



CENTRO UNIVERSITÁRIO UNIVATES
CURSO DE ENGENHARIA CIVIL

**ESTUDO DO ESPAÇAMENTO DO ESCORAMENTO
REMANESCENTE EM LAJES DE CONCRETO ARMADO QUE
PROVOQUEM AÇÕES DE CONSTRUÇÃO COMPATÍVEIS COM AS
DE PROJETO**

Diogo Fernando Dickel

Lajeado, novembro de 2014

Diogo Fernando Dickel

**ESTUDO DO ESPAÇAMENTO DO ESCORAMENTO
REMANESCENTE EM LAJES DE CONCRETO ARMADO QUE
PROVOQUEM AÇÕES DE CONSTRUÇÃO COMPATÍVEIS COM AS
DE PROJETO**

Monografia apresentada na disciplina de Trabalho de Conclusão de Curso I, do curso de Engenharia Civil, do Centro Universitário UNIVATES, como parte da exigência para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Civil.

Orientador: Prof. Dr. Paulo Fernando Salvador

Lajeado, novembro de 2014

Diogo Fernando Dickel

**ESTUDO ESPAÇAMENTO DO ESCORAMENTO
REMANESCENTE EM LAJES DE CONCRETO ARMADO QUE
PROVOQUEM AÇÕES DE CONSTRUÇÃO COMPATÍVEIS COM AS
DE PROJETO**

A Banca examinadora abaixo aprova a Monografia apresentada na disciplina de Trabalho de Conclusão de Curso II, na linha de formação específica em Engenharia Civil, do Centro Universitário UNIVATES, como parte da exigência para a obtenção do grau de Bacharel em Engenharia Civil:

Prof. Dr. Paulo F. Salvador – Orientador
Centro Universitário UNIVATES

Prof. Esp. Rodrigo Bertoldi
Centro Universitário UNIVATES

Prof. Ms. Débora Delai Vanin
Centro Universitário UNIVATES

Lajeado, novembro de 2014



Dedico este trabalho aos meus avós Claudino, Celita, Arminda (*in memoriam*) e Anito (*in memoriam*), pais Gilmar e Marli, irmão Maicon, amigos e à minha noiva Monica.



Agradeço ao professor orientador Paulo Fernando Salvador, pelo apoio e tempo dedicado na elaboração deste estudo.

RESUMO

Com o avanço dos recursos computacionais aplicados à análise de estruturas de concreto armado, têm-se modelos cada vez mais sofisticados, que buscam retratar a realidade dos processos executivos dessas estruturas. Assim também o avanço das técnicas construtivas tem propiciado uma redução dos ciclos de execução. No entanto, a execução das estruturas de concreto em ciclos rápidos implica em maiores solicitações que devem ser consideradas no projeto das estruturas ou nos procedimentos executivos. Sendo a movimentação ou remoção de apoios (escoramento e escoramento remanescente), uma das práticas adotadas para acelerar a execução, implicando em ações construtivas, este trabalho objetiva analisar diferentes geometrias e vinculações de lajes maciças de concreto armado, que recebem carregamentos uniformemente distribuídos e concentrados, oriundos de pontaletes, e determinar o espaçamento entre escoras remanescentes, compatíveis com as cargas de projeto. Para tanto, foi utilizado um software de uso comercial, como ferramenta de análise, calculando as solicitações das lajes maciças por analogia de grelhas no regime elástico linear, primeiramente para cargas de projeto, foi realizado o dimensionamento, transformadas as taxas de armadura em taxas efetivas, e em seguida verificado o momento máximo suportado para cargas de construção. Na segunda etapa foram calculadas as solicitações para cargas de construção, acrescidos os valores de carga concentradas, oriundas dos pontaletes. Percebeu-se que para lajes com dimensões pequenas, com um adequado espaçamento entre escoras, as considerações de projeto ficam adequadas, e para lajes com dimensões maiores, não atendendo ao afastamento mínimo entre escoras, fixado em 0,5m, realizou-se um estudo direcionado para recomendações de projeto, ampliando as combinações de ações com cargas de execução para cada situação.

Palavras-Chave: Ações construtivas. Escoramentos. Lajes maciças.

ABSTRACT

With the advance of computing resources applied to the reinforced concrete structural analyses, we have constantly more sophisticated models, that seek to picture reality of the structures executive processes. The constructive technique advance has propitiated reduction on execution cycles. However, the concrete structures execution in fast cycles implies on higher requests, which should be considered on the structural projects or on executive procedure. Once moving or removing supports (shoring) is a common way to accelerate execution, implying on constructive actions, this work's goal is to analyze different geometries and bindings of massive reinforced concrete slab, which receives uniformed and concentrated loads, coming from shoring, and determinate the correct space between remaining timbering, compatible with project loads. To this end, there was utilized a commercial use software, as analyze tool, calculating the requests by analogy of grids in the linear elastic regime. To the project loads, it was realized the sizing, transforming reinforcement ratios in effectives ratios, and then verifying the maximum moment supported from construction loads. On the second stage there were calculated the requests for the construction loads, adding values to concentrated loads, from the shoring. It was noticed that small dimensions slabs, with in an appropriated spacing between timbering, the projects considerations were proper, and to larger dimensions slabs, which do not attend the minimum distance between timbering, fixed in 0,5m, it was realized an study directed to project recommendations, expanding the combinations of actions with execution loads for each situations.

Key words: Constructive actions. Shoring. Massive slab.

LISTAS DE ILUSTRAÇÕES

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Cinco primeiros eventos do estudo de Grundy e Kabaila (1963)	29
Figura 2- Domínios de estado-limite último de uma seção transversal	34
Figura 3 - Geometria dos elementos estruturais do pavimento tipo analisados por Salvador (2013).....	35
Figura 4 - Laje 309 estudada por Salvador (2013).....	36
Figura 5 - Escoramento remanescente L329	37
Figura 6 - Estudo dos fatores de carga resultantes interpretado por Salvador (2013)	42
Figura 7 - Modelo de lançamento laje 2x4 com dois bordos “a” opostos engastados - Projeto.....	49
Figura 8 - Detalhe A-1	49
Figura 9 - Visualização da grelha laje 2x4 com dois bordos "a" engastados e demais apoiados.....	50
Figura 10 - Detalhe A-2	51
Figura 11 - Diagrama de momento fletor vertical laje 2x4 - Projeto.....	51
Figura 12 -Detalhe A-3	52
Figura 13 - Diagrama de momento fletor horizontal laje 2x4 - Projeto	52
Figura 14 - Detalhe A-4	53
Figura 17 - Modelo de lançamento laje 2x4 com dois bordos “a” opostos engastados - Construção.....	54
Figura 18 - Detalhe A-6	54
Figura 19 - Visualização da grelha laje 2x4 com dois bordos "a" engastados e demais apoiados	55

Figura 20 - Detalhe A-7	55
Figura 21 - Diagrama de momento fletor horizontal laje 2x4 - Construção	56
Figura 22 - Detalhe A-8	56
Figura 23 - Diagrama de momento fletor vertical laje 2x4 - Construção.....	56
Figura 24 - Detalhe A-9	57
Figura 25 - Visualização dos carregamentos na laje - Construção	57
Figura 26 - Detalhe A-10	58
Figura 27 - Detalhe B-1	58
Figura 28 - Planilha eletrônica para cálculo das áreas de armadura.....	60
Figura 29 - Planilha eletrônica para cálculo do momento máximo que poderia ser suportado	62
Figura 30 - lançamento da estrutura com novos carregamentos	63
Figura 31 - Geometrias e vinculações testadas	65
Figura 32 - Modelo de distribuição de escoramento remanescente para laje 2x2.....	66
Figura 33 - Modelo de distribuição de escoramento remanescente para laje 2x3.....	67
Figura 34 - Modelo de distribuição de escoramento remanescente para laje 2x4.....	68
Figura 35 - Modelo de distribuição de escoramento remanescente para laje 3x3.....	69
Figura 36 - Modelo de distribuição de escoramento remanescente para laje 3x4,5..	70
Figura 37 - Modelo de distribuição de escoramento remanescente para laje 3x6.....	71
Figura 38 - Modelo de distribuição de escoramento remanescente para laje 4x4.....	72
Figura 39 - Modelo de distribuição de escoramento remanescente para laje 4x6.....	73
Figura 40 - Modelo de distribuição de escoramento remanescente para laje 4x8-1 .	74
Figura 41 - Modelo de distribuição de escoramento remanescente para laje 4x8-2 .	75
Figura 42 - Modelo de distribuição de escoramento remanescente para laje 5x5.....	76
Figura 43 – Modelo de distribuição de escoramento remanescente para laje 5x7,5.	77
Figura 44 - Modelo de distribuição de escoramento remanescente para laje 5x10-178	
Figura 45 - Modelo de distribuição de escoramento remanescente para laje 5x10-279	
Figura 46 - Modelo de distribuição de escoramento remanescente para laje 6x6-1 .	80
Figura 47 - Modelo de distribuição de escoramento remanescente para laje 6x6-2 .	81
Figura 48 - Modelo de distribuição de escoramento remanescente para laje 6x9-1 .	82
Figura 49 - Modelo de distribuição de escoramento remanescente para laje 6x9-2 .	83
Figura 50 - Modelo de distribuição de escoramento remanescente para laje 6x12-184	
Figura 51 - Modelo de distribuição de escoramento remanescente para laje 6x12-285	
Figura 52 - Modelo de distribuição de escoramento remanescente para laje 6x12-386	

Figura 53 - Modelo de distribuição de escoramento remanescente para laje 6x12-487



LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - coeficientes de crescimento de E.....	29
Tabela 2- Fatores de carga oriundos de pontaletes: envoltória de máximos e mínimos.....	41
Tabela 3 - Tabela de dimensionamento para laje 2x2 apoiada nos quatro lados	88
Tabela 4 - Tabela de verificação momento fletor máximo suportado laje 2x2 apoiada nos quatro lados.....	89
Tabela 5 - Resultados laje 2x2 apoiada nos quatro lados.....	89
Tabela 6 - Tabela de dimensionamento para laje 2x2 com um bordo engastado e demais apoiados	90
Tabela 7 - Tabela de verificação momento fletor máximo suportado laje 2x2 com um bordo engastado e demais apoiados	91
Tabela 8 - Resultados laje 2x2 com um bordo engastado e demais apoiados	91
Tabela 9 - Tabela de dimensionamento para laje 2x2 com dois bordos adjacentes engastados e demais apoiados.....	92
Tabela 10 - Tabela de verificação momento fletor máximo suportado laje 2x2 com dois bordos adjacentes engastados e demais apoiados	93
Tabela 11 - Resultados laje 2x2 com dois bordos adjacentes engastados e demais apoiados.....	93
Tabela 12 - Tabela de dimensionamento para laje 2x2 com dois bordos opostos engastados e demais apoiados.....	94
Tabela 13 - Tabela de verificação momento fletor máximo suportado laje 2x2 com dois bordos opostos engastados e demais apoiados	95
Tabela 14 - Resultados laje 2x2 com dois bordos opostos engastados e demais apoiados.....	95

Tabela 15 - Tabela de dimensionamento para laje 2x2 com três bordos engastados e demais apoiados	96
Tabela 16 - Tabela de verificação momento fletor máximo suportado laje 2x2 com três bordos engastados e demais apoiados	97
Tabela 17 - Resultados laje 2x2 com três bordos engastados e demais apoiados ...	97
Tabela 18 - Tabela de dimensionamento para laje 2x2 com quatro bordos engastados.....	98
Tabela 19 - Tabela de verificação momento fletor máximo suportado laje 2x2 com quatro bordos engastados.....	99
Tabela 20 - Resultados laje 2x2 com quatro bordos engastados.....	99
Tabela 21 - Tabela de dimensionamento para laje 6x12 com vinculação apoiada nos quatro bordos	100
Tabela 22 - Tabela de verificação momento fletor máximo suportado laje 6x12 com vinculação apoiada nos quatro bordos.....	101
Tabela 23 - Resultados laje 6x12 com vinculação apoiada nos quatro bordos	102
Tabela 24 - Tabela de dimensionamento para laje 6x12 com um bordo (a) engastado e demais apoiados	103
Tabela 25 - Tabela de verificação momento fletor máximo suportado laje 6x12 com um bordo (a) engastado e demais apoiados	103
Tabela 26 - Resultados laje 6x12 com um bordo (a) engastado e demais apoiados	104
Tabela 27 - Tabela de dimensionamento para laje 6x12 com um bordo (b) engastado e demais apoiados	105
Tabela 28 - Tabela de verificação momento fletor máximo suportado laje 6x12 com um bordo (b) engastado e demais apoiados	105
Tabela 29 - Resultados laje 6x12 com um bordo (b) engastado e demais apoiados	106
Tabela 30 - Tabela de dimensionamento para laje 6x12 com dois bordos adjacentes engastados e demais apoiados.....	107
Tabela 31 - Tabela de verificação momento fletor máximo suportado laje 6x12 com dois bordos adjacentes engastados e demais apoiados	107
Tabela 32 - Resultados laje 6x12 com dois bordos adjacentes engastados e demais apoiados.....	108

Tabela 33 - Tabela de dimensionamento para laje 6x12 com dois bordos opostos (a) engastados e demais apoiados.....	109
Tabela 34 - Tabela de verificação momento fletor máximo suportado laje 6x12 com dois bordos opostos (a) engastados e demais apoiados	109
Tabela 35 - Resultados laje 6x12 com dois bordos opostos (a) engastados e demais apoiados.....	110
Tabela 36 - Tabela de dimensionamento para laje 6x12 com dois bordos opostos (b) engastados e demais apoiados.....	111
Tabela 37 - Tabela de verificação momento fletor máximo suportado laje 6x12 com dois bordos opostos (b) engastados e demais apoiados	111
Tabela 38 - Resultados laje 6x12 com dois bordos opostos (b) engastados e demais apoiados.....	112
Tabela 39 - Tabela de dimensionamento para laje 6x12 com três bordos engastados sendo dois os bordos “a” e demais apoiados	113
Tabela 40 - Tabela de verificação momento fletor máximo suportado laje 6x12 com três bordos engastados sendo dois os bordos “a” e demais apoiados.....	113
Tabela 41 - Resultados laje 6x12 com três bordos engastados sendo dois os bordos “a” e demais apoiados.....	114
Tabela 42 - Tabela de dimensionamento para laje 6x12 com três bordos engastados sendo dois os bordos “b” e demais apoiados	115
Tabela 43 - Tabela de verificação momento fletor máximo suportado laje 6x12 com três bordos engastados sendo dois os bordos “b” e demais apoiados.....	115
Tabela 44 - Resultados laje 6x12 com três bordos engastados sendo dois os bordos “b” e demais apoiados.....	116
Tabela 45 - Tabela de dimensionamento para laje 6x12 com quatro bordos engastados.....	117
Tabela 46 - Tabela de verificação momento fletor máximo suportado laje 6x12 com quatro bordos engastados.....	117
Tabela 47 - Resultados laje 6x12 com quatro bordos engastados.....	118
Tabela 48 - Resumo Laje 2x2	119
Tabela 49 - Resumo Laje 2x3	120
Tabela 50 - Resumo Laje 2x4	121
Tabela 51 - Resumo Laje 3x3	122
Tabela 52 - Resumo Laje 3x4,5	123

Tabela 53 - Resumo Laje 3x6	124
Tabela 54 - Resumo Laje 4x4	125
Tabela 55 - Resumo Laje 4x6	126
Tabela 56 - Resumo Laje 4x8	127
Tabela 57 - Resumo Laje 5x5	128
Tabela 58 - Resumo Laje 5x7,5	129
Tabela 59 - Resumo Laje 5x10	130
Tabela 60 - Resumo Laje 6x6	131
Tabela 61 - Resumo Laje 6x9	132
Tabela 62 - Resumo Laje 6x12	133
Tabela 63 - Recomendações para lajes com vinculação apoiada nos quatro bordos	134
Tabela 64 - Recomendações para lajes com um bordo (a) engastado e demais apoiados.....	135
Tabela 65 – recomendações para lajes com um bordo (b) engastado e demais apoiados.....	136
Tabela 66 - Recomendações para lajes com dois bordos adjacentes engastados e demais apoiados	137
Tabela 67 – Recomendações para lajes com dois bordos opostos (a) engastados e demais apoiados	138
Tabela 68 - Laje com dois bordos opostos (b) engastados e demais apoiados	139
Tabela 69 - Laje com três bordos engastados sendo dois os bordos “a” e demais apoiados.....	140
Tabela 70 - Laje com três bordos engastados sendo dois os bordos “b” e demais apoiados.....	141
Tabela 71 - Laje com quatro bordos engastados	142

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas

kN – quilonewton

kgf – quilograma força

NBR – Norma Brasileira Registrada

h – espessura da laje maciça

a – dimensão do menor lado da laje

b – dimensão do maior lado da laje

bw – faixa de laje estudada

d – altura útil

M_k – momento fletor característico

M_d – Momento solicitante de cálculo

f_{ck} – resistência característica do concreto a compressão

f_{cd} – resistência de cálculo do concreto

f_{yk} – resistência característica ao escoamento do aço

f_{yd} – resistência de cálculo do aço

γ_s – Coeficiente de minoração da resistência do aço

γ_f – Coeficiente de majoração dos esforços solicitantes

γ_c – Coeficiente de minoração da resistência do concreto

P – Fator de carga oriundo dos pontaletes

α – Fator de correção para atendimento do espaçamento mínimo entre escoras remanescentes

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	17
1.1 Tema	19
1.1.1 Delimitação do tema.....	19
1.2 Problema.....	20
1.3 Hipóteses	20
1.4 Objetivos	20
1.4.1 Objetivo geral	20
1.4.2 Objetivo específico	20
1.5 Justificativa.....	21
2 REFERENCIAL TEÓRICO.....	22
2.1 Fôrmas de Concreto.....	22
2.2 Movimentações de pontaletes.....	23
2.3 Transferência de cargas entre pavimentos	25
2.4 Descrição da estimativa teórica dos fatores de carga nos pavimentos e nos pontaletes.....	27
2.5 Fatores de carga aplicados pelos pontaletes nos pavimentos	30
2.6 Fator de solicitação	31
2.7 Métodos de estimativa de momentos.....	33
3 METODOLOGIA	43
3.1 Projeto da laje para as cargas de serviço.....	43
3.2 Critérios adotados na analogia de grelha	44
3.3 Determinação da espessura da laje	44
3.4 Análise de solicitações em lajes maciças de concreto armado, pelo método da analogia de grelha linear	46

3.5	Elaboração de planilha eletrônica para dimensionamento das áreas de armadura correspondentes aos momentos oriundos dessas solicitações e transformação dessas áreas em taxas efetivas	59
3.6	Elaboração de planilha eletrônica para verificação dos momentos máximos que poderiam ser suportados pelas seções com essas armaduras, para cargas de curta duração, adequadas à etapa de construção	61
3.7	Análise das solicitações em lajes com novos critérios de carregamentos e cargas concentradas, com geometrias e vinculações de bordo de lajes diferentes e quantidades e espaçamentos de pontaletes variados.....	62
4	DESENVOLVIMENTO	65
4.1	Configurações de espaçamentos entre escoras remanescentes	66
4.2	Obtenção dos resultados.....	88
4.2.1	Estudo para laje 2x2.....	88
4.2.1.1	Laje com vinculação apoiada nos quatro bordos	88
4.2.1.2	Laje com um bordo engastado e demais apoiados	90
4.2.1.3	Laje com dois bordos adjacentes engastados e demais apoiados.....	92
4.2.1.4	Laje com dois bordos opostos engastados e demais apoiados	94
4.2.1.4	Laje com três bordos engastados e demais apoiados	96
4.2.1.4	Laje com quatro bordos engastados	98
4.2.2	Estudo para laje 6x12.....	100
4.2.2.1	Laje com vinculação apoiada nos quatro bordos	100
4.2.2.2	Laje com um bordo (a) engastado e demais apoiados.....	102
4.2.2.3	Laje com um bordo (b) engastado e demais apoiados.....	104
4.2.2.4	Laje com dois bordos adjacentes engastado e demais apoiados	106
4.2.2.5	Laje com dois bordos opostos (a) engastados e demais apoiados	108
4.2.2.6	Laje com dois bordos opostos (b) engastados e demais apoiados	110
4.2.2.7	Laje com três bordos engastados sendo dois os bordos “a” e demais apoiados.....	112
4.2.2.8	Laje com três bordos engastados sendo dois os bordos “b” e demais apoiados.....	114
4.2.2.9	Laje com quatro bordos engastados	116
4.3	Análise dos resultados obtidos.....	118
5	CONSIDERAÇÕES FINAIS	143
5.8	Conclusão	143
5.9	Sugestões para futuros estudos	144
	REFERÊNCIAS.....	145

1 INTRODUÇÃO

Ações atuantes durante as etapas de construção de estruturas de concreto armado podem ser bem diferentes das normalmente consideradas nos projetos (PRADO, 1999).

Salvador (2013 p. 21) cita que:

Recentes revisões das normas da ABNT têm demonstrado interesse nesta problemática, em especial as normas NBR 12655/2006, NBR 6118/2007 e NBR 14931/2004, na medida em que abordam as propriedades do concreto e as ações decorrentes dos processos construtivos, considerando as ações críticas que podem ocorrer durante a execução dos pavimentos e suas respectivas idades e rigidezes. Estas normas também enfatizam as consequências de um carregamento precoce no comportamento diferido no tempo.

De acordo com Salvador (2013), se removidos ou movimentados os apoios de suporte (pontaletes) antes do tempo adequado, as estruturas de concreto ficam solicitadas pelo próprio peso do pavimento e ainda dos pavimentos superiores apoiados neste. Assim, as ações construtivas referentes a estes carregamentos, oriundos da movimentação e retirada dos pontaletes implicam em uma análise de projeto que contemple as etapas construtivas, e as cargas deste processo.

Adotando um sistema de suporte de pavimentos, constituído por fôrmas, escoramentos e reescoramentos, são construídas, normalmente, as estruturas de edifícios em concreto armado. Através desse sistema os pavimentos recém concretados são sustentados por pavimentos inferiores já com certa resistência adquirida (PRADO, 1999).

O avanço na área computacional aplicada à análise de estruturas em concreto armado tem permitido o desenvolvimento de modelos estruturais mais sofisticados, visando sempre o objetivo de melhor retratar a realidade dos procedimentos executivos.

Borges (2010) caracteriza concreto armado como a utilização de concreto moldado com a utilização de fôrmas, que acresce em seu interior uma armação, ou armadura de aço, e é esta união, de concreto com aço que propicia ao concreto armado resistência tanto aos esforços de compressão como aos de tração.

A NBR 14931 (ABNT, 2004) define a execução da estrutura de concreto como sendo “todas as atividades desenvolvidas na execução das estruturas de concreto, ou seja, sistema de fôrmas, armaduras, concretagem, cura e outras, bem como as relativas à inspeção e documentação de como construído, incluindo a análise do controle de resistência do concreto”. Ainda, conforme a norma supracitada, a execução deve ser baseada em projetos desenvolvidos em concordância com os critérios estabelecidos nas Normas Brasileiras como ABNT NBR 6118, ABNT NBR 6122 e outras.

Os ciclos de execução são os períodos de tempo que compreende uma concretagem de um pavimento e o subsequente, incluindo todas as suas etapas. A redução destes ciclos é considerada um avanço das técnicas construtivas, uma vez que, segundo Assahi (2005), têm-se a execução da estrutura como um caminho crítico na composição do cronograma físico da obra, e do tempo total do empreendimento, aproximadamente 30% envolvem os processos de montagem e desmontagem das fôrmas.

Assim, conforme Passuelo et. al. (2005), o sistema de formas torna-se uma das atividades de maior influência no prazo de execução de empreendimentos que utilizam estruturas de concreto armado, moldado *in loco*.

Baseado na NBR 14931 (ABNT, 2004) item 7.1, entende-se por sistemas de fôrmas, as fôrmas, escoramentos (pontaletes), cimbramentos e os andaimes, ou seja, toda estrutura provisória capaz de dar forma à estrutura de concreto armado.

Salvador (2007) analisou as deformações em vigas de concreto armado quando submetidas a carregamentos em idades precoces e concluiu que o carregamento precoce das estruturas de concreto pode favorecer a taxa de crescimento das deformações por fluência, e que a execução das estruturas de concreto em ciclos rápidos implica em maiores deformações, sugerindo então que estas acelerações dos ciclos de execução e suas consequências sejam consideradas na determinação dos fatores de carga construtiva.

Na prática, para acelerar os períodos de execução dos pavimentos e mantê-los escorados por um tempo supostamente adequado, é recorrente a manutenção

de parte dos pontaletes (escoras) em pavimentos subsequentes, ficando de três a cinco pavimentos ligados por meios destes pontaletes, que propicia a transferência de cargas e ações de construção entre pavimentos com diferentes propriedades mecânicas, que deveriam ser analisadas e verificadas em nível de projeto (SALVADOR, 2013).

Prado, Ramalho e Correa (apud. PASSUELO et. al., 2005), alertam para a consequência de ações que são impostas em vários estágios da construção, e conclui que geralmente, quando do dimensionamento de estruturas de concreto armado, considera-se que a estrutura já exista quando essas ações são impostas.

1.1 Tema

Análise do espaçamento do escoramento remanescente, a partir de carregamentos uniformemente distribuídos que dão origem a momentos fletores equivalentes aos provocados por cargas concentradas, oriundas de pontaletes, em lajes maciças de concreto armado de diferentes geometrias e vinculações de bordo, com diferentes quantidades e espaçamentos entre os pontaletes.

1.1.1 Delimitação do tema

O software de uso comercial que foi utilizado para a análise teórica e simulação de situações problema, possui restrições de análises e elementos, por se tratar de uma licença limitada. Dentre as limitações tem-se as dimensões de área em planta máxima de 600m², quanto aos elementos estruturais tem-se um limite por pavimento de 35 elementos de vigas, 35 elementos de pilares, 30 lajes, e a análise de grelha limitada a 6000 (seis mil) nós.

Todas as lajes analisadas foram do tipo maciça, com dezoito variações de geometrias, quantidades e espaçamentos de pontaletes variados.

Os fatores de carga concentrada utilizados foram os tabelados por Salvador (2013), em seu estudo, com base na metodologia de Grundy e Kabaila (apud. SALVADOR 2013),

1.2 Problema

As atividades realizadas no dia-a-dia dos canteiros de obra respeitam e atendem às condições e critérios adotados pelos engenheiros projetistas quando da concepção estrutural? Ou ainda, são considerados os efeitos do processo construtivo quando da concepção estrutural de um projeto em concreto armado?

1.3 Hipóteses

- a) Todos os critérios e análises de projeto condizem com a realidade dos processos executivos, não sendo necessário realizar alterações ou verificações quanto aos carregamentos de ações construtivas.
- b) Verificar a possibilidade de que alterações devem ocorrer quando da concepção de projetos estruturais de concreto armado ou de projetos de escoramentos, uma vez que são provocados efeitos nas estruturas aquém dos considerados pelos projetistas.

1.4 Objetivos

1.4.1 Objetivo geral

Conceber recomendações de projeto e execução capazes de prever situações críticas e aproximar as considerações de projeto cada vez mais à realidade dos canteiros de obra, buscando à máxima eficiência dos sistemas estruturais de concreto armado.

1.4.2 Objetivo específico

- a) Adotar diferentes dimensões de lajes e diferentes relações entre os vãos;
- b) Explorar todos os tipos possíveis de vinculações de bordo de laje;

- c) Dimensionar armaduras de lajes para situações de projeto e carregamentos uniformemente distribuídos, considerando carga acidental mais permanente ($g+q$);
- d) Verificar o Momento máximo admissível para situações de construção;
- e) Testar diferentes espaçamentos de pontaletes, e calcular Momento máximo, para cargas acidental mais permanente de construção, mais cargas concentradas oriundas dos pontaletes;
- f) Apresentar espaçamentos máximos de pontaletes, compatíveis com as solicitações de projeto, ou apresentar fatores de carga considerando espaçamento mínimo de 0,5m.

1.5 Justificativa

A importância de conhecer tudo o que deve ser considerado na concepção do projeto estrutural ou de escoramentos, a fim de garantir a eficiência e a segurança das estruturas de concreto armado, torna as pesquisas teóricas e os experimentos práticos cada vez mais relevantes.

Ter o conhecimento de situações práticas obtidas em canteiros de obra comuns que adota sistemas estruturais de concreto armado moldado *in loco*, e poder simular situações diversas, quanto à geometria das lajes, distribuição e espaçamento de pontaletes, para ter cada vez mais próxima, a realidade dos processos executivos com os critérios adotadas em projetos e ainda, para se possível, recomendar e auxiliar em mudanças que facilitem as rotinas dos escritórios de projeto estrutural que se preocupam em representar fielmente as situações de campo em seus projetos, ou quando do projeto de escoramentos, alterar o espaçamentos dos pontaletes de modo a não atingir as máximas solicitações de projeto, uma vez que a estrutura passa por diversas etapas, do início ao término das construções.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Fôrmas de Concreto

Segundo Salvador (2013), a madeira ainda é o material mais utilizado no Brasil para a produção de fôrmas para estruturas de concreto. O sistema de fôrmas pode ser entendido com uma função básica de suportar o concreto fresco até que possa se auto suportar, sendo apenas um item auxiliar para moldar o concreto armado.

Outras funções são destacadas por Assahi (2005) como a proteção contra impactos recentes após a concretagem, perda de água e variações de temperatura.

Todo sistema de formas deve ser projetado e construído de modo a ter resistência às ações que possa ser submetida no processo de construção, de modo a manter a integridade dos elementos estruturais, problemas com as fôrmas, escoramento ou sua movimentação destas não podem afetar o formato, a função, a aparência ou durabilidade de uma estrutura de concreto definitiva (A BNT NBR 14931, 2004).

Adotando os termos utilizados por Salvador (2013), têm-se as seguintes nomenclaturas:

- Escoramento: sistema de suporte provisório, por meio de pontaletes metálicos, presentes no instante da concretagem de um pavimento de concreto armado, com função de apoiar todo o sistema de fôrmas;
- Escoramento remanescente: sistema de suporte provisório, por meio de pontaletes metálicos, presente no instante da concretagem, que permanece sob o elemento estrutural de concreto armado após a retirada dos sistemas de fôrmas e do escoramento. Os pontaletes, correspondentes ao escoramento remanescente, dão suporte à

estrutura de concreto diretamente sob chapas de madeira que permanecem sob a estrutura até a retirada prevista nos procedimentos executivos. Estas chapas de madeira correspondem aos painéis de fundo das vigas e, no caso das lajes, correspondem a painéis de largura menor em trechos centrais linearmente dispostos, comumente chamados de faixa de “reescoro”;

- Reescoramento: sistema de suporte provisório, por meio de pontaletes metálicos, que são recolocados sob uma estrutura de concreto armado já moldada, pelo menos um dia após a concretagem, substituindo o escoramento. Este sistema implica, necessariamente, um procedimento de aperto dos pontaletes metálicos, que podem estar sob as chapas de madeira descritas anteriormente, ou diretamente sob a estrutura de concreto.

Assim, têm-se as escoras como pontaletes verticais, que podem ser de madeira ou aço, e dão sustentação a um pavimento, apoiando-o no pavimento imediatamente abaixo.

O descimbramento (retirada do escoramento) consiste na retirada dos elementos portantes da fôrma, e por consequência da estrutura. A fim de reutilizar as escoras nas etapas seguintes, estas são retiradas prematuramente, passando os esforços às escoras remanescentes já distribuídas, que passam a exercer a função de sustentar a estrutura (BOTELHO E MARCHETTI, 2008).

2.2 Movimentações de pontaletes

As ações são introduzidas nos pavimentos durante o período de construção através de uma sequência repetida de operações num processo que pode ter um número variado de níveis escorados e reescorados (PRADO, 1999).

A NBR 14931 (ABNT, 2004) sugere que as fôrmas e os escoramentos sejam movimentados de forma que não comprometa a segurança e o desempenho em estado de serviço da estrutura e ainda, deve ser seguido o plano de desforma estabelecido previamente. Ainda, devem ser considerados aspectos como capacidade de suporte de elementos estruturais quanto ao peso próprio, ou

responsabilidade de suporte do elemento estrutural, cargas devido sistema de fôrmas ainda não retirado de outros pavimentos, sobrecarga de execução, condições de cura e condições ambientais, entre outros fatores.

Ocorrendo um carregamento precoce na estrutura, devida à movimentação ou retirada de escoramento, escoramento remanescente ou reescoramento, podem ocorrer patologias, pois a resistência mecânica do concreto pode não ser equivalente às solicitações para resistir às tensões decorrentes desta movimentação (SALVADOR 2013).

Ações de peso próprio, e das cargas acidentais atuantes durante o processo de execução da estrutura de concreto armado devem ser levados em conta quando do projeto do escoramento, para que estes não sofram deformações que prejudiquem o formato da estrutura e nem causem esforços não previstos no concreto (ABNT NBR 14913, 2004).

Segundo a NBR 14931 (ABNT, 2004), “os planos de desforma e escoramentos remanescentes devem levar em conta os materiais utilizados associados ao ritmo de construção, tendo em vista o carregamento decorrente e a capacidade suporte das lajes anteriores, quando for o caso”.

FRANÇA (apud SALVADOR 2013) sugere que se o cronograma de execução considerar um carregamento precoce devido à movimentação dos pontaletes, técnicas adequadas para obter resistências elevadas do concreto à tração e à compressão em idades iniciais devem ser adotadas, bem como um bom plano de escoramento remanescente quando ocorrer o primeiro carregamento.

Prado, Ramalho e Correa (apud. PASSUELO et. al., 2005), afirmam que as ações construtivas geralmente atuam em idades iniciais do concreto, ou seja, antes de atingida totalmente as propriedades mecânicas, e que isso tem sido responsável por diversos casos de colapso estrutural.

SALVADOR (2013) faz uma análise e ensaio prático dos níveis de tensão aplicados nas estruturas de concreto pela movimentação dos pontaletes e a transferência das cargas entre pavimentos escorados e as compara com avaliações existentes que aproximam as ações decorrentes dos processos executivos sugeridas por autores através de métodos teóricos.

A prática executiva em canteiros de obra, observada por Salvador (2013), mostra que quando necessário para a construção do pavimento superior, os componentes de fôrmas, escoras, são retirados e desmontados do pavimento

inferior. Esta prática pode estar ocorrendo com o pavimento inferior com apenas um ou dois dias. Ainda, observou que o escoramento remanescente muitas vezes é substituído por um reescoramento. Quando do reescoramento, pode ocorrer um aperto descontrolado dos pontaletes contra a estrutura de concreto. Este aperto pode gerar um carregamento externo aplicado à estrutura, podendo provocar situações indesejadas, tais como: fissuração, flecha ou contra-flecha exageradas, aumento de carga desigual, inversão de momentos, entre outros (SALVADOR 2013).

Para Royer (1963), em condições normais de execução, a estrutura pode receber as maiores solicitações durante a construção e não no uso final. Royer, ainda destaca que o procedimento de escorar os pavimentos nos andares inferiores consiste numa prática perigosa quando não há a avaliação do efeito das cargas correspondentes sobre a estrutura. Portanto, cuidados devem ser tomados nos processos de reescoramento, objetivando não provocar o surgimento de momentos fletores, diferente do que foi concebido em projeto.

Ainda, quanto às escoras remanescentes, além dos dados anteriores, se faz necessária a análise da sua distribuição, sendo que estas devem estar dispostas de modo a proporcionar à estrutura deformações controladas, assim, independente da capacidade da peça a ser utilizada, recomenda-se no máximo um espaçamento de 2m, tanto para lajes como para vigas (PASSUELO et. al., 2005).

2.3 Transferência de cargas entre pavimentos

Durante a construção de um edifício com múltiplos pavimentos tem-se atuação de ações verticais e horizontais (PRADO, 1999)

Segundo Passuelo et. al. (2005), com base em estudos específicos, determinam-se as ações construtivas em cada pavimento inferior que auxiliam para a sua sustentação. Assim, nestes pavimentos, interligados por escoras remanescentes e através destas, obtêm-se as tensões e deformações, de modo a serem seguras para as condições físicas adquiridas nas idades correspondentes. Com isso, as variáveis que podem ser utilizadas, segundo estes autores, para equilibrar o conjunto são duas: o ciclo de concretagem e número de pavimentos participantes, devendo estes fazer parte das especificações técnicas.

Alguns autores fazem a análise da transferência de cargas entre pavimentos, de forma numérica, através de métodos teóricos, onde consideram a sequência construtiva, analisam a carga absorvida pelo pavimento e também a carga transmitida pelos pontaletes ao pavimento inferior, baseando-se em eventos críticos no processo de construção. Dentre os autores cita-se: Grundy e Kabaila (1963), Liu et al. (1985), Mosallam e Chen (1991), Prado (1998), entre outros (SALVADOR, 2013).

Ainda Prado (1999), destaca que os modelos estruturais usualmente utilizados por projetistas, consideram que quando ocorrem as ações de projetos, toda estrutura já esteja pronta, ou seja, são adotadas cargas de utilização da edificação com a resistência final dos materiais. De acordo com Salvador (2013) este procedimento, ainda que amparado pelas normas nacionais e internacionais, desconsidera os eventos construtivos com as respectivas propriedades dos materiais nas idades destes eventos.

Baseado em métodos empíricos, através do valor da ação do peso próprio de um pavimento, por metro quadrado, estimam-se fatores de carga média (k) para um determinado pavimento. Estes fatores determinam a distribuição de cargas a serem absorvidas pelos pontaletes e pelos pavimentos, assim como demonstra a equação 01.

$$k = \frac{\text{ação total suportada pelo pavimento ou pontalete}}{\text{ação decorrente do peso próprio do pavimento}} \quad (01)$$

Onde:

k = fator de carga construtiva no pavimento ou no pontalete

Assim, a ação total suportada pelo pontalete, que é uma média de todos os pontaletes de um determinado pavimento, é a representação da carga transmitida para o pavimento onde está apoiada a base do pontalete.

