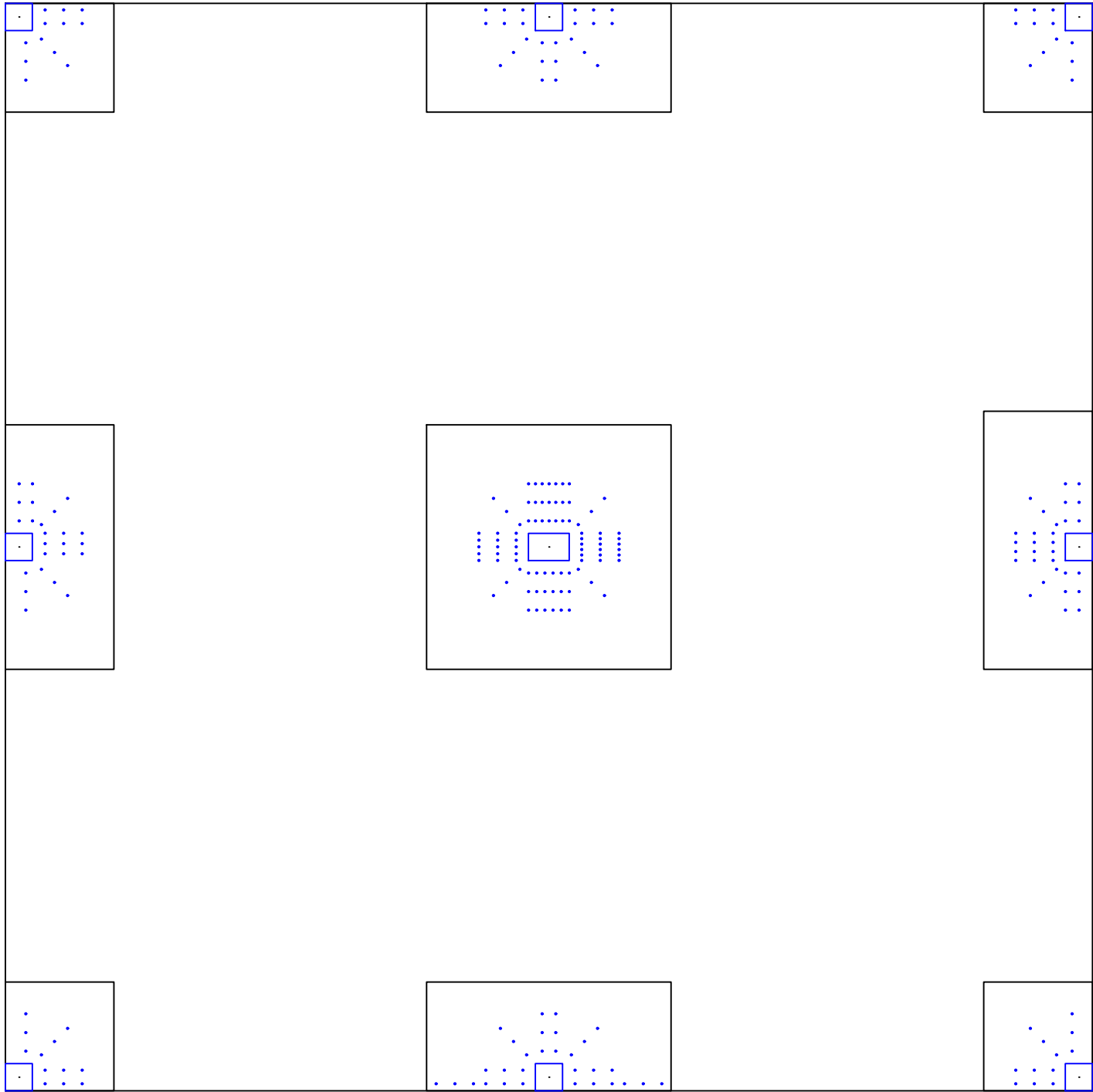
Disciplina: Trabalho de Conclusao de Curso II

Professora Orientadora: Henriette Justina Manfredini Baroni

Acadêmica: Hayeska Deitos de Lima

DATA:	27/11/2020	UNIDADE:	ESCALA:	1/50	PRANCHA:	1/4
-------	------------	----------	---------	------	----------	-----

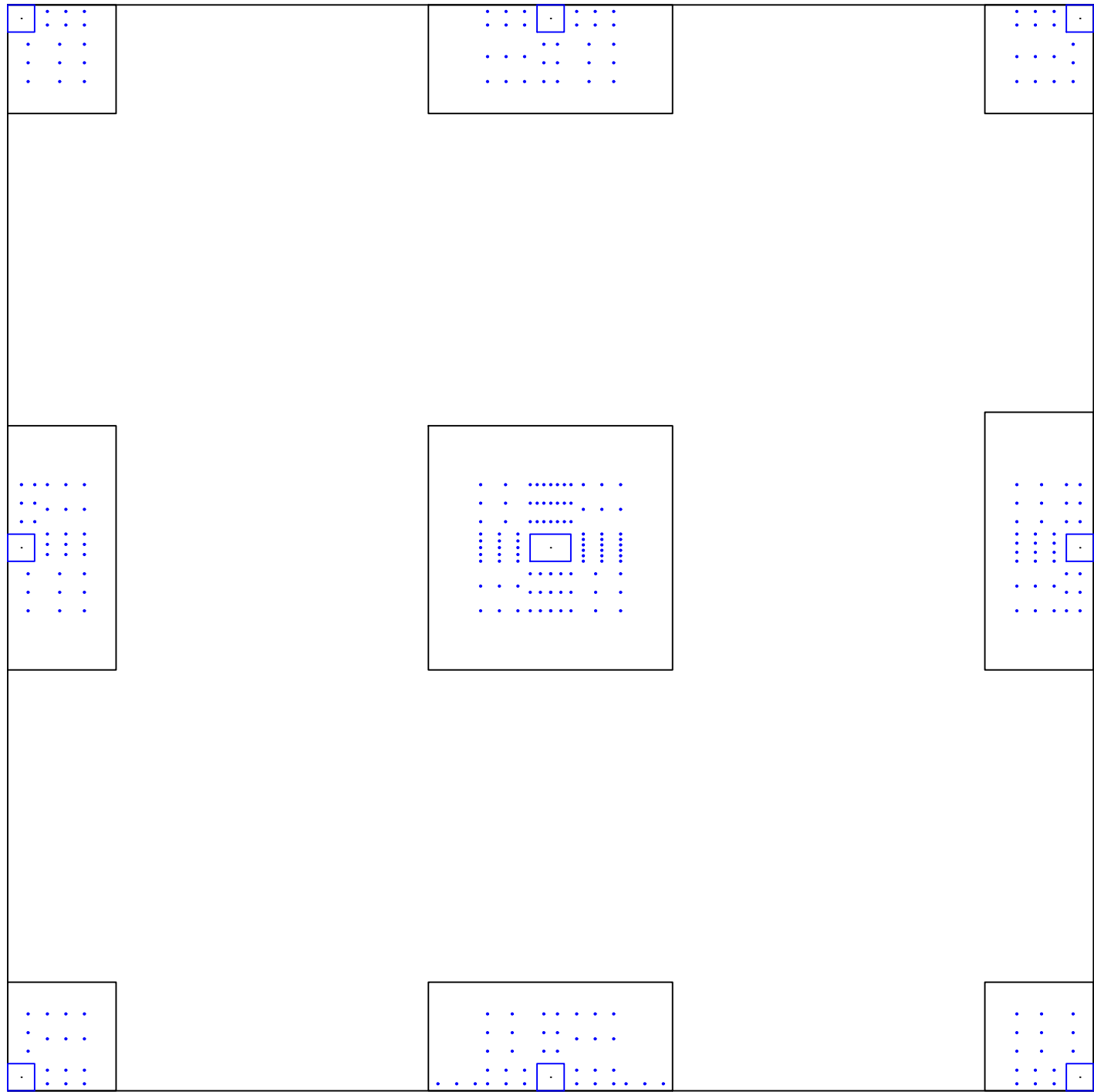
APÊNDICE Q - ARMADURA DE PUNÇÃO EM PLANTA BAIXA DO MODELO: M2
– A25E COM ALTURA DE 40 CM