De acordo com a NBR 6118 (ABNT, 2014), as ações construtivas devem ser consideradas no projeto de estruturas para fins de dimensionamento no estado limite último (ELU), uma vez que o ELU está relacionado ao colapso ou ruína estrutural, o que determina a paralisação do uso da estrutura.

Segundo Salvador (2013), as ações de construção distribuem-se entre os pavimentos ligados pelos pontaletes. Assim, uma vez que os pavimentos possuem idades diferentes, e então propriedades mecânicas distintas, cada pavimento absorve uma parcela de carga de acordo com sua rigidez.

2.4 Descrição da estimativa teórica dos fatores de carga nos pavimentos e nos pontaletes

As cargas provenientes de uma laje em concretagem são descarregadas nas lajes inferiores, que estão interligadas por meio de escoras remanescente, cada uma absorvendo uma parte da solicitação e deformando-se (PASSUELO et. al. 2005). No entanto, segundo os autores acima, se o sistema não permitir as deformações, as lajes de apoio não contribuirão na tarefa de sustento, repassando apenas as solicitações incidentes mais o peso próprio para a laje inferior, recaindo todo o somatório de solicitações sobre o piso rígido.

O método descrito por Grundy e Kabaila, (apud. SALVADOR, 2013), mesmo que de forma simples, permite uma estimativa da distribuição das ações construtivas nos pontaletes e nos pavimentos. Neste método, considera-se o módulo de elasticidade do concreto como sendo variável entre os pavimentos, uma vez que possuem diferenças de idades entre eles. Por isso é relevante se saber a curva de crescimento desta propriedade, com os respectivos coeficientes correspondentes à idade de cada pavimento para cada consideração de construção. No estudo de Grundy e Kabaila, (apud. SALVADOR, 2013), considera-se o concreto produzido com cimento de cura lenta.

Apresenta-se o cálculo do acréscimo do fator de carga no pavimento i da seguinte maneira:

$$\Delta k_i = \frac{E_i}{E_R} \cdot \Delta P$$

onde:

Δk_i = acréscimo do fator de carga no pavimento i ;

ΔP = acréscimo de carga decorrente de um novo pavimento que acabou de ser executado. Pode ser $\Delta P = 1$, ou então igual fator de carga no pontalete que foi recém retirado;

E_i = módulo de elasticidade, ou coeficiente de crescimento, no pavimento i , na idade correspondente do pavimento quando, do evento considerado;

E_R = módulo de elasticidade resultante da soma dos módulos, ou coeficientes de crescimento, de todos os pavimentos, com suas respectivas idades, quando do evento considerado;

Desta forma, o acréscimo de carga (ΔP) será distribuído entre os pavimentos considerados rígidos, ligados por meio dos pontaletes, proporcionalmente à rigidez de cada um, de acordo com a idade;

O fator de carga no pavimento ($K_{i, \text{ pavimento}}$) será a soma do fator de carga do evento anterior com o acréscimo do fator de carga (ΔK_i);

.

O fator de carga no pontalete ($K_{i, \text{ pavimento}}$) será o número de pavimentos sobre o referido pontalete, descontados os fatores de carga dos pavimentos acima do mesmo;

A seguir segue tabela com os valores dos coeficientes de crescimento do módulo de elasticidade conforme o CEB-FIP Model Code (1990), (apud. Salvador 2013), para um concreto produzido com cimento de endurecimento lento ($s=0,38$).

Fonte: Salvador (2013)

Figura 1 - Cinco primeiros eventos do estudo de Grundy e Kabaila (1963)



Para Prado (1999), podem existir regiões nos pavimentos de concreto mais solicitadas que outras, e esta carga dos pontaletes deve ser entendida e sempre considerada quando da concepção do projeto estrutural.

De acordo com Salvador (2013), para os sistemas estruturais formados por pilares, vigas e lajes de concreto armado, que utilizam os ciclos rápidos de execução, têm-se as lajes como os elementos fletidos que mais podem sofrer como os carregamentos concentrados provindos dos pontaletes. Sendo estes os elementos que tem como solicitação os momentos fletores, Salvador (2013), propõe estabelecer um fator de solicitação para as lajes (k_m), como mostra a equação a seguir:

$$k_m = \frac{\text{solicitação total suportada pelo pavimento em construção}}{\text{solicitação total de projeto}} \quad (02)$$

A solicitação total suportada pelo pavimento em construção compreende ao carregamento do peso próprio, mais o fator de carga aplicado pelos pontaletes. Já a solicitação total de projeto é referente ao somatório do peso próprio, mais revestimentos, mais carregamentos variáveis. Assim, se estabelece quantas vezes o momento fletor de projeto pode ser superado durante as etapas construtivas.

Portanto, em seu estudo, Salvador (2013) instrumentou uma parte representativa de uma estrutura de concreto armado de uma edificação em Porto Alegre, aplicando células de carga no topo de pontaletes que fazem parte de um conjunto que liga vários pavimentos. Optou por uma laje em que pudesse instrumentar todos os pontaletes referentes ao escoramento remanescente em quatro pavimentos subsequentes. No ensaio realizado, as cargas nos pontaletes não ultrapassaram 1000kgf (10kN).

2.5 Fatores de carga aplicados pelos pontaletes nos pavimentos

Com base na equação dois, e considerando o peso próprio do pavimento correspondendo a $k = 1$, Salvador (2013) estima o carregamento total de projeto (peso próprio mais revestimentos e carregamento variável), como sendo o dobro do valor, portanto, $k = 2$. Ainda, considerando o fator de carga aplicado pelos pontaletes como sendo uniformemente distribuído, mesmo que na prática executiva este

carregamento pode ocorrer de forma concentrada. Para esta correção, o autor estabelece um coeficiente multiplicador Ω (ômega), que transforme um carregamento concentrado num carregamento uniformemente distribuído que gere um momento fletor equivalente. Este fator de correção depende das dimensões da laje, da vinculação dos bordos, e da posição do carregamento concentrado, objeto de estudo deste trabalho, que simulará estas diferentes situações a fim de estipular este momento fletor equivalente.

2.6 Fator de solicitação

Nas condições descritas anteriormente, tem-se o fator de solicitação dado pela seguinte equação:

$$k_m = \frac{1+(k_p \cdot \Omega)}{2} \quad (03)$$

Para a equação 3, tem-se:

k_p = fator de carga aplicado pelos pontaletes nos pavimentos, considerado como uniformemente distribuído.

Em seu estudo comparativo, Salvador (2013) considera de modo simplificado, uma laje unidirecional (armada em uma direção), e bi-apoiada, vínculos simétricos supostamente rotulados.

Assim, tem-se para um carregamento uniformemente distribuído:

$$M_{q,máx.} = \frac{q \cdot l^2}{8}$$

E para um mesmo carregamento concentrado ($P = q \cdot l$) no centro do vão, tem-se:

$$M_{p,máx.} = \frac{P \cdot l}{4}$$

Logo,

$$\Omega = \frac{M_{p,máx}}{M_{q,máx}} = \frac{\frac{P.l}{4}}{\frac{q.l^2}{8}} = \frac{\frac{q.l.l}{4}}{\frac{q.l^2}{8}} = 2$$

Assim, o coeficiente $\Omega = 2$, deduzido anteriormente, quando o carregamento for concentrado em um único ponto e no centro do vão.

Desta forma, o fator de solicitação seria:

$$k_m = \frac{1+(k_p.2)}{2} \quad (04)$$

Onde, devem ser aplicados os fatores de carga (Kp) oriundos dos pontaletes nos pavimentos.

Analisando os resultados de seu próprio estudo, Salvador (2013) destaca que as normas não estabelecem cargas variáveis durante as etapas construtivas a serem consideradas na concepção do projeto estrutural, e sugere como item a ser aprimorado na normatização.

Fazendo uma análise dos fatores de solicitação, com base em seu estudo, Salvador (2013) apresenta a seguinte equação, dada pela seguinte razão:

$$k_m = \frac{M_{máx,pp+CC}}{M_{máx,g+q}} \quad (05)$$

Onde:

$M_{máx,pp+CC}$ = momento fletor máximo que solicita a laje em fase de construção, devido à soma do carregamento de peso próprio da laje (pp) e do carregamento concentrado (CC) resultante aplicado pelos pontaletes (soma vetorial das cargas obtidas nos pontaletes sobre e sob o pavimento) durante as etapas construtivas;

$M_{m\acute{a}x,g+q}$ = momento fletor máximo de projeto que solicita a laje, devido à soma do carregamento permanente (g = peso próprio + revestimentos) e das cargas variáveis (q), sem fator de majoração das cargas.

2.7 Métodos de estimativa de momentos

Os dois métodos utilizados para análise no estudo de Salvador (2013), foi o das linhas de ruptura e o método da análise global do pavimento através do modelo de grelha em regime elástico linear.

O método das linhas de ruptura consiste numa alternativa para o cáculo de esforços e reações em lajes, pelo qual é possível determinar momentos que serão utilizados para o dimensionamento das lajes de diferentes formas, carregamentos e condições de contorno (ARAÚJO, 2010). Ainda, segundo o autor, este método considera o equilíbrio da laje quando do estado limite último, mas não permite a análise do comportamento da laje nas condições de utilização. A NBR 6118 (ABNT, 2014), permite o emprego deste modelo de análise, a teoria das linhas de ruptura, quando as deformações das seções da laje condizerem com os domínios 2 ou 3, que caracterizam estruturas subarmadas ou normalmente armadas.

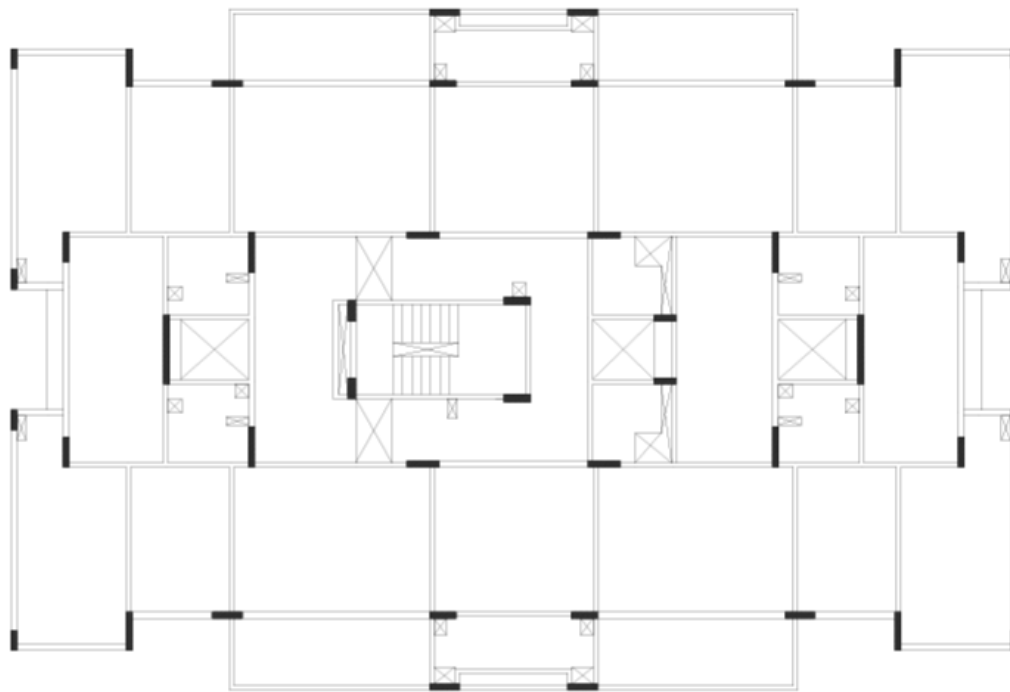
Araújo (2010), afirma que na teoria das linhas de ruptura, as deformações elásticas são desprezadas, adotando-se um comportamento rígido plástico, onde a laje é dividida em partes planas que só experimentam movimentos de rotação.

Para Araújo (2010), a analogia da grelha equivalente é um dos métodos numéricos mais utilizados para a análise de lajes de concreto armado, estando inclusive implementado em softwares comerciais que auxiliam em projetos de estruturas de concreto.

A Figura 2, apresentada abaixo, é uma planta geral do pavimento tipo de uma torre, com a geometria dos elementos estruturais, onde está presente a laje L329, que foi utilizada por Salvador (2013) em seu estudo teórico e experimental da transferência de cargas entre pavimentos de concreto escorados, vale observar que

a torre possui dois eixos ortogonais de simetria, havendo quatro apartamentos idênticos por pavimento.

Figura 3 - Geometria dos elementos estruturais do pavimento tipo analisados por Salvador (2013)



Fonte: Salvador (2013)

Em seu estudo, Salvador (2013) calculou o momento fletor $M_{m\acute{a}x,g+q}$ para a laje L329 (Figura 3), com espessura $h=10$ cm, considerando os seguintes carregamentos:

- Peso próprio: $2,5 \text{ kN/m}^2$
- Revestimento: 1 kN/m^2

Totalizando um carregamento permanente (g) de $3,5 \text{ kN/m}^2$

O carregamento variável (q) considerado foi de $1,5 \text{ kN/m}^2$, obtido da tabela da Norma NBR 6120 (ABNT, 1980).

Totalizando uma carregamento (g+q) = 5 kN/m^2 .

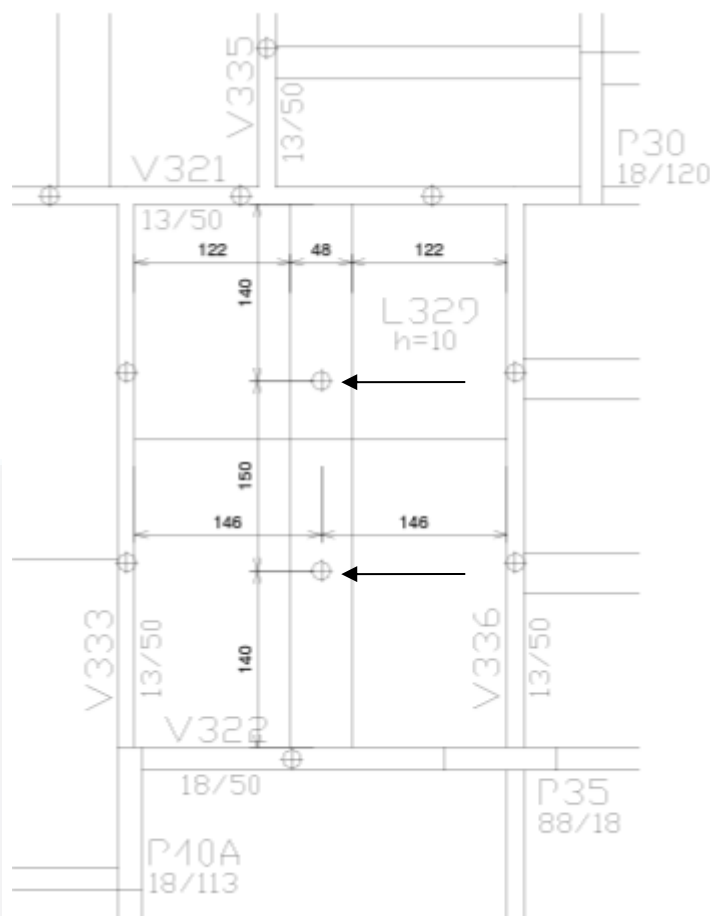
Pelo método das linhas de ruptura, o momento fletor máximo obtido para a laje em estudo corresponde a $M_{máx.a+a} = 153,5 \text{ kgf.m/m}$ (SALVADOR, 2013)

Já pelo modelo de grelhas, onde se realiza a análise global do pavimento, considerando uma malha ortogonal de distribuição reticulada de 40x40cm, em regime elástico linear. Através deste método, o momento fletor máximo obtido $M_{máx.q+q} = 141,8 \text{ kgf.m/m}$ (SALVADOR, 2013).

De acordo com Salvador (2013), mesmo que o modelo de grelha não reproduza fielmente a flexão de placas de concreto armado, se comparado com o método das linhas de ruptura, reproduz melhor as condições de contorno de laje, pois são compatibilizados os momentos fletores de continuidade, adotando assim, o valor de $M_{máx,g+q} = 141,8 \text{ kgf.m/m}$, para o cálculo dos momentos fletores de solicitação (km).

Já para o cálculo de $M_{máx,pp+CC}$, Salvador (2013), utilizou o modelo de grelha, aplicando cargas concentradas nos pontos onde estavam os pontaletes da laje L329, em estudo.

Figura 5 - Escoramento remanescente L329



Fonte: Salvador (2013)

O nível de carregamento concentrado (CC) aplicado foi de 1000kgf que corresponde a carga resultante aplicada pelo pontalete. Assim, o momento fletor máximo $M_{m\acute{a}x,pp+CC}$ no centro do v\~ao foi de $M_{m\acute{a}x,pp+CC} = 324,8kgf.m/m$. J\~a esta an\~alise sem a considera\~ao da carga concentrada, sem os revestimentos, resultando num momento fletor m\~aximo no v\~ao $M_{m\acute{a}x,pp} = 70,9kgf.m/m$.

Com este procedimento, Salvador (2013) estabelece uma rela\~ao entre momento fletor m\~aximo $M_{m\acute{a}x,pp}$, o momento fletor deste carregamento mais a carga do pontalete, e o carregamento concentrado (CC), atrav\~es do coeficiente Ω , estabelecido por:

$$\Omega = \frac{M_{m\acute{a}x,pp+CC} - M_{m\acute{a}x,pp}}{CC} \quad (06)$$

Este coeficiente estabelece a relação entre o momento fletor provocado somente pelo carregamento concentrado e o respectivo carregamento. Assim também pode-se obter o momento fletor máximo que solicita a laje durante as etapas construtivas, da seguinte maneira (SALVADOR, 2013):

$$M_{m\acute{a}x,pp+CC} = M_{m\acute{a}x,pp} + \Omega \cdot CC$$

Logo, obtêm-se os fatores de solicitação por:

$$k_m = \frac{M_{m\acute{a}x,pp+CC}}{M_{m\acute{a}x,g+q}} = \frac{M_{m\acute{a}x,pp} + \Omega \cdot CC}{M_{m\acute{a}x,g+q}} \quad (07)$$

Se $k_m < 1$, fatores de solicitação menores que os momentos provocados pelos carregamentos totais de projeto, no entanto, se $k_m > 1$, fatores de solicitação maiores que os momentos provocados pelos carregamentos totais.

Para determinação do coeficiente Ω , Salvador (2013), testou o mesmo procedimento de análise, porém, utilizando um software de uso comercial, com processamento através de grelha linear, aplicando diferentes níveis de carregamento concentrado: $CC = 1000kgf$, $CC = 500kgf$, $CC = 200kgf$, $CC = -500kgf$. Obteve então, para estes quatro níveis de carregamento, valores próximos para os coeficientes Ω , com coeficiente de variação de 1,22%, o que representa, em termos práticos, um regime elástico linear, justificando assim a utilização do método de análise por grelha linear. (SALVADOR, 2013).

Para comparação com os fatores de carga obtidos pela metodologia de Grundy e Kabaila (apud. SALVADOR, 2013), a mesma análise dos fatores de solicitação pode ser feita, substituindo-se o momento fletor máximo solicitado por g (peso próprio + revestimentos) + q (cargas variáveis), pelo momento fletor máximo solicitado somente pelo peso próprio da laje. Assim, o fator de solicitação (k_m), calculado através da equação 02, é dado pela razão:

$$k_m = \frac{M_{m\acute{a}x,pp+CC}}{M_{m\acute{a}x,pp}}, \text{ com } M_{m\acute{a}x,pp+CC} = M_{m\acute{a}x,pp} + \Omega . CC \text{ e}$$

resultando em:

$$k_m = 1 + \frac{\Omega . CC}{M_{m\acute{a}x,pp}} \quad (08)$$

Desta forma, calculando-se genericamente os fatores de solicitação em função do peso próprio da laje, podem-se obter solicitações provocadas pelo carregamento concentrado resultante dos pontaletes, durante as etapas construtivas, e transformá-las num carregamento uniformemente distribuído n vezes maior que o peso próprio do pavimento. Assim, obtém-se os fatores de carga construtiva dos pavimentos, ou seja, o carregamento uniformemente distribuído a que a laje é submetida durante as etapas construtivas (SALVADOR 2013).

Em sua análise experimental, Salvador (2013) observa que ocorrem algumas diferenças importantes que surgem nas solicitações das lajes, quando estas são carregadas pelos pontaletes em alguns pontos com espaçamento da ordem de 1,5m, onde, o modo de carregamento, concentrado em poucos pontos, resulta em solicitações várias vezes maiores que um carregamento equivalente, uniformemente distribuído.

Assim inicialmente, o carregamento concentrado, provocado por um reduzido número de pontaletes (escoramento remanescente), pode provocar uma inversão de esforços nas primeiras idades, com o surgimento de momentos fletores negativos no centro do vão. Nesta posição, geralmente não são previstas armaduras junto às fibras superiores da laje. Cabendo cada vez mais uma análise mais minuciosa das ações construtivas.

A Tabela 01, a seguir, apresenta nas últimas colunas de cada linha, os valores máximos de fatores de carga, que Salvador (2013) obteve em seu estudo, quando da experimentação teórica, com lajes maciças, descritas anteriormente, com

base na metodologia de Grundy e Kabaila (1963), para uma edificação genérica com 20 pavimentos. Estes valores demonstram uma envoltória de máximos e mínimos, referente aos fatores de carga aplicados pelos pontaletes nos pavimentos, o que consiste em uma interpretação diferente dos valores originais de Grundy e Kabaila.

O estudo de Salvador (2013) utiliza três fatores controláveis, que são variados em três níveis. Para interpretação da Tabela 02, os fatores, seus níveis e os respectivos códigos são descritos a seguir:

- Número de jogos de pontalete:
 - ❖ Dois jogos ($m=2$) – M02
 - ❖ Três jogos ($m=3$) – M03
 - ❖ Quatro jogos ($m=4$) – M04
- Tipo de cimento utilizado no concreto:
 - ❖ Cimento de cura lenta ($s=38$) – S38
 - ❖ Cimento de cura normal ($s=25$) – S25
 - ❖ Cimento de cura rápida ($s=20$) – S20
- Ciclos de execução:
 - ❖ Ciclo regular de cinco dias, baseado em França (2005), (apud. Salvador, 2013), com retirada do primeiro jogo de pontaletes um dia após a concretagem do novo pavimento – C51
 - ❖ Ciclo regular de sete dias, com retirada do primeiro jogo de pontaletes cinco dias após a concretagem do novo pavimento, conforme Grundy e Kabaila (1963) – C75
 - ❖ Ciclo regular de nove dias, com retirada do primeiro jogo de pontaletes cinco dias após a concretagem do novo pavimento, conforme prática executiva observada em vários empreendimentos visitados (Salvador, 2013), na região de Porto Alegre – C95

Tabela 2- Fatores de carga oriundos de pontaletes: envoltória de máximos e mínimos

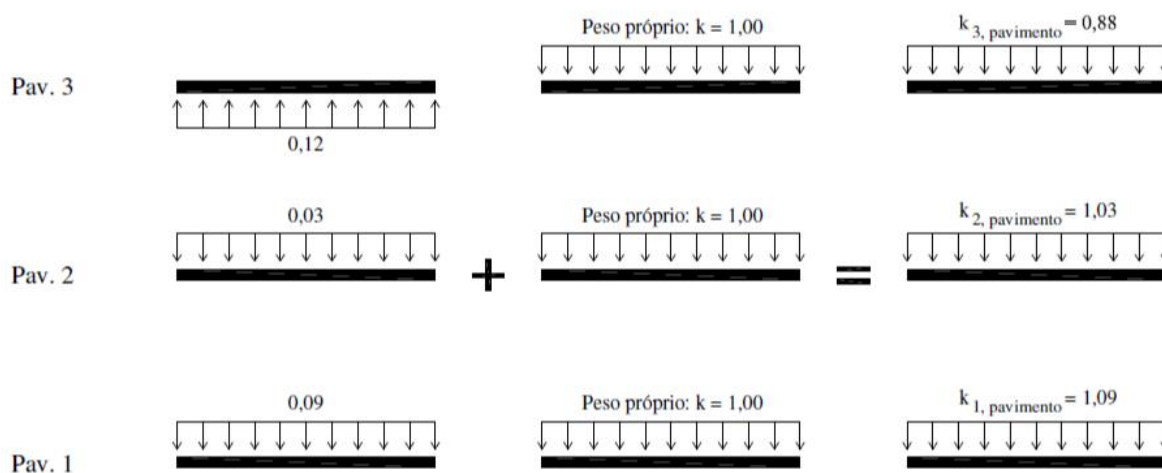
			Idade																											
			1	5	6	7	9	10	11	12	14	15	16	18	19	20	21	23	26	27	28	32	36							
M02 S38 C51	Máx.		0,18		0,71			1,24																						
	Mín.	-0,71	-0,24																											
M02 S38 C75	Máx.		-0,72		0,39				0,72	1,25																				
	Mín.				-0,25																									
M02 S38 C95	Máx.		-0,72			0,39			0,72				1,24																	
	Mín.					-0,24																								
M02 S25 C51	Máx.	-0,71	0,29	0,71			1,23																							
	Mín.		-0,23																											
M02 S25 C75	Máx.		-0,73		0,43				0,73	1,25																				
	Mín.				-0,25																									
M02 S25 C95	Máx.		-0,73			0,42			0,73				1,25																	
	Mín.					-0,25																								
M02 S20 C51	Máx.	-0,72	0,33	0,72			1,23																							
	Mín.		-0,23																											
M02 S20 C75	Máx.		-0,73		0,44				0,73	1,25																				
	Mín.				-0,25																									
M02 S20 C95	Máx.		-0,73			0,44			0,73				1,25																	
	Mín.					-0,25																								
M03 S38 C51	Máx.	-0,87	-0,76	0,15			0,49	0,94			1,30																			
	Mín.			-0,39			-0,03																							
M03 S38 C75	Máx.		-0,87		0,18				0,34	0,68				1,00			1,36													
	Mín.				-0,69				-0,35	-0,02																				
M03 S38 C95	Máx.		-0,87			0,17			0,33				0,67				1,00			1,35										
	Mín.					-0,69			-0,35				-0,02																	
M03 S25 C51	Máx.	-0,87	0,05	0,24			0,58	0,96			1,31																			
	Mín.		-0,73	-0,37			-0,02																							
M03 S25 C75	Máx.		-0,87		0,23				0,37	0,71				1,01			1,36													
	Mín.				-0,68				-0,34																					
M03 S25 C95	Máx.		-0,87			0,23			0,37				0,70				1,01			1,35										
	Mín.					-0,68			-0,34				-0,01																	
M03 S20 C51	Máx.	-0,87	0,10	0,28			0,61	0,97			1,32																			
	Mín.		-0,72	-0,36			-0,02																							
M03 S20 C75	Máx.		-0,88		0,25				0,39	0,72				1,02			1,36													
	Mín.				-0,68				-0,34																					
M03 S20 C95	Máx.		-0,88			0,25			0,38				0,72				1,01			1,36										
	Mín.					-0,68			-0,34																					
M04 S38 C51	Máx.	-0,93	-0,83	0,04			0,29	0,43			0,70	1,05			1,32															
	Mín.			-0,57			-0,57	-0,28			-0,02																			
M04 S38 C75	Máx.		-0,92		0,07				0,16	0,41				0,59		0,85		1,14		1,41										
	Mín.				-0,77				-0,53	-0,52				-0,26																
M04 S38 C95	Máx.		-0,92			0,06			0,15				0,40				0,58		0,84		1,14	1,40								
	Mín.					-0,78			-0,53				-0,52				-0,26													
M04 S25 C51	Máx.	-0,93	-0,81	0,04			0,29	0,50			0,75	1,08			1,35															
	Mín.			-0,54			-0,54	-0,27																						
M04 S25 C75	Máx.		-0,93		0,13				0,21	0,46				0,63		0,89		1,16		1,42										
	Mín.				-0,76				-0,53	-0,51				-0,25																
M04 S25 C95	Máx.		-0,93			0,12			0,21				0,45				0,62		0,88		1,15	1,41								
	Mín.					-0,77			-0,53				-0,51				-0,26													
M04 S20 C51	Máx.	-0,93	-0,80	0,09			0,33	0,53			0,79	1,10			1,36															
	Mín.			-0,54			-0,54	-0,27																						
M04 S20 C75	Máx.		-0,93		0,15				0,23	0,48				0,64		0,90		1,16		1,42										
	Mín.				-0,76				-0,54	-0,51				-0,25																
M04 S20 C95	Máx.		-0,93			0,15			0,23				0,48				0,64		0,89		1,16	1,42								
	Mín.					-0,76			-0,53				-0,51				-0,25													

Fonte: Salvador (2013)

O valor adotado como fator de carga a ser aplicado em todos os casos corresponde ao maior valor apresentado na tabela anterior, igual a 1,42. Esse valor corresponde ao somatório dos fatores de carga dos pontaletes sobre e sob o

pavimento. Ainda, segundo Salvador (2013), para obter o fator de carga no pavimento, a partir dos fatores de carga aplicados pelo pontalete, deve-se somar o fator de carga correspondente ao peso próprio do pavimento ($k=1$).

Figura 6 - Estudo dos fatores de carga resultantes interpretado por Salvador (2013)



Fonte: Salvador (2013)

Os valores resultantes de fatores de carga se deram, no pavimento 1, por um carregamento de $0,09$. No pavimento 2, um carregamento de $0,12$ e outro carregamento de $-0,09$. No pavimento 3, tem-se um carregamento de $-0,12$. Assim tem-se como resultantes, no pavimento 1 um carregamento de $0,02$, no pavimento 2 um carregamento de $0,03$ e no pavimento 3 um carregamento de $0,12$.

Acrescentando-se o peso próprio de cada pavimento aos carregamentos resultantes aplicados pelos pontaletes no pavimento, tem-se no pavimento 1, um carregamento de $1,09$, no pavimento 2 um carregamento de $1,03$ e no pavimento 3 um carregamento de $0,88$.

Dessa forma se deu o valor de $1,42$, adotado posteriormente para análise e estudo das lajes deste trabalho.

3 METODOLOGIA

As etapas da metodologia empregada para o dimensionamento das lajes para as cargas usuais de projeto para este trabalho seguiram o desenvolvimento descrito a seguir:

3.1 Projeto da laje para as cargas de serviço

- Determinação da espessura da laje;
- Análise de solicitações em lajes maciças de concreto armado, pelo método da analogia de grelha linear para um carregamento de projeto;
- Cálculo das áreas de armadura correspondentes aos momentos oriundos dessas solicitações e transformação dessas áreas em taxas efetivas, com auxílio de planilha eletrônica;
- Verificação dos momentos máximos que poderiam ser suportados pelas seções com essas armaduras, para cargas de curta duração, adequadas à etapa de construção, com auxílio de planilha eletrônica;
- Análise das solicitações em lajes com novos critérios de carregamentos e cargas concentradas, com geometrias e vinculações de bordo de lajes diferentes e quantidades e espaçamentos de pontaletes variados, com auxílio de software de uso comercial, através da analogia de grelha;
- Análise dos resultados;
- Elaboração das recomendações de projeto com base nos resultados;

3.2 Critérios adotados na analogia de grelha

Como as lajes são analisadas através da analogia de grelhas, foi configurada a discretização da malha da grelha, conforme descrito abaixo:

- Espaçamento entre barras verticais: 50 cm;
- Espaçamento entre barras horizontais: 50 cm;
- Origem da malha em X, a partir do ponto (0,0): 25 cm
- Origem da malha em y, a partir do ponto (0,0): 25 cm

Essas medidas e distâncias foram definidas dessa forma, pois favorecem o posicionamento das barras da grelha, garantindo simetria e uma análise mais coesa. Outro fator determinante para adoção dessa configuração está nas dimensões das lajes que foram testadas, que são múltiplas de 0,5m.

3.3 Determinação da espessura da laje

Para determinação da espessura das lajes testadas neste trabalho, foi utilizado um programa, desenvolvido Campos Filho (2010), onde é estabelecida uma espessura mínima, exclusivamente para cargas uniformemente distribuídas, que atenda o estado limite serviço de deformação excessiva, estimando-se o momento de inércia da seção (I_{eq}), da seguinte forma:

- se $Ma \leq Mr$, $I_{eq} = I_c$: para seção não fissurada
- se $Ma > Mr$, $I_{eq} = 0,3 \cdot I_c$: para seção fissurada

Onde:

Ma = momento fletor na seção crítica para uma combinação quase permanente (placas em regime elástico)

Mr = momento de fissuração da laje dado por:

$$Mr = 0,0075 \cdot f_{ck}^{2/3} \cdot h^2 \quad (09)$$

I_c = momento de inércia da seção bruta de concreto, obtido por:

$$I_c = 8,33 \cdot h^3 \quad (10)$$

Para determinação da espessura, conforme descrito acima, foram estabelecidos alguns parâmetros como:

- f_{ck} = C25, adotado para todas as configurações de laje testadas;
- f_{yk} = CA-50, adotado para todas as configurações de laje testadas;
- carregamento variável de 1,5 kN/m²;
- carregamento permanente de 1,05 kN/m²;
- Vinculações de bordo:
 - ❖ modelo 1 – laje com vinculação apoiada nos quatro bordos;
 - ❖ modelo 2 – Laje com um bordo (a) engastado e demais apoiados;
 - ❖ modelo 3 – Laje com um bordo (b) engastado e demais apoiados;
 - ❖ modelo 4 – Laje com dois bordos adjacentes engastado e demais apoiados;
 - ❖ modelo 5 – Laje com dois bordos opostos (a) engastados e demais apoiados;
 - ❖ modelo 6 – Laje com dois bordos opostos (b) engastados e demais apoiados;
 - ❖ modelo 7 – Laje com três bordos engastados sendo dois os bordos “a” e demais apoiados;
 - ❖ modelo 8 – Laje com três bordos engastados sendo dois os bordos “b” e demais apoiados;
 - ❖ modelo 9 – Laje com quatro bordos engastados
- Vãos efetivos de laje (m):

❖ 2x2	❖ 4x8
❖ 2x3	❖ 5x5
❖ 2x4	❖ 5x7,5
❖ 3x3	❖ 5x10
❖ 3x4,5	❖ 6x6
❖ 3x6	❖ 6x9
❖ 4x4	❖ 6x12
❖ 4x6	

3.4 Análise de solicitações em lajes maciças de concreto armado, pelo método da analogia de grelha linear

A análise pelo método de grelha linear consiste em um critério típico de análise elástica, bastante diferente de uma análise plástica, em que se considera que o momento em uma dada direção é constante ao longo do comprimento da laje.

Para determinação das solicitações, utilizou-se como base de lançamento para todas as lajes testadas neste trabalho, uma carga superficial permanente valendo $1,05 \text{ kN/m}^2$, que são valores equivalentes à carga de piso mais forro, mais peso próprio da laje, dado pelo produto da espessura da laje com o peso específico do concreto armado (25 kN/m^3), e ainda somou-se a essas cargas, uma carga acidental de $1,5 \text{ kN/m}^2$, comumente adotada para edificações residenciais. Também foi definido como capacidade de resistência do concreto, um $f_{ck} = 25 \text{ Mpa}$.

As vinculações de bordo no software foram simuladas da seguinte forma:

1. Marcação como bordo engastado, onde este ocorre;
2. Lajes paralelas onde os bordos são engastados, como mostra a Figura a seguir:
 - modelo 1 – laje com vinculação apoiada nos quatro bordos;

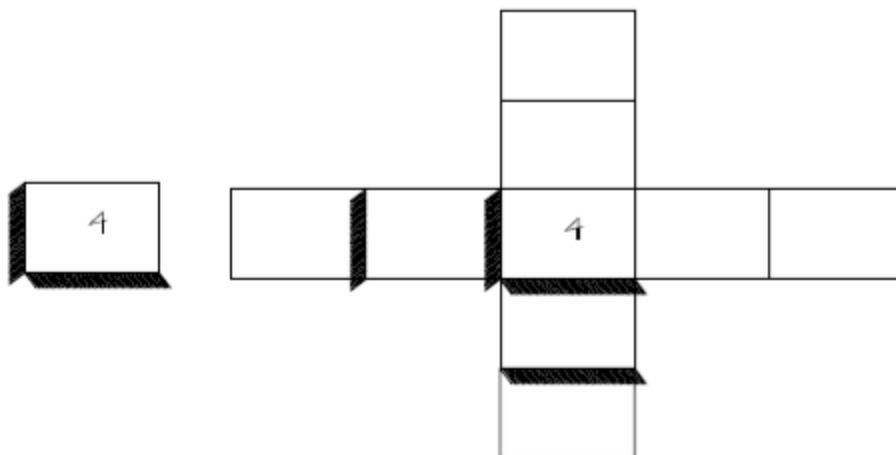


- modelo 2 – Laje com um bordo (a) engastado e demais apoiados;



- modelo 3 – Laje com um bordo (b) engastado e demais apoiados; ocorre da mesma forma que o modelo 2, no entanto com o outro bordo engastado

- modelo 4 – Laje com dois bordos adjacentes engastado e demais apoiados;



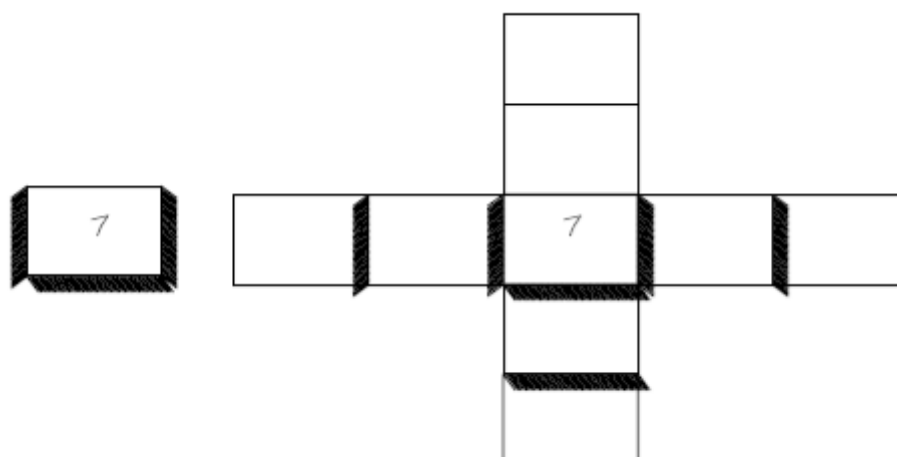
- modelo 5 – Laje com dois bordos opostos (a) engastados e demais apoiados;



- modelo 6 – Laje com dois bordos opostos (b) engastados e demais apoiados;

ocorre da mesma forma que o modelo 5, no entanto com o outro bordo engastado

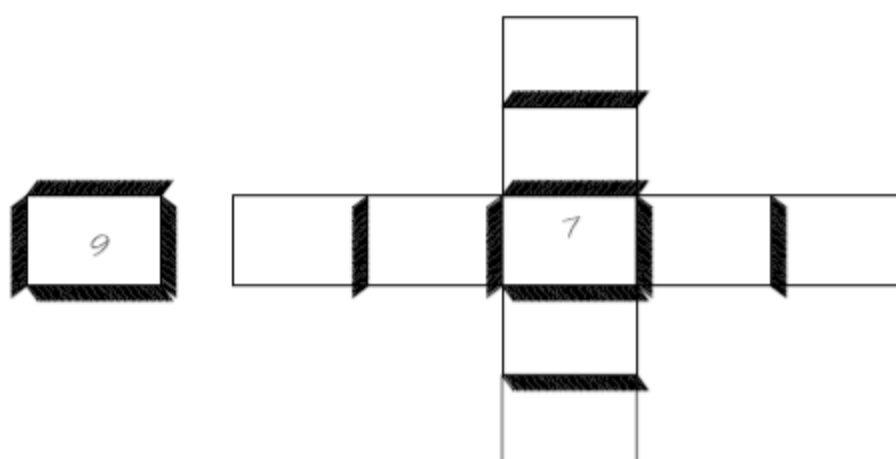
- modelo 7 – Laje com três bordos engastados sendo dois os bordos “a” e demais apoiados



- modelo 8 – Laje com três bordos engastados sendo dois os bordos “b” e demais apoiados;

ocorre da mesma forma que o modelo 7, no entanto com três bordos engastados, sendo dois deles os bordos “b”

- modelo 9 – Laje com quatro bordos engastados

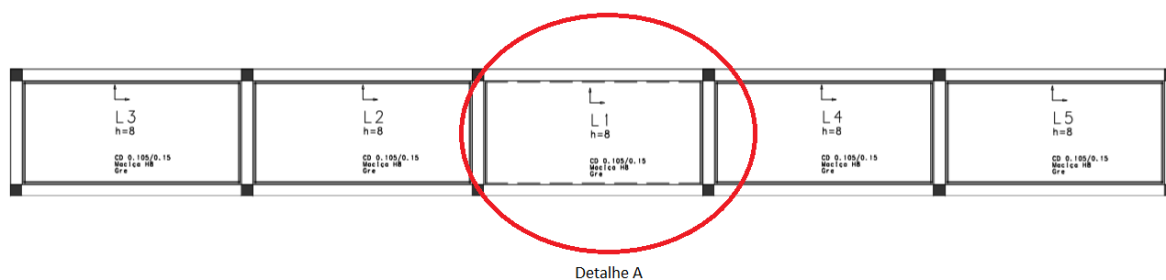


Para demonstrar as etapas de construção dos resultados, tomou-se com modelo a laje 2x4m, com dois bordos opostos “a”, engastado e demais lados apoiados (modelo 5)



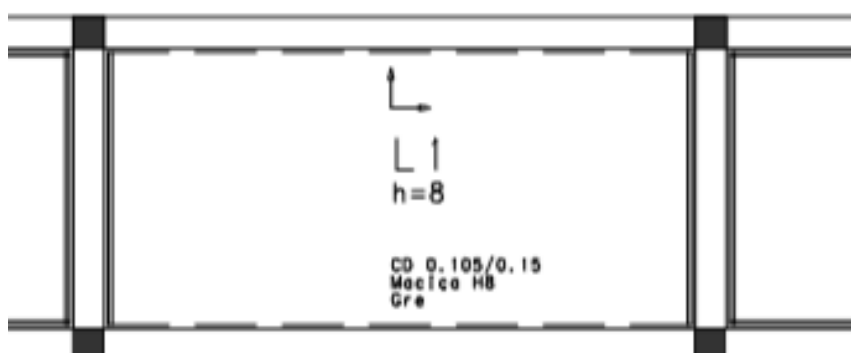
No lançamento do modelo da laje, os bordos menores “a”, foram marcados como sendo engastados, e foram lançadas lajes paralelas aos bordos engastados, a fim de aproximar ao máximo uma condição de engastamento total. Também foi marcada a opção de análise de laje pelo método de grelha linear.

Figura 7 - Modelo de lançamento laje 2x4 com dois bordos “a” opostos engastados - Projeto



Fonte: do autor.

Figura 8 - Detalhe A-1



Fonte: do autor.

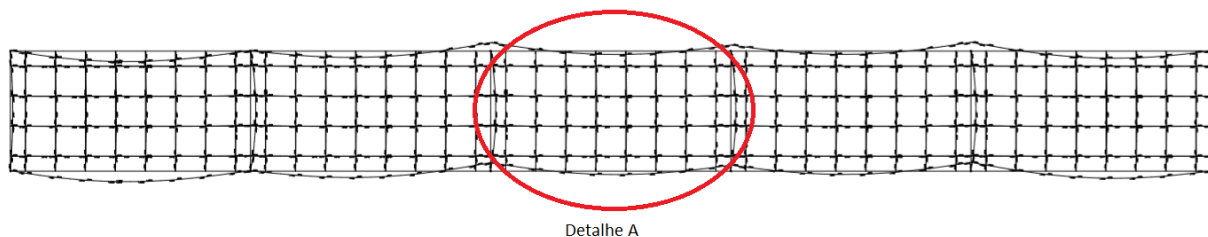
Como se pode perceber no Detalhe A-1, Figura 08, foi determinada a espessura da laje, oito centímetros, com base nos critérios descritos no item 3.3.

Os carregamentos lançados para uma condição de projeto foram os seguintes:

- carregamento distribuído permanente: $0,105 \text{ tf/m}^2$
- carregamento distribuído acidental: $0,15 \text{ tf/m}^2$

Após o lançamento do modelo da laje, foram processados os esforços da laje e visualizados esses esforços na grelha que foi gerada.

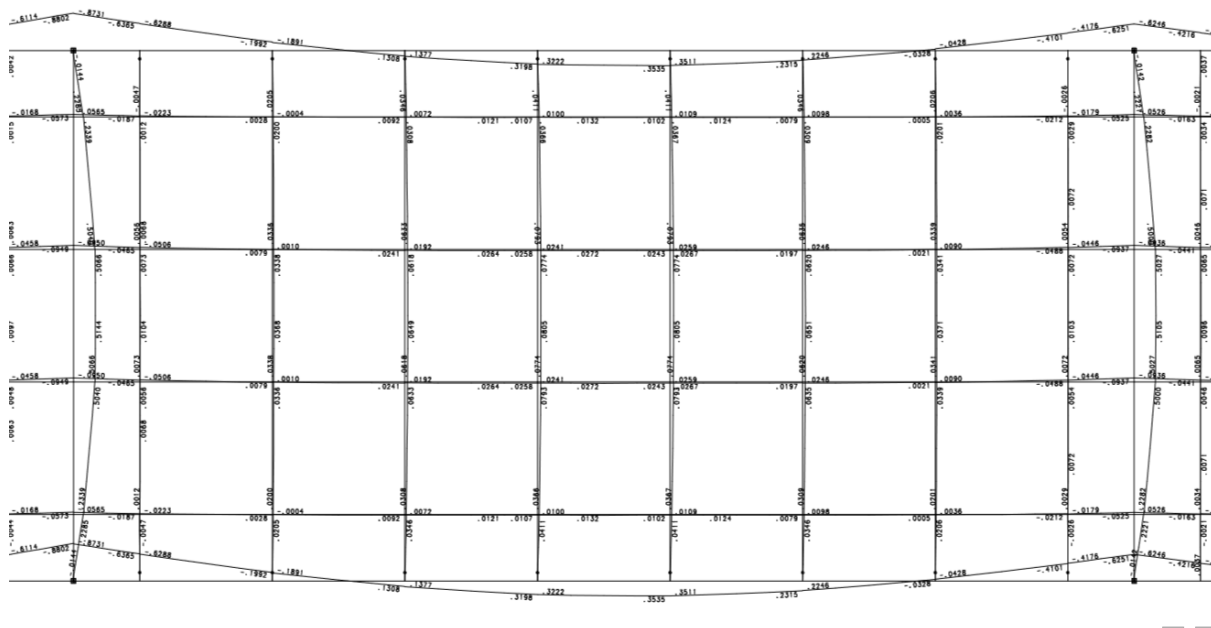
Figura 9 - Visualização da grelha laje 2x4 com dois bordos "a" engastados e demais apoiados



Fonte: do autor.

Na Figura a seguir podem ser visualizadas as barras, com discretização da malha em 50x50cm

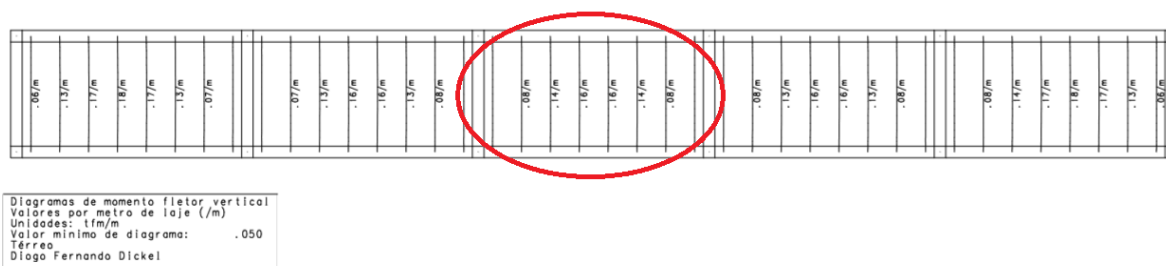
Figura 10 - Detalhe A-2



Fonte: do autor.

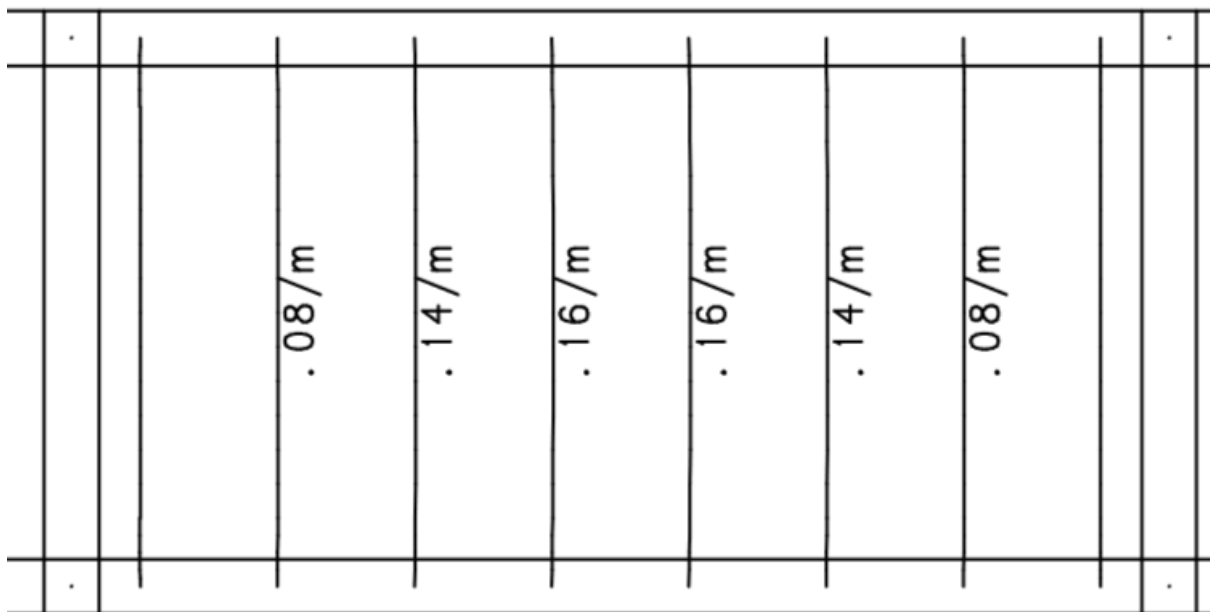
Em seguida, foram visualizados os diagramas de esforços solicitantes, tanto vertical como horizontal.

Figura 11 - Diagrama de momento fletor vertical laje 2x4 - Projeto



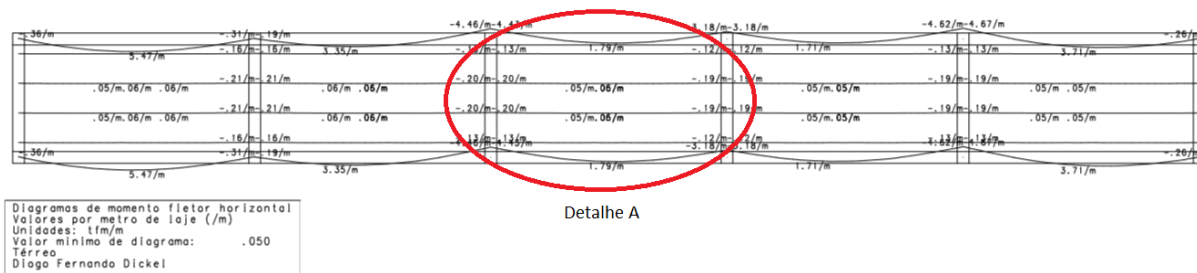
Fonte: do autor.

Figura 12 -Detalhe A-3



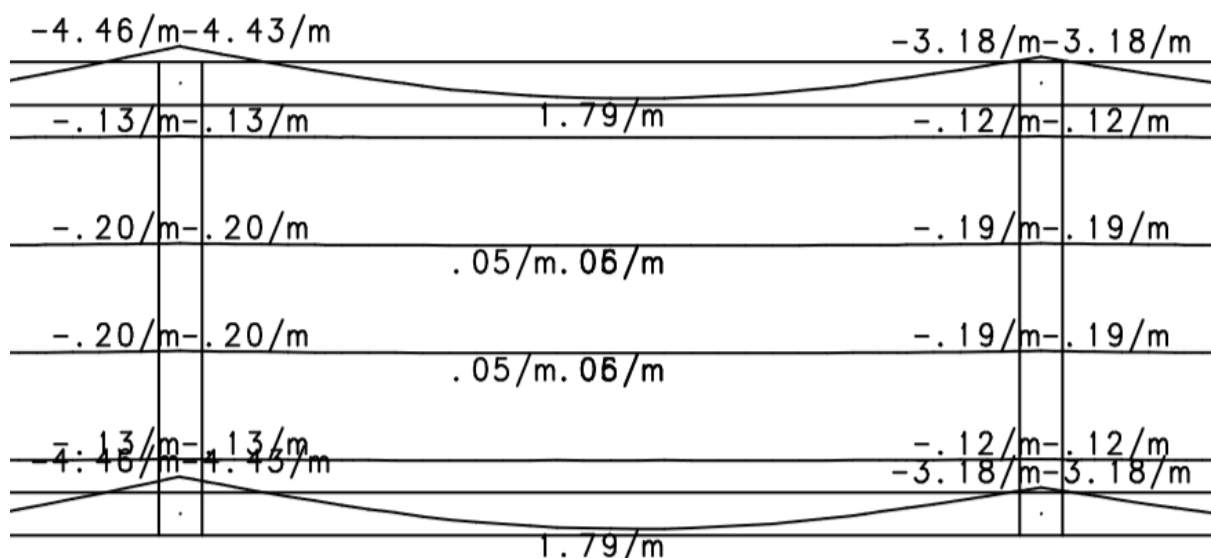
Fonte: do autor.

Figura 13 - Diagrama de momento fletor horizontal laje 2x4 - Projeto



Fonte: do autor.

Figura 14 - Detalhe A-4

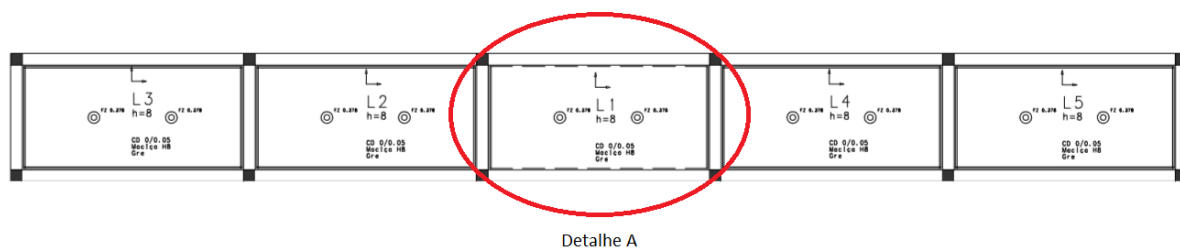


Fonte: do autor.

Com a obtenção do máximo momento fletor para as cargas de projeto, partiu-se para a segunda etapa deste trabalho, que é a verificação dos esforços para as cargas de construção consideradas.

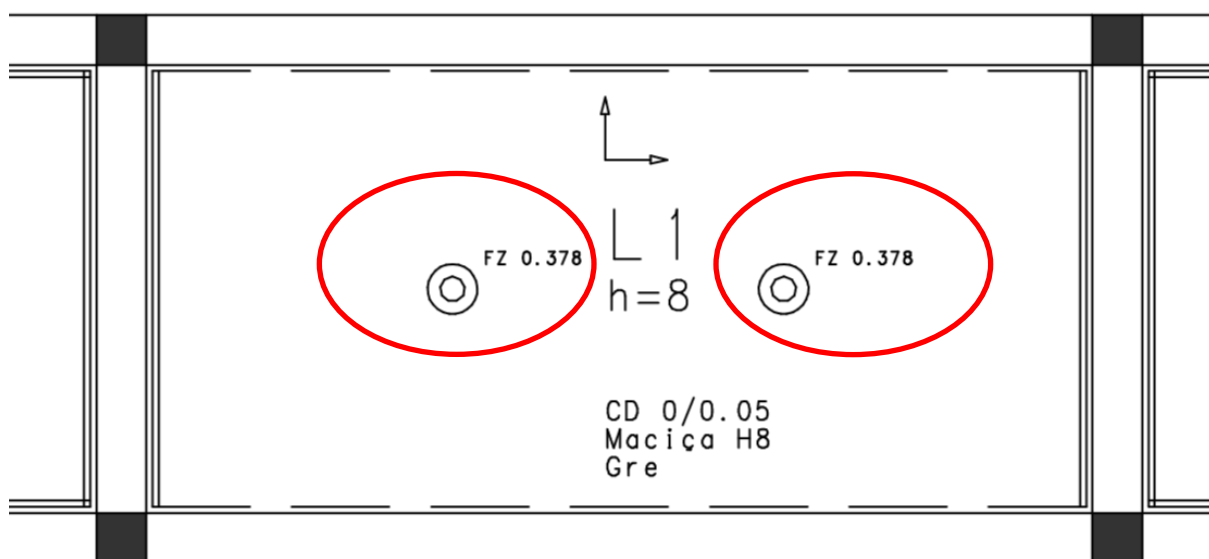
Assim como no modelo para cargas de projeto, no lançamento do modelo da laje para cargas de construção, os bordos menores “a”, foram marcados como sendo engastados, e foram lançadas lajes paralelas aos bordos engastados, a fim de aproximar ao máximo uma condição de engastamento total. Também foi marcada a opção de análise de laje pelo método de grelha linear. O carregamento permanente igual ao peso próprio, e o carregamento acidental foi de 0,05 tf/m², mais a carga concentrada P, de acordo com a distribuição do escoramento remanescente a ser verificado.

Figura 15 - Modelo de lançamento laje 2x4 com dois bordos “a” opostos engastados - Construção



Fonte: do autor.

Figura 16 - Detalhe A-6



Fonte: do autor.

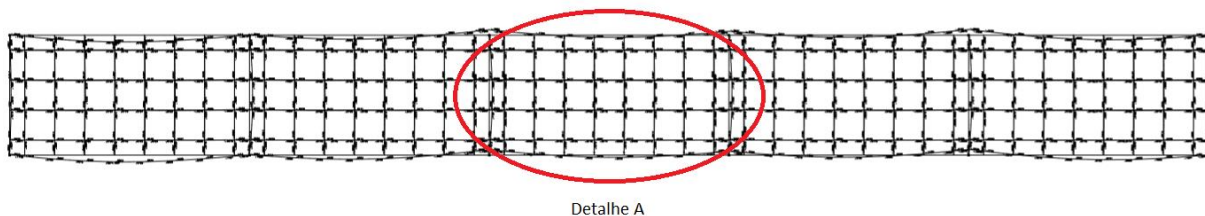
Como se pode perceber no Detalhe A-6, Figura 18, foi determinada a espessura da laje, oito centímetros, com base nos critérios descritos no item 3.3.

Os carregamentos lançados para uma condição de construção foram os seguintes:

- carregamento distribuído permanente: $0,0 \text{ tf/m}^2$
- carregamento distribuído acidental: $0,05 \text{ tf/m}^2$

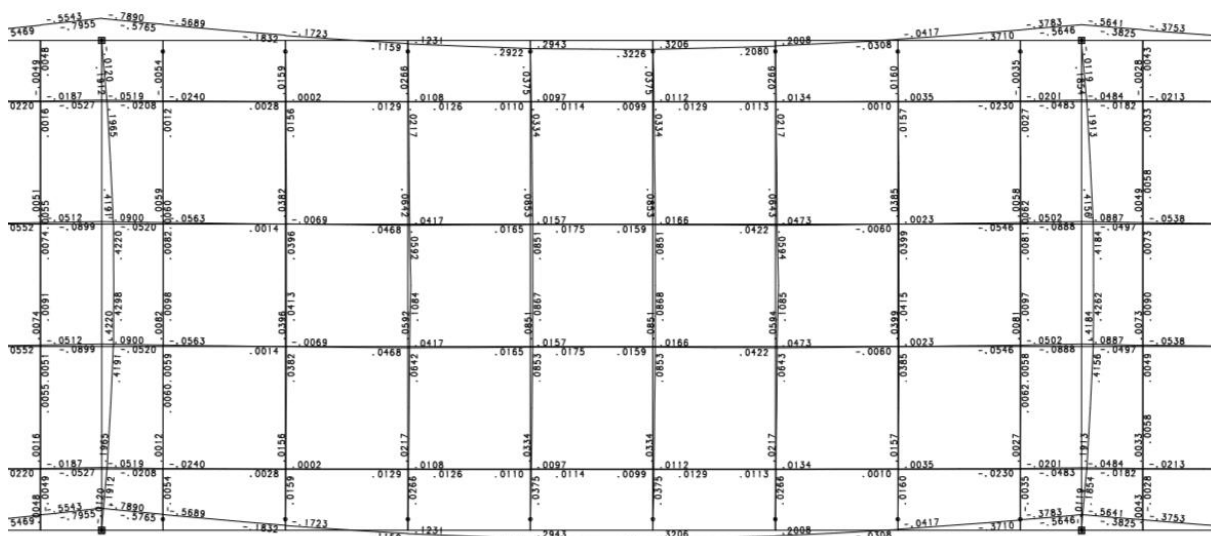
Após o lançamento do modelo da laje, foram processados os esforços da laje e visualizados esses esforços na grelha que foi gerada.

Figura 17 - Visualização da grelha laje 2x4 com dois bordos "a" engastados e demais apoiados



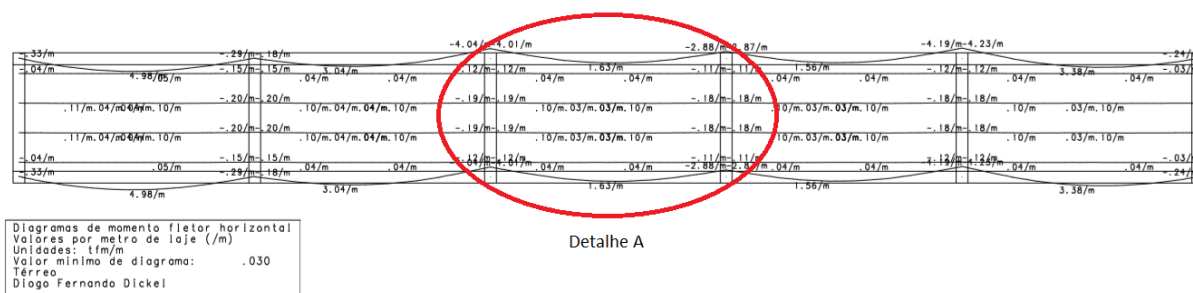
Fonte: do autor.

Figura 18 - Detalhe A-7



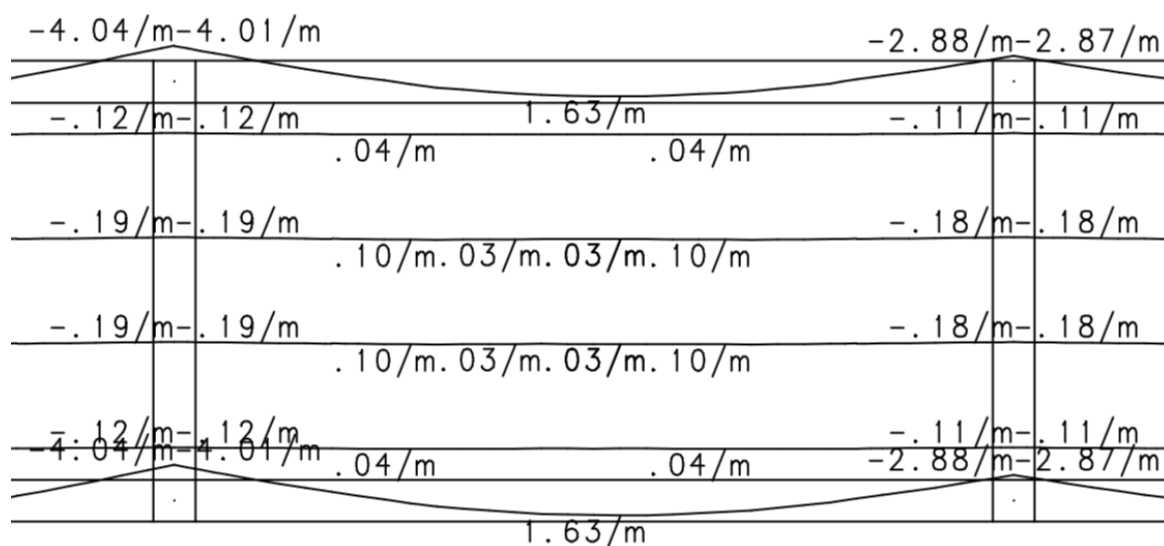
Fonte: do autor.

Figura 19 - Diagrama de momento fletor horizontal laje 2x4 - Construção



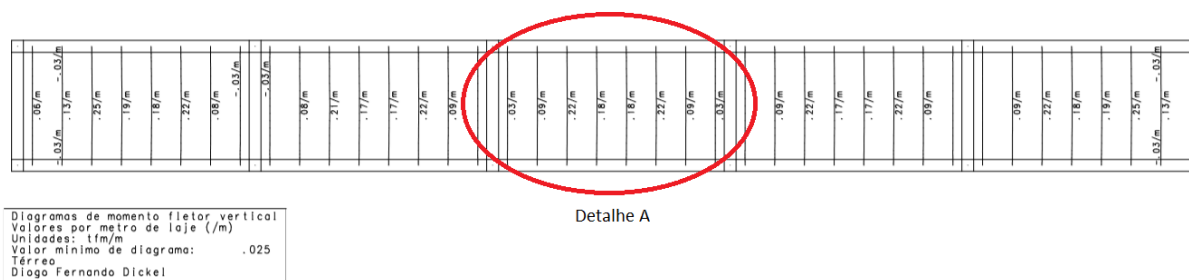
Fonte: do autor.

Figura 20 - Detalhe A-8



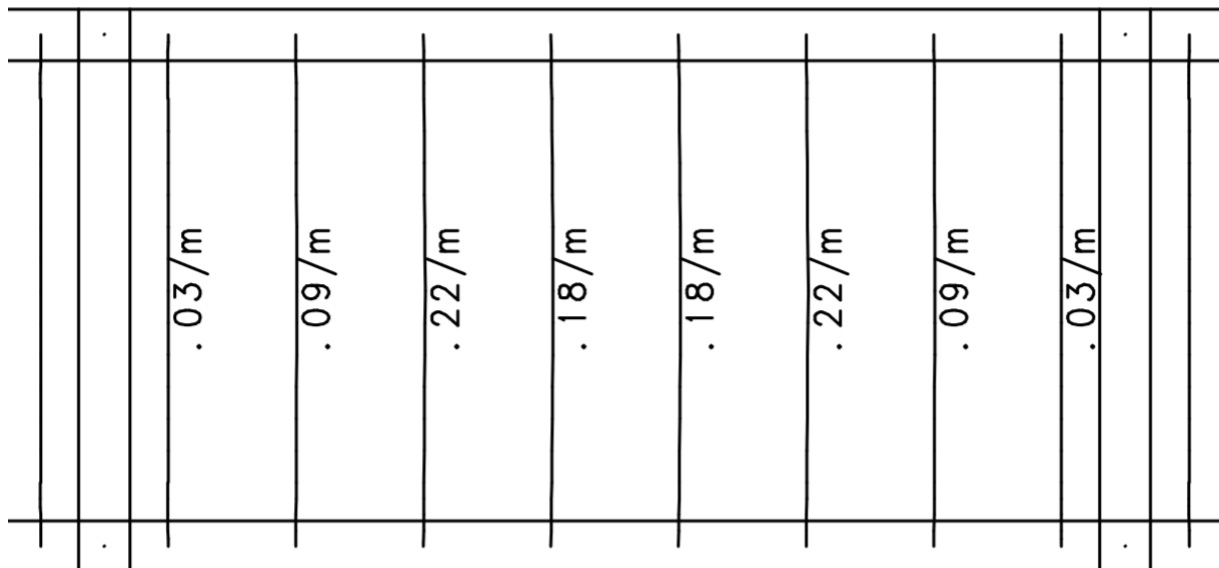
Fonte: do autor.

Figura 21 - Diagrama de momento fletor vertical laje 2x4 - Construção



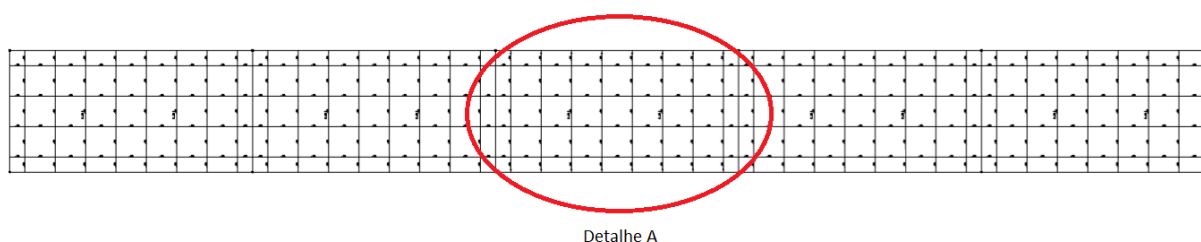
Fonte: do autor.

Figura 22 - Detalhe A-9



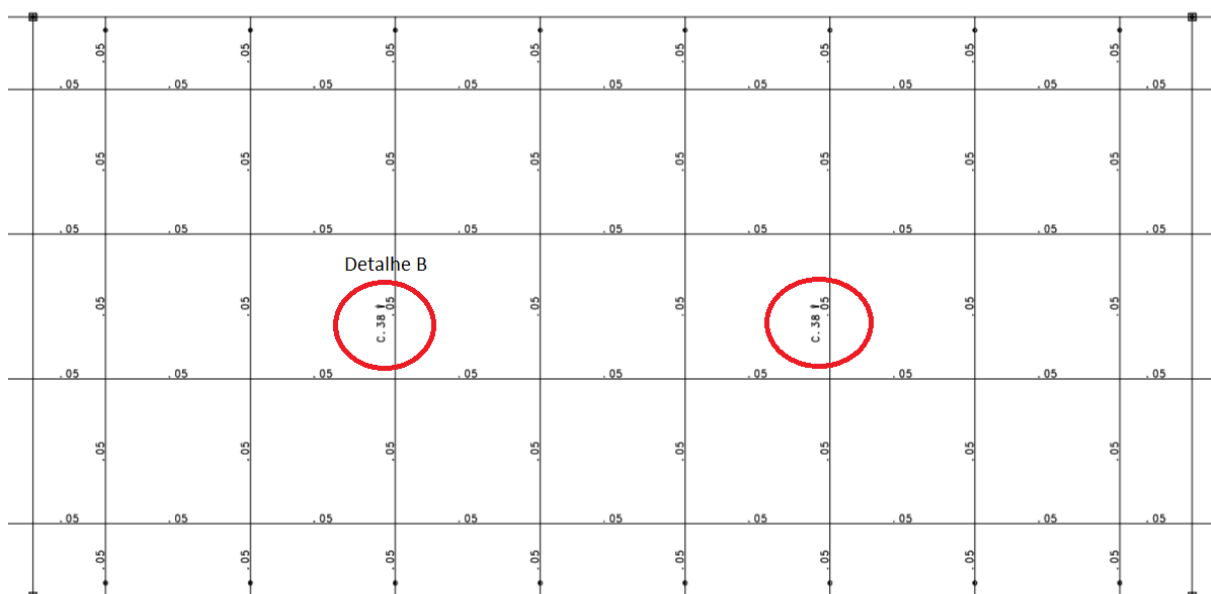
Fonte: do autor.

Figura 23 - Visualização dos carregamentos na laje - Construção



Fonte: do autor.

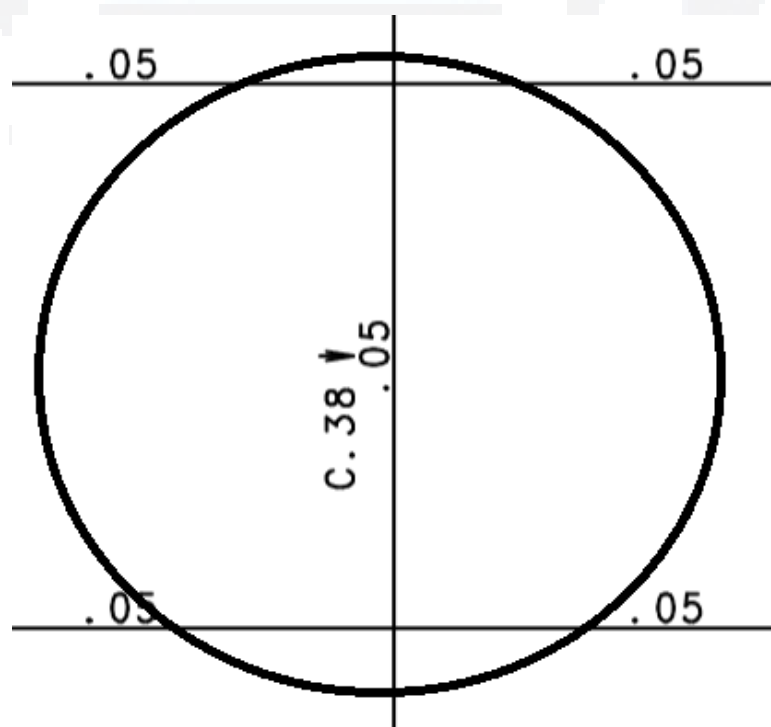
Figura 24 - Detalhe A-10



Fonte: do autor.

No detalhe B-1, Figura 27, pode ser visualizado o ponto e valor de carregamento concentrado oriundo do pontalete, aplicado sobre a laje.

Figura 25 - Detalhe B-1



Fonte: do autor.

E assim dessa mesma forma ocorreu os estudos para os demais modelos de laje, seguindo esta mesma lógica, sempre verificando qual espaçamento entre escoras remanescentes fica mais adequado ou não.

3.5 Elaboração de planilha eletrônica para dimensionamento das áreas de armadura correspondentes aos momentos oriundos dessas solicitações e transformação dessas áreas em taxas efetivas

Para o cálculo das áreas de armadura correspondentes aos momentos flettores obtidos pela análise de grelha da laje, desenvolveu-se uma planilha eletrônica capaz de realizar o dimensionamento da taxa de armadura correspondente, e ainda transformá-la em taxa efetiva, como pode ser visualizado na Figura 28.