UCS

Avaliação de Armaduras de Punção em Lajes Lisas e Lajes Nervuras			
Disciplina: Trabalho de Conclusao de Curso II			
Professora Orientadora: Henriette Justina Manfredini Baroni			
Acadêmica: Hayeska Deitos de Lima			
DATA:	27/11/2020	UNIDADE:	
ESCALA:	1/50	PRANCHA:	2/4

**APÊNDICE R - ARMADURA DE PUNÇÃO EM PLANTA BAIXA DO MODELO: M2
– C40C COM ALTURA DE 40 CM**



UCS

Avaliação de Armaduras de Punção em Lajes Lisas e Lajes Nervuras

Disciplina: Trabalho de Conclusao de Curso II

Professora Orientadora: Henriette Justina Manfredini Baroni

Acadêmica: Hayeska Deitos de Lima

DATA: 27/11/2020

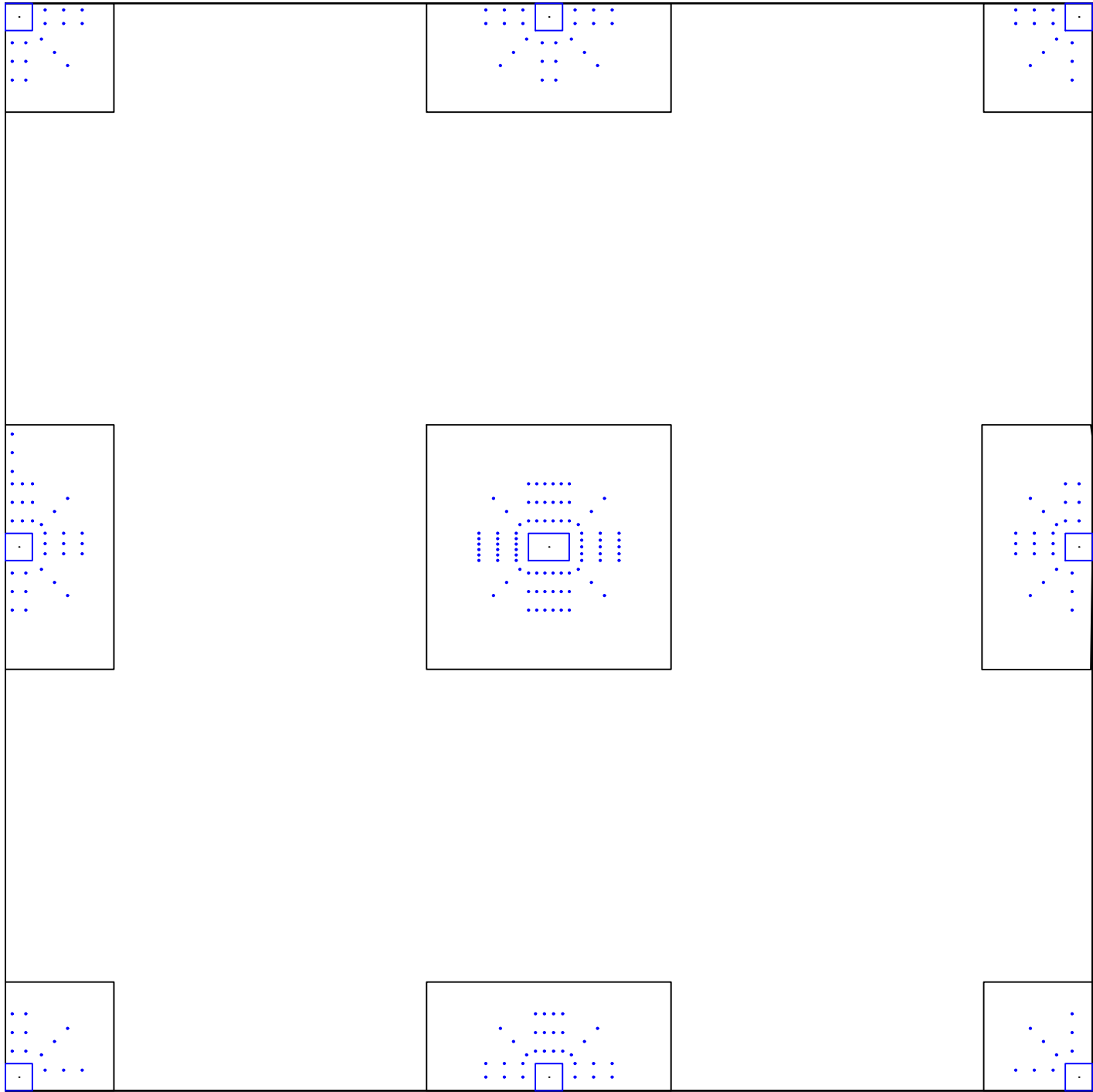
UNIDADE:

ESCALA: 1/50

PRANCHA:

3/4

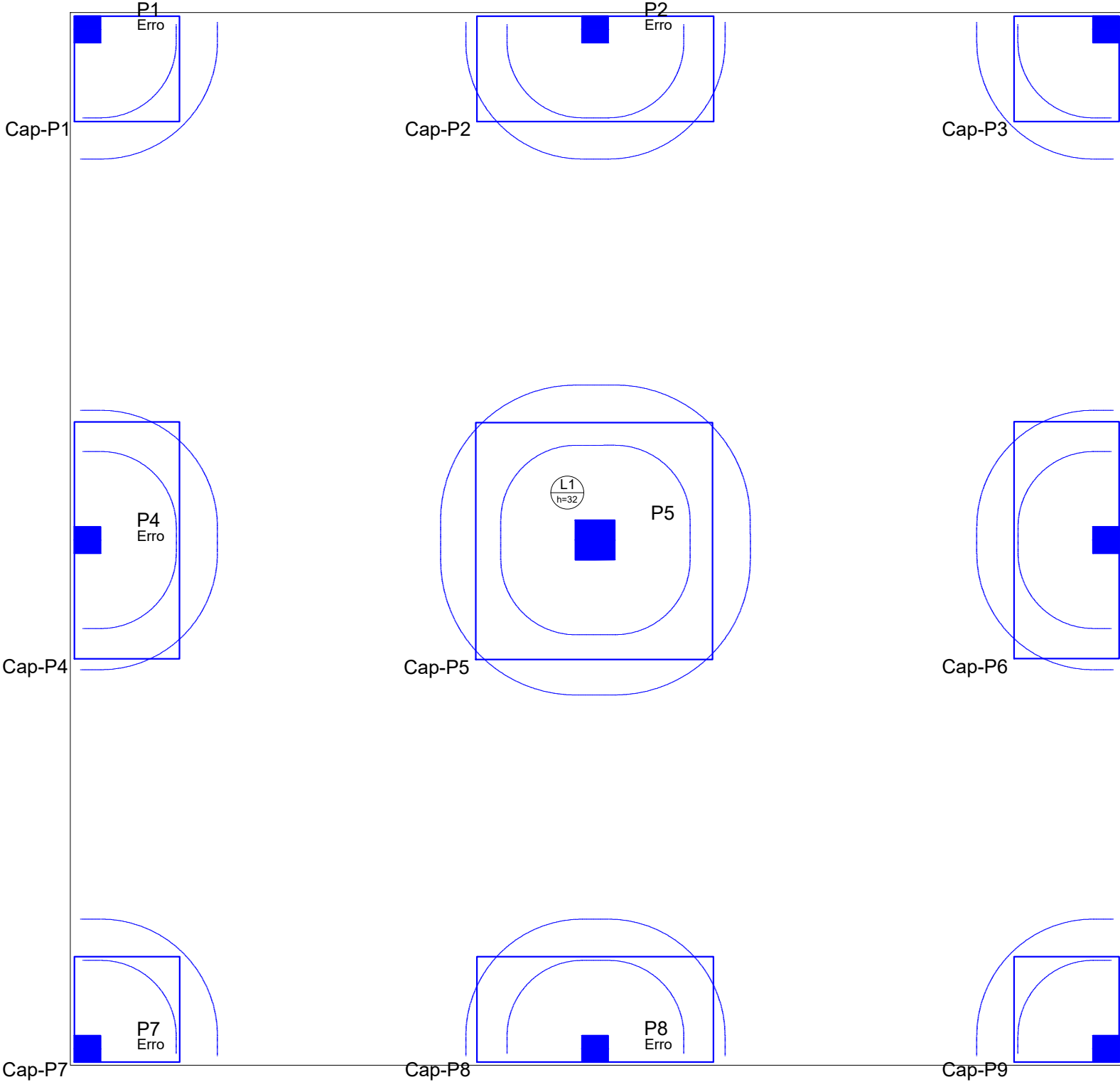
**APÊNDICE S - ARMADURA DE PUNÇÃO EM PLANTA BAIXA DO MODELO: M2
– C40E COM ALTURA DE 40 CM**



UCS

Avaliação de Armaduras de Punção em Lajes Lisas e Lajes Nervuras			
Disciplina: Trabalho de Conclusao de Curso II			
Professora Orientadora: Henriette Justina Manfredini Baroni			
Acadêmica: Hayeska Deitos de Lima			
DATA:	27/11/2020	UNIDADE:	
ESCALA:	1/50	PRANCHA:	4/4

**APÊNDICE T - ARMADURA DE PUNÇÃO EM PLANTA BAIXA DO MODELO: M2
– B25E COM ALTURA DE 32 CM**



P3
Erro

Pilar	Fsd (kN)	Msdb Msdh (kN.m)	Esforços de Punção			Asw punção (cm²)	Situação do pilar
			Taxa As_x Taxa As_y Taxa As (%)	Tsd C Tsd C' Tsd C'' (MPa)	Trd2 C Trd1 C' Trd3 C'' (MPa)		
P1-cap	132.2	34.8 35.2	0.252 0.269 0.260	0.4 0.2 0.1	6.5 0.5 0.5	---	Ok
P2-cap	367.0	1.1 72.4	0.252 0.099 0.260	0.7 0.2 0.1	6.5 0.5 0.5	---	Ok
P3-cap	133.0	35.6 35.4	0.252 0.269 0.260	0.5 0.2 0.1	6.5 0.5 0.5	---	Ok
P4-cap	364.6	71.1 1.5	0.134 0.269 0.260	0.7 0.2 0.1	6.5 0.5 0.5	---	Ok
P5-cap	1230.2	9.9 12.0	0.252 0.269 0.260	0.9 0.2 0.1	6.5 0.5 0.5	---	Ok
P6-cap	366.8	72.9 0.5	0.132 0.269 0.260	0.7 0.2 0.1	6.5 0.5 0.5	---	Ok
P7-cap	131.5	34.8 34.8	0.252 0.269 0.260	0.4 0.2 0.1	6.5 0.5 0.5	---	Ok
P8-cap	364.6	0.5 71.4	0.252 0.069 0.260	0.7 0.2 0.1	6.5 0.5 0.5	---	Ok
P9-cap	132.3	35.5 35.1	0.252 0.269 0.260	0.5 0.2 0.1	6.5 0.5 0.5	---	Ok

P6
Erro

P9
Erro

Verificação de punção das lajes do pavimento Segundo Pavimento (Nível 400)