Figura 26 - Planilha eletrônica para cálculo das áreas de armadura

DIMENSIONAMENTO						
fck	25	▼	Mpa	fyk	50	kN/cm ²
Mk,máx	3,80		kN.m/m	Yc	1,4	
Md	532,0		kN.cm/m	Yf	1,4	
bw	100		cm	Ys	1,15	
h	10,0		cm	Rüsch	0,85	
C (cobrimento)	2,50		cm			
Contr. Adequado	0,50		cm			
d	7,50		cm			
X	0,60		cm			
As	1,69		cm ² /m			
As, mín	1,01		cm ² /m			
As, adotado	1,69		cm ² /m			
Espaç.máx	20		cm			
Det. Armadura	Ø 6,3 c/ 18					
As, efetivo	1,73		cm ² /m			

DIMENSIONAMENTO	
EQUAÇÕES:	$X = 1,25 * d \left[1 - 1 - \sqrt{\frac{M_d}{0,425 * b_w * d^2 * f_{cd}}} \right]$ $As = \frac{Rüsch * 0,8 * f_{cd} * b_w * x}{f_{yd}}$

Fonte: do autor.

Ainda, foram utilizados para o cálculo das áreas de armadura os seguintes coeficientes de majoração e minoração para situação de projeto, conforme NBR 6118 (ABNT, 2014):

- ❖ Minoração da resistência do concreto $\gamma_c = 1,4$
- ❖ Majoração dos esforços solicitantes $\gamma_f = 1,4$
- ❖ Minoração da resistência do aço $\gamma_s = 1,15$
- ❖ Minoração correspondente ao efeito Rusch = 0,85

3.6 Elaboração de planilha eletrônica para verificação dos momentos máximos que poderiam ser suportados pelas seções com essas armaduras, para cargas de curta duração, adequadas à etapa de construção

Após a determinação das áreas de armadura, verificou-se os valores de momento máximo que poderiam ser suportados. Para tanto, utilizou-se coeficientes de majoração e minoração para cargas de curta duração, conforme descrito a seguir:

- ❖ Minoração da resistência do concreto $\gamma_c = 1,2$ (NBR 6118/2014)
- ❖ Majoração dos esforços solicitantes $\gamma_f = 1,3$ (NBR 6118/2014)
- ❖ Minoração da resistência do aço $\gamma_s = 1,15$ (NBR 6118/2014)
- ❖ Efeito Rusch = 1,00 (sugerido por Salvador, 2013)

Efeito Rusch adotado conforme recomendação de Salvador (2013)

Logo, têm-se os valores de momentos máximos, conforme demonstrado na Figura 29.

Figura 27 - Planilha eletrônica para cálculo do momento máximo que poderia ser suportado

VERIFICAÇÃO					
fck	2,5	kN/cm ²	fyk	50	kN/cm ²
bw	100	cm	Yc	1,2	
h	10,0	cm	Yf	1,3	
d	7,50	cm	Ys	1,15	
As, efetivo	1,73	cm ² /m	Rüsch	1,00	

X	0,4518	cm
----------	--------	----

Md	551	kN.cm/m
Mk,máx	424	kN.cm/m
Mk,máx	4,24	kN.m/m

VERIFICAÇÃO	
EQUAÇÕES:	$X = \frac{A_s * f_{yd}}{0,8 * f_{cd} * Rüsch * b_w}$ $M_d = \frac{f_{yk}}{\gamma_s} * A_s * (d - 0,4 * x)$

Fonte: do autor.

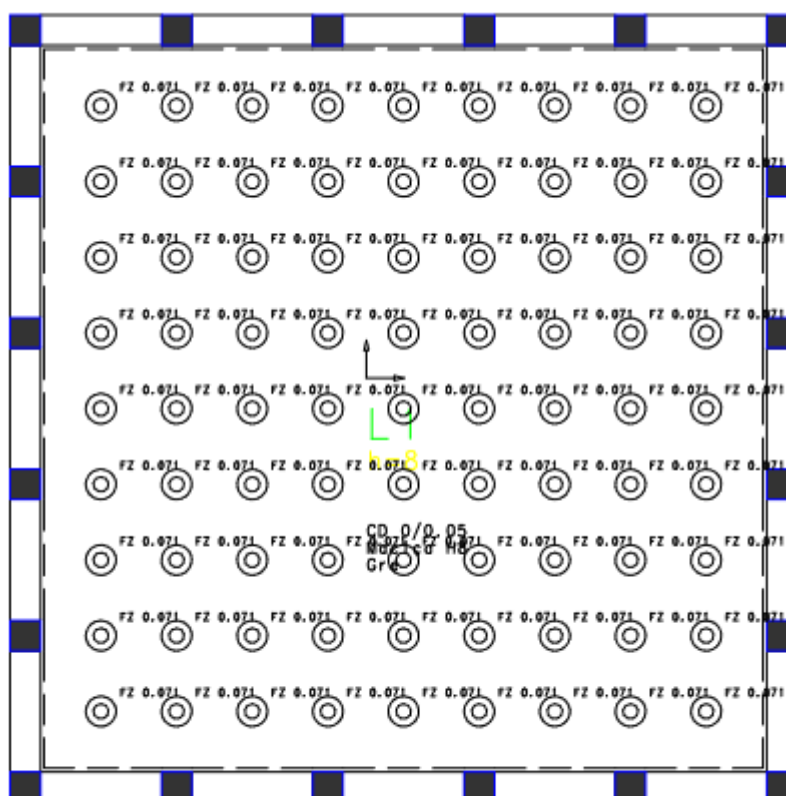
3.7 Análise das solicitações em lajes com novos critérios de carregamentos e cargas concentradas, com geometrias e vinculações de bordo de lajes diferentes e quantidades e espaçamentos de pontaletes variados

Novamente foram analisadas as lajes, agora com um carregamento de uma carga distribuída equivalente ao peso próprio da laje, acrescidos de uma carga accidental de 0,5 kN/m², valor estimado para uma etapa em processo de construção, com trânsito de trabalhadores, acomodação de máquinas e materiais sobre a laje, mais as cargas concentradas (P) correspondentes aos pontaletes, cujo valor é

obtido pelo produto do fator de carga dos pontaletes, considerado igual a 1,42, pela área de influência dos pontaletes, pela taxa de carga correspondente ao peso próprio da laje, ou seja:

$$P = 1,42 \cdot (A_{\text{influência}}) \cdot (h_{\text{laje}} \cdot \frac{25kN}{m^3}) \quad (11)$$

Figura 28 - lançamento da estrutura com novos carregamentos



Fonte: do autor.

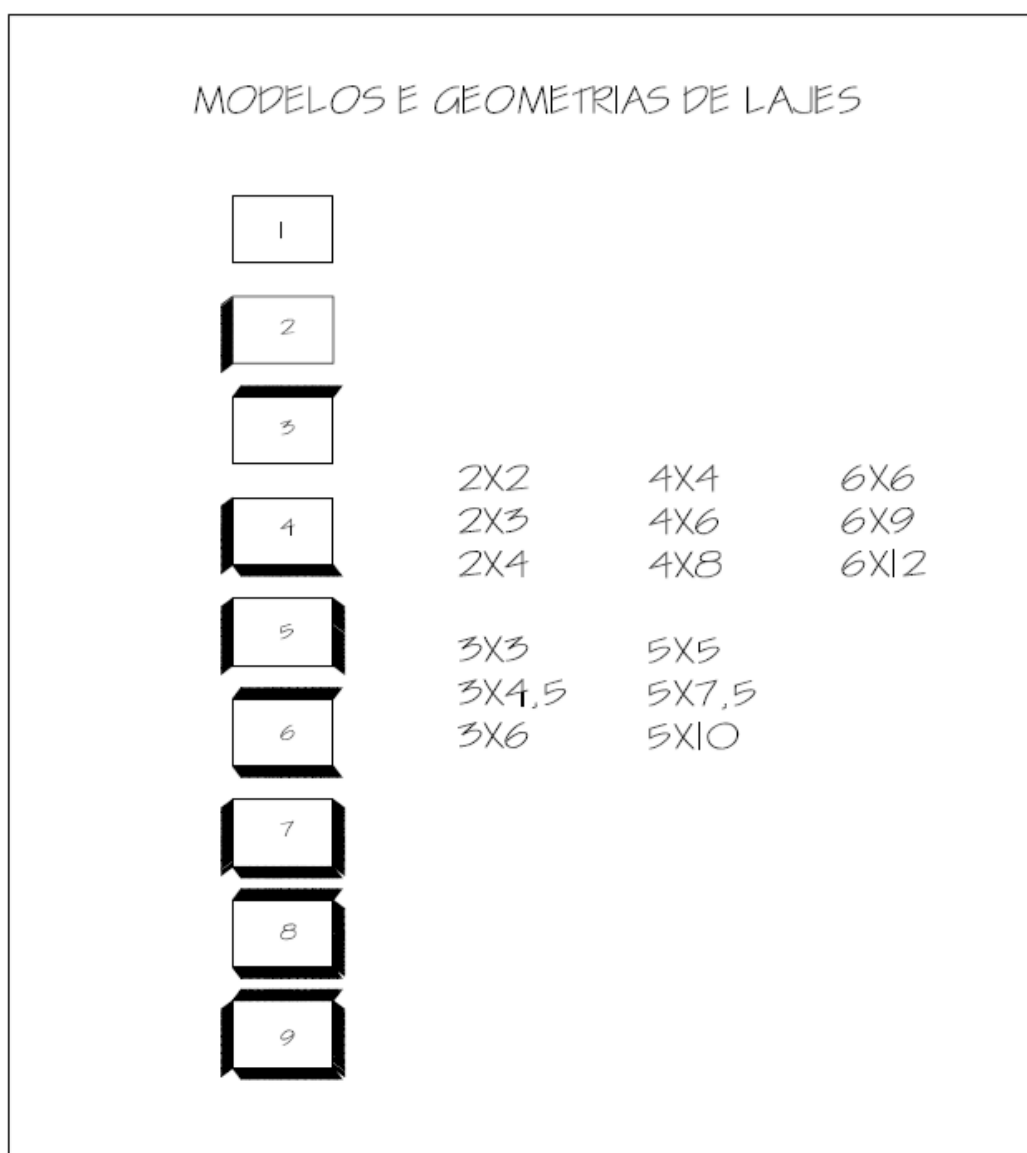
Os testes com as lajes iniciaram com um número mínimo de escoras que resultassem num espaçamento máximo de 2,5m, e foram avançando, caso necessário, aumentando-se progressivamente o número de escoras, de forma que os momentos resultantes desta combinação de carregamentos resultem em valores

menores que os obtidos para os coeficientes de majoração e minoração para curta duração, até um espaçamento mínimo de 0,5m. Este valor mínimo foi determinado considerando como sendo o mínimo razoável para trânsito de operários na obra em execução.

4 DESENVOLVIMENTO

A metodologia descrita no capítulo anterior foi aplicada em lajes maciças de concreto armado, com menores vãos de 2,3,4,5,6m, e relações de maior vão por menor vão de 1, 1,5 e 2, considerando todas as possibilidades de vinculações de bordos.

Figura 29 - Geometrias e vinculações testadas



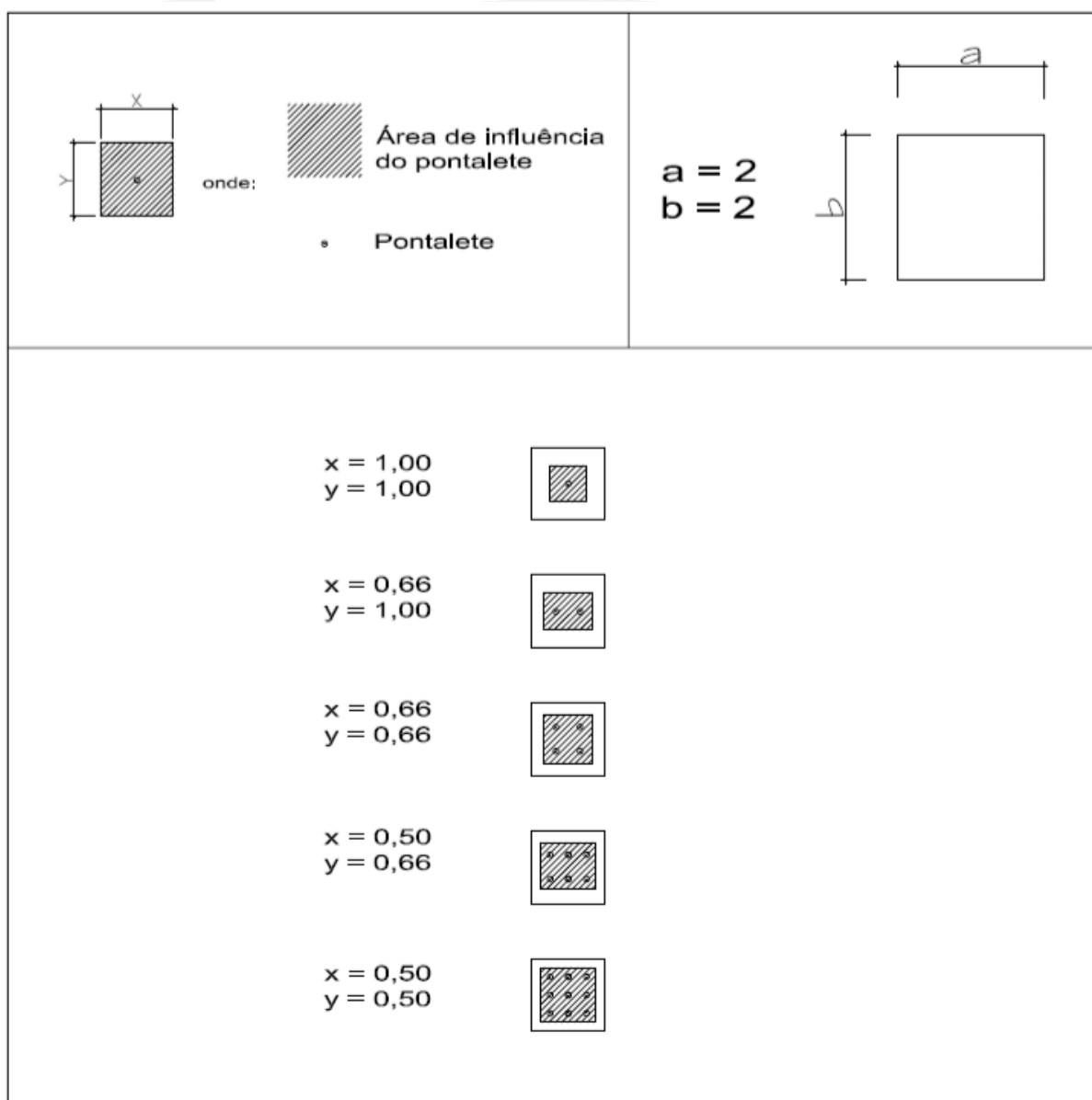
Fonte: do autor.

4.1 Configurações de espaçamentos entre escoras remanescentes

Para cada uma das lajes, foram gerados modelos de espaçamento de escoras, para facilitar o lançamento dos carregamentos no programa utilizado, variando os espaçamentos que partiam de um afastamento de 2,5 metros, e evoluíam até um espaçamento mínimo de 0,5 metros. Neste instante, também foram determinadas as áreas de influência de cada pontalete.

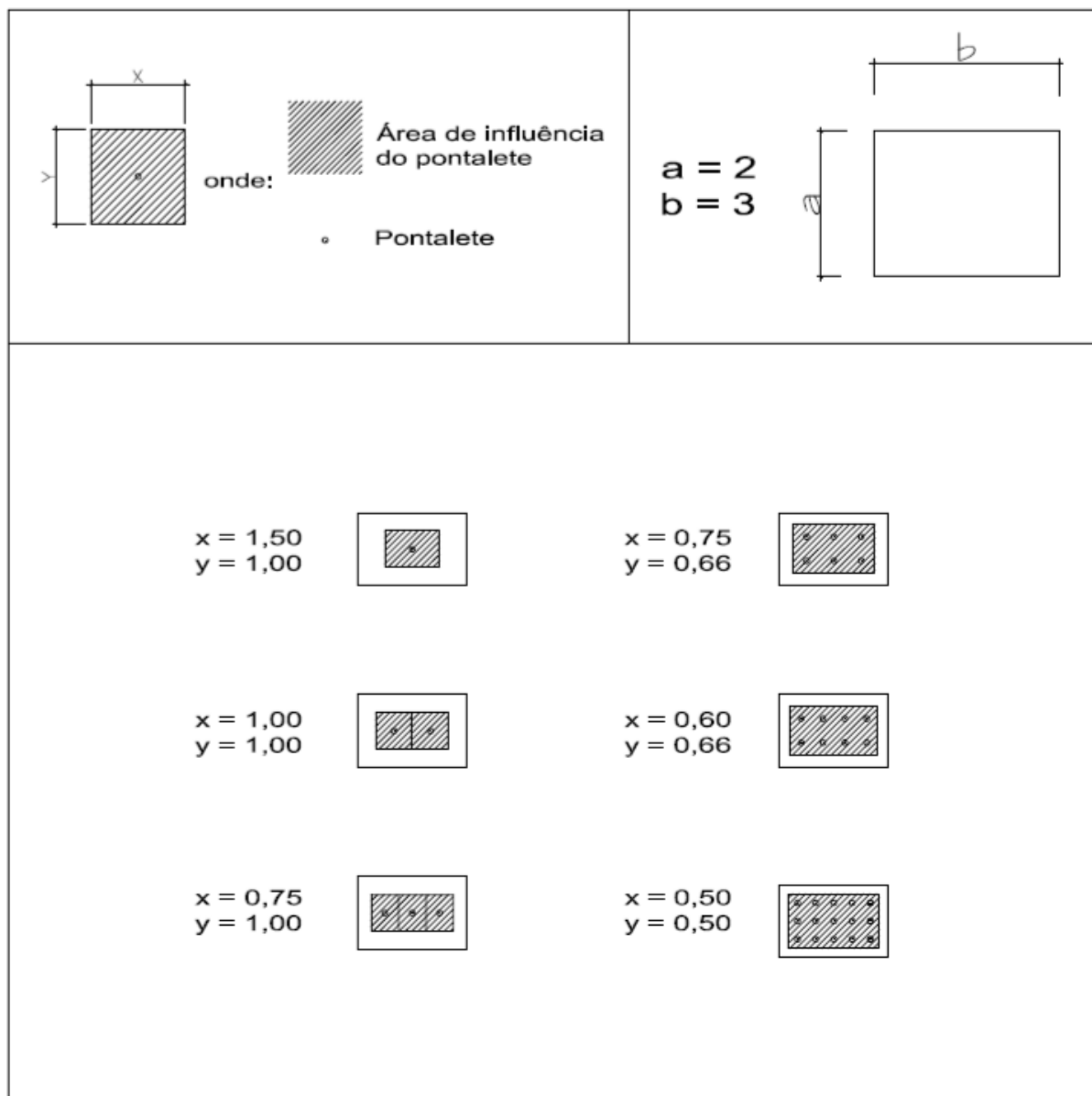
A seguir estão demonstrados os modelos utilizados.

Figura 30 - Modelo de distribuição de escoramento remanescente para laje 2x2



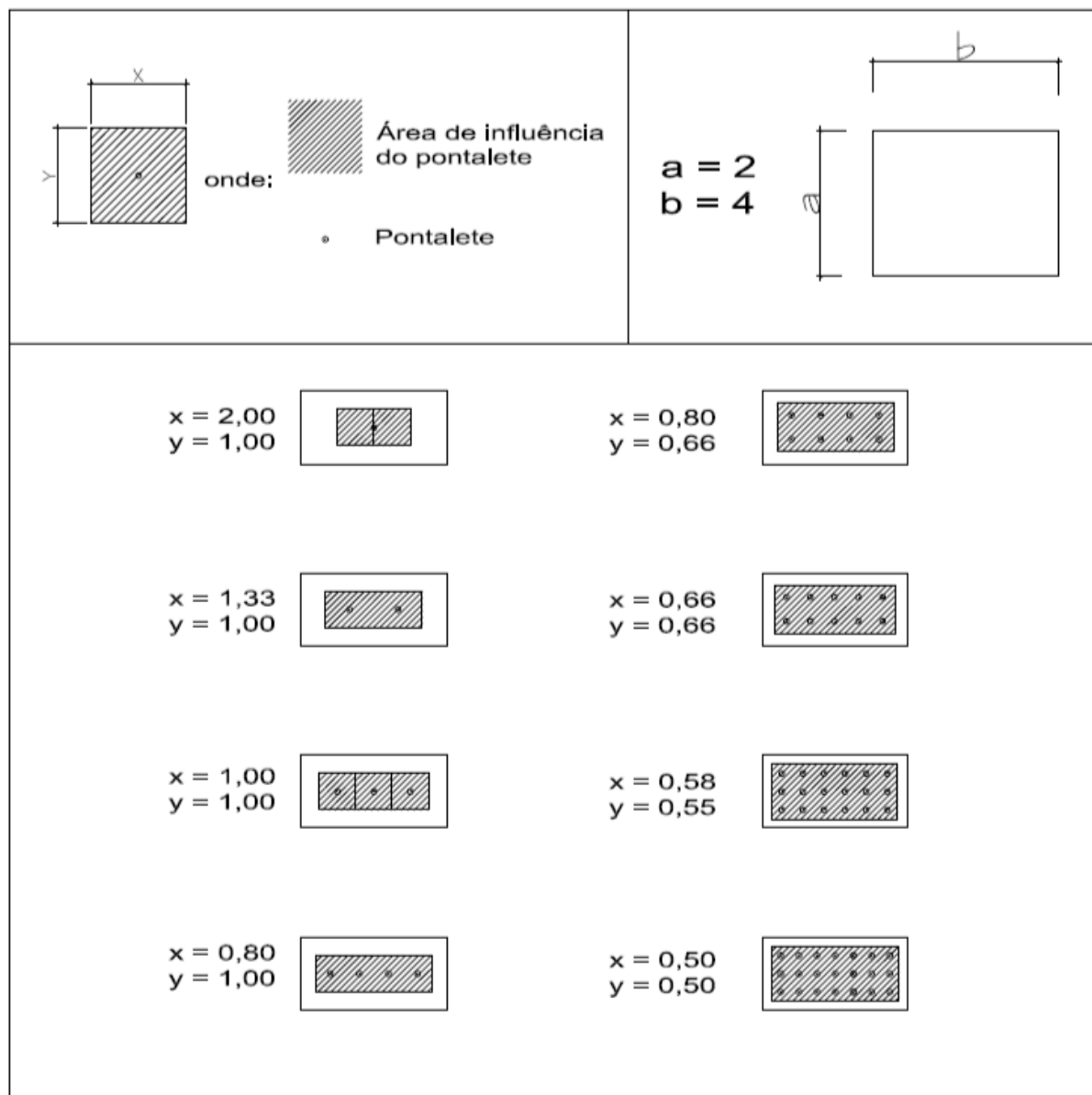
Fonte: do autor.

Figura 31 - Modelo de distribuição de escoramento remanescente para laje 2x3



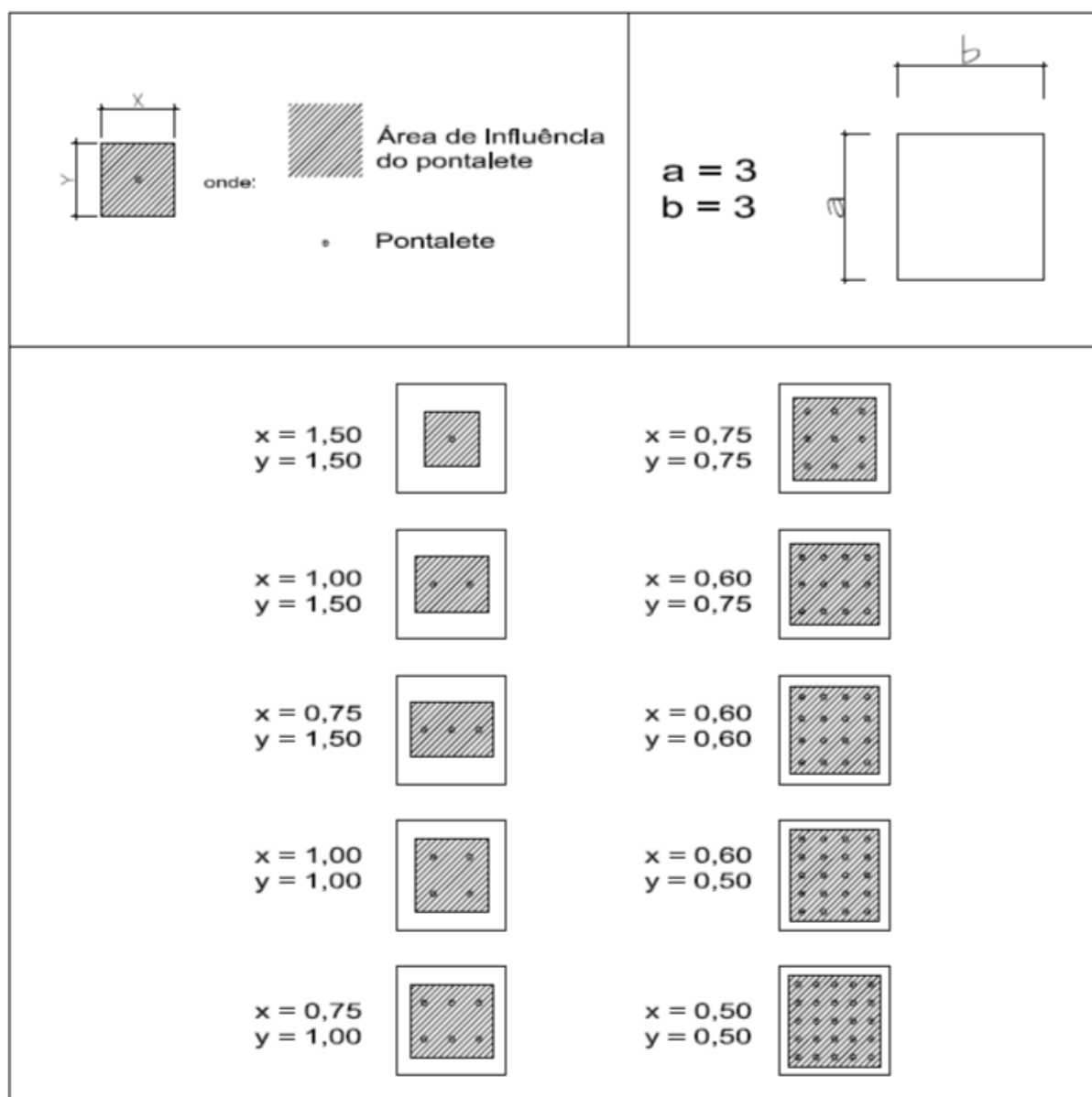
Fonte: do autor.

Figura 32 - Modelo de distribuição de escoramento remanescente para laje 2x4



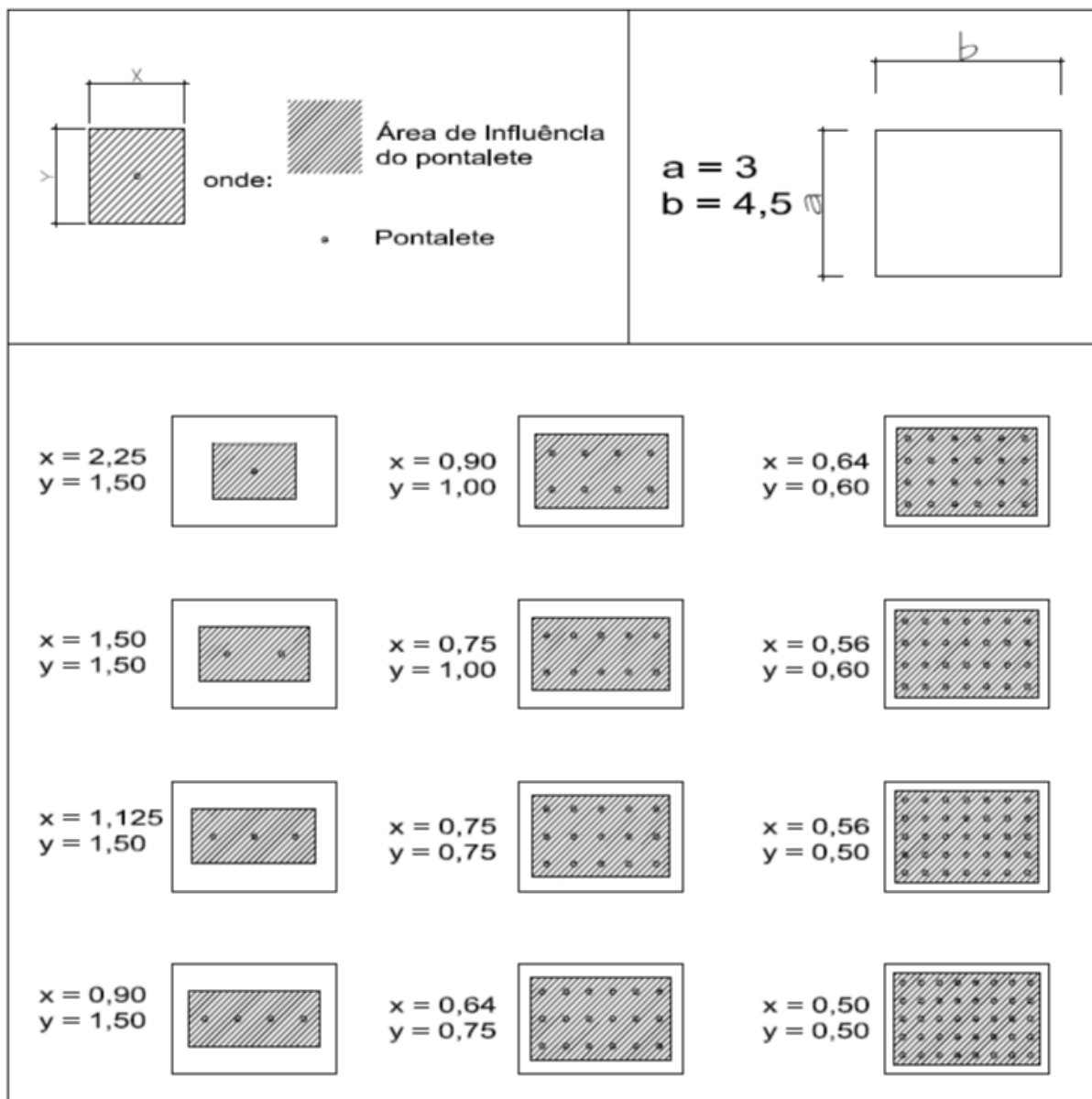
Fonte: do autor.

Figura 33 - Modelo de distribuição de escoramento remanescente para laje 3x3



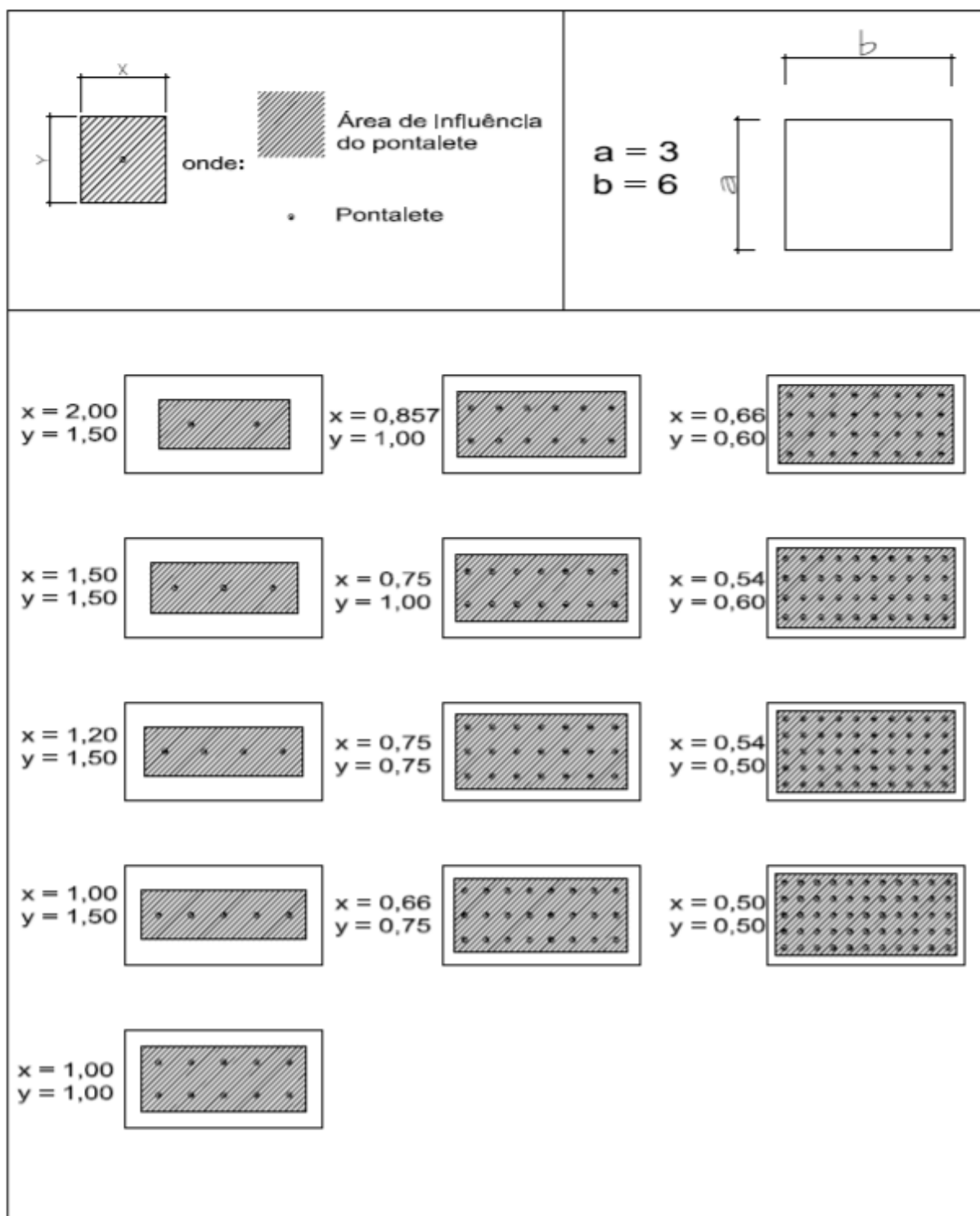
Fonte: do autor.

Figura 34 - Modelo de distribuição de escoramento remanescente para laje 3x4,5



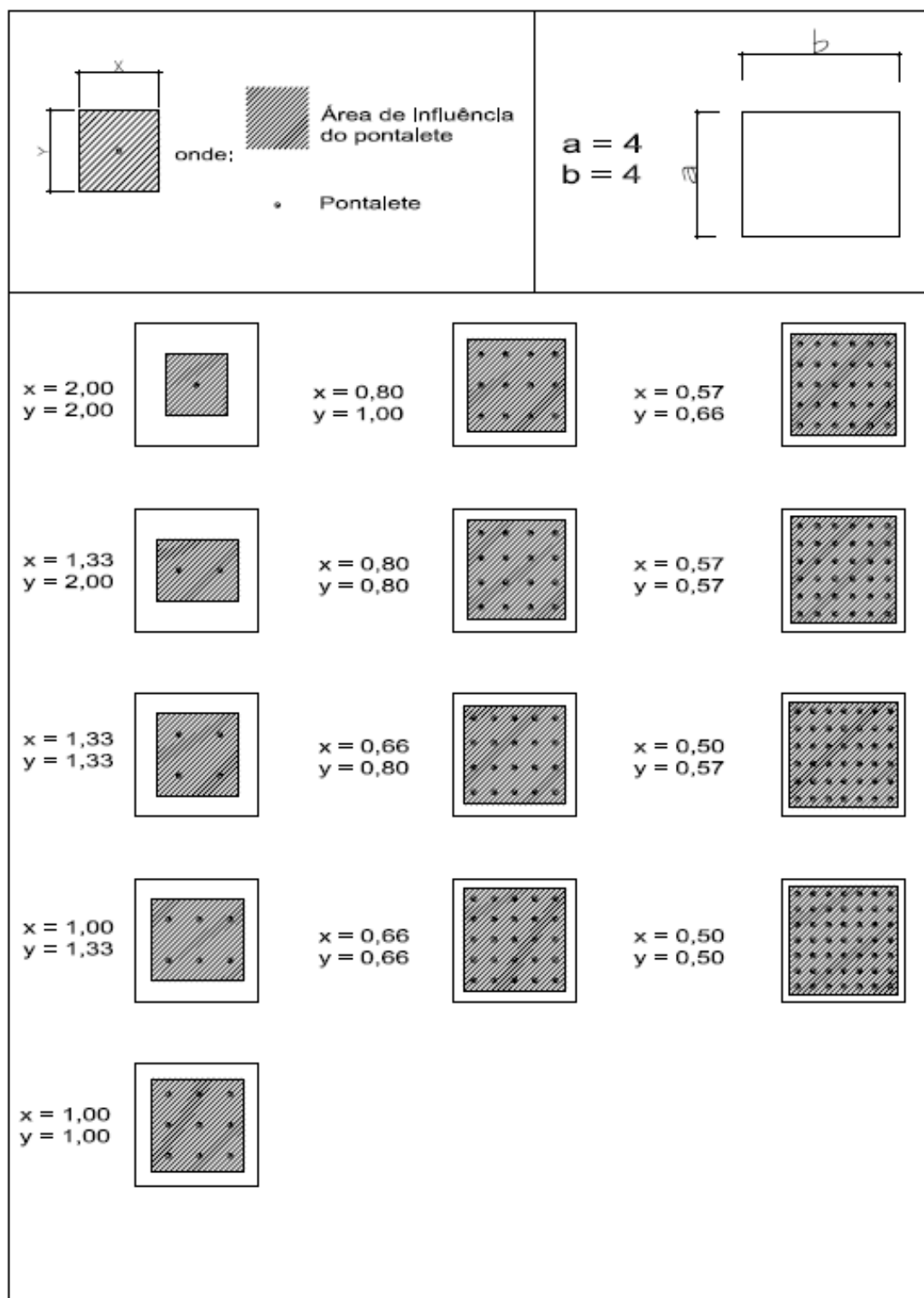
Fonte: do autor.