escala 1:50

UCS

Avaliação de Armaduras de Punção em Lajes Lisas e Lajes Nervuras

Disciplina: Trabalho de Conclusao de Curso II

Professora Orientadora: Henriette Justina Manfredini Baroni

Acadêmica: Hayeska Deitos de Lima

DATA: 27/11/2020 UNIDADE: ESCALA: 1/50 PRANCHA: 1/1

**APÊNDICE U - DIMENSIONAMENTO DO MODELO: M2 – C25C E M2 – C25E
COM ALTURA DE 32 CM**

Figura 34 – Dimensionamento: M2 – C25C e M2 – C25E com Altura de 32 cm

P1 - Pilar de Canto			
Verificação à Tensão Resistente de Compressão Diagonal do Concreto na Superfície Crítica C			
$\sigma_{sd} = 3,0268 \text{ Kgf/cm}^2$	$\sigma_{Rd2} = 43,39 \text{ Kgf/cm}^2$	$\sigma_{sd} = 3,5379 \text{ Kgf/cm}^2$	$\sigma_{Rd2} = 43,39 \text{ Kgf/cm}^2$
$\sigma_{sd} \leq \sigma_{Rd} - \text{OK}$		$\sigma_{sd} \leq \sigma_{Rd} - \text{OK}$	
Verificação à Tensão Resistente na Superfície Crítica C' sem armadura de punção			
$\sigma_{sd} = 0,3190 \text{ Kgf/cm}^2$	$\sigma_{Rd1} = 2,1643 \text{ Kgf/cm}^2$	$\sigma_{sd} = 0,4174 \text{ Kgf/cm}^2$	$\sigma_{Rd1} = 2,1643 \text{ Kgf/cm}^2$
$\sigma_{sd} \leq \sigma_{Rd1} - \text{OK}$		$\sigma_{sd} \leq \sigma_{Rd1} - \text{OK}$	
Verificação à Superfície Crítica em C''			
$\sigma_{sd} = 0,2675 \text{ Kgf/cm}^2$	$\sigma_{Rd1} = 2,1643 \text{ Kgf/cm}^2$	$\sigma_{sd} = 0,2164 \text{ Kgf/cm}^2$	$\sigma_{Rd1} = 2,1643 \text{ Kgf/cm}^2$
$\sigma_{sd} \leq \sigma_{Rd1} - \text{OK}$		$\sigma_{sd} \leq \sigma_{Rd1} - \text{OK}$	
P2 - Pilar de Borda			
Verificação à Tensão Resistente de Compressão Diagonal do Concreto na Superfície Crítica C			
$\sigma_{sd} = 2,0363 \text{ Kgf/cm}^2$	$\sigma_{Rd2} = 43,39 \text{ Kgf/cm}^2$	$\sigma_{sd} \leq \sigma_{Rd2} - \text{OK}$	
Verificação à Tensão Resistente na Superfície Crítica C' sem armadura de punção			
$\sigma_{sd} = 0,7962 \text{ Kgf/cm}^2$	$\sigma_{Rd1} = 2,1653 \text{ Kgf/cm}^2$	$\sigma_{sd} \leq \sigma_{Rd1} - \text{OK}$	
Verificação à Superfície Crítica em C''			
$\sigma_{sd} = 2,3340 \text{ Kgf/cm}^2$	$\sigma_{Rd1} = 2,1653 \text{ Kgf/cm}^2$	$\sigma_{sd} \leq \sigma_{Rd1} - \text{OK}$	
P3 - Pilar de Canto			
Verificação à Tensão Resistente de Compressão Diagonal do Concreto na Superfície Crítica C			
$\sigma_{sd} = 3,0390 \text{ Kgf/cm}^2$	$\sigma_{Rd2} = 43,39 \text{ Kgf/cm}^2$	$\sigma_{sd} = 3,0266 \text{ Kgf/cm}^2$	$\sigma_{Rd2} = 43,39 \text{ Kgf/cm}^2$
$\sigma_{sd} \leq \sigma_{Rd} - \text{OK}$		$\sigma_{sd} \leq \sigma_{Rd} - \text{OK}$	
Verificação à Tensão Resistente na Superfície Crítica C' sem armadura de punção			
$\sigma_{sd} = 0,3596 \text{ Kgf/cm}^2$	$\sigma_{Rd1} = 2,1067 \text{ Kgf/cm}^2$	$\sigma_{sd} = 0,3589 \text{ Kgf/cm}^2$	$\sigma_{Rd1} = 2,1067 \text{ Kgf/cm}^2$
$\sigma_{sd} \leq \sigma_{Rd1} - \text{OK}$		$\sigma_{sd} \leq \sigma_{Rd1} - \text{OK}$	
Verificação à Superfície Crítica em C''			
$\sigma_{sd} = 0,2643 \text{ Kgf/cm}^2$	$\sigma_{Rd1} = 2,1067 \text{ Kgf/cm}^2$	$\sigma_{sd} = 0,2640 \text{ Kgf/cm}^2$	$\sigma_{Rd1} = 2,1067 \text{ Kgf/cm}^2$
$\sigma_{sd} \leq \sigma_{Rd1} - \text{OK}$		$\sigma_{sd} \leq \sigma_{Rd1} - \text{OK}$	
P4- Pilar de Borda			
Verificação à Tensão Resistente de Compressão Diagonal do Concreto na Superfície Crítica C			
$\sigma_{sd} = 7,8121 \text{ Kgf/cm}^2$	$\sigma_{Rd2} = 43,39 \text{ Kgf/cm}^2$	$\sigma_{sd} \leq \sigma_{Rd2} - \text{OK}$	
Verificação à Tensão Resistente na Superfície Crítica C' sem armadura de punção			
$\sigma_{sd} = 3,8220 \text{ Kgf/cm}^2$	$\sigma_{Rd1} = 2,2004 \text{ Kgf/cm}^2$	$\sigma_{sd} \leq \sigma_{Rd1} - \text{Necessita de Armadura de Punção}$	
Verificação à Tensão Resistente na Superfície Crítica C' com armadura de punção			
Armadura para Conectores: $A_{sw} = 74,6538$		Armadura para Estribos: $A_{sw} = 126,6917$	
Nº de Barras: Ø 6.3 - 240 / Ø 8 - 149 / Ø 10 - 96		Nº de Barras: Ø 6.3 - 407 / Ø 8 - 252 / Ø 10 - 162	
Verificação à Superfície Crítica em C''			
$\sigma_{sd} = 0,4367 \text{ Kgf/cm}^2$	$\sigma_{Rd1} = 2,2004 \text{ Kgf/cm}^2$	$\sigma_{sd} \leq \sigma_{Rd1} - \text{OK}$	
P5 - Pilar Interno com Efeito de Momento			
Verificação à Tensão Resistente de Compressão Diagonal do Concreto na Superfície Crítica C			
$\sigma_{sd} = 8,8962 \text{ Kgf/cm}^2$	$\sigma_{Rd2} = 43,39 \text{ Kgf/cm}^2$	$\sigma_{sd} \leq \sigma_{Rd2} - \text{OK}$	
Verificação à Tensão Resistente na Superfície Crítica C' sem armadura de punção			
$\sigma_{sd} = 2,4300 \text{ Kgf/cm}^2$	$\sigma_{Rd1} = 2,3517 \text{ Kgf/cm}^2$	$\sigma_{sd} \leq \sigma_{Rd1} - \text{Necessita de Armadura de Punção}$	
Verificação à Tensão Resistente na Superfície Crítica C' com armadura de punção			
Armadura para Conectores: $A_{sw} = 49,3838$		Armadura para Estribos: $A_{sw} = 83,8071$	
Nº de Barras: Ø 6.3 - 159 / Ø 8 - 99 / Ø 10 - 63		Nº de Barras: Ø 6.3 - 269 / Ø 8 - 167 / Ø 10 - 107	
Verificação à Superfície Crítica em C''			
$\sigma_{sd} = 1,8522 \text{ Kgf/cm}^2$	$\sigma_{Rd1} = 2,3517 \text{ Kgf/cm}^2$	$\sigma_{sd} \leq \sigma_{Rd1} - \text{OK}$	
P6 - Pilar de Borda			
Verificação à Tensão Resistente de Compressão Diagonal do Concreto na Superfície Crítica C			
$\sigma_{sd} = 7,3900 \text{ Kgf/cm}^2$	$\sigma_{Rd2} = 43,39 \text{ Kgf/cm}^2$	$\sigma_{sd} \leq \sigma_{Rd2} - \text{OK}$	
Verificação à Tensão Resistente na Superfície Crítica C' sem armadura de punção			
$\sigma_{sd} = 4,3600 \text{ Kgf/cm}^2$	$\sigma_{Rd1} = 2,1866 \text{ Kgf/cm}^2$	$\sigma_{sd} \leq \sigma_{Rd1} - \text{Necessita de Armadura de Punção}$	
Verificação à Tensão Resistente na Superfície Crítica C' com armadura de punção			
Armadura para Conectores: $A_{sw} = 85,0563$		Armadura para Estribos: $A_{sw} = 144,3453$	
Nº de Barras: Ø 6.3 - 273 / Ø 8 - 170 / Ø 10 - 109		Nº de Barras: Ø 6.3 - 463 / Ø 8 - 287 / Ø 10 - 184	
Verificação à Superfície Crítica em C''			
$\sigma_{sd} = 0,6715 \text{ Kgf/cm}^2$	$\sigma_{Rd1} = 2,1866 \text{ Kgf/cm}^2$	$\sigma_{sd} \leq \sigma_{Rd1} - \text{OK}$	
P7 - Pilar de Canto			
Verificação à Tensão Resistente de Compressão Diagonal do Concreto na Superfície Crítica C			
$\sigma_{sd} = 3,0124 \text{ Kgf/cm}^2$	$\sigma_{Rd2} = 43,39 \text{ Kgf/cm}^2$	$\sigma_{sd} = 3,0165 \text{ Kgf/cm}^2$	$\sigma_{Rd2} = 43,39 \text{ Kgf/cm}^2$
$\sigma_{sd} \leq \sigma_{Rd} - \text{OK}$		$\sigma_{sd} \leq \sigma_{Rd} - \text{OK}$	
Verificação à Tensão Resistente na Superfície Crítica C' sem armadura de punção			
$\sigma_{sd} = 0,3203 \text{ Kgf/cm}^2$	$\sigma_{Rd1} = 2,1866 \text{ Kgf/cm}^2$	$\sigma_{sd} = 0,3204 \text{ Kgf/cm}^2$	$\sigma_{Rd1} = 2,1866 \text{ Kgf/cm}^2$
$\sigma_{sd} \leq \sigma_{Rd1} - \text{OK}$		$\sigma_{sd} \leq \sigma_{Rd1} - \text{OK}$	
Verificação à Superfície Crítica em C''			
$\sigma_{sd} = 0,2659 \text{ Kgf/cm}^2$	$\sigma_{Rd1} = 2,1866 \text{ Kgf/cm}^2$	$\sigma_{sd} = 0,2660 \text{ Kgf/cm}^2$	$\sigma_{Rd1} = 2,1866 \text{ Kgf/cm}^2$
$\sigma_{sd} \leq \sigma_{Rd1} - \text{OK}$		$\sigma_{sd} \leq \sigma_{Rd1} - \text{OK}$	
P8 - Pilar de Borda			
Verificação à Tensão Resistente de Compressão Diagonal do Concreto na Superfície Crítica C			
$\sigma_{sd} = 5,2527 \text{ Kgf/cm}^2$	$\sigma_{Rd2} = 43,39 \text{ Kgf/cm}^2$	$\sigma_{sd} \leq \sigma_{Rd2} - \text{OK}$	
Verificação à Tensão Resistente na Superfície Crítica C' sem armadura de punção			
$\sigma_{sd} = 0,7403 \text{ Kgf/cm}^2$	$\sigma_{Rd1} = 2,1904 \text{ Kgf/cm}^2$	$\sigma_{sd} \leq \sigma_{Rd1} - \text{OK}$	
Verificação à Superfície Crítica em C''			
$\sigma_{sd} = 0,6223 \text{ Kgf/cm}^2$	$\sigma_{Rd1} = 2,1904 \text{ Kgf/cm}^2$	$\sigma_{sd} \leq \sigma_{Rd1} - \text{OK}$	
P9 - Pilar de Canto			
Verificação à Tensão Resistente de Compressão Diagonal do Concreto na Superfície Crítica C			
$\sigma_{sd} = 3,0539 \text{ Kgf/cm}^2$	$\sigma_{Rd2} = 43,39 \text{ Kgf/cm}^2$	$\sigma_{sd} = 3,6629 \text{ Kgf/cm}^2$	$\sigma_{Rd2} = 43,39 \text{ Kgf/cm}^2$
$\sigma_{sd} \leq \sigma_{Rd} - \text{OK}$		$\sigma_{sd} \leq \sigma_{Rd} - \text{OK}$	
Verificação à Tensão Resistente na Superfície Crítica C' sem armadura de punção			
$\sigma_{sd} = 0,3227 \text{ Kgf/cm}^2$	$\sigma_{Rd1} = 2,1866 \text{ Kgf/cm}^2$	$\sigma_{sd} = 0,3599 \text{ Kgf/cm}^2$	$\sigma_{Rd1} = 2,1866 \text{ Kgf/cm}^2$
$\sigma_{sd} \leq \sigma_{Rd1} - \text{OK}$		$\sigma_{sd} \leq \sigma_{Rd1} - \text{OK}$	
Verificação à Superfície Crítica em C''			
$\sigma_{sd} = 0,2678 \text{ Kgf/cm}^2$	$\sigma_{Rd1} = 2,1866 \text{ Kgf/cm}^2$	$\sigma_{sd} = 0,3599 \text{ Kgf/cm}^2$	$\sigma_{Rd1} = 2,1866 \text{ Kgf/cm}^2$
$\sigma_{sd} \leq \sigma_{Rd1} - \text{OK}$		$\sigma_{sd} \leq \sigma_{Rd1} - \text{OK}$	