Figura 35 - Modelo de distribuição de escoramento remanescente para laje 3x6



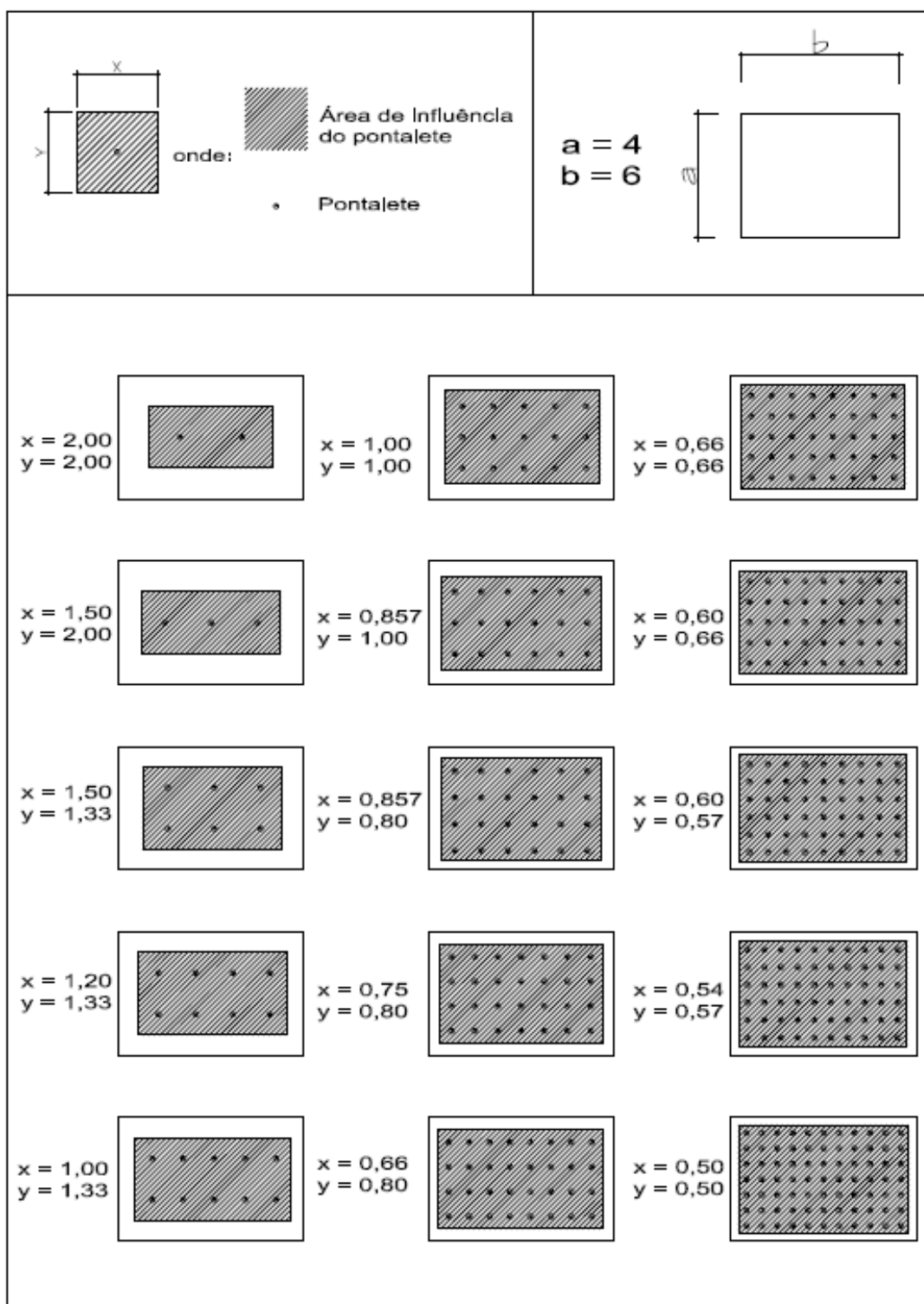
Fonte: do autor.

Figura 36 - Modelo de distribuição de escoramento remanescente para laje 4x4



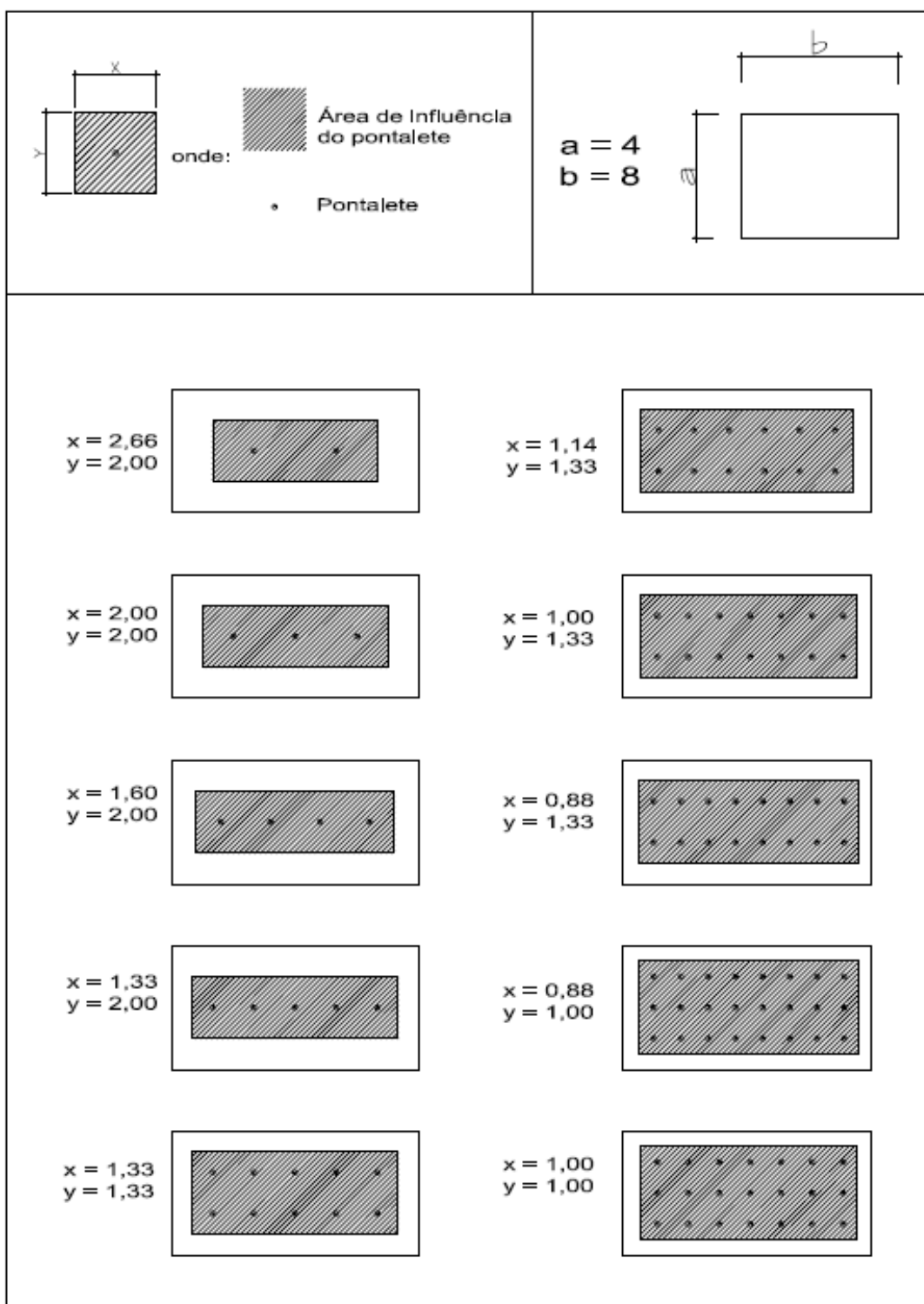
Fonte: do autor.

Figura 37 - Modelo de distribuição de escoramento remanescente para laje 4x6



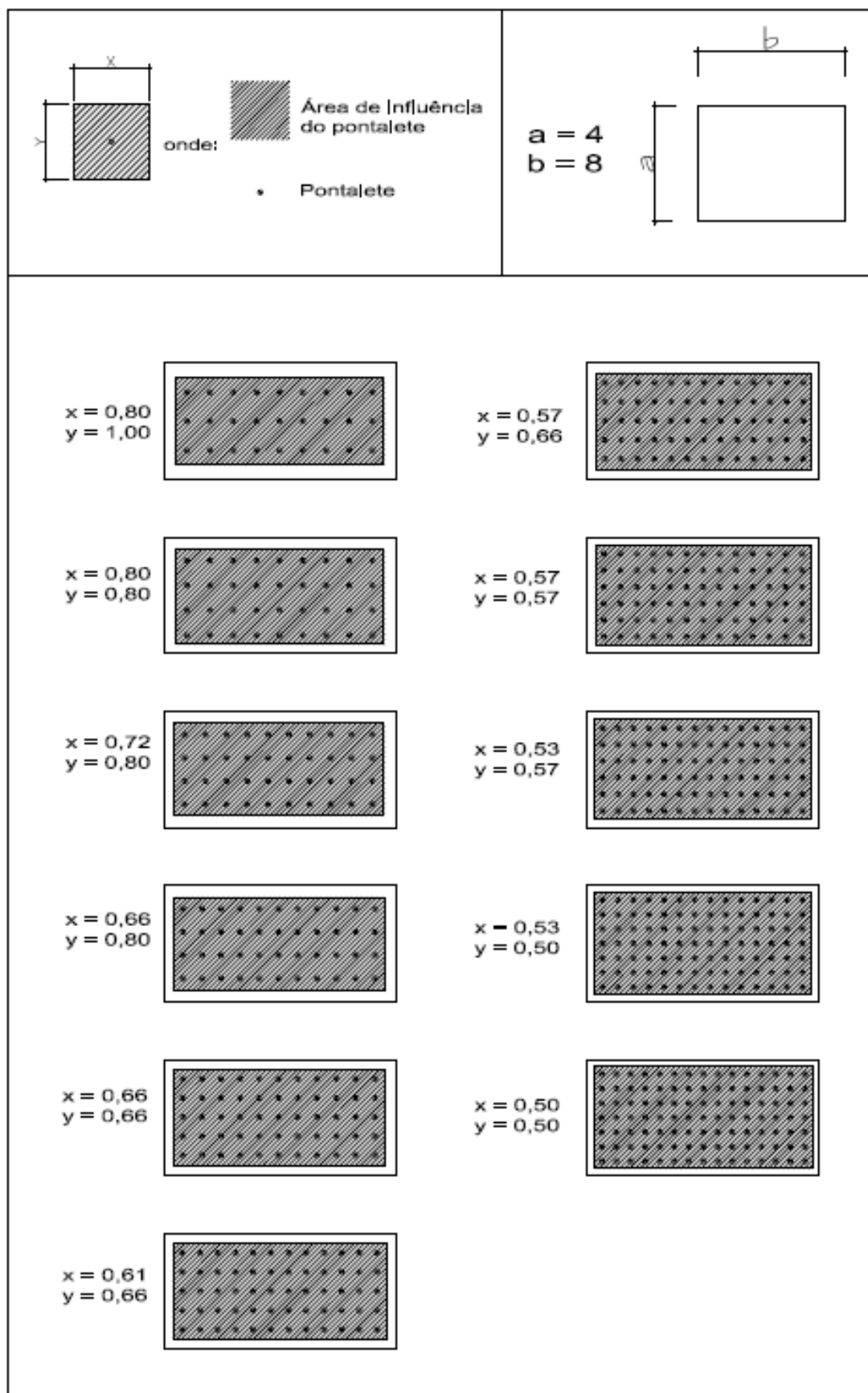
Fonte: do autor.

Figura 38 - Modelo de distribuição de escoramento remanescente para laje 4x8-1



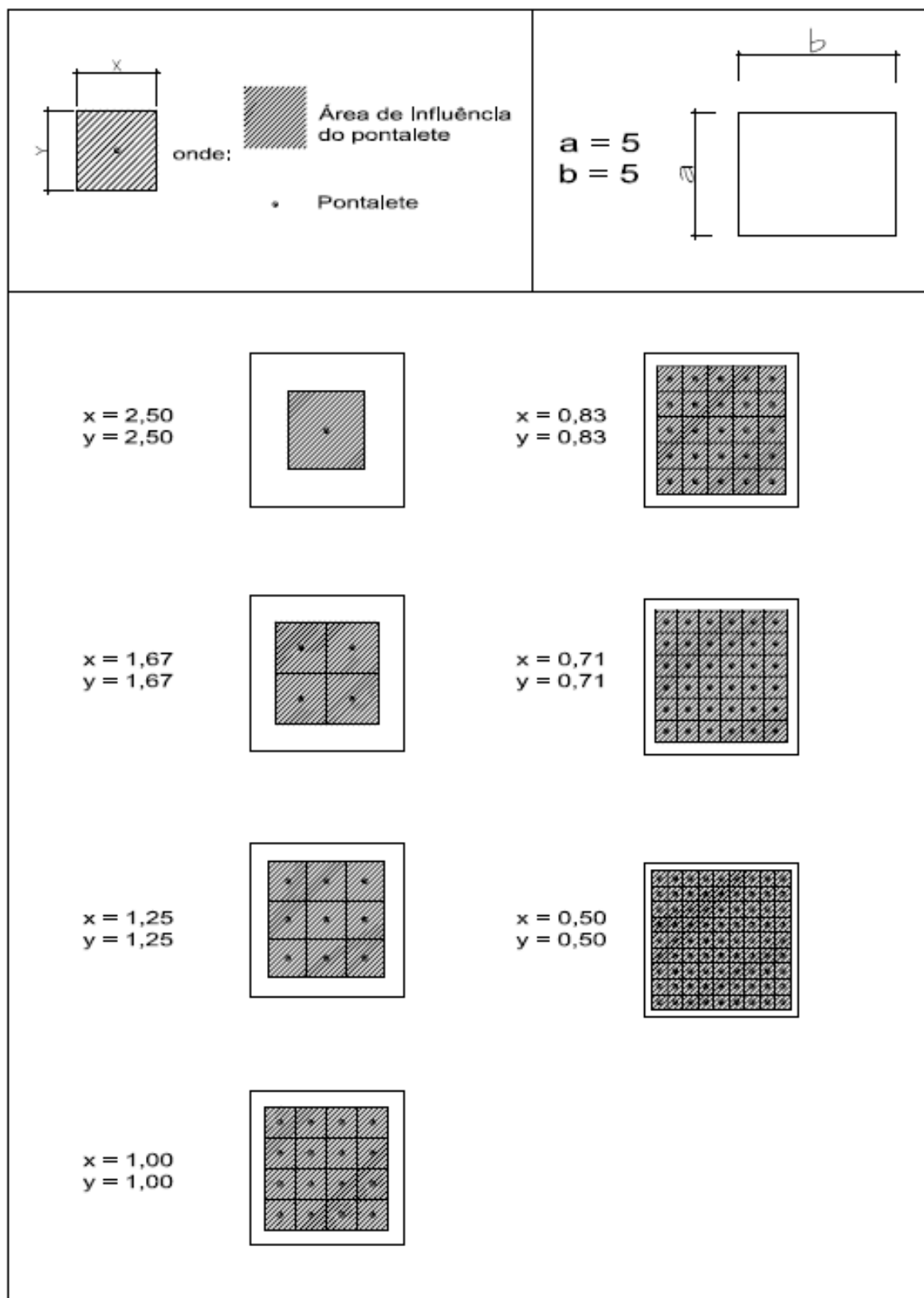
Fonte: do autor.

Figura 39 - Modelo de distribuição de escoramento remanescente para laje 4x8-2



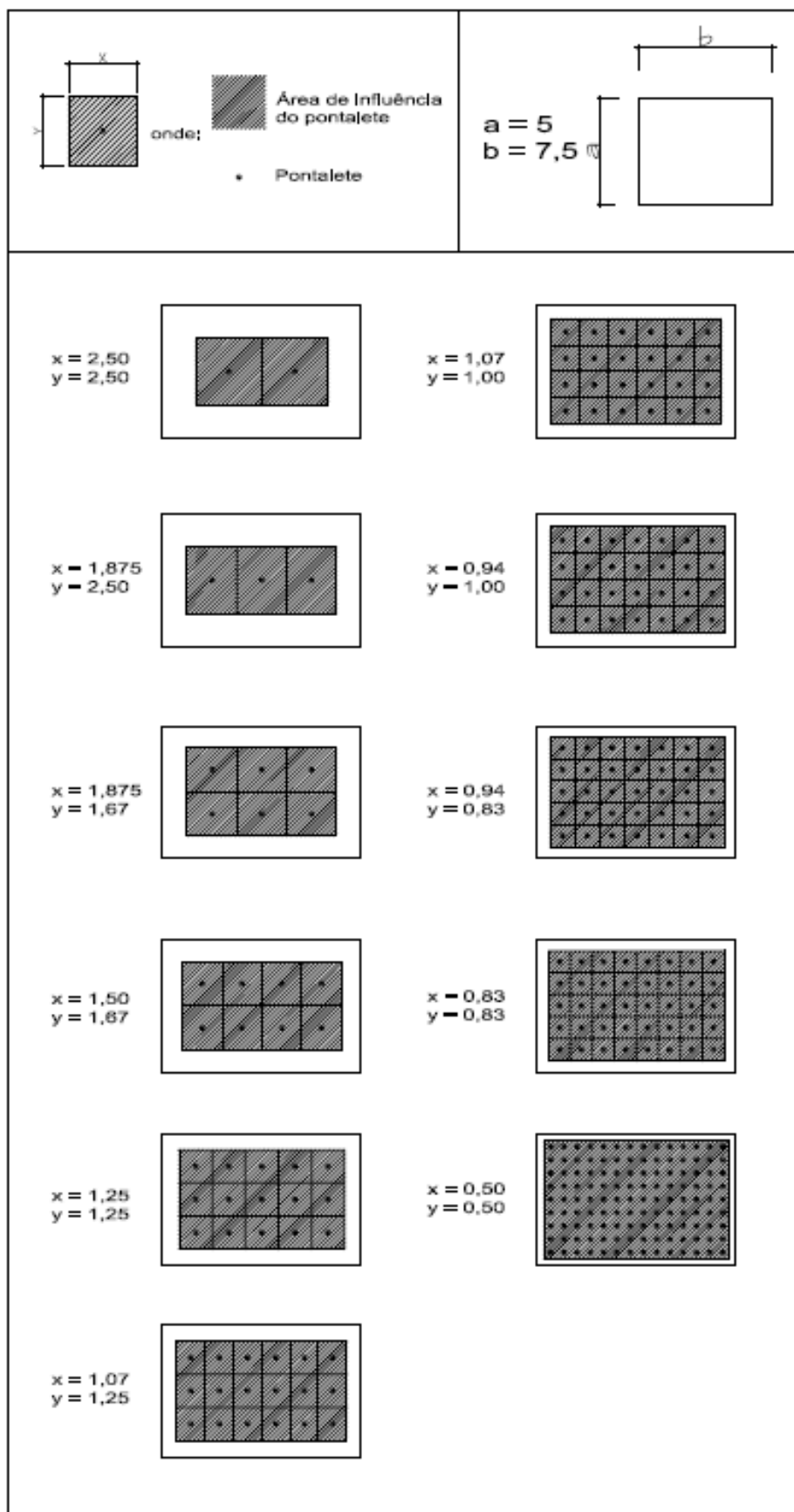
Fonte: do autor.

Figura 40 - Modelo de distribuição de escoramento remanescente para laje 5x5



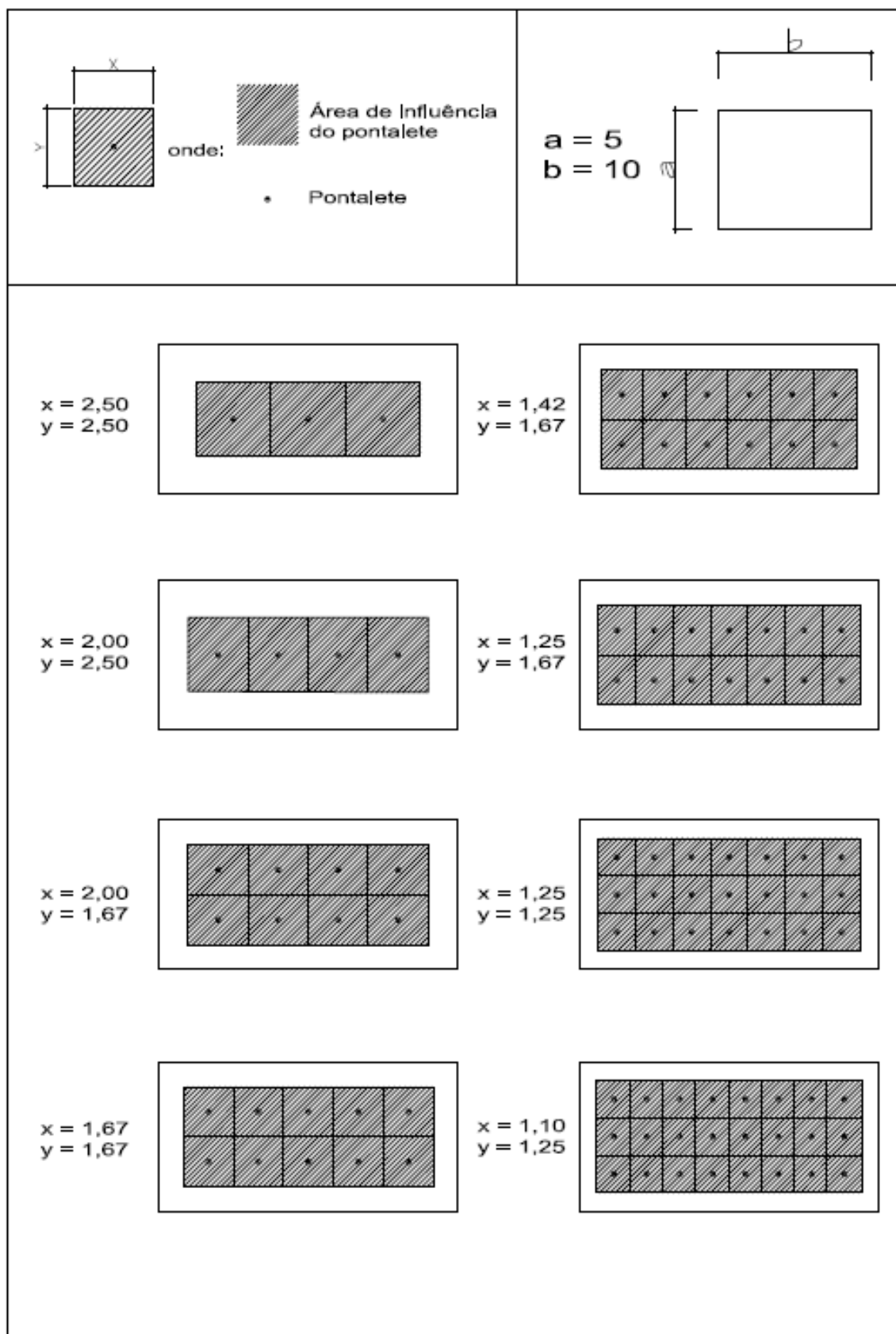
Fonte: do autor.

Figura 41 – Modelo de distribuição de escoramento remanescente para laje 5x7,5



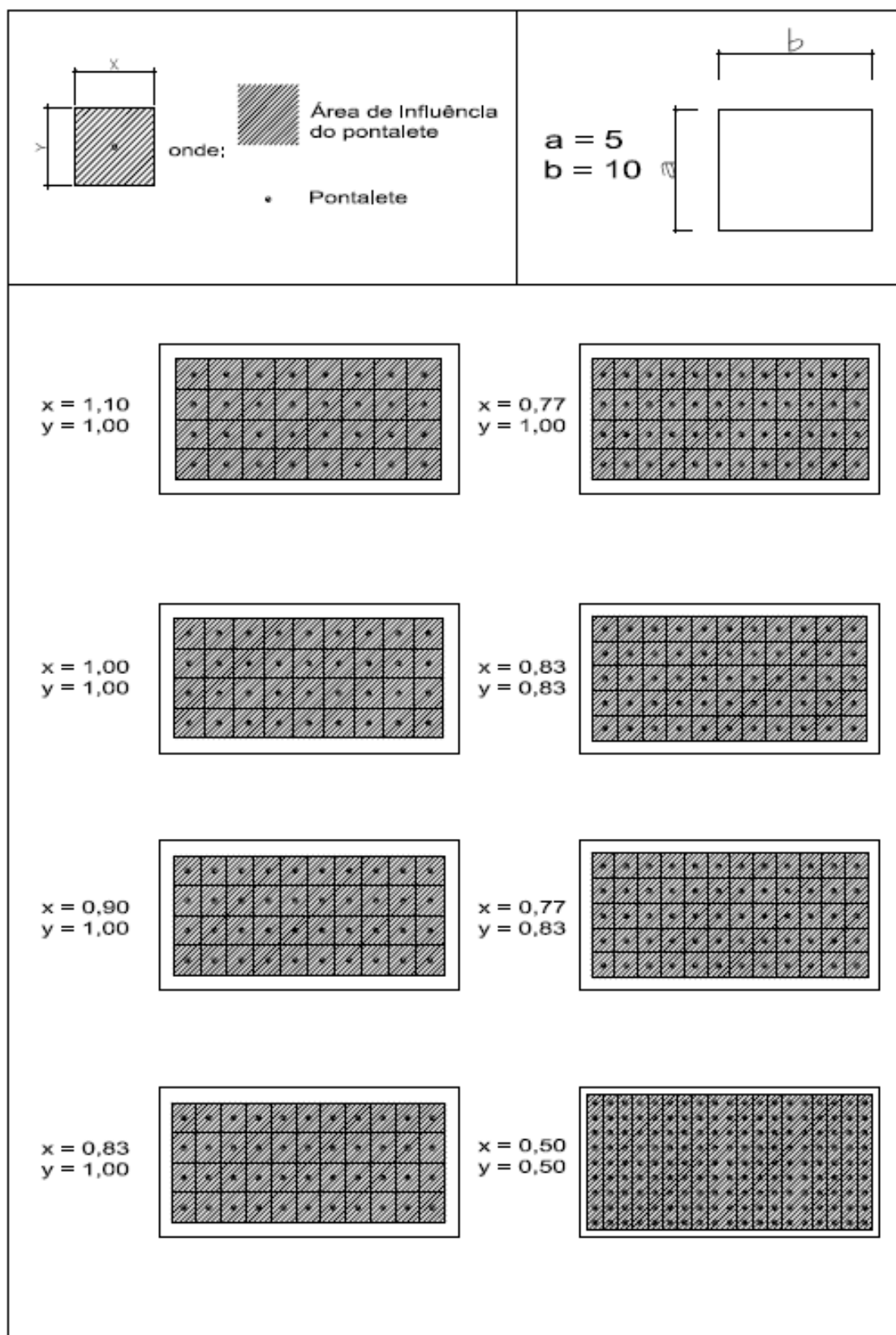
Fonte: do autor.

Figura 42 - Modelo de distribuição de escoramento remanescente para laje 5x10-1



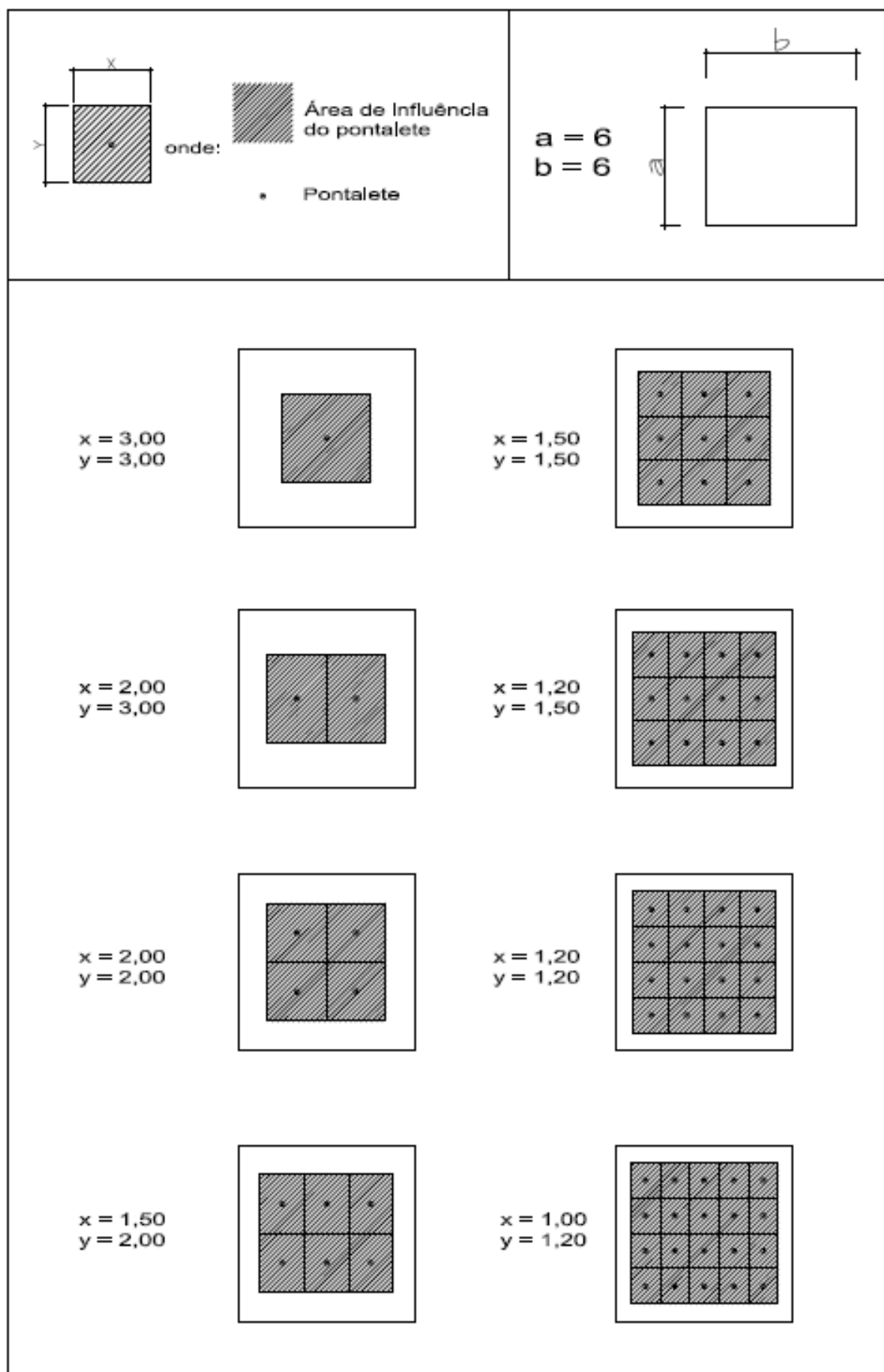
Fonte: do autor.

Figura 43 - Modelo de distribuição de escoramento remanescente para laje 5x10-2



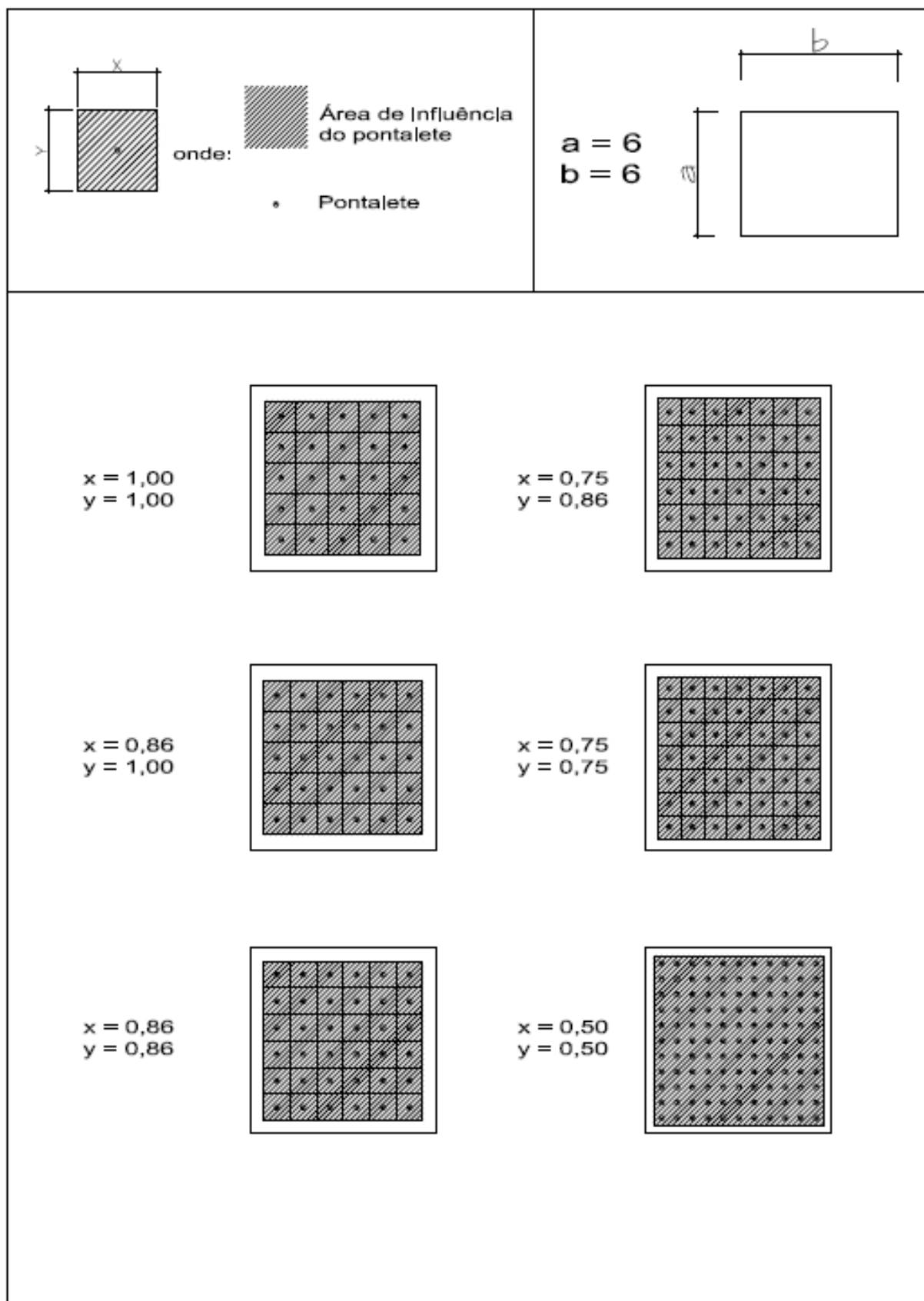
Fonte: do autor.

Figura 44 - Modelo de distribuição de escoramento remanescente para laje 6x6-1



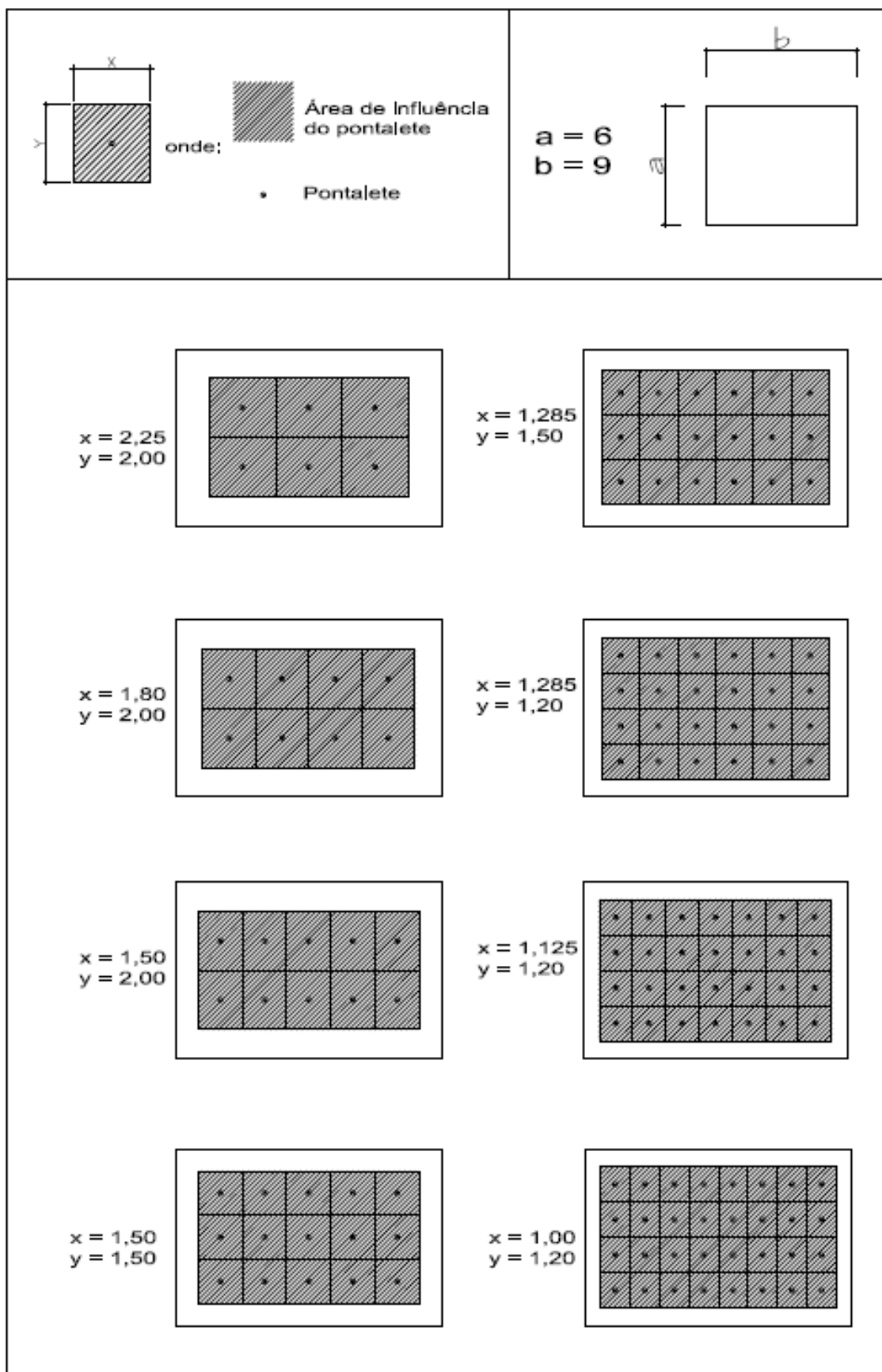
Fonte: do autor.

Figura 45 - Modelo de distribuição de escoramento remanescente para laje 6x6-2



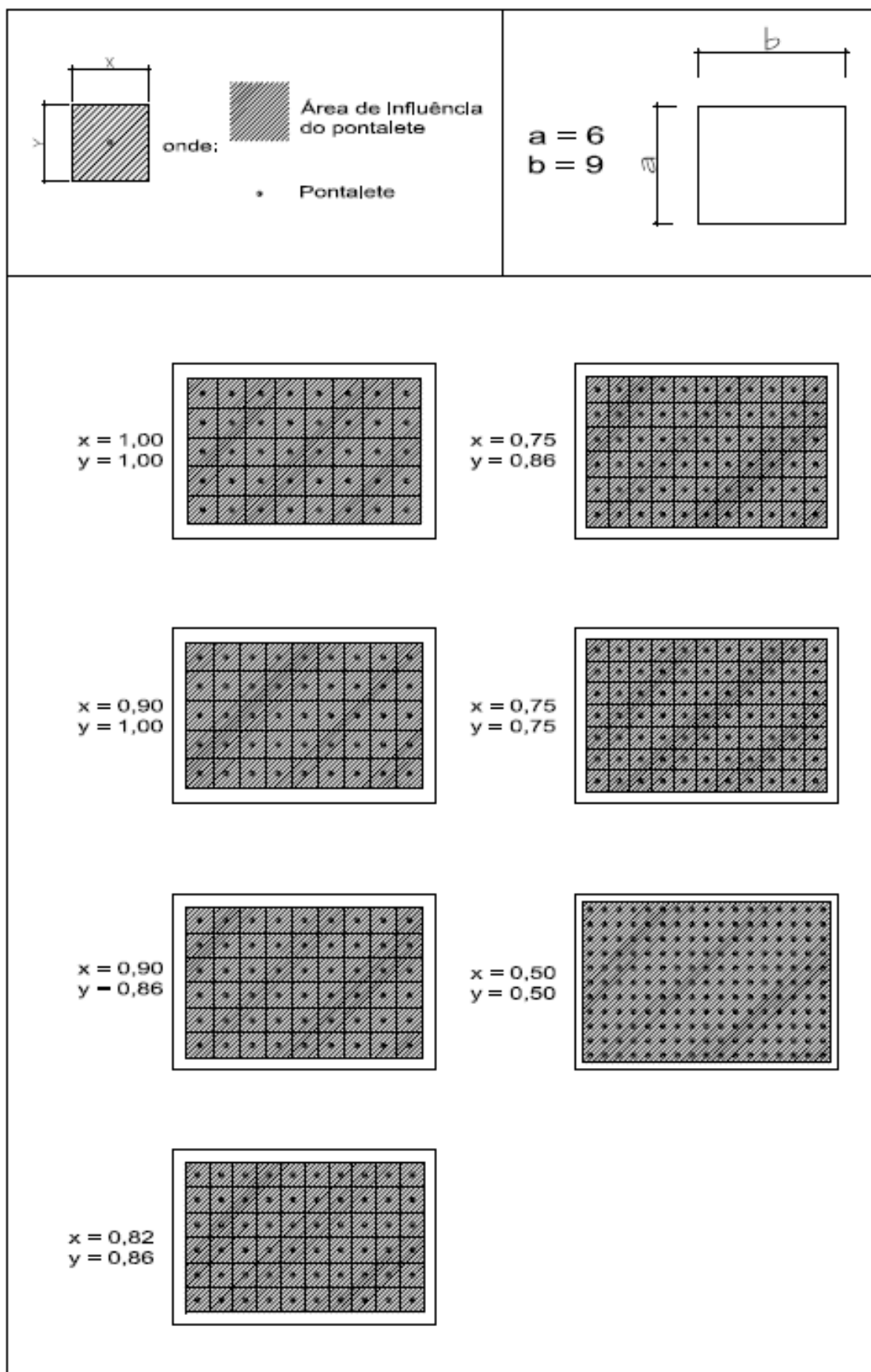
Fonte: do autor.

Figura 46 - Modelo de distribuição de escoramento remanescente para laje 6x9-1



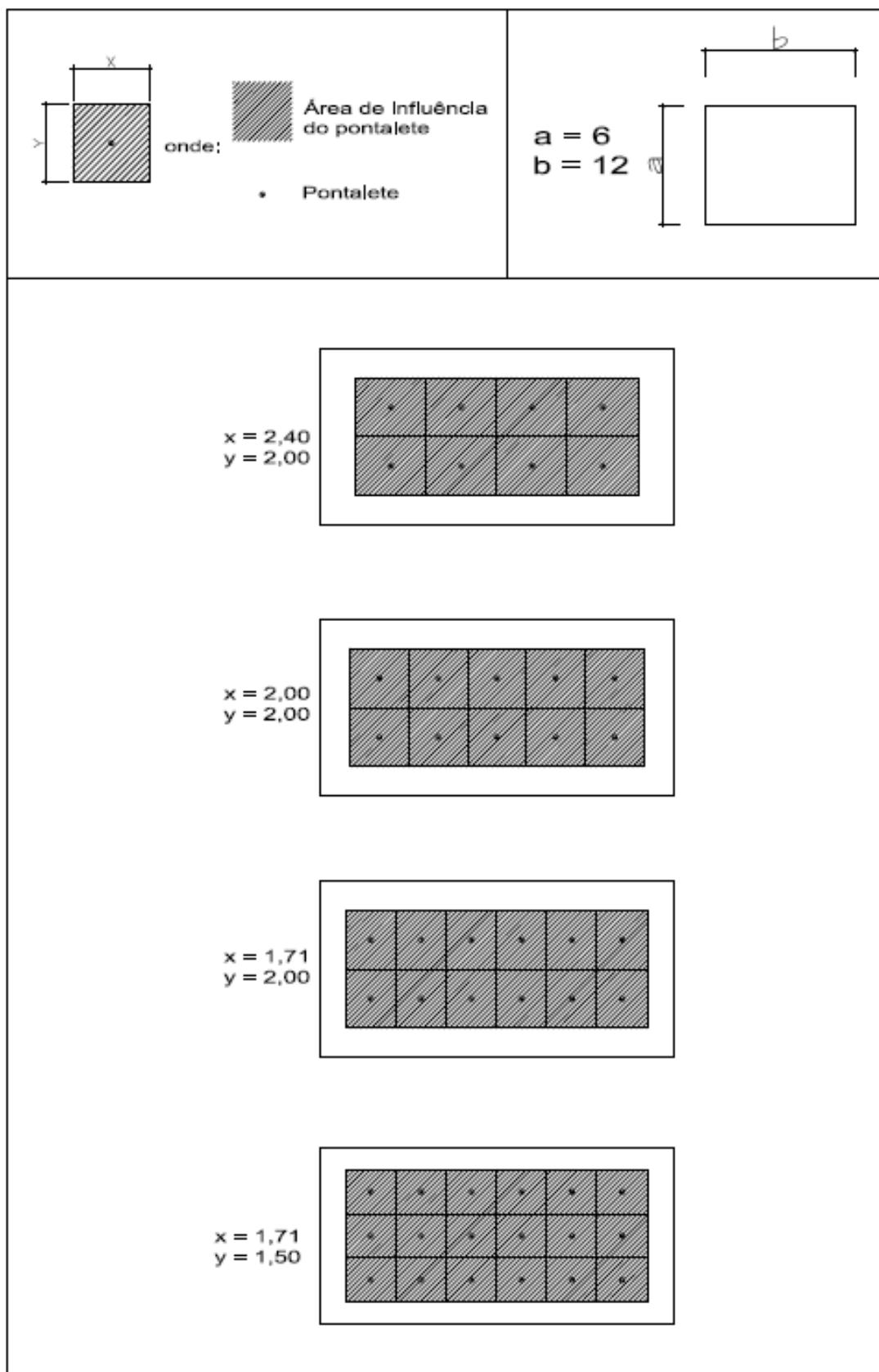
Fonte: do autor.

Figura 47 - Modelo de distribuição de escoramento remanescente para laje 6x9-2



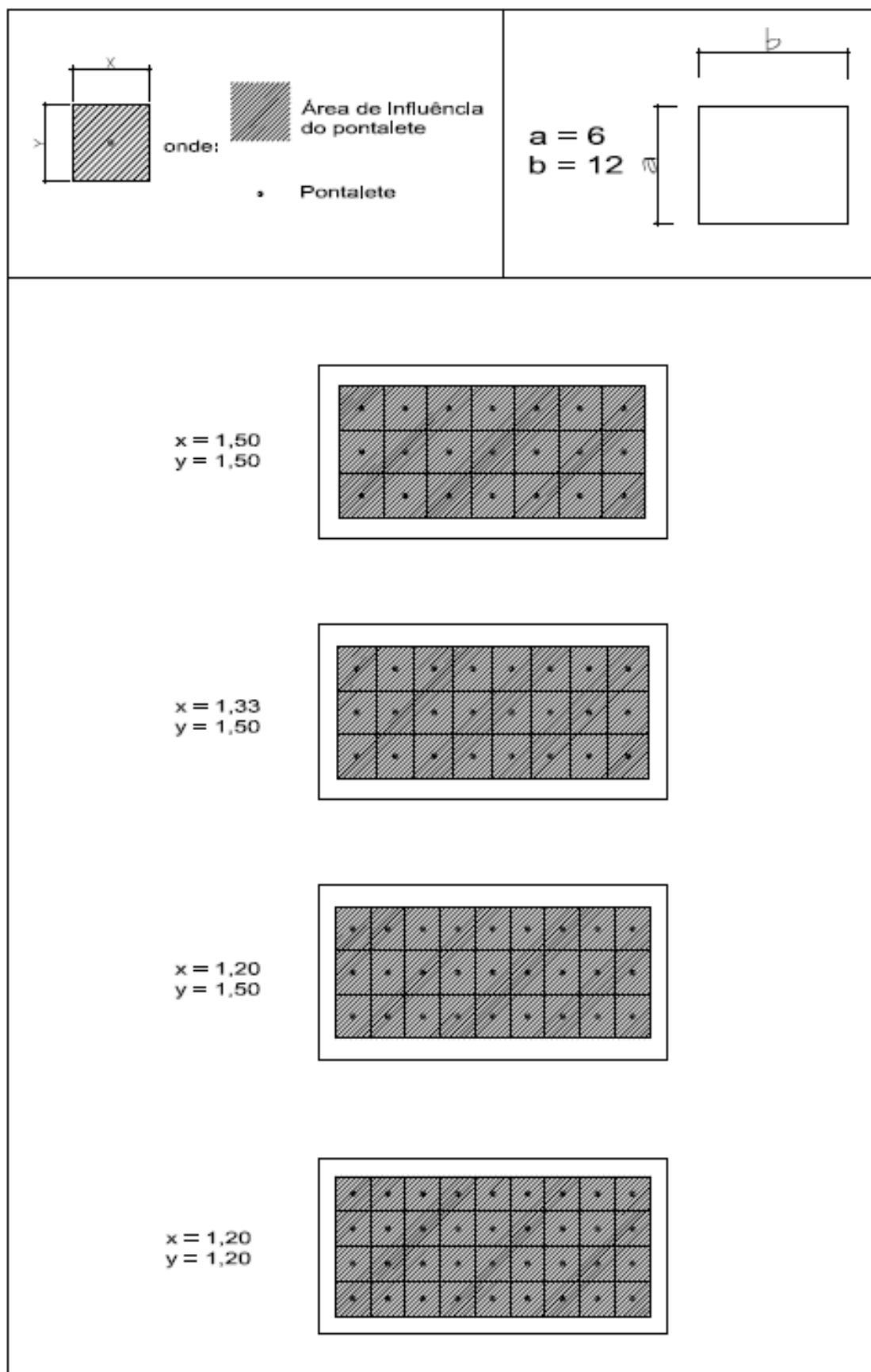
Fonte: do autor.

Figura 48 - Modelo de distribuição de escoramento remanescente para laje 6x12-1



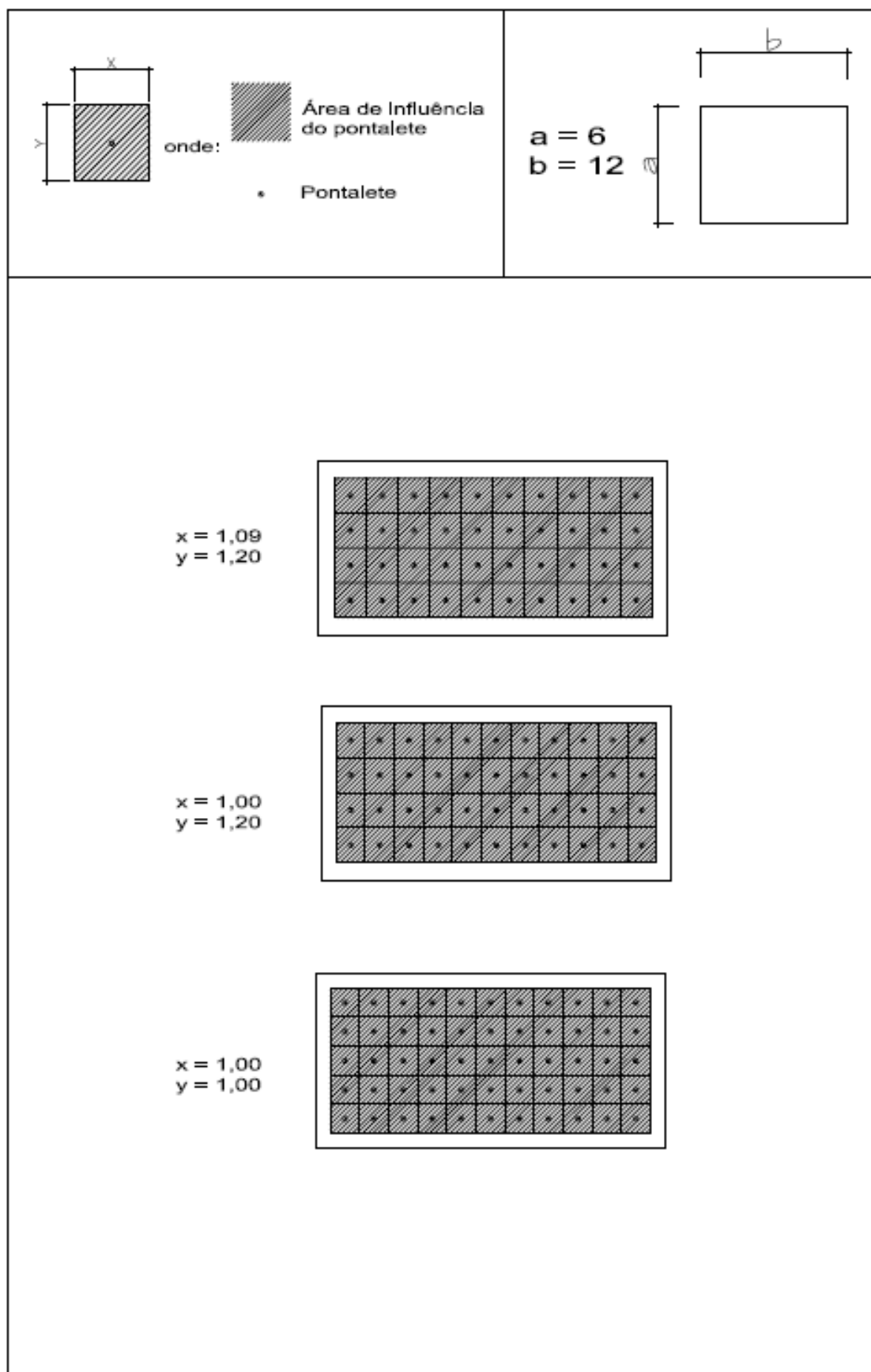
Fonte: do autor.

Figura 49 - Modelo de distribuição de escoramento remanescente para laje 6x12-2



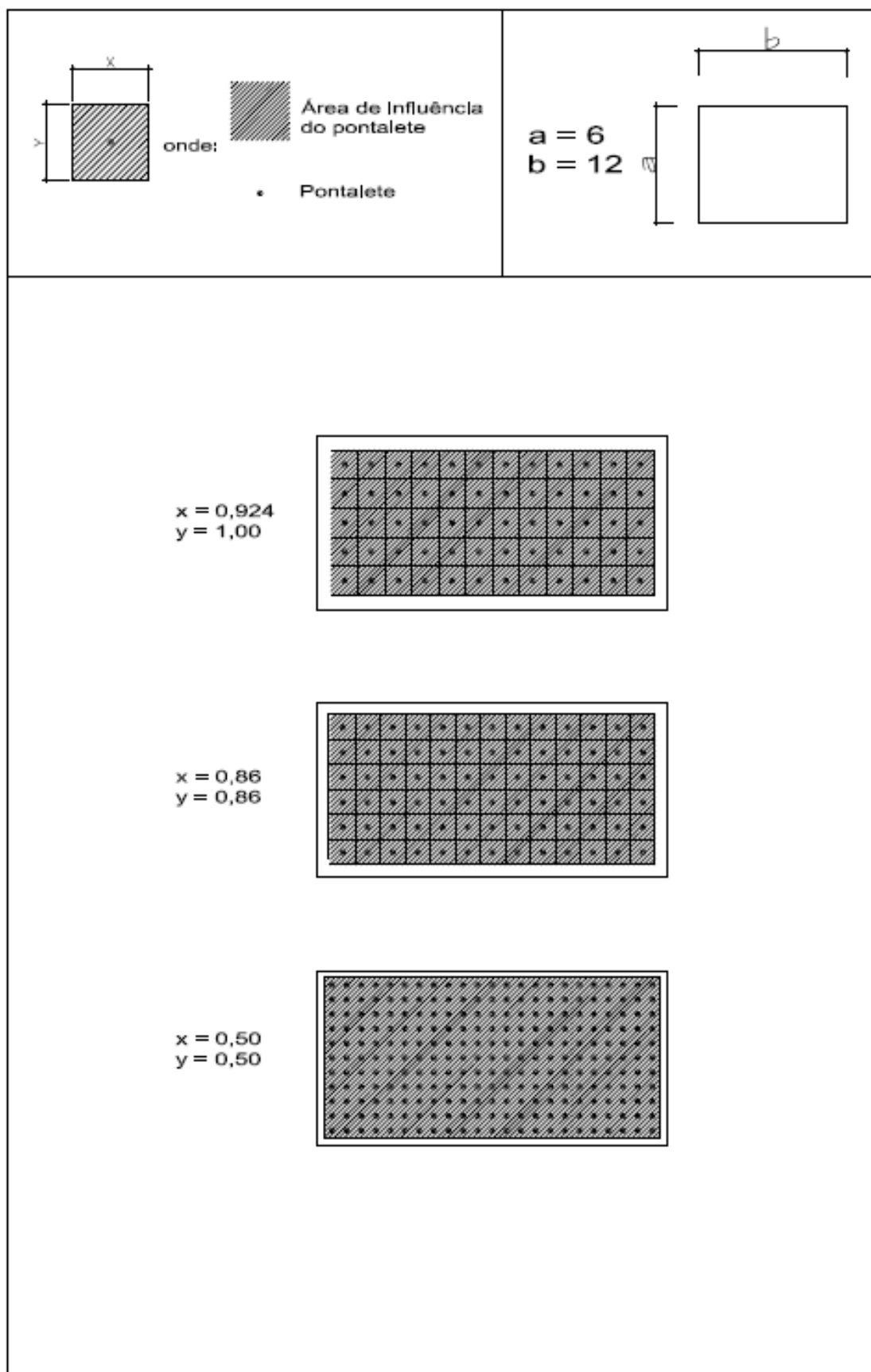
Fonte: do autor.

Figura 50 - Modelo de distribuição de escoramento remanescente para laje 6x12-3



Fonte: do autor.

Figura 51 = Modelo de distribuição de escoramento remanescente para laje 6x12-4



Fonte: do autor.

4.2 Obtenção dos resultados

Após o processamento das lajes pelo software, determinou-se os momentos fletores máximos que poderiam ser suportadas pela laje, conforme descrito anteriormente no capítulo 3.

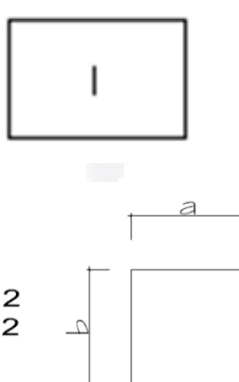
Alguns resultados obtidos nos testes foram tabelados, e é apresentado a seguir:

4.2.1 Estudo para laje 2x2

4.2.1.1 Laje com vinculação apoiada nos quatro bordos

Tabela 3 - Tabela de dimensionamento para laje 2x2 apoiada nos quatro lados

DIMENSIONAMENTO					
fck	25	Mpa	fyk	50	kN/cm ²
Mk,máx	0,05	kN.m/m	Yc	1,4	
Md	7,0	kN.cm/m	Yf	1,4	
bw	100	cm	Ys	1,15	
h	8,0	cm	Rüsch	0,85	
C (cobrimento)	2,50	cm			
Contr. Adequado	0,50	cm			
d	5,50	cm			
X	0,01	cm			
As	0,03	cm ² /m			
As, mín	0,80	cm ² /m			
As, adotado	0,80	cm ² /m			
Espaç.máx	16	cm			
Det. Armadura	Ø 5 c/ 20				
As, efetivo	1,23	cm ² /m			



a = 2
b = 2

Fonte: do autor.

Tabela 4 - Tabela de verificação momento fletor máximo suportado laje 2x2 apoiada nos quatro lados

VERIFICAÇÃO					
fck	2,5	kN/cm ²	fyk	50	kN/cm ²
bw	100	cm	Yc	1,2	
h	8,0	cm	Yf	1,3	
d	5,50	cm	Ys	1,15	
As, efetivo	1,23	cm ² /m	Rüsch	1,00	

X	0,3201	cm
---	--------	----

Md	287	kN.cm/m
Mk,máx	220	kN.cm/m
Mk,máx	2,20	kN.m/m

a = 2
b = 2

Fonte: do autor.

Tabela 5 - Resultados laje 2x2 apoiada nos quatro lados

GEOMETRIA DA LAJE (m)	CONFIGURAÇÃO DA LAJE	ESPESSURA h (m)	Mk, máx (tf/m)	Mk, máx (kN/m)	Mk,máx.efetivo (kN/m)	Mk,máx.efetivo (tf/m)
a 2 b 2	I	0,08	0,05	0,5	2,2	0,22

TESTE	ESPAÇAMENTO ENTRE PONTALETES	ÁREA DE INFLUÊNCIA DO PONTALETE	CARGA "P" (kN)	CARGA "P" (tf)	Mk,máx (tf/m)	RESULTADO
1	1,00 X 1,00	1,00	2,84	0,284	0,15	ADOTAR ESPAÇAMENTO 1 x 1
2	0,66 X 1,00	0,66	1,87	0,187		
3	0,66 X 0,66	0,44	1,24	0,124		
4	0,50 X 0,66	0,33	0,94	0,094		
5	0,50 X 0,50	0,25	0,71	0,071		

Fonte: do autor.

4.2.1.2 Laje com um bordo engastado e demais apoiados

Tabela 6 - Tabela de dimensionamento para laje 2x2 com um bordo engastado e demais apoiados

DIMENSIONAMENTO					
fck	25	Mpa	fyk	50	kN/cm ²
Mk,máx	0,80	kN.m/m	Yc	1,4	
Md	112,0	kN.cm/m	Yf	1,4	
bw	100	cm	Ys	1,15	
h	8,0	cm	Rüsch	0,85	
C (cobrimento)	2,50	cm			
Contr. Adequado	0,50	cm			
d	5,50	cm			
X	0,17	cm			
As	0,47	cm ² /m			
As, mín	0,80	cm ² /m			
As, adotado	0,80	cm ² /m			
Espaç.máx	16	cm			
Det. Armadura	Ø 5 c/ 20				
As, efetivo	1,23	cm ² /m			

As, adotado 0,80 cm²/m

Espaç.máx 16 cm

Det. Armadura Ø 5 c/ 20

As, efetivo 1,23 cm²/m

a = 2
b = 2

Fonte: do autor.

Tabela 7 - Tabela de verificação momento fletor máximo suportado laje 2x2 com um bordo engastado e demais apoiados

VERIFICAÇÃO					
fck	2,5	kN/cm ²	fyk	50	kN/cm ²
bw	100	cm	Yc	1,2	
h	8,0	cm	Yf	1,3	
d	5,50	cm	Ys	1,15	
As, efetivo	1,23	cm ² /m	Rüsch	1,00	

X	0,3201	cm
---	--------	----

Md	287	kN.cm/m
Mk,máx	220	kN.cm/m
Mk,máx	2,20	kN.m/m

a = 2
b = 2

Fonte: do autor.

Tabela 8 - Resultados laje 2x2 com um bordo engastado e demais apoiados

GEOMETRIA DA LAJE (m)	CONFIGURAÇÃO DA LAJE	ESPESSURA h (m)	Mk, máx (tf/m)	Mk, máx (kN/m)	Mk, máx.efetivo (kN/m)	Mk, máx.efetivo (tf/m)
a 2 b 2		0,08	0,08	0,8	2,2	0,22

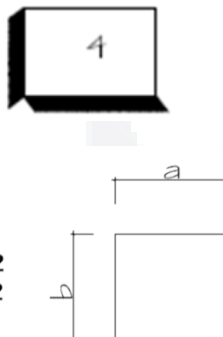
TESTE	ESPAÇAMENTO ENTRE PONTALETES	ÁREA DE INFLUÊNCIA DO PONTALETE	CARGA CONCENTRADA "P" (kN)	CARGA CONCENTRADA "P" (tf)	Mk, máx (tf/m)	RESULTADO
1	1,00 X 1,00	1,00	2,84	0,284	0,13	ADOTAR ESPAÇAMENTO 1 x 1
2	0,66 X 1,00	0,66	1,87	0,187		
3	0,66 X 0,66	0,44	1,24	0,124		
4	0,50 X 0,66	0,33	0,94	0,094		
5	0,50 X 0,50	0,25	0,71	0,071		

Fonte: do autor.

4.2.1.3 Laje com dois bordos adjacentes engastados e demais apoiados

Tabela 9 - Tabela de dimensionamento para laje 2x2 com dois bordos adjacentes engastados e demais apoiados

DIMENSIONAMENTO					
fck	25	Mpa	fyk	50	kN/cm ²
Mk,máx	0,60	kN.m/m	Yc	1,4	
Md	84,0	kN.cm/m	Yf	1,4	
bw	100	cm	Ys	1,15	
h	8,0	cm	Rüsch	0,85	
C (cobrimento)	2,50	cm			
Contr. Adequado	0,50	cm			
d	5,50	cm			
X	0,13	cm			
As	0,35	cm ² /m			
As, mín	0,80	cm ² /m			
As, adotado	0,80	cm ² /m			
Espaç.máx	16	cm			
Det. Armadura	Ø 5 c/ 20				
As, efetivo	1,23	cm ² /m			



a = 2
b = 2

Fonte: do autor.

Tabela 10 - Tabela de verificação momento fletor máximo suportado laje 2x2 com dois bordos adjacentes engastados e demais apoiados

VERIFICAÇÃO					
fck	2,5	kN/cm ²	fyk	50	kN/cm ²
bw	100	cm	Yc	1,2	
h	8,0	cm	Yf	1,3	
d	5,50	cm	Ys	1,15	
As, efetivo	1,23	cm ² /m	Rüsch	1,00	

X	0,3201	cm
----------	--------	----

Md	287	kN.cm/m
Mk,máx	220	kN.cm/m
Mk,máx	2,20	kN.m/m

a = 2
b = 2

Fonte: do autor.

Tabela 11 - Resultados laje 2x2 com dois bordos adjacentes engastados e demais apoiados

GEOMETRIA DA LAJE (m)	CONFIGURAÇÃO DA LAJE	ESPESSURA h (m)	Mk, máx (tf/m)	Mk, máx (kN/m)	Mk,máx.efetivo (kN/m)	Mk,máx.efetivo (tf/m)
a 2 b 2		0,08	0,06	0,6	2,2	0,22

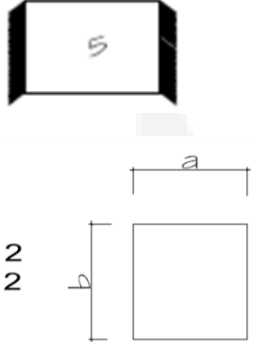
TESTE	ESPAÇAMENTO ENTRE PONTALETES	ÁREA DE INFLUÊNCIA DO PONTALETE	CARGA CONCENTRADA "P" (kN)	CARGA CONCENTRADA "P" (tf)	Mk,máx (tf/m)	RESULTADO
1	1,00 X 1,00	1,00	2,84	0,284	0,11	ADOTAR ESPAÇAMENTO 1 x 1
2	0,66 X 1,00	0,66	1,87	0,187		
3	0,66 X 0,66	0,44	1,24	0,124		
4	0,50 X 0,66	0,33	0,94	0,094		
5	0,50 X 0,50	0,25	0,71	0,071		

Fonte: do autor.

4.2.1.4 Laje com dois bordos opostos engastados e demais apoiados

Tabela 12 - Tabela de dimensionamento para laje 2x2 com dois bordos opostos engastados e demais apoiados

DIMENSIONAMENTO					
fck	25	Mpa	fyk	50	kN/cm ²
Mk,máx	0,50	kN.m/m	Yc	1,4	
Md	70,0	kN.cm/m	Yf	1,4	
bw	100	cm	Ys	1,15	
h	8,0	cm	Rüsch	0,85	
C (cobrimento)	2,50	cm			
Contr. Adequado	0,50	cm			
d	5,50	cm			
X	0,11	cm			
As	0,29	cm ² /m			
As, mín	0,80	cm ² /m			
As, adotado	0,80	cm ² /m			
Espaç.máx	16	cm			
Det. Armadura	Ø 5 c/ 20				
As, efetivo	1,23	cm ² /m			

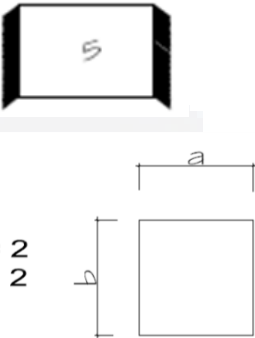


a = 2
b = 2

Fonte: do autor.

Tabela 13 - Tabela de verificação momento fletor máximo suportado laje 2x2 com dois bordos opostos engastados e demais apoiados

VERIFICAÇÃO					
fck	2,5	kN/cm ²	fyk	50	kN/cm ²
bw	100	cm	Yc	1,2	
h	8,0	cm	Yf	1,3	
d	5,50	cm	Ys	1,15	
As, efetivo	1,23	cm ² /m	Rüsch	1,00	



X	0,3201	cm
---	--------	----

Md	287	kN.cm/m
Mk,máx	220	kN.cm/m
Mk,máx	2,20	kN.m/m

a = 2
b = 2

Fonte: do autor.

Tabela 14 - Resultados laje 2x2 com dois bordos opostos engastados e demais apoiados

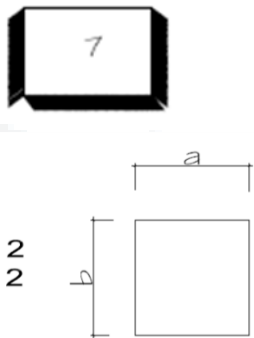
GEOMETRIA DA LAJE (m)		CONFIGURAÇÃO DA LAJE	ESPESSURA h (m)	Mk, máx (tf/m)	Mk, máx (kN/m)	Mk,máx.efetivo (kN/m)	Mk,máx.efetivo (tf/m)
a	2		0,08	0,05	0,5	2,2	0,22
b	2						
TESTE	ESPAÇAMENTO ENTRE PONTALETES	ÁREA DE INFLUÊNCIA DO PONTALETE	CARGA CONCENTRADA "P" (kN)	CARGA CONCENTRADA "P" (tf)	Mk,máx (tf/m)	RESULTADO	
1	1,00 X 1,00	1,00	2,84	0,284	0,11	ADOTAR ESPAÇAMENTO 1 x 1	
2	0,66 X 1,00	0,66	1,87	0,187			
3	0,66 X 0,66	0,44	1,24	0,124			
4	0,50 X 0,66	0,33	0,94	0,094			
5	0,50 X 0,50	0,25	0,71	0,071			

Fonte: do autor.

4.2.1.4 Laje com três bordos engastados e demais apoiados

Tabela 15 - Tabela de dimensionamento para laje 2x2 com três bordos engastados e demais apoiados

DIMENSIONAMENTO					
fck	25	Mpa	fyk	50	kN/cm ²
Mk,máx	0,40	kN.m/m	Yc	1,4	
Md	56,0	kN.cm/m	Yf	1,4	
bw	100	cm	Ys	1,15	
h	8,0	cm	Rüsch	0,85	
C (cobrimento)	2,50	cm			
Contr. Adequado	0,50	cm			
d	5,50	cm			
X	0,08	cm			
As	0,24	cm ² /m			
As, mín	0,80	cm ² /m			
As, adotado	0,80	cm ² /m			
Espaç.máx	16	cm			
Det. Armadura	Ø 5 c/ 20				
As, efetivo	1,23	cm ² /m			



$a = 2$
 $b = 2$

Fonte: do autor.

Tabela 16 - Tabela de verificação momento fletor máximo suportado laje 2x2 com três bordos engastados e demais apoiados

VERIFICAÇÃO					
fck	2,5	kN/cm ²	fyk	50	kN/cm ²
bw	100	cm	Yc	1,2	
h	8,0	cm	Yf	1,3	
d	5,50	cm	Ys	1,15	
As, efetivo	1,23	cm ² /m	Rüsch	1,00	

X	0,3201	cm
----------	--------	----

Md	287	kN.cm/m
Mk,máx	220	kN.cm/m
Mk,máx	2,20	kN.m/m

a = 2
b = 2

Fonte: do autor.

Tabela 17 - Resultados laje 2x2 com três bordos engastados e demais apoiados

GEOMETRIA DA LAJE (m)	CONFIGURAÇÃO DA LAJE	ESPESSURA h (m)	Mk, máx (tf/m)	Mk, máx (kN/m)	Mk,máx.efetivo (kN/m)	Mk,máx.efetivo (tf/m)
a 2 b 2		0,08	0,04	0,4	2,2	0,22

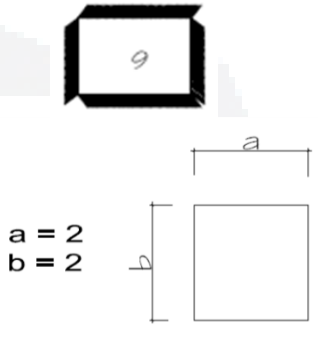
TESTE	ESPAÇAMENTO ENTRE PONTALETES	ÁREA DE INFLUÊNCIA DO PONTALETE	CARGA CONCENTRADA "P" (kN)	CARGA CONCENTRADA "P" (tf)	Mk,máx (tf/m)	RESULTADO
1	1,00 X 1,00	1,00	2,84	0,284	0,1	ADOTAR ESPAÇAMENTO 1 x 1
2	0,66 X 1,00	0,66	1,87	0,187		
3	0,66 X 0,66	0,44	1,24	0,124		
4	0,50 X 0,66	0,33	0,94	0,094		
5	0,50 X 0,50	0,25	0,71	0,071		

Fonte: do autor.

4.2.1.4 Laje com quatro bordos engastados

Tabela 18 - Tabela de dimensionamento para laje 2x2 com quatro bordos engastados

DIMENSIONAMENTO					
fck	25	Mpa	fyk	50	kN/cm ²
Mk,máx	0,20	kN.m/m	Yc	1,4	
Md	28,0	kN.cm/m	Yf	1,4	
bw	100	cm	Ys	1,15	
h	8,0	cm	Rüsch	0,85	
C (cobrimento)	2,50	cm			
Contr. Adequado	0,50	cm			
d	5,50	cm			
X	0,04	cm			
As	0,12	cm ² /m			
As, mín	0,80	cm ² /m			
As, adotado	0,80	cm ² /m			
Espaç.máx	16	cm			
Det. Armadura	Ø 5 c/ 20				
As, efetivo	1,23	cm ² /m			



Fonte: do autor.