Fonte: Autora (2020).

**APÊNDICE V - DIMENSIONAMENTO DO MODELO: M2 – C40C E M2 – C40E
COM ALTURA DE 32 CM**

Figura 35 - Dimensionamento: M2 – C40C e M2 – C40E com Altura de 32 cm

P1 - Pilar de Canto			
Verificação à Tensão Resistente de Compressão Diagonal do Concreto na Superfície Crítica C			
$\sigma_{sd} = 2,9899 \text{ Kgf/cm}^2$	$\sigma_{Rd2} = 64,80 \text{ Kgf/cm}^2$	$\sigma_{sd} = 2,9899 \text{ Kgf/cm}^2$	$\sigma_{Rd2} = 64,80 \text{ Kgf/cm}^2$
$\sigma_{sd} \leq \sigma_{Rd} - \text{OK}$		$\sigma_{sd} \leq \sigma_{Rd} - \text{OK}$	
Verificação à Tensão Resistente na Superfície Crítica C' sem armadura de punção			
$\sigma_{sd} = 0,3180 \text{ Kgf/cm}^2$	$\sigma_{Rd1} = 2,3109 \text{ Kgf/cm}^2$	$\sigma_{sd} = 0,3180 \text{ Kgf/cm}^2$	$\sigma_{Rd1} = 2,3109 \text{ Kgf/cm}^2$
$\sigma_{sd} \leq \sigma_{Rd1} - \text{OK}$		$\sigma_{sd} \leq \sigma_{Rd1} - \text{OK}$	
Verificação à Superfície Crítica em C''			
$\sigma_{sd} = 0,2668 \text{ Kgf/cm}^2$	$\sigma_{Rd1} = 2,3109 \text{ Kgf/cm}^2$	$\sigma_{sd} = 0,2668 \text{ Kgf/cm}^2$	$\sigma_{Rd1} = 2,3109 \text{ Kgf/cm}^2$
$\sigma_{sd} \leq \sigma_{Rd1} - \text{OK}$		$\sigma_{sd} \leq \sigma_{Rd1} - \text{OK}$	
P2 - Pilar de Borda			
Verificação à Tensão Resistente de Compressão Diagonal do Concreto na Superfície Crítica C			
$\sigma_{sd} = 4,1815 \text{ Kgf/cm}^2$	$\sigma_{Rd2} = 64,80 \text{ Kgf/cm}^2$	$\sigma_{sd} \leq \sigma_{Rd2} - \text{OK}$	
Verificação à Tensão Resistente na Superfície Crítica C' sem armadura de punção			
$\sigma_{sd} = 0,7970 \text{ Kgf/cm}^2$	$\sigma_{Rd1} = 2,3120 \text{ Kgf/cm}^2$	$\sigma_{sd} \leq \sigma_{Rd1} - \text{OK}$	
Verificação à Superfície Crítica em C''			
$\sigma_{sd} = 0,6538 \text{ Kgf/cm}^2$	$\sigma_{Rd1} = 2,3120 \text{ Kgf/cm}^2$	$\sigma_{sd} \leq \sigma_{Rd1} - \text{OK}$	
P3 - Pilar de Canto			
Verificação à Tensão Resistente de Compressão Diagonal do Concreto na Superfície Crítica C			
$\sigma_{sd} = 3,0390 \text{ Kgf/cm}^2$	$\sigma_{Rd2} = 64,80 \text{ Kgf/cm}^2$	$\sigma_{sd} = 3,0266 \text{ Kgf/cm}^2$	$\sigma_{Rd2} = 64,80 \text{ Kgf/cm}^2$
$\sigma_{sd} \leq \sigma_{Rd} - \text{OK}$		$\sigma_{sd} \leq \sigma_{Rd} - \text{OK}$	
Verificação à Tensão Resistente na Superfície Crítica C' sem armadura de punção			
$\sigma_{sd} = 0,3596 \text{ Kgf/cm}^2$	$\sigma_{Rd1} = 2,2446 \text{ Kgf/cm}^2$	$\sigma_{sd} = 0,8539 \text{ Kgf/cm}^2$	$\sigma_{Rd1} = 2,2446 \text{ Kgf/cm}^2$
$\sigma_{sd} \leq \sigma_{Rd1} - \text{OK}$		$\sigma_{sd} \leq \sigma_{Rd1} - \text{OK}$	
Verificação à Superfície Crítica em C''			
$\sigma_{sd} = 0,2643 \text{ Kgf/cm}^2$	$\sigma_{Rd1} = 2,2446 \text{ Kgf/cm}^2$	$\sigma_{sd} = 0,2640 \text{ Kgf/cm}^2$	$\sigma_{Rd1} = 2,2446 \text{ Kgf/cm}^2$
$\sigma_{sd} \leq \sigma_{Rd1} - \text{OK}$		$\sigma_{sd} \leq \sigma_{Rd1} - \text{OK}$	
P4- Pilar de Borda			
Verificação à Tensão Resistente de Compressão Diagonal do Concreto na Superfície Crítica C			
$\sigma_{sd} = 7,0739 \text{ Kgf/cm}^2$	$\sigma_{Rd2} = 64,80 \text{ Kgf/cm}^2$	$\sigma_{sd} \leq \sigma_{Rd2} - \text{OK}$	
Verificação à Tensão Resistente na Superfície Crítica C' sem armadura de punção			
$\sigma_{sd} = 3,1220 \text{ Kgf/cm}^2$	$\sigma_{Rd1} = 2,3531 \text{ Kgf/cm}^2$	$\sigma_{sd} \leq \sigma_{Rd1} - \text{Necessita de Armadura de Punção}$	
Verificação à Tensão Resistente na Superfície Crítica C' com armadura de punção			
Armadura para Conectores: $A_{sw} = 59,6025$		Armadura para Estribos: $A_{sw} = 101,1488$	
Nº de Barras: Ø 6.3 - 192 / Ø 8 - 119 / Ø 10 - 76		Nº de Barras: Ø 6.3 - 325 / Ø 8 - 202 / Ø 10 - 129	
Verificação à Superfície Crítica em C''			
$\sigma_{sd} = 0,6622 \text{ Kgf/cm}^2$	$\sigma_{Rd1} = 2,3531 \text{ Kgf/cm}^2$	$\sigma_{sd} \leq \sigma_{Rd1} - \text{OK}$	
P5 - Pilar Interno com Efeito de Momento			
Verificação à Tensão Resistente de Compressão Diagonal do Concreto na Superfície Crítica C			
$\sigma_{sd} = 8,8964 \text{ Kgf/cm}^2$	$\sigma_{Rd2} = 64,80 \text{ Kgf/cm}^2$	$\sigma_{sd} \leq \sigma_{Rd2} - \text{OK}$	
Verificação à Tensão Resistente na Superfície Crítica C' sem armadura de punção			
$\sigma_{sd} = 2,4300 \text{ Kgf/cm}^2$	$\sigma_{Rd1} = 2,5300 \text{ Kgf/cm}^2$	$\sigma_{sd} \leq \sigma_{Rd1} - \text{OK}$	
Verificação à Superfície Crítica em C''			
$\sigma_{sd} = 1,8530 \text{ Kgf/cm}^2$	$\sigma_{Rd1} = 2,5300 \text{ Kgf/cm}^2$	$\sigma_{sd} \leq \sigma_{Rd1} - \text{OK}$	
P6 - Pilar de Borda			
Verificação à Tensão Resistente de Compressão Diagonal do Concreto na Superfície Crítica C			
$\sigma_{sd} = 7,3858 \text{ Kgf/cm}^2$	$\sigma_{Rd2} = 64,80 \text{ Kgf/cm}^2$	$\sigma_{sd} \leq \sigma_{Rd2} - \text{OK}$	
Verificação à Tensão Resistente na Superfície Crítica C' sem armadura de punção			
$\sigma_{sd} = 4,3601 \text{ Kgf/cm}^2$	$\sigma_{Rd1} = 2,3370 \text{ Kgf/cm}^2$	$\sigma_{sd} \leq \sigma_{Rd1} - \text{Necessita de Armadura de Punção}$	
Verificação à Tensão Resistente na Superfície Crítica C' com armadura de punção			
Armadura para Conectores: $A_{sw} = 84,4113$		Armadura para Estribos: $A_{sw} = 143,2507$	
Nº de Barras: Ø 6.3 - 271 / Ø 8 - 168 / Ø 10 - 108		Nº de Barras: Ø 6.3 - 460 / Ø 8 - 285 / Ø 10 - 183	
Verificação à Superfície Crítica em C''			
$\sigma_{sd} = 0,6714 \text{ Kgf/cm}^2$	$\sigma_{Rd1} = 2,3370 \text{ Kgf/cm}^2$	$\sigma_{sd} \leq \sigma_{Rd1} - \text{OK}$	
P7 - Pilar de Canto			
Verificação à Tensão Resistente de Compressão Diagonal do Concreto na Superfície Crítica C			
$\sigma_{sd} = 3,0383 \text{ Kgf/cm}^2$	$\sigma_{Rd2} = 64,80 \text{ Kgf/cm}^2$	$\sigma_{sd} = 3,0342 \text{ Kgf/cm}^2$	$\sigma_{Rd2} = 64,80 \text{ Kgf/cm}^2$
$\sigma_{sd} \leq \sigma_{Rd} - \text{OK}$		$\sigma_{sd} \leq \sigma_{Rd} - \text{OK}$	
Verificação à Tensão Resistente na Superfície Crítica C' sem armadura de punção			
$\sigma_{sd} = 0,3273 \text{ Kgf/cm}^2$	$\sigma_{Rd1} = 2,3370 \text{ Kgf/cm}^2$	$\sigma_{sd} = 0,3271 \text{ Kgf/cm}^2$	$\sigma_{Rd1} = 2,3370 \text{ Kgf/cm}^2$
$\sigma_{sd} \leq \sigma_{Rd1} - \text{OK}$		$\sigma_{sd} \leq \sigma_{Rd1} - \text{OK}$	
Verificação à Superfície Crítica em C''			
$\sigma_{sd} = 0,2718 \text{ Kgf/cm}^2$	$\sigma_{Rd1} = 2,3370 \text{ Kgf/cm}^2$	$\sigma_{sd} = 0,2718 \text{ Kgf/cm}^2$	$\sigma_{Rd1} = 2,3370 \text{ Kgf/cm}^2$
$\sigma_{sd} \leq \sigma_{Rd1} - \text{OK}$		$\sigma_{sd} \leq \sigma_{Rd1} - \text{OK}$	
P8 - Pilar de Borda			
Verificação à Tensão Resistente de Compressão Diagonal do Concreto na Superfície Crítica C			
$\sigma_{sd} = 7,0976 \text{ Kgf/cm}^2$	$\sigma_{Rd2} = 64,80 \text{ Kgf/cm}^2$	$\sigma_{sd} \leq \sigma_{Rd2} - \text{OK}$	
Verificação à Tensão Resistente na Superfície Crítica C' sem armadura de punção			
$\sigma_{sd} = 0,7920 \text{ Kgf/cm}^2$	$\sigma_{Rd1} = 2,3415 \text{ Kgf/cm}^2$	$\sigma_{sd} \leq \sigma_{Rd1} - \text{OK}$	
Verificação à Superfície Crítica em C''			
$\sigma_{sd} = 0,6594 \text{ Kgf/cm}^2$	$\sigma_{Rd1} = 2,3415 \text{ Kgf/cm}^2$	$\sigma_{sd} \leq \sigma_{Rd1} - \text{OK}$	
P9 - Pilar de Canto			
Verificação à Tensão Resistente de Compressão Diagonal do Concreto na Superfície Crítica C			
$\sigma_{sd} = 3,0373 \text{ Kgf/cm}^2$	$\sigma_{Rd2} = 64,80 \text{ Kgf/cm}^2$	$\sigma_{sd} = 3,0165 \text{ Kgf/cm}^2$	$\sigma_{Rd2} = 64,80 \text{ Kgf/cm}^2$
$\sigma_{sd} \leq \sigma_{Rd} - \text{OK}$		$\sigma_{sd} \leq \sigma_{Rd} - \text{OK}$	
Verificação à Tensão Resistente na Superfície Crítica C' sem armadura de punção			
$\sigma_{sd} = 0,3222 \text{ Kgf/cm}^2$	$\sigma_{Rd1} = 2,3370 \text{ Kgf/cm}^2$	$\sigma_{sd} = 0,3216 \text{ Kgf/cm}^2$	$\sigma_{Rd1} = 2,3370 \text{ Kgf/cm}^2$
$\sigma_{sd} \leq \sigma_{Rd1} - \text{OK}$		$\sigma_{sd} \leq \sigma_{Rd1} - \text{OK}$	
Verificação à Superfície Crítica em C''			
$\sigma_{sd} = 0,2675 \text{ Kgf/cm}^2$	$\sigma_{Rd1} = 2,3370 \text{ Kgf/cm}^2$	$\sigma_{sd} = 0,2670 \text{ Kgf/cm}^2$	$\sigma_{Rd1} = 2,3370 \text{ Kgf/cm}^2$
$\sigma_{sd} \leq \sigma_{Rd1} - \text{OK}$		$\sigma_{sd} \leq \sigma_{Rd1} - \text{OK}$	