Tabela 19 - Tabela de verificação momento fletor máximo suportado laje 2x2 com quatro bordos engastados

VERIFICAÇÃO					
fck	2,5	kN/cm ²	fyk	50	kN/cm ²
bw	100	cm	Yc	1,2	
h	8,0	cm	Yf	1,3	
d	5,50	cm	Ys	1,15	
As, efetivo	1,23	cm ² /m	Rüsch	1,00	

X	0,3201	cm
---	--------	----

Md	287	kN.cm/m
Mk,máx	220	kN.cm/m
Mk,máx	2,20	kN.m/m

a = 2
b = 2

Fonte: do autor.

Tabela 20 - Resultados laje 2x2 com quatro bordos engastados

GEOMETRIA DA LAJE (m)	CONFIGURAÇÃO DA LAJE	ESPESSURA h (m)	Mk, máx (tf/m)	Mk, máx (kN/m)	Mk,máx.efetivo (kN/m)	Mk,máx.efetivo (tf/m)
a 2 b 2		0,08	0,02	0,2	2,2	0,22

TESTE	ESPAÇAMENTO ENTRE PONTALETES	ÁREA DE INFLUÊNCIA DO PONTALETE	CARGA CONCENTRADA "P" (kN)	CARGA CONCENTRADA "P" (tf)	Mk,máx (tf/m)	RESULTADO
1	1,00 X 1,00	1,00	2,84	0,284	0,08	ADOTAR ESPAÇAMENTO 1 x 1
2	0,66 X 1,00	0,66	1,87	0,187		
3	0,66 X 0,66	0,44	1,24	0,124		
4	0,50 X 0,66	0,33	0,94	0,094		
5	0,50 X 0,50	0,25	0,71	0,071		

Fonte: do autor.

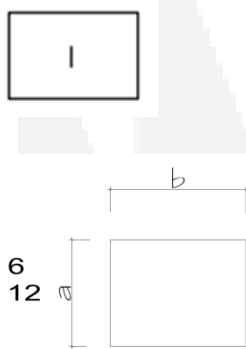
Os cálculos e resultados das demais lajes, seguem o mesmo procedimento da anterior, até a apresentação dos resultados do último modelo como segue a seguir.

4.2.2 Estudo para laje 6x12

4.2.2.1 Laje com vinculação apoiada nos quatro bordos

Tabela 21 - Tabela de dimensionamento para laje 6x12 com vinculação apoiada nos quatro bordos

DIMENSIONAMENTO					
fck	25	Mpa	fyk	50	kN/cm ²
Mk,máx	37,20	kN.m/m	Yc	1,4	
Md	5208,0	kN.cm/m	Yf	1,4	
bw	100	cm	Ys	1,15	
h	19,0	cm	Rüsch	0,85	
C (cobrimento)	2,50	cm			
Contr. Adequado	0,50	cm			
d	16,50	cm			
X	2,79	cm			
As	7,79	cm ² /m			
As, mín	1,91	cm ² /m			
As, adotado	7,79	cm ² /m			
Espaç.máx	20	cm			
Det. Armadura	Ø 10 c/ 10				
As, efetivo	7,85	cm ² /m			



a = 6
b = 12

Fonte: do autor.

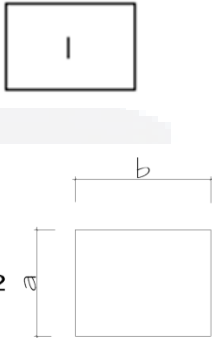
Tabela 22 - Tabela de verificação momento fletor máximo suportado laje 6x12 com vinculação apoiada nos quatro bordos

VERIFICAÇÃO					
fck	2,5	kN/cm ²	fyk	50	kN/cm ²
bw	100	cm	Yc	1,2	
h	19,0	cm	Yf	1,3	
d	16,50	cm	Ys	1,15	
As, efetivo	7,85	cm ² /m	Rüsch	1,00	

X	2,0489	cm
----------	--------	----

Md	5355	kN.cm/m
Mk,máx	4119	kN.cm/m
Mk,máx	41,19	kN.m/m

a = 6
b = 12



Fonte: do autor.

Tabela 23 - Resultados laje 6x12 com vinculação apoiada nos quatro bordos

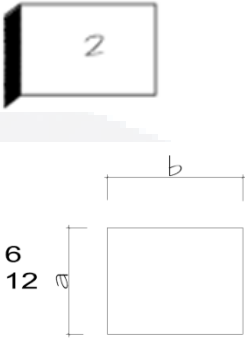
GEOMETRIA DA LAJE (m)				CONFIGURAÇÃO DA LAJE	ESPESSURA h (m)	Mk, máx (tf/m)	Mk, máx (kN/m)	Mk,máx.efetivo (kN/m)	Mk,máx.efetivo (tf/m)
a	6				0,19	3,72	37,2	41,19	4,119
b	12								
TESTE	ESPAÇAMENTO ENTRE PONTALETES (m)			ÁREA DE INFLUÊNCIA DO PONTALETE	CARGA "P" (kN)	CARGA "P" (tf)	Mk,máx (tf/m)	RESULTADO	
1	3	X	3	9,00	60,71	6,071	5,78	PROCESSAR NOVO MODELO	
2	3	X	2	6,00	40,47	4,047			
3	2,4	X	2	4,80	32,38	3,238			
4	2	X	2	4,00	26,98	2,698			
5	1,71	X	2	3,42	23,07	2,307			
6	1,71	X	1,5	2,57	17,30	1,730			
7	1,5	X	1,5	2,25	15,18	1,518			
8	1,33	X	1,5	2,00	13,46	1,346			
9	1,2	X	1,5	1,80	12,14	1,214			
10	1,2	X	1,2	1,44	9,71	0,971			
11	1,09	X	1,2	1,31	8,82	0,882			
12	1	X	1,2	1,20	8,09	0,809			
13	1	X	1	1,00	6,75	0,675			
14	0,924	X	1	0,92	6,23	0,623			
15	0,86	X	0,86	0,74	4,99	0,499			
16	0,5	X	0,5	0,25	1,69	0,169			

Fonte: do autor.

4.2.2.2 Laje com um bordo (a) engastado e demais apoiados

Tabela 24 - Tabela de dimensionamento para laje 6x12 com um bordo (a) engastado e demais apoiados

DIMENSIONAMENTO					
fck	25	Mpa	fyk	50	kN/cm ²
Mk,máx	22,50	kN.m/m	Yc	1,4	
Md	3150,0	kN.cm/m	Yf	1,4	
bw	100	cm	Ys	1,15	
h	13,0	cm	Rüsch	0,85	
C (cobrimento)	2,50	cm			
Contr. Adequado	0,50	cm			
d	10,50	cm			
X	2,76	cm			
As	7,71	cm ² /m			
As, mín	1,31	cm ² /m			
As, adotado	7,71	cm ² /m			
Espaç.máx	20	cm			
Det. Armadura	Ø 10 c/ 10				
As, efetivo	7,85	cm ² /m			

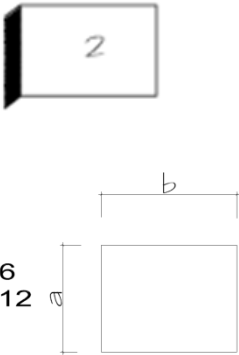


a = 6
b = 12

Fonte: do autor.

Tabela 25 - Tabela de verificação momento fletor máximo suportado laje 6x12 com um bordo (a) engastado e demais apoiados

VERIFICAÇÃO					
fck	2,5	kN/cm ²	fyk	50	kN/cm ²
bw	100	cm	Yc	1,2	
h	13,0	cm	Yf	1,3	
d	10,50	cm	Ys	1,15	
As, efetivo	7,85	cm ² /m	Rüsch	1,00	



a = 6
b = 12

X	2,0489	cm
----------	--------	----

Md	3306	kN.cm/m
Mk,máx	2543	kN.cm/m
Mk,máx	25,43	kN.m/m

Fonte: do autor.

Tabela 26 - Resultados laje 6x12 com um bordo (a) engastado e demais apoiados

GEOMETRIA DA LAJE (m)	CONFIGURAÇÃO DA LAJE	ESPESSURA h (m)	Mk, máx (tf/m)	Mk, máx (kN/m)	Mk,máx.efetivo (kN/m)	Mk,máx.efetivo (tf/m)
a b		0,13	2,25	22,5	25,43	2,543
TESTE	ESPAÇAMENTO ENTRE PONTALETES (m)	ÁREA DE INFLUÊNCIA DO PONTALETE	CARGA CONCENTRADA "P" (kN)	CARGA CONCENTRADA "P" (tf)	Mk,máx (tf/m)	RESULTADO
1	3	X 3	9,00	41,54	4,154	
2	3	X 2	6,00	27,69	2,769	
3	2,4	X 2	4,80	22,15	2,215	
4	2	X 2	4,00	18,46	1,846	
5	1,71	X 2	3,42	15,78	1,578	
6	1,71	X 1,5	2,57	11,84	1,184	
7	1,5	X 1,5	2,25	10,38	1,038	
8	1,33	X 1,5	2,00	9,21	0,921	
9	1,2	X 1,5	1,80	8,31	0,831	
10	1,2	X 1,2	1,44	6,65	0,665	
11	1,09	X 1,2	1,31	6,04	0,604	
12	1	X 1,2	1,20	5,54	0,554	
13	1	X 1	1,00	4,62	0,462	
14	0,924	X 1	0,92	4,26	0,426	
15	0,86	X 0,86	0,74	3,41	0,341	
16	0,5	X 0,5	0,25	1,15	0,115	
					3,43	PROCESSAR NOVO MODELO

Fonte: do autor.

4.2.2.3 Laje com um bordo (b) engastado e demais apoiados

Tabela 27 - Tabela de dimensionamento para laje 6x12 com um bordo (b) engastado e demais apoiados

DIMENSIONAMENTO					
fck	25	Mpa	fyk	50	kN/cm ²
Mk,máx	44,10	kN.m/m	Yc	1,4	
Md	6174,0	kN.cm/m	Yf	1,4	
bw	100	cm	Ys	1,15	
h	18,0	cm	Rüsch	0,85	
C (cobrimento)	2,50	cm			
Contr. Adequado	0,50	cm			
d	15,50	cm			
X	3,62	cm			
As	10,10	cm ² /m			
As, mín	1,81	cm ² /m			
As, adotado	10,10	cm ² /m			
Espaç.máx	20	cm			
Det. Armadura	Ø 12,5 c/ 12				
As, efetivo	10,23	cm ² /m			



a = 6
b = 12

Fonte: do autor.

Tabela 28 - Tabela de verificação momento fletor máximo suportado laje 6x12 com um bordo (b) engastado e demais apoiados

VERIFICAÇÃO					
fck	2,5	kN/cm ²	fyk	50	kN/cm ²
bw	100	cm	Yc	1,2	
h	18,0	cm	Yf	1,3	
d	15,50	cm	Ys	1,15	
As, efetivo	10,23	cm ² /m	Rüsch	1,00	



a = 6
b = 12

X	2,6678	cm
---	--------	----

Md	6417	kN.cm/m
Mk,máx	4936	kN.cm/m
Mk,máx	49,36	kN.m/m

Fonte: do autor.

Tabela 29 - Resultados laje 6x12 com um bordo (b) engastado e demais apoiados

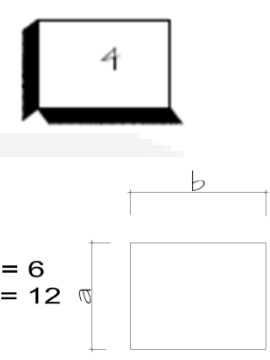
GEOMETRIA DA LAJE (m)		CONFIGURAÇÃO DA LAJE		ESPESSURA h (m)	Mk, máx (tf/m)	Mk, máx (kN/m)	Mk,máx.efetivo (kN/m)	Mk,máx.efetivo (tf/m)
a	6			0,18	4,41	44,1	49,36	4,936
b	12							
TESTE	ESPAÇAMENTO ENTRE PONTALETES (m)		ÁREA DE INFLUÊNCIA DO PONTALETE	CARGA "P" (kN)	CARGA "P" (tf)	Mk,máx (tf/m)	RESULTADO	
1	3	X	3	9,00	57,51	5,751		PROCESSAR NOVO MODELO
2	3	X	2	6,00	38,34	3,834		
3	2,4	X	2	4,80	30,67	3,067		
4	2	X	2	4,00	25,56	2,556		
5	1,71	X	2	3,42	21,85	2,185		
6	1,71	X	1,5	2,57	16,39	1,639		
7	1,5	X	1,5	2,25	14,38	1,438		
8	1,33	X	1,5	2,00	12,75	1,275		
9	1,2	X	1,5	1,80	11,50	1,150		
10	1,2	X	1,2	1,44	9,20	0,920		
11	1,09	X	1,2	1,31	8,36	0,836		
12	1	X	1,2	1,20	7,67	0,767		
13	1	X	1	1,00	6,39	0,639		
14	0,924	X	1	0,92	5,90	0,590		
15	0,86	X	0,86	0,74	4,73	0,473		
16	0,5	X	0,5	0,25	1,60	0,160		

Fonte: do autor.

4.2.2.4 Laje com dois bordos adjacentes engastado e demais apoiados

Tabela 30 - Tabela de dimensionamento para laje 6x12 com dois bordos adjacentes engastados e demais apoiados

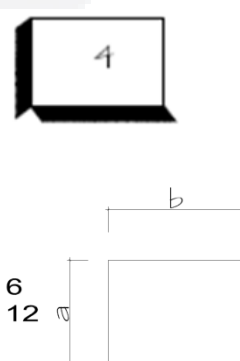
DIMENSIONAMENTO					
fck	25	Mpa	fyk	50	kN/cm ²
Mk,máx	13,10	kN.m/m	Yc	1,4	
Md	1834,0	kN.cm/m	Yf	1,4	
bw	100	cm	Ys	1,15	
h	13,0	cm	Rüsch	0,85	
C (cobrimento)	2,50	cm			
Contr. Adequado	0,50	cm			
d	10,50	cm			
X	1,53	cm			
As	4,27	cm ² /m			
As, mín	1,31	cm ² /m			
As, adotado	4,27	cm ² /m			
Espaç.máx	20	cm			
Det. Armadura	Ø 10 c/ 18				
As, efetivo	4,36	cm ² /m			



Fonte: do autor.

Tabela 31 - Tabela de verificação momento fletor máximo suportado laje 6x12 com dois bordos adjacentes engastados e demais apoiados

VERIFICAÇÃO					
fck	2,5	kN/cm ²	fyk	50	kN/cm ²
bw	100	cm	Yc	1,2	
h	13,0	cm	Yf	1,3	
d	10,50	cm	Ys	1,15	
As, efetivo	4,36	cm ² /m	Rüsch	1,00	



X	1,1383	cm
---	--------	----

Md	1906	kN.cm/m
Mk,máx	1466	kN.cm/m
Mk,máx	14,66	kN.m/m

Fonte: do autor.

Tabela 32 - Resultados laje 6x12 com dois bordos adjacentes engastados e demais apoiados

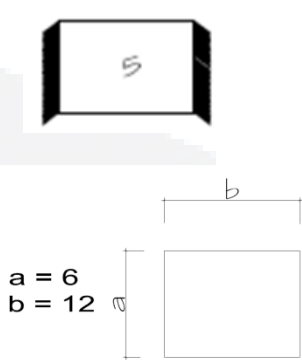
GEOMETRIA DA LAJE (m)	CONFIGURAÇÃO DA LAJE	ESPESSURA h (m)	Mk, máx (tf/m)	Mk, máx (kN/m)	Mk, máx.efetivo (kN/m)	Mk, máx.efetivo (tf/m)
a 6 b 12		0,13	1,31	13,1	14,66	1,466
TESTE	ESPAÇAMENTO ENTRE PONTALETES (m)	ÁREA DE INFLUÊNCIA DO PONTALETE	CARGA CONCENTRADA "P" (kN)	CARGA CONCENTRADA "P" (tf)	Mk, máx (tf/m)	RESULTADO
1	3	X 3	9,00	41,54	4,154	
2	3	X 2	6,00	27,69	2,769	
3	2,4	X 2	4,80	22,15	2,215	
4	2	X 2	4,00	18,46	1,846	
5	1,71	X 2	3,42	15,78	1,578	
6	1,71	X 1,5	2,57	11,84	1,184	
7	1,5	X 1,5	2,25	10,38	1,038	
8	1,33	X 1,5	2,00	9,21	0,921	
9	1,2	X 1,5	1,80	8,31	0,831	
10	1,2	X 1,2	1,44	6,65	0,665	
11	1,09	X 1,2	1,31	6,04	0,604	
12	1	X 1,2	1,20	5,54	0,554	
13	1	X 1	1,00	4,62	0,462	
14	0,924	X 1	0,92	4,26	0,426	
15	0,86	X 0,86	0,74	3,41	0,341	
16	0,5	X 0,5	0,25	1,15	0,115	
					2,18	PROCESSAR NOVO MODELO

Fonte: do autor.

4.2.2.5 Laje com dois bordos opostos (a) engastados e demais apoiados

Tabela 33 - Tabela de dimensionamento para laje 6x12 com dois bordos opostos (a) engastados e demais apoiados

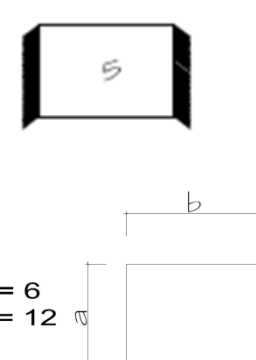
DIMENSIONAMENTO					
fck	25	Mpa	fyk	50	kN/cm ²
Mk,máx	14,20	kN.m/m	Yc	1,4	
Md	1988,0	kN.cm/m	Yf	1,4	
bw	100	cm	Ys	1,15	
h	10,0	cm	Rüsch	0,85	
C (cobrimento)	2,50	cm			
Contr. Adequado	0,50	cm			
d	7,50	cm			
X	2,52	cm			
As	7,04	cm ² /m			
As, mín	1,01	cm ² /m			
As, adotado	7,04	cm ² /m			
Espaç.máx	20	cm			
Det. Armadura	Ø 10 c/ 11				
As, efetivo	7,14	cm ² /m			



Fonte: do autor.

Tabela 34 - Tabela de verificação momento fletor máximo suportado laje 6x12 com dois bordos opostos (a) engastados e demais apoiados

VERIFICAÇÃO					
fck	2,5	kN/cm ²	fyk	50	kN/cm ²
bw	100	cm	Yc	1,2	
h	10,0	cm	Yf	1,3	
d	7,50	cm	Ys	1,15	
As, efetivo	7,14	cm ² /m	Rüsch	1,00	



X	1,8626	cm
---	--------	----

Md	2097	kN.cm/m
Mk,máx	1613	kN.cm/m
Mk,máx	16,13	kN.m/m

Fonte: do autor.

Tabela 35 - Resultados laje 6x12 com dois bordos opostos (a) engastados e demais apoiados

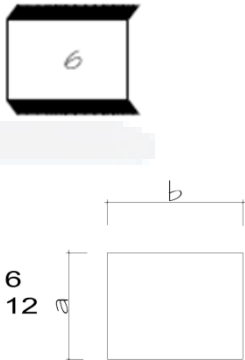
GEOMETRIA DA LAJE (m)				CONFIGURAÇÃO DA LAJE	ESPESSURA h (m)	Mk, máx (tf/m)	Mk, máx (kN/m)	Mk,máx.efetivo (kN/m)	Mk,máx.efetivo (tf/m)
a	6				0,1	1,42	14,2	16,13	1,613
b	12								
TESTE	ESPAÇAMENTO ENTRE PONTALETES (m)			ÁREA DE INFLUÊNCIA DO PONTALETE	CARGA CONCENTRADA "P" (kN)	CARGA CONCENTRADA "P" (tf)	Mk,máx (tf/m)	RESULTADO	
1	3	X	3	9,00	31,95	3,195	2,38	PROCESSAR NOVO MODELO	
2	3	X	2	6,00	21,30	2,130			
3	2,4	X	2	4,80	17,04	1,704			
4	2	X	2	4,00	14,20	1,420			
5	1,71	X	2	3,42	12,14	1,214			
6	1,71	X	1,5	2,57	9,11	0,911			
7	1,5	X	1,5	2,25	7,99	0,799			
8	1,33	X	1,5	2,00	7,08	0,708			
9	1,2	X	1,5	1,80	6,39	0,639			
10	1,2	X	1,2	1,44	5,11	0,511			
11	1,09	X	1,2	1,31	4,64	0,464			
12	1	X	1,2	1,20	4,26	0,426			
13	1	X	1	1,00	3,55	0,355			
14	0,924	X	1	0,92	3,28	0,328			
15	0,86	X	0,86	0,74	2,63	0,263			
16	0,5	X	0,5	0,25	0,89	0,089			

Fonte: do autor.

4.2.2.6 Laje com dois bordos opostos (b) engastados e demais apoiados

Tabela 36 - Tabela de dimensionamento para laje 6x12 com dois bordos opostos (b) engastados e demais apoiados

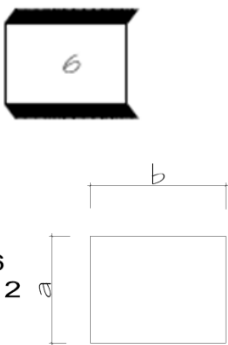
DIMENSIONAMENTO					
fck	25	Mpa	fyk	50	kN/cm ²
Mk,máx	37,20	kN.m/m	Yc	1,4	
Md	5208,0	kN.cm/m	Yf	1,4	
bw	100	cm	Ys	1,15	
h	17,0	cm	Rüsch	0,85	
C (cobrimento)	2,50	cm			
Contr. Adequado	0,50	cm			
d	14,50	cm			
X	3,25	cm			
As	9,07	cm ² /m			
As, mín	1,71	cm ² /m			
As, adotado	9,07	cm ² /m			
Espaç.máx	20	cm			
Det. Armadura	Ø 12,5 c/ 13				
As, efetivo	9,44	cm ² /m			



Fonte: do autor.

Tabela 37 - Tabela de verificação momento fletor máximo suportado laje 6x12 com dois bordos opostos (b) engastados e demais apoiados

VERIFICAÇÃO					
fck	2,5	kN/cm ²	fyk	50	kN/cm ²
bw	100	cm	Yc	1,2	
h	17,0	cm	Yf	1,3	
d	14,50	cm	Ys	1,15	
As, efetivo	9,44	cm ² /m	Rüsch	1,00	



X	2,4626	cm
---	--------	----

Md	5547	kN.cm/m
Mk,máx	4267	kN.cm/m
Mk,máx	42,67	kN.m/m

Fonte: do autor.

Tabela 38 - Resultados laje 6x12 com dois bordos opostos (b) engastados e demais apoiados

GEOMETRIA DA LAJE (m)	CONFIGURAÇÃO DA LAJE	ESPESSURA h (m)	Mk, máx (tf/m)	Mk, máx (kN/m)	Mk, máx.efetivo (kN/m)	Mk, máx.efetivo (tf/m)
a 6 b 12		0,17	3,72	37,2	42,67	4,267

TESTE	ESPAÇAMENTO ENTRE PONTALETES (m)		ÁREA DE INFLUÊNCIA DO PONTALETE	CARGA CONCENTRADA "P" (kN)	CARGA CONCENTRADA "P" (tf)	Mk, máx (tf/m)	RESULTADO
1	3	X	3	9,00	54,32	5,432	
2	3	X	2	6,00	36,21	3,621	
3	2,4	X	2	4,80	28,97	2,897	
4	2	X	2	4,00	24,14	2,414	
5	1,71	X	2	3,42	20,64	2,064	
6	1,71	X	1,5	2,57	15,48	1,548	
7	1,5	X	1,5	2,25	13,58	1,358	
8	1,33	X	1,5	2,00	12,04	1,204	
9	1,2	X	1,5	1,80	10,86	1,086	
10	1,2	X	1,2	1,44	8,69	0,869	
11	1,09	X	1,2	1,31	7,89	0,789	
12	1	X	1,2	1,20	7,24	0,724	
13	1	X	1	1,00	6,04	0,604	
14	0,924	X	1	0,92	5,58	0,558	
15	0,86	X	0,86	0,74	4,46	0,446	
16	0,5	X	0,5	0,25	1,51	0,151	

5,6	PROCESSAR NOVO MODELO
-----	-----------------------

Fonte: do autor.

4.2.2.7 Laje com três bordos engastados sendo dois os bordos "a" e demais apoiados

Tabela 39 - Tabela de dimensionamento para laje 6x12 com três bordos engastados sendo dois os bordos “a” e demais apoiados

DIMENSIONAMENTO					
fck	25	Mpa	fyk	50	kN/cm ²
Mk,máx	10,10	kN.m/m	Yc	1,4	
Md	1414,0	kN.cm/m	Yf	1,4	
bw	100	cm	Ys	1,15	
h	10,0	cm	Rüsch	0,85	
C (cobrimento)	2,50	cm			
Contr. Adequado	0,50	cm			
d	7,50	cm			
X	1,71	cm			
As	4,77	cm ² /m			
As, mín	1,01	cm ² /m			
As, adotado	4,77	cm ² /m			
Espaç.máx	20	cm			
Det. Armadura	Ø 10 c/ 16				
As, efetivo	4,91	cm ² /m			



a = 6
b = 12

Fonte: do autor.

Tabela 40 - Tabela de verificação momento fletor máximo suportado laje 6x12 com três bordos engastados sendo dois os bordos “a” e demais apoiados

VERIFICAÇÃO					
fck	2,5	kN/cm ²	fyk	50	kN/cm ²
bw	100	cm	Yc	1,2	
h	10,0	cm	Yf	1,3	
d	7,50	cm	Ys	1,15	
As, efetivo	4,91	cm ² /m	Rüsch	1,00	



a = 6
b = 12

X	1,2805	cm
---	--------	----

Md	1491	kN.cm/m
Mk,máx	1147	kN.cm/m
Mk,máx	11,47	kN.m/m

Fonte: do autor.

Tabela 41 - Resultados laje 6x12 com três bordos engastados sendo dois os bordos “a” e demais apoiados

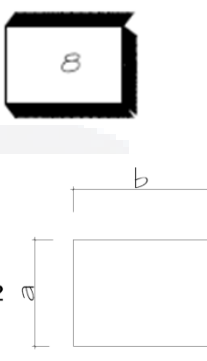
GEOMETRIA DA LAJE (m)	CONFIGURAÇÃO DA LAJE	ESPESSURA h (m)	Mk, máx (tf/m)	Mk, máx (kN/m)	Mk, máx.efetivo (kN/m)	Mk, máx.efetivo (tf/m)
a 6 b 12		0,1	1,01	10,1	11,47	1,147
TESTE	ESPAÇAMENTO ENTRE PONTALETES (m)	ÁREA DE INFLUÊNCIA DO PONTALETE	CARGA CONCENTRADA "P" (kN)	CARGA CONCENTRADA "P" (tf)	Mk, máx (tf/m)	RESULTADO
1	3	X 3	9,00	31,95	3,195	
2	3	X 2	6,00	21,30	2,130	
3	2,4	X 2	4,80	17,04	1,704	
4	2	X 2	4,00	14,20	1,420	
5	1,71	X 2	3,42	12,14	1,214	
6	1,71	X 1,5	2,57	9,11	0,911	
7	1,5	X 1,5	2,25	7,99	0,799	
8	1,33	X 1,5	2,00	7,08	0,708	
9	1,2	X 1,5	1,80	6,39	0,639	
10	1,2	X 1,2	1,44	5,11	0,511	
11	1,09	X 1,2	1,31	4,64	0,464	
12	1	X 1,2	1,20	4,26	0,426	
13	1	X 1	1,00	3,55	0,355	
14	0,924	X 1	0,92	3,28	0,328	
15	0,86	X 0,86	0,74	2,63	0,263	
16	0,5	X 0,5	0,25	0,89	0,089	
					1,36	PROCESSAR NOVO MODELO

Fonte: do autor.

4.2.2.8 Laje com três bordos engastados sendo dois os bordos “b” e demais apoiados

Tabela 42 - Tabela de dimensionamento para laje 6x12 com três bordos engastados sendo dois os bordos “b” e demais apoiados

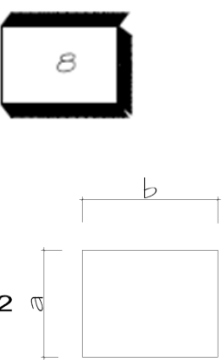
DIMENSIONAMENTO					
fck	25	Mpa	fyk	50	kN/cm ²
Mk,máx	7,10	kN.m/m	Yc	1,4	
Md	994,0	kN.cm/m	Yf	1,4	
bw	100	cm	Ys	1,15	
h	12,0	cm	Rüsch	0,85	
C (cobrimento)	2,50	cm			
Contr. Adequado	0,50	cm			
d	9,50	cm			
X	0,90	cm			
As	2,50	cm ² /m			
As, mín	1,21	cm ² /m			
As, adotado	2,50	cm ² /m			
Espaç.máx	20	cm			
Det. Armadura	Ø 8 c/ 20				
As, efetivo	2,51	cm ² /m			



Fonte: do autor.

Tabela 43 - Tabela de verificação momento fletor máximo suportado laje 6x12 com três bordos engastados sendo dois os bordos “b” e demais apoiados

VERIFICAÇÃO					
fck	2,5	kN/cm ²	fyk	50	kN/cm ²
bw	100	cm	Yc	1,2	
h	12,0	cm	Yf	1,3	
d	9,50	cm	Ys	1,15	
As, efetivo	2,51	cm ² /m	Rüsch	1,00	



X	0,6556	cm
---	--------	----

Md	1009	kN.cm/m
Mk,máx	776	kN.cm/m
Mk,máx	7,76	kN.m/m

Fonte: do autor.

Tabela 44 - Resultados laje 6x12 com três bordos engastados sendo dois os bordos "b" e demais apoiados

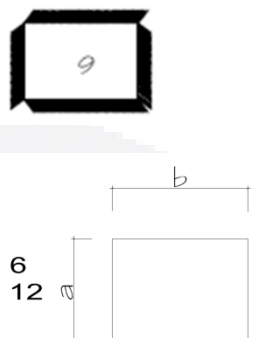
GEOMETRIA DA LAJE (m)	CONFIGURAÇÃO DA LAJE	ESPESSURA h (m)	Mk, máx (tf/m)	Mk, máx (kN/m)	Mk, máx.efetivo (kN/m)	Mk, máx.efetivo (tf/m)
a 6 b 12		0,12	0,71	7,1	7,76	0,776
TESTE	ESPAÇAMENTO ENTRE PONTALETES (m)	ÁREA DE INFLUÊNCIA DO PONTALETE	CARGA CONCENTRADA "P" (kN)	CARGA CONCENTRADA "P" (tf)	Mk, máx (tf/m)	RESULTADO
1	3	X 3	9,00	38,34	3,834	
2	3	X 2	6,00	25,56	2,556	
3	2,4	X 2	4,80	20,45	2,045	
4	2	X 2	4,00	17,04	1,704	
5	1,71	X 2	3,42	14,57	1,457	
6	1,71	X 1,5	2,57	10,93	1,093	
7	1,5	X 1,5	2,25	9,59	0,959	
8	1,33	X 1,5	2,00	8,50	0,850	
9	1,2	X 1,5	1,80	7,67	0,767	
10	1,2	X 1,2	1,44	6,13	0,613	
11	1,09	X 1,2	1,31	5,57	0,557	
12	1	X 1,2	1,20	5,11	0,511	
13	1	X 1	1,00	4,26	0,426	
14	0,924	X 1	0,92	3,94	0,394	
15	0,86	X 0,86	0,74	3,15	0,315	
16	0,5	X 0,5	0,25	1,07	0,107	
					0,85	PROCESSAR NOVO MODELO

Fonte: do autor.

4.2.2.9 Laje com quatro bordos engastados

Tabela 45 - Tabela de dimensionamento para laje 6x12 com quatro bordos engastados

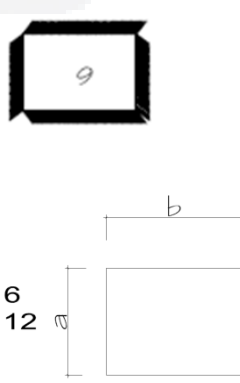
DIMENSIONAMENTO					
fck	25	Mpa	fyk	50	kN/cm ²
Mk,máx	3,80	kN.m/m	Yc	1,4	
Md	532,0	kN.cm/m	Yf	1,4	
bw	100	cm	Ys	1,15	
h	10,0	cm	Rüsch	0,85	
C (cobrimento)	2,50	cm			
Contr. Adequado	0,50	cm			
d	7,50	cm			
X	0,60	cm			
As	1,69	cm ² /m			
As, mín	1,01	cm ² /m			
As, adotado	1,69	cm ² /m			
Espaç.máx	20	cm			
Det. Armadura	Ø 6,3 c/ 18				
As, efetivo	1,73	cm ² /m			



Fonte: do autor.

Tabela 46 - Tabela de verificação momento fletor máximo suportado laje 6x12 com quatro bordos engastados

VERIFICAÇÃO					
fck	2,5	kN/cm ²	fyk	50	kN/cm ²
bw	100	cm	Yc	1,2	
h	10,0	cm	Yf	1,3	
d	7,50	cm	Ys	1,15	
As, efetivo	1,73	cm ² /m	Rüsch	1,00	



X	0,4518	cm
---	--------	----

Md	551	kN.cm/m
Mk,máx	424	kN.cm/m
Mk,máx	4,24	kN.m/m

Fonte: do autor.

Tabela 47 - Resultados laje 6x12 com quatro bordos engastados

GEOMETRIA DA LAJE (m)	CONFIGURAÇÃO DA LAJE	ESPESSURA h (m)	Mk, máx (tf/m)	Mk, máx (kN/m)	Mk, máx.efetivo (kN/m)	Mk, máx.efetivo (tf/m)
a b		0,1	0,38	3,8	4,24	0,424
TESTE	ESPAÇAMENTO ENTRE PONTALETES (m)	ÁREA DE INFLUÊNCIA DO PONTALETE	CARGA CONCENTRADA "P" (kN)	CARGA CONCENTRADA "P" (tf)	Mk, máx (tf/m)	RESULTADO
1	3	X 3	9,00	31,95	3,195	
2	3	X 2	6,00	21,30	2,130	
3	2,4	X 2	4,80	17,04	1,704	
4	2	X 2	4,00	14,20	1,420	
5	1,71	X 2	3,42	12,14	1,214	
6	1,71	X 1,5	2,57	9,11	0,911	
7	1,5	X 1,5	2,25	7,99	0,799	
8	1,33	X 1,5	2,00	7,08	0,708	
9	1,2	X 1,5	1,80	6,39	0,639	
10	1,2	X 1,2	1,44	5,11	0,511	
11	1,09	X 1,2	1,31	4,64	0,464	
12	1	X 1,2	1,20	4,26	0,426	
13	1	X 1	1,00	3,55	0,355	
14	0,924	X 1	0,92	3,28	0,328	
15	0,86	X 0,86	0,74	2,63	0,263	
16	0,5	X 0,5	0,25	0,89	0,089	
					0,5	PROCESSAR NOVO MODELO

Fonte: do autor.

4.3 Análise dos resultados obtidos

Com base nos resultados apresentados, construiu-se um resumo com recomendações para projeto de escoramento remanescente, ou para projeto das lajes maciças de concreto armado, aproximando as condições de execução às considerações de projeto, ou vice-versa.

Tabela 48 - Resumo Laje 2x2

GEOMETRIA DA LAJE (m)	CONFIGURAÇÃO DA LAJE	ESPESSURA h (m)	Mk, máx Projeto (kN/m)	As, efetivo (cm ² /m)	Mk, construção (kN/m)	Espaçamento entre escoras adequado/indicado (m)
a b		0,08	0,5	1,23	1,5	ADOTAR ESPAÇAMENTO DE 1,00 X 1,00
a b		0,08	0,8	1,23	1,3	ADOTAR ESPAÇAMENTO DE 1,00 X 1,00
a b		0,08	0,6	1,23	1,1	ADOTAR ESPAÇAMENTO DE 1,00 X 1,00
a b		0,08	0,5	1,23	1,1	ADOTAR ESPAÇAMENTO DE 1,00 X 1,00
a b		0,08	0,4	1,23	1,0	ADOTAR ESPAÇAMENTO DE 1,00 X 1,00
a b		0,08	0,2	1,23	0,8	ADOTAR ESPAÇAMENTO DE 1,00 X 1,00

Fonte: do autor.

Tabela 49 - Resumo Laje 2x3

GEOMETRIA DA LAJE (m)	CONFIGURAÇÃO DA LAJE	ESPESSURA h (m)	Mk, máx Projeto (kN/m)	As, efetivo (cm ² /m)	Mk, construção (kN/m)	Espaçamento entre escoras adequado/indicado (m)
a 2 b 3		0,08	0,7	1,23	2,1	ADOTAR ESPAÇAMENTO DE 1,50 X 1,00
a 2 b 3		0,08	1,4	1,23	1,9	ADOTAR ESPAÇAMENTO DE 1,50 X 1,00
a 2 b 3		0,08	1,2	1,23	1,4	ADOTAR ESPAÇAMENTO DE 1,00 X 1,00
a 2 b 3		0,08	1,1	1,23	1,4	ADOTAR ESPAÇAMENTO DE 1,00 X 1,00
a 2 b 3		0,08	1,1	1,23	1,7	ADOTAR ESPAÇAMENTO DE 1,50 X 1,00
a 2 b 3		0,08	0,7	1,23	1,3	ADOTAR ESPAÇAMENTO DE 1,00 X 1,00
a 2 b 3		0,08	0,8	1,23	1,4	ADOTAR ESPAÇAMENTO DE 1,50 X 1,00
a 2 b 3		0,08	0,5	1,23	1,2	ADOTAR ESPAÇAMENTO DE 1,50 X 1,00
a 2 b 3		0,08	0,4	1,23	1,3	ADOTAR ESPAÇAMENTO DE 1,50 X 1,00

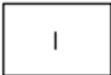
Fonte: do autor.

Tabela 50 - Resumo Laje 2x4

GEOMETRIA DA LAJE (m)	CONFIGURAÇÃO DA LAJE	ESPESSURA h (m)	Mk, máx Projeto (kN/m)	As, efetivo (cm ² /m)	Mk, construção (kN/m)	Espaçamento entre escoras adequado/indicado (m)
a b		0,08	2,0	1,23	2,2	ADOTAR ESPAÇAMENTO DE 0,50 X 0,50
a b		0,08	1,9	1,23	2,1	ADOTAR ESPAÇAMENTO DE 0,50 X 0,50
a b		0,08	0,9	1,23	1,8	ADOTAR ESPAÇAMENTO DE 2,00 X 1,00
a b		0,08	1,3	1,23	1,7	ADOTAR ESPAÇAMENTO DE 2,00 X 1,00
a b		0,08	1,6	1,23	2,2	ADOTAR ESPAÇAMENTO DE 1,00 X 1,00
a b		0,08	0,5	1,23	1,6	ADOTAR ESPAÇAMENTO DE 2,00 X 1,00
a b		0,08	1,1	1,23	1,8	ADOTAR ESPAÇAMENTO DE 2,00 X 1,00
a b		0,08	0,6	1,23	1,6	ADOTAR ESPAÇAMENTO DE 2,00 X 1,00
a b		0,08	0,5	1,23	1,6	ADOTAR ESPAÇAMENTO DE 2,00 X 1,00

Fonte: do autor.

Tabela 51 - Resumo Laje 3x3

GEOMETRIA DA LAJE (m)	CONFIGURAÇÃO DA LAJE	ESPESSURA h (m)	M _k , máx Projeto (kN/m)	A _s , efetivo (cm ² /m)	M _k , construção (kN/m)	Espaçamento entre escoras adequado/indicado (m)
a 3 b 3		0,08	1,7	1,23	2,7	ADOTAR ESPAÇAMENTO DE 0,50 X 0,50
a 3 b 3		0,08	1,9	1,23	2,3	ESPAÇAMENTO MÍNIMO ULTRAPASSADO, AUMENTAR CARGA DE DIMENSIONAMENTO
a 3 b 3		0,08	1,4	1,23	2,1	ADOTAR ESPAÇAMENTO DE 0,75 X 1,50
a 3 b 3		0,08	1,3	1,23	1,9	ADOTAR ESPAÇAMENTO DE 1,00 X 1,50
a 3 b 3		0,08	1,0	1,23	1,6	ADOTAR ESPAÇAMENTO DE 1,00 X 1,50
a 3 b 3		0,08	0,6	1,23	2,2	ADOTAR ESPAÇAMENTO DE 1,50 X 1,50

Fonte: do autor.

Tabela 52 - Resumo Laje 3x4,5

GEOMETRIA DA LAJE (m)	CONFIGURAÇÃO DA LAJE	ESPESSURA h (m)	Mk, máx Projeto (kN/m)	As, efetivo (cm ² /m)	Mk, construção (kN/m)	Espaçamento entre escoras adequado/indicado (m)
a b 3 4,5		0,08	4,0	2,6	4,8	ESPAÇAMENTO MÍNIMO ULTRAPASSADO, AUMENTAR CARGA DE DIMENSIONAMENTO
a b 3 4,5		0,08	3,4	2,18	4,0	ESPAÇAMENTO MÍNIMO ULTRAPASSADO, AUMENTAR CARGA DE DIMENSIONAMENTO
a b 3 4,5		0,08	2,9	1,78	3,5	ESPAÇAMENTO MÍNIMO ULTRAPASSADO, AUMENTAR CARGA DE DIMENSIONAMENTO
a b 3 4,5		0,08	2,5	1,64	3,0	ESPAÇAMENTO MÍNIMO ULTRAPASSADO, AUMENTAR CARGA DE DIMENSIONAMENTO
a b 3 4,5		0,08	2,6	1,64	3,1	ESPAÇAMENTO MÍNIMO ULTRAPASSADO, AUMENTAR CARGA DE DIMENSIONAMENTO
a b 3 4,5		0,08	1,7	1,23	2,0	ADOTAR ESPAÇAMENTO DE 0,50 X 0,50
a b 3 4,5		0,08	1,9	1,23	2,4	ESPAÇAMENTO MÍNIMO ULTRAPASSADO, AUMENTAR CARGA DE DIMENSIONAMENTO
a b 3 4,5		0,08	1,4	1,23	1,6	ADOTAR ESPAÇAMENTO DE 0,90 X 1,00
a b 3 4,5		0,08	1,0	1,23	2,0	ADOTAR ESPAÇAMENTO DE 1,50 X 1,50

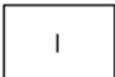
Fonte: do autor.

Tabela 53 - Resumo Laje 3x6

GEOMETRIA DA LAJE (m)	CONFIGURAÇÃO DA LAJE	ESPESSURA h (m)	Mk, máx Projeto (kN/m)	As, efetivo (cm ² /m)	Mk, construção (kN/m)	Espaçamento entre escoras adequado/indicado (m)
a b		0,08	4,7	3,1	5,5	ESPAÇAMENTO MÍNIMO ULTRAPASSADO, AUMENTAR CARGA DE DIMENSIONAMENTO
a b		0,08	4,4	2,8	5,2	ESPAÇAMENTO MÍNIMO ULTRAPASSADO, AUMENTAR CARGA DE DIMENSIONAMENTO
a b		0,08	3,1	1,95	3,7	ESPAÇAMENTO MÍNIMO ULTRAPASSADO, AUMENTAR CARGA DE DIMENSIONAMENTO
a b		0,08	2,9	1,78	3,5	ESPAÇAMENTO MÍNIMO ULTRAPASSADO, AUMENTAR CARGA DE DIMENSIONAMENTO
a b		0,08	3,9	2,45	4,6	ESPAÇAMENTO MÍNIMO ULTRAPASSADO, AUMENTAR CARGA DE DIMENSIONAMENTO
a b		0,08	1,7	1,23	2,0	ADOTAR ESPAÇAMENTO DE 1,00 X 1,00
a b		0,08	2,5	1,64	3,1	ESPAÇAMENTO MÍNIMO ULTRAPASSADO, AUMENTAR CARGA DE DIMENSIONAMENTO
a b		0,08	1,4	1,23	2,2	ADOTAR ESPAÇAMENTO DE 1,20 X 1,50
a b		0,08	1,2	1,23	2,1	ADOTAR ESPAÇAMENTO DE 1,00 X 1,50

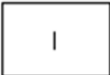
Fonte: do autor.

Tabela 54 - Resumo Laje 4x4

GEOMETRIA DA LAJE (m)	CONFIGURAÇÃO DA LAJE	ESPESSUR A h (m)	Mk, máx Projeto (kN/m)	As, efetivo (cm²/m)	Mk, construção (kN/m)	Espaçamento entre escoras adequado/indicado (m)
a b		0,08	2,6	1,64	4,9	ESPAÇAMENTO MÍNIMO ULTRAPASSADO, AUMENTAR CARGA DE DIMENSIONAMENTO
a b		0,08	3,0	1,95	4,1	ESPAÇAMENTO MÍNIMO ULTRAPASSADO, AUMENTAR CARGA DE DIMENSIONAMENTO
a b		0,08	2,5	1,64	3,1	ESPAÇAMENTO MÍNIMO ULTRAPASSADO, AUMENTAR CARGA DE DIMENSIONAMENTO
a b		0,08	2,5	1,64	3,0	ESPAÇAMENTO MÍNIMO ULTRAPASSADO, AUMENTAR CARGA DE DIMENSIONAMENTO
a b		0,08	1,8	1,23	2,2	ADOTAR ESPAÇAMENTO DE 0,50 X 0,50
a b		0,08	1,1	1,23	2,2	ADOTAR ESPAÇAMENTO DE 1,33 X 2,00

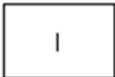
Fonte: do autor.

Tabela 55 - Resumo Laje 4x6

GEOMETRIA DA LAJE (m)	CONFIGURAÇÃO DA LAJE	ESPESSURA h (m)	Mk, máx Projeto (kN/m)	As, efetivo (cm²/m)	Mk, construção (kN/m)	Espaçamento entre escoras adequado/indicado (m)
a b		0,08	7,6	4,19	9,0	ESPAÇAMENTO MÍNIMO ULTRAPASSADO, AUMENTAR CARGA DE DIMENSIONAMENTO
a b		0,08	6,5	4,45	7,7	ESPAÇAMENTO MÍNIMO ULTRAPASSADO, AUMENTAR CARGA DE DIMENSIONAMENTO
a b		0,08	5,0	3,35	6,3	ESPAÇAMENTO MÍNIMO ULTRAPASSADO, AUMENTAR CARGA DE DIMENSIONAMENTO
a b		0,08	4,6	3,12	5,4	ESPAÇAMENTO MÍNIMO ULTRAPASSADO, AUMENTAR CARGA DE DIMENSIONAMENTO
a b		0,08	5,0	3,35	5,9	ESPAÇAMENTO MÍNIMO ULTRAPASSADO, AUMENTAR CARGA DE DIMENSIONAMENTO
a b		0,08	3,1	1,95	3,7	ESPAÇAMENTO MÍNIMO ULTRAPASSADO, AUMENTAR CARGA DE DIMENSIONAMENTO
a b		0,08	3,6	2,40	4,3	ESPAÇAMENTO MÍNIMO ULTRAPASSADO, AUMENTAR CARGA DE DIMENSIONAMENTO
a b		0,08	2,6	1,64	3,2	ESPAÇAMENTO MÍNIMO ULTRAPASSADO, AUMENTAR CARGA DE DIMENSIONAMENTO
a b		0,08	1,8	1,23	2,2	ADOTAR ESPAÇAMENTO DE 0,50 X 0,50

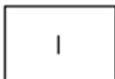
Fonte: do autor.

Tabela 56 - Resumo Laje 4x8

GEOMETRIA DA LAJE (m)	CONFIGURAÇÃO DA LAJE	ESPESSURA h (m)	Mk, máx Projeto (kN/m)	As, efetivo (cm²/m)	Mk, construção (kN/m)	Espaçamento entre escoras adequado/indicado (m)
a b		0,11	9,5	3,87	11,1	ESPAÇAMENTO MÍNIMO ULTRAPASSADO, AUMENTAR CARGA DE DIMENSIONAMENTO
a b		0,08	8,0	5,59	9,5	ESPAÇAMENTO MÍNIMO ULTRAPASSADO, AUMENTAR CARGA DE DIMENSIONAMENTO
a b		0,1	6,0	2,79	7,0	ESPAÇAMENTO MÍNIMO ULTRAPASSADO, AUMENTAR CARGA DE DIMENSIONAMENTO
a b		0,08	5,1	3,35	6,1	ESPAÇAMENTO MÍNIMO ULTRAPASSADO, AUMENTAR CARGA DE DIMENSIONAMENTO
a b		0,08	7,1	4,91	8,5	ESPAÇAMENTO MÍNIMO ULTRAPASSADO, AUMENTAR CARGA DE DIMENSIONAMENTO
a b		0,09	3,0	1,64	3,6	ESPAÇAMENTO MÍNIMO ULTRAPASSADO, AUMENTAR CARGA DE DIMENSIONAMENTO
a b		0,08	4,5	2,79	5,4	ESPAÇAMENTO MÍNIMO ULTRAPASSADO, AUMENTAR CARGA DE DIMENSIONAMENTO
a b		0,08	2,6	1,64	3,1	ESPAÇAMENTO MÍNIMO ULTRAPASSADO, AUMENTAR CARGA DE DIMENSIONAMENTO
a b		0,08	2,1	1,31	2,5	ESPAÇAMENTO MÍNIMO ULTRAPASSADO, AUMENTAR CARGA DE DIMENSIONAMENTO

Fonte: do autor.

Tabela 57 - Resumo Laje 5x5

GEOMETRIA DA LAJE (m)	CONFIGURAÇÃO DA LAJE	ESPESSURA h (m)	Mk, máx Projeto (kN/m)	As, efetivo (cm²/m)	Mk, construção (kN/m)	Espaçamento entre escoras adequado/indicado (m)	
a b	5 5		0,08	4,8	3,12	7,8	ESPAÇAMENTO MÍNIMO ULTRAPASSADO, AUMENTAR CARGA DE DIMENSIONAMENTO
a b	5 5		0,08	4,1	4,54	4,5	ADOTAR ESPAÇAMENTO DE 0,50 X 0,50
a b	5 5		0,08	3,8	4,21	4,3	ESPAÇAMENTO MÍNIMO ULTRAPASSADO, AUMENTAR CARGA DE DIMENSIONAMENTO
a b	5 5		0,08	4,0	4,54	4,4	ADOTAR ESPAÇAMENTO DE 0,50 X 0,50
a b	5 5		0,08	1,8	1,23	3,3	ESPAÇAMENTO MÍNIMO ULTRAPASSADO, AUMENTAR CARGA DE DIMENSIONAMENTO
a b	5 5		0,08	1,8	1,23	1,9	ADOTAR ESPAÇAMENTO DE 0,50 X 0,50

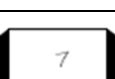
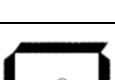
Fonte: do autor.

Tabela 58 - Resumo Laje 5x7,5

GEOMETRIA DA LAJE (m)	CONFIGURAÇÃO DA LAJE	ESPESSURA h (m)	Mk, max Projeto (kN/m)	As, efetivo (cm ² /m)	Mk, construção (kN/m)	Espaçamento entre escoras adequado/indicado (m)
a 5 b 7,5		0,12	13,4	4,91	19,6	ESPAÇAMENTO MÍNIMO ULTRAPASSADO, AUMENTAR CARGA DE DIMENSIONAMENTO
a 5 b 7,5		0,09	10,4	6,04	13,2	ESPAÇAMENTO MÍNIMO ULTRAPASSADO, AUMENTAR CARGA DE DIMENSIONAMENTO
a 5 b 7,5		0,11	8,7	3,59	12,3	ESPAÇAMENTO MÍNIMO ULTRAPASSADO, AUMENTAR CARGA DE DIMENSIONAMENTO
a 5 b 7,5		0,09	7,3	4,19	9,2	ESPAÇAMENTO MÍNIMO ULTRAPASSADO, AUMENTAR CARGA DE DIMENSIONAMENTO
a 5 b 7,5		0,08	7,6	5,24	9,0	ESPAÇAMENTO MÍNIMO ULTRAPASSADO, AUMENTAR CARGA DE DIMENSIONAMENTO
a 5 b 7,5		0,1	5,0	2,40	6,7	ESPAÇAMENTO MÍNIMO ULTRAPASSADO, AUMENTAR CARGA DE DIMENSIONAMENTO
a 5 b 7,5		0,08	5,5	3,59	6,6	ESPAÇAMENTO MÍNIMO ULTRAPASSADO, AUMENTAR CARGA DE DIMENSIONAMENTO
a 5 b 7,5		0,08	4,1	2,60	4,9	ESPAÇAMENTO MÍNIMO ULTRAPASSADO, AUMENTAR CARGA DE DIMENSIONAMENTO
a 5 b 7,5		0,08	2,9	1,78	3,6	ESPAÇAMENTO MÍNIMO ULTRAPASSADO, AUMENTAR CARGA DE DIMENSIONAMENTO

Fonte: do autor.

Tabela 59 - Resumo Laje 5x10

GEOMETRIA DA LAJE (m)	CONFIGURAÇÃO DA LAJE	ESPESSURA h (m)	Mk, máx Projeto (kN/m)	As, efetivo (cm ² /m)	Mk, construção (kN/m)	Espaçamento entre escoras adequado/indicado (m)
a b 5 10		0,14	16,0	4,91	23,9	ESPAÇAMENTO MÍNIMO ULTRAPASSADO, AUMENTAR CARGA DE DIMENSIONAMENTO
a b 5 10		0,1	13,9	7,14	18,5	ESPAÇAMENTO MÍNIMO ULTRAPASSADO, AUMENTAR CARGA DE DIMENSIONAMENTO
a b 5 10		0,14	9,9	2,96	19,2	ESPAÇAMENTO MÍNIMO ULTRAPASSADO, AUMENTAR CARGA DE DIMENSIONAMENTO
a b 5 10		0,1	8,4	3,90	11,3	ESPAÇAMENTO MÍNIMO ULTRAPASSADO, AUMENTAR CARGA DE DIMENSIONAMENTO
a b 5 10		0,08	11,3	8,73	13,4	ESPAÇAMENTO MÍNIMO ULTRAPASSADO, AUMENTAR CARGA DE DIMENSIONAMENTO
a b 5 10		0,13	4,7	1,51	13,8	ESPAÇAMENTO MÍNIMO ULTRAPASSADO, AUMENTAR CARGA DE DIMENSIONAMENTO
a b 5 10		0,08	7,1	4,91	9,7	ESPAÇAMENTO MÍNIMO ULTRAPASSADO, AUMENTAR CARGA DE DIMENSIONAMENTO
a b 5 10		0,1	3,9	1,73	8,7	ESPAÇAMENTO MÍNIMO ULTRAPASSADO, AUMENTAR CARGA DE DIMENSIONAMENTO
a b 5 10		0,08	3,2	2,08	6,5	ESPAÇAMENTO MÍNIMO ULTRAPASSADO, AUMENTAR CARGA DE DIMENSIONAMENTO

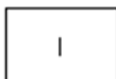
Fonte: do autor.

Tabela 60 - Resumo Laje 6x6

GEOMETRIA DA LAJE (m)	CONFIGURAÇÃO DA LAJE	ESPESSURA h (m)	M _k , máx Projeto (kN/m)	As, efetivo (cm ² /m)	M _k , construção (kN/m)	Espaçamento entre escoras adequado/indicado (m)
a b		0,1	7,0	3,35	14,0	ESPAÇAMENTO MÍNIMO ULTRAPASSADO, AUMENTAR CARGA DE DIMENSIONAMENTO
a b		0,09	8,3	4,91	9,4	ADOTAR ESPAÇAMENTO DE 0,50 X 0,50
a b		0,08	5,8	3,87	6,3	ADOTAR ESPAÇAMENTO DE 0,50 X 0,50
a b		0,08	6,0	4,19	7,1	ESPAÇAMENTO MÍNIMO ULTRAPASSADO, AUMENTAR CARGA DE DIMENSIONAMENTO
a b		0,08	4,3	2,80	5,2	ESPAÇAMENTO MÍNIMO ULTRAPASSADO, AUMENTAR CARGA DE DIMENSIONAMENTO
a b		0,08	2,5	1,64	2,8	ESPAÇAMENTO MÍNIMO ULTRAPASSADO, AUMENTAR CARGA DE DIMENSIONAMENTO

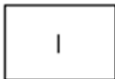
Fonte: do autor.

Tabela 61 - Resumo Laje 6x9

GEOMETRIA DA LAJE (m)	CONFIGURAÇÃO DA LAJE	ESPESSURA h (m)	Mk, máx Projeto (kN/m)	As, efetivo (cm²/m)	Mk, construção (kN/m)	Espaçamento entre escoras adequado/indicado (m)	
a b	6 9		0,16	20,7	5,24	31,3	ESPAÇAMENTO MÍNIMO ULTRAPASSADO, AUMENTAR CARGA DE DIMENSIONAMENTO
a b	6 9		0,12	17,6	6,82	25,5	ESPAÇAMENTO MÍNIMO ULTRAPASSADO, AUMENTAR CARGA DE DIMENSIONAMENTO
a b	6 9		0,14	13,0	3,87	19,7	ESPAÇAMENTO MÍNIMO ULTRAPASSADO, AUMENTAR CARGA DE DIMENSIONAMENTO
a b	6 9		0,11	11,3	4,45	16,3	ESPAÇAMENTO MÍNIMO ULTRAPASSADO, AUMENTAR CARGA DE DIMENSIONAMENTO
a b	6 9		0,1	12,4	6,04	16,5	ESPAÇAMENTO MÍNIMO ULTRAPASSADO, AUMENTAR CARGA DE DIMENSIONAMENTO
a b	6 9		0,12	7,3	2,60	10,8	ESPAÇAMENTO MÍNIMO ULTRAPASSADO, AUMENTAR CARGA DE DIMENSIONAMENTO
a b	6 9		0,1	8,0	3,87	11,6	ESPAÇAMENTO MÍNIMO ULTRAPASSADO, AUMENTAR CARGA DE DIMENSIONAMENTO
a b	6 9		0,1	6,1	2,79	11,6	ESPAÇAMENTO MÍNIMO ULTRAPASSADO, AUMENTAR CARGA DE DIMENSIONAMENTO
a b	6 9		0,0,9	4,0	2,08	8,0	ESPAÇAMENTO MÍNIMO ULTRAPASSADO, AUMENTAR CARGA DE DIMENSIONAMENTO

Fonte: do autor.

Tabela 62 - Resumo Laje 6x12

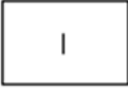
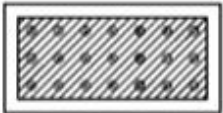
GEOMETRIA DA LAJE (m)	CONFIGURAÇÃO DA LAJE	ESPESSURA h (m)	Mk, máx Projeto (kN/m)	As, efetivo (cm²/m)	Mk, construção (kN/m)	Espaçamento entre escoras adequado/indicado (m)
a b		0,19	37,2	7,82	57,8	ESPAÇAMENTO MÍNIMO ULTRAPASSADO, AUMENTAR CARGA DE DIMENSIONAMENTO
a b		0,13	22,5	7,85	34,3	ESPAÇAMENTO MÍNIMO ULTRAPASSADO, AUMENTAR CARGA DE DIMENSIONAMENTO
a b		0,18	44,1	10,23	70,2	ESPAÇAMENTO MÍNIMO ULTRAPASSADO, AUMENTAR CARGA DE DIMENSIONAMENTO
a b		0,13	13,1	4,36	21,8	ESPAÇAMENTO MÍNIMO ULTRAPASSADO, AUMENTAR CARGA DE DIMENSIONAMENTO
a b		0,1	14,2	7,14	23,8	ESPAÇAMENTO MÍNIMO ULTRAPASSADO, AUMENTAR CARGA DE DIMENSIONAMENTO
a b		0,17	37,2	9,44	56,0	ESPAÇAMENTO MÍNIMO ULTRAPASSADO, AUMENTAR CARGA DE DIMENSIONAMENTO
a b		0,1	10,1	4,91	13,6	ESPAÇAMENTO MÍNIMO ULTRAPASSADO, AUMENTAR CARGA DE DIMENSIONAMENTO
a b		0,12	7,1	2,51	8,5	ESPAÇAMENTO MÍNIMO ULTRAPASSADO, AUMENTAR CARGA DE DIMENSIONAMENTO
a b		0,1	3,8	1,73	5,0	ESPAÇAMENTO MÍNIMO ULTRAPASSADO, AUMENTAR CARGA DE DIMENSIONAMENTO

Fonte: do autor.

Com o intuito de reunir e apresentar da melhor forma os resultados, criou-se tabelas indicando modelos analisados, segundo o tipo de vinculação de bordo.

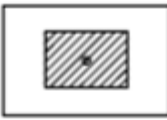
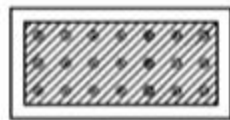
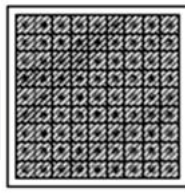
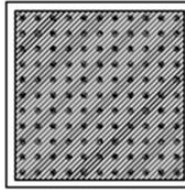
Para os modelos de laje, cujo espaçamento mínimo entre escoras, de 0,5m, foi ultrapassado, sugere-se aumentar a carga de dimensionamento a partir do fator de majoração α .

Tabela 63 - Recomendações para lajes com vinculação apoiada nos quatro bordos

 VINCULAÇÃO	RELAÇÃO a/b					
	1		1,5		2	
a						
2						
	x = 1,00 m	Y = 1,00 m	x = 1,50 m	Y = 1,00 m	x = 0,50 m	Y = 0,50 m
3	$\alpha = 1,227$		$\alpha = 1,057$		$\alpha = 1,020$	
	x = 0,50 m	Y = 0,50 m	x = 0,50 m	Y = 0,50 m	x = 0,50 m	Y = 0,50 m
4	$\alpha = 1,678$		$\alpha = 1,060$		$\alpha = 1,060$	
	x = 0,50 m	Y = 0,50 m	x = 0,50 m	Y = 0,50 m	x = 0,50 m	Y = 0,50 m
5	$\alpha = 1,444$		$\alpha = 1,328$		$\alpha = 0,001$	
	x = 0,50 m	Y = 0,50 m	x = 0,50 m	Y = 0,50 m	x = 0,50 m	Y = 0,50 m
6	$\alpha = 1,748$		$\alpha = 1,380$		$\alpha = 1,403$	
	x = 0,50 m	Y = 0,50 m	x = 0,50 m	Y = 0,50 m	x = 0,50 m	Y = 0,50 m

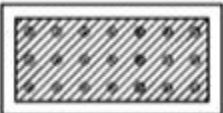
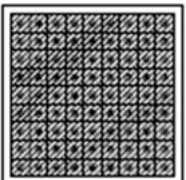
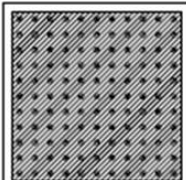
Fonte: do autor.

Tabela 64 - Recomendações para lajes com um bordo (a) engastado e demais apoiados

2		RELAÇÃO a/b					
VINCULAÇÃO		1		1,5		2	
a							
2		x = 1,00 m Y = 1,00 m		x = 1,50 m Y = 1,00 m		x = 0,50 m Y = 0,50 m	
3		$\alpha = 1,045$		$\alpha = 1,039$		$\alpha = 1,063$	
		x = 0,50 m Y = 0,50 m		x = 0,50 m Y = 0,50 m		x = 0,50 m Y = 0,50 m	
4		$\alpha = 1,188$		$\alpha = 1,027$		$\alpha = 1,046$	
		x = 0,50 m Y = 0,50 m		x = 0,50 m Y = 0,50 m		x = 0,50 m Y = 0,50 m	
5		$\alpha = 1,113$		$\alpha = 1,147$			
		x = 0,50 m Y = 0,50 m		x = 0,50 m Y = 0,50 m		x = 0,50 m Y = 0,50 m	
6		$\alpha = 1,272$		$\alpha = 1,349$			
		x = 0,50 m Y = 0,50 m		x = 0,50 m Y = 0,50 m		x = 0,50 m Y = 0,50 m	

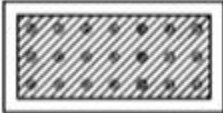
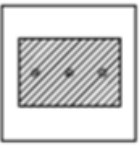
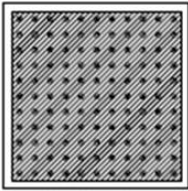
Fonte: do autor.

Tabela 65 – recomendações para lajes com um bordo (b) engastado e demais apoiados

 VINCULAÇÃO	RELAÇÃO a/b					
	1		1,5		2	
2						
	x = 1,00 m	Y = 1,00 m	x = 1,50 m	Y = 1,00 m	x = 2,00 m	Y = 1,00 m
3	$\alpha = 1,045$		$\alpha = 1,104$		$\alpha = 1,072$	
	x = 0,50 m	Y = 0,50 m	x = 0,50 m	Y = 0,50 m	x = 0,50 m	Y = 0,50 m
4	$\alpha = 1,188$		$\alpha = 1,092$		$\alpha = 1,040$	
	x = 0,50 m	Y = 0,50 m	x = 0,50 m	Y = 0,50 m	x = 0,50 m	Y = 0,50 m
5			$\alpha = 1,260$		$\alpha = 1,734$	
	x = 0,50 m	Y = 0,50 m	x = 0,50 m	Y = 0,50 m	x = 0,50 m	Y = 0,50 m
6			$\alpha = 1,373$		$\alpha = 1,422$	
	x = 0,50 m	Y = 0,50 m	x = 0,50 m	Y = 0,50 m	x = 0,50 m	Y = 0,50 m

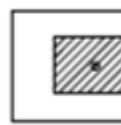
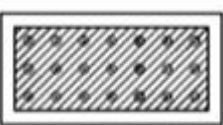
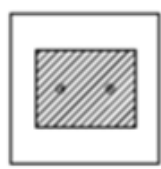
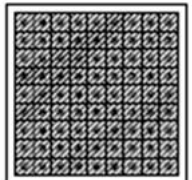
Fonte: do autor.

Tabela 66 - Recomendações para lajes com dois bordos adjacentes engastados e demais apoiados

 VINCULAÇÃO	RELAÇÃO a/b					
	1		1,5		2	
a						
2						
	x = 1,00 m	Y = 1,00 m	x = 1,50 m	Y = 1,00 m	x = 2,00 m	Y = 1,00 m
3			$\alpha = 1,027$		$\alpha = 1,104$	
	x = 0,75 m	Y = 1,50 m	x = 0,50 m	Y = 0,50 m	x = 0,50 m	Y = 0,50 m
4	$\alpha = 1,062$		$\alpha = 1,002$		$\alpha = 1,057$	
	x = 0,50 m	Y = 0,50 m	x = 0,50 m	Y = 0,50 m	x = 0,50 m	Y = 0,50 m
5	$\alpha = 1,021$		$\alpha = 1,084$		$\alpha = 1,223$	
	x = 0,50 m	Y = 0,50 m	x = 0,50 m	Y = 0,50 m	x = 0,50 m	Y = 0,50 m
6			$\alpha = 1,362$		$\alpha = 1,487$	
	x = 0,50 m	Y = 0,50 m	x = 0,50 m	Y = 0,50 m	x = 0,50 m	Y = 0,50 m

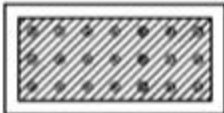
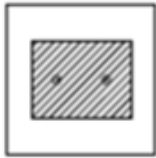
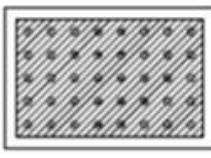
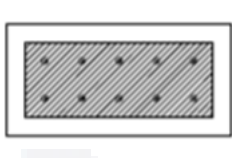
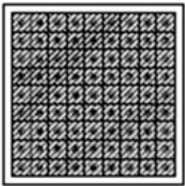
Fonte: do autor.

Tabela 67 – Recomendações para lajes com dois bordos opostos (a) engastados e demais apoiados

 VINCULAÇÃO	RELAÇÃO a/b					
	1		1,5		2	
2						
	x = 1,00 m	Y = 1,00 m	x = 1,50 m	Y = 1,00 m	x = 1,33 m	Y = 1,00 m
3			$\alpha = 1,062$		$\alpha = 1,070$	
	x = 1,00 m	Y = 1,50 m	x = 0,50 m	Y = 0,50 m	x = 0,50 m	Y = 0,50 m
4	$\alpha = 1,027$		$\alpha = 1,023$		$\alpha = 1,061$	
	x = 0,50 m	Y = 0,50 m	x = 0,50 m	Y = 0,50 m	x = 0,50 m	Y = 0,50 m
5			$\alpha = 1,038$		$\alpha = 1,001$	
	x = 0,50 m	Y = 0,50 m	x = 0,50 m	Y = 0,50 m	x = 0,50 m	Y = 0,50 m
6	$\alpha = 1,001$		$\alpha = 1,189$		$\alpha = 1,476$	
	x = 0,50 m	Y = 0,50 m	x = 0,50 m	Y = 0,50 m	x = 0,50 m	Y = 0,50 m

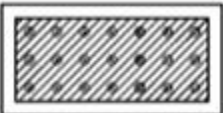
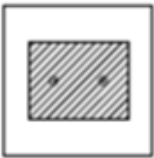
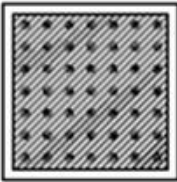
Fonte: do autor.

Tabela 68 - Laje com dois bordos opostos (b) engastados e demais apoiados

 VINCULAÇÃO	RELAÇÃO a/b					
	1		1,5		2	
2						
	x = 1,00 m	Y = 1,00 m	x = 1,50 m	Y = 1,00 m	x = 2,00 m	Y = 1,00 m
3						
	x = 1,00 m	Y = 1,50 m	x = 0,50 m	Y = 0,50 m	x = 1,00 m	Y = 1,00 m
4	$\alpha = 1,027$		$\alpha = 1,072$		$\alpha = 1,040$	
	x = 0,50 m	Y = 0,50 m	x = 0,50 m	Y = 0,50 m	x = 0,50 m	Y = 0,50 m
5			$\alpha = 1,153$		$\alpha = 2,644$	
	x = 0,50 m	Y = 0,50 m	x = 0,50 m	Y = 0,50 m	x = 0,50 m	Y = 0,50 m
6	$\alpha = 1,001$		$\alpha = 1,347$		$\alpha = 1,312$	
	x = 0,50 m	Y = 0,50 m	x = 0,50 m	Y = 0,50 m	x = 0,50 m	Y = 0,50 m

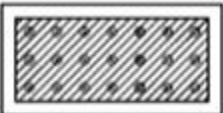
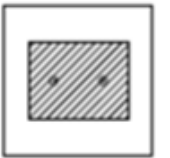
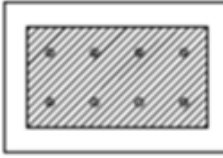
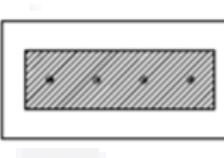
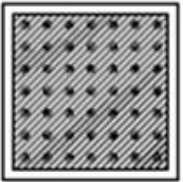
Fonte: do autor.

Tabela 69 - Laje com três bordos engastados sendo dois os bordos “a” e demais apoiados

 VINCULAÇÃO	RELAÇÃO a/b					
	1		1,5		2	
2						
	x = 1,00 m	Y = 1,00 m	x = 1,50 m	Y = 1,00 m	x = 2,00 m	Y = 1,00 m
3			$\alpha = 1,091$		$\alpha = 1,062$	
	x = 1,00 m	Y = 1,50 m	x = 0,50 m	Y = 0,50 m	x = 0,50 m	Y = 0,50 m
4			$\alpha = 1,021$		$\alpha = 1,111$	
	x = 0,50 m	Y = 0,50 m	x = 0,50 m	Y = 0,50 m	x = 0,50 m	Y = 0,50 m
5	$\alpha = 1,500$		$\alpha = 1,073$		$\alpha = 1,184$	
	x = 0,50 m	Y = 0,50 m	x = 0,50 m	Y = 0,50 m	x = 0,50 m	Y = 0,50 m
6	$\alpha = 1,063$		$\alpha = 1,264$		$\alpha = 1,186$	
	x = 0,50 m	Y = 0,50 m	x = 0,50 m	Y = 0,50 m	x = 0,50 m	Y = 0,50 m

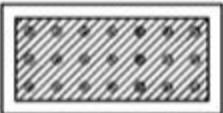
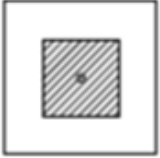
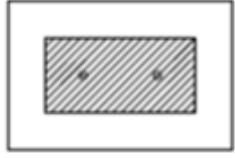
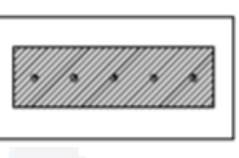
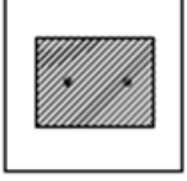
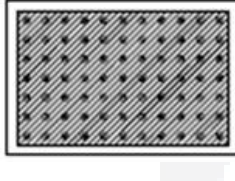
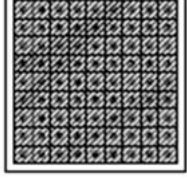
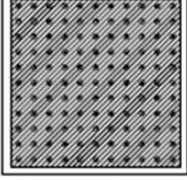
Fonte: do autor.

Tabela 70 - Laje com três bordos engastados sendo dois os bordos “b” e demais apoiados

 VINCULAÇÃO	RELAÇÃO a/b					
	1		1,5		2	
a						
2						
	x = 1,00 m	Y = 1,00 m	x = 1,50 m	Y = 1,00 m	x = 2,00 m	Y = 1,00 m
3						
	x = 1,00 m	Y = 1,50 m	x = 0,90 m	Y = 1,00 m	x = 1,20 m	Y = 1,50 m
4			$\alpha = 1,096$		$\alpha = 1,062$	
	x = 0,50 m	Y = 0,50 m	x = 0,50 m	Y = 0,50 m	x = 0,50 m	Y = 0,50 m
5	$\alpha = 1,500$		$\alpha = 1,079$		$\alpha = 2,052$	
	x = 0,50 m	Y = 0,50 m	x = 0,50 m	Y = 0,50 m	x = 0,50 m	Y = 0,50 m
6	$\alpha = 1,063$		$\alpha = 1,724$		$\alpha = 1,095$	
	x = 0,50 m	Y = 0,50 m	x = 0,50 m	Y = 0,50 m	x = 0,50 m	Y = 0,50 m

Fonte: do autor.

Tabela 71 - Laje com quatro bordos engastados

 VINCULAÇÃO	RELAÇÃO a/b					
	1		1,5		2	
2						
	x = 1,00 m	Y = 1,00 m	x = 1,50 m	Y = 1,00 m	x = 2,00 m	Y = 1,00 m
3						
	x = 1,50 m	Y = 1,50 m	x = 1,50 m	Y = 1,50 m	x = 1,00 m	Y = 1,50 m
4					$\alpha = 1,064$	
	x = 1,33 m	Y = 2,00 m	x = 0,50 m	Y = 0,50 m	x = 0,50 m	Y = 0,50 m
5			$\alpha = 1,136$		$\alpha = 1,771$	
	x = 0,50 m	Y = 0,50 m	x = 0,50 m	Y = 0,50 m	x = 