Fonte: Autora (2020).

**APÊNDICE W - DIMENSIONAMENTO DO MODELO: M2 – C25C E M2 – C25E
COM ALTURA DE 40 CM**

Figura 36 - Dimensionamento: M2 – C25C e M2 – C25E com Altura de 40 cm

P1 - Pilar de Canto			
Verificação à Tensão Resistente de Compressão Diagonal do Concreto na Superfície Crítica C			
$\sigma_{sd} = 2,2375 \text{ Kgf/cm}^2$	$\sigma_{Rd2} = 43,39 \text{ Kgf/cm}^2$	$\sigma_{sd} = 1,6814 \text{ Kgf/cm}^2$	$\sigma_{Rd2} = 43,39 \text{ Kgf/cm}^2$
$\sigma_{sd} \leq \sigma_{Rd} - \text{OK}$		$\sigma_{sd} \leq \sigma_{Rd} - \text{OK}$	
Verificação à Tensão Resistente na Superfície Crítica C' sem armadura de punção			
$\sigma_{sd} = 0,2167 \text{Kgf/cm}^2$	$\sigma_{Rd1} = 1,9613 \text{ Kgf/cm}^2$	$\sigma_{sd} = 0,2062 \text{ Kgf/cm}^2$	$\sigma_{Rd1} = 1,9613 \text{ Kgf/cm}^2$
$\sigma_{sd} \leq \sigma_{Rd1} - \text{OK}$		$\sigma_{sd} \leq \sigma_{Rd1} - \text{OK}$	
Verificação à Superfície Crítica em C''			
$\sigma_{sd} = 0,1884 \text{ Kgf/cm}^2$	$\sigma_{Rd1} = 1,9613 \text{ Kgf/cm}^2$	$\sigma_{sd} = 0,1803 \text{ Kgf/cm}^2$	$\sigma_{Rd1} = 1,9613 \text{ Kgf/cm}^2$
$\sigma_{sd} \leq \sigma_{Rd1} - \text{OK}$		$\sigma_{sd} \leq \sigma_{Rd1} - \text{OK}$	
P2 - Pilar de Borda			
Verificação à Tensão Resistente de Compressão Diagonal do Concreto na Superfície Crítica C			
$\sigma_{sd} = 2,0993 \text{ Kgf/cm}^2$	$\sigma_{Rd2} = 43,39 \text{ Kgf/cm}^2$	$\sigma_{sd} \leq \sigma_{Rd2} - \text{OK}$	
Verificação à Tensão Resistente na Superfície Crítica C' sem armadura de punção			
$\sigma_{sd} = 1,9800 \text{ Kgf/cm}^2$	$\sigma_{Rd1} = 1,9625 \text{ Kgf/cm}^2$	$\sigma_{sd} \leq \sigma_{Rd1} - \text{Necessita de Armadura de Punção}$	
Verificação à Tensão Resistente na Superfície Crítica C' com armadura de punção			
Armadura para Conectores: $A_{sw} = 45,5583$ Nº de Barras: Ø 6.3 - 147 / Ø 8 - 91 / Ø 10 - 59		Armadura para Estribos: $A_{sw} = 77,3151$ Nº de Barras: Ø 6.3 - 248 / Ø 8 - 154 / Ø 10 - 99	
Verificação à Superfície Crítica em C''			
$\sigma_{sd} = 0,4969 \text{ Kgf/cm}^2$	$\sigma_{Rd1} = 1,9625 \text{ Kgf/cm}^2$	$\sigma_{sd} \leq \sigma_{Rd1} - \text{OK}$	
P3 - Pilar de Canto			
Verificação à Tensão Resistente de Compressão Diagonal do Concreto na Superfície Crítica C			
$\sigma_{sd} = 2,4845 \text{ Kgf/cm}^2$	$\sigma_{Rd2} = 43,39 \text{ Kgf/cm}^2$	$\sigma_{sd} = 3,0266 \text{ Kgf/cm}^2$	$\sigma_{Rd2} = 43,39 \text{ Kgf/cm}^2$
$\sigma_{sd} \leq \sigma_{Rd} - \text{OK}$		$\sigma_{sd} \leq \sigma_{Rd} - \text{OK}$	
Verificação à Tensão Resistente na Superfície Crítica C' sem armadura de punção			
$\sigma_{sd} = 0,2482 \text{ Kgf/cm}^2$	$\sigma_{Rd1} = 1,9194 \text{Kgf/cm}^2$	$\sigma_{sd} = 0,3589 \text{Kgf/cm}^2$	$\sigma_{Rd1} = 1,9194 \text{Kgf/cm}^2$
$\sigma_{sd} \leq \sigma_{Rd1} - \text{OK}$		$\sigma_{sd} \leq \sigma_{Rd1} - \text{OK}$	
Verificação à Superfície Crítica em C''			
$\sigma_{sd} = 0,1966 \text{ Kgf/cm}^2$	$\sigma_{Rd1} = 1,9194 \text{Kgf/cm}^2$	$\sigma_{sd} = 0,2640 \text{ Kgf/cm}^2$	$\sigma_{Rd1} = 1,9194 \text{Kgf/cm}^2$
$\sigma_{sd} \leq \sigma_{Rd1} - \text{OK}$		$\sigma_{sd} \leq \sigma_{Rd1} - \text{OK}$	
P4- Pilar de Borda			
Verificação à Tensão Resistente de Compressão Diagonal do Concreto na Superfície Crítica C			
$\sigma_{sd} = 5,5000 \text{ Kgf/cm}^2$	$\sigma_{Rd2} = 43,39 \text{ Kgf/cm}^2$	$\sigma_{sd} \leq \sigma_{Rd2} - \text{OK}$	
Verificação à Tensão Resistente na Superfície Crítica C' sem armadura de punção			
$\sigma_{sd} = 2 \text{ Kgf/cm}^2$	$\sigma_{Rd1} = 1,9905 \text{Kgf/cm}^2$	$\sigma_{sd} \leq \sigma_{Rd1} - \text{Necessita de Armadura de Punção}$	
Verificação à Tensão Resistente na Superfície Crítica C' com armadura de punção			
Armadura para Conectores: $A_{sw} = 46,1108$ Nº de Barras: Ø 6.3 - 148 / Ø 8 - 92 / Ø 10 - 58		Armadura para Estribos: $A_{sw} = 78,2563$ Nº de Barras: Ø 6.3 - 251 / Ø 8 - 156 / Ø 10 - 100	
Verificação à Superfície Crítica em C''			
$\sigma_{sd} = 0,2786 \text{ Kgf/cm}^2$	$\sigma_{Rd1} = 1,9905 \text{Kgf/cm}^2$	$\sigma_{sd} \leq \sigma_{Rd1} - \text{OK}$	
P5 - Pilar Interno com Efeito de Momento			
Verificação à Tensão Resistente de Compressão Diagonal do Concreto na Superfície Crítica C			
$\sigma_{sd} = 8,1881 \text{ Kgf/cm}^2$	$\sigma_{Rd2} = 43,39 \text{ Kgf/cm}^2$	$\sigma_{sd} \leq \sigma_{Rd2} - \text{OK}$	
Verificação à Tensão Resistente na Superfície Crítica C' sem armadura de punção			
$\sigma_{sd} = 0,2741 \text{ Kgf/cm}^2$	$\sigma_{Rd1} = 2,1051 \text{ Kgf/cm}^2$	$\sigma_{sd} \leq \sigma_{Rd1} - \text{Necessita de Armadura de Punção}$	
Verificação à Tensão Resistente na Superfície Crítica C' com armadura de punção			
Armadura para Conectores: $A_{sw} = 2,4332$ Nº de Barras: Ø 6.3 - 8 / Ø 8 - 5 / Ø 10 - 4		Armadura para Estribos: $A_{sw} = 4,1294$ Nº de Barras: Ø 6.3 - 14 / Ø 8 - 9 / Ø 10 - 6	
Verificação à Superfície Crítica em C''			
$\sigma_{sd} = 1,4504 \text{ Kgf/cm}^2$	$\sigma_{Rd1} = 2,1051 \text{ Kgf/cm}^2$	$\sigma_{sd} \leq \sigma_{Rd1} - \text{OK}$	
P6 - Pilar de Borda			
Verificação à Tensão Resistente de Compressão Diagonal do Concreto na Superfície Crítica C			
$\sigma_{sd} = 6,4204 \text{ Kgf/cm}^2$	$\sigma_{Rd2} = 43,39 \text{ Kgf/cm}^2$	$\sigma_{sd} \leq \sigma_{Rd2} - \text{OK}$	
Verificação à Tensão Resistente na Superfície Crítica C' sem armadura de punção			
$\sigma_{sd} = 0,2969 \text{ Kgf/cm}^2$	$\sigma_{Rd1} = 1,9779 \text{ Kgf/cm}^2$	$\sigma_{sd} \leq \sigma_{Rd1} - \text{OK}$	
Verificação à Superfície Crítica em C''			
$\sigma_{sd} = 0,5072 \text{ Kgf/cm}^2$	$\sigma_{Rd1} = 1,9779 \text{ Kgf/cm}^2$	$\sigma_{sd} \leq \sigma_{Rd1} - \text{OK}$	
P7 - Pilar de Canto			
Verificação à Tensão Resistente de Compressão Diagonal do Concreto na Superfície Crítica C			
$\sigma_{sd} = 2,1647 \text{ Kgf/cm}^2$	$\sigma_{Rd2} = 43,39 \text{ Kgf/cm}^2$	$\sigma_{sd} = 3,0165 \text{ Kgf/cm}^2$	$\sigma_{Rd2} = 43,39 \text{ Kgf/cm}^2$
$\sigma_{sd} \leq \sigma_{Rd} - \text{OK}$		$\sigma_{sd} \leq \sigma_{Rd} - \text{OK}$	
Verificação à Tensão Resistente na Superfície Crítica C' sem armadura de punção			
$\sigma_{sd} = 0,2083 \text{ Kgf/cm}^2$	$\sigma_{Rd1} = 1,9779 \text{ Kgf/cm}^2$	$\sigma_{sd} = 0,3204 \text{ Kgf/cm}^2$	$\sigma_{Rd1} = 1,9779 \text{ Kgf/cm}^2$
$\sigma_{sd} \leq \sigma_{Rd1} - \text{OK}$		$\sigma_{sd} \leq \sigma_{Rd1} - \text{OK}$	
Verificação à Superfície Crítica em C''			
$\sigma_{sd} = 0,2718 \text{ Kgf/cm}^2$	$\sigma_{Rd1} = 1,9779 \text{ Kgf/cm}^2$	$\sigma_{sd} = 0,2660 \text{Kgf/cm}^2$	$\sigma_{Rd1} = 1,9779 \text{ Kgf/cm}^2$
$\sigma_{sd} \leq \sigma_{Rd1} - \text{OK}$		$\sigma_{sd} \leq \sigma_{Rd1} - \text{OK}$	
P8 - Pilar de Borda			
Verificação à Tensão Resistente de Compressão Diagonal do Concreto na Superfície Crítica C			
$\sigma_{sd} = 5,5290 \text{ Kgf/cm}^2$	$\sigma_{Rd2} = 43,39 \text{ Kgf/cm}^2$	$\sigma_{sd} \leq \sigma_{Rd2} - \text{OK}$	
Verificação à Tensão Resistente na Superfície Crítica C' sem armadura de punção			
$\sigma_{sd} = 0,5519 \text{ Kgf/cm}^2$	$\sigma_{Rd1} = 1,9814 \text{Kgf/cm}^2$	$\sigma_{sd} \leq \sigma_{Rd1} - \text{OK}$	
Verificação à Superfície Crítica em C''			
$\sigma_{sd} = 0,4764 \text{ Kgf/cm}^2$	$\sigma_{Rd1} = 1,9814 \text{Kgf/cm}^2$	$\sigma_{sd} \leq \sigma_{Rd1} - \text{OK}$	
P9 - Pilar de Canto			
Verificação à Tensão Resistente de Compressão Diagonal do Concreto na Superfície Crítica C			
$\sigma_{sd} = 2,4270 \text{ Kgf/cm}^2$	$\sigma_{Rd2} = 43,39 \text{ Kgf/cm}^2$	$\sigma_{sd} = 2,2336 \text{ Kgf/cm}^2$	$\sigma_{Rd2} = 43,39 \text{ Kgf/cm}^2$
$\sigma_{sd} \leq \sigma_{Rd} - \text{OK}$		$\sigma_{sd} \leq \sigma_{Rd} - \text{OK}$	
Verificação à Tensão Resistente na Superfície Crítica C' sem armadura de punção			
$\sigma_{sd} = 0,2219 \text{ Kgf/cm}^2$	$\sigma_{Rd1} = 1,9779 \text{ Kgf/cm}^2$	$\sigma_{sd} = 0,2181 \text{ Kgf/cm}^2$	$\sigma_{Rd1} = 1,9779 \text{ Kgf/cm}^2$
$\sigma_{sd} \leq \sigma_{Rd1} - \text{OK}$		$\sigma_{sd} \leq \sigma_{Rd1} - \text{OK}$	
Verificação à Superfície Crítica em C''			
$\sigma_{sd} = 0,1909 \text{ Kgf/cm}^2$	$\sigma_{Rd1} = 1,9779 \text{ Kgf/cm}^2$	$\sigma_{sd} = 0,1881 \text{Kgf/cm}^2$	$\sigma_{Rd1} = 1,9779 \text{ Kgf/cm}^2$
$\sigma_{sd} \leq \sigma_{Rd1} - \text{OK}$		$\sigma_{sd} \leq \sigma_{Rd1} - \text{OK}$	

Fonte: Autora (2020).

**APÊNDICE X - DIMENSIONAMENTO DO MODELO: M2 – C40C E M2 – C40E
COM ALTURA DE 40 CM**

Fonte: Autora (2020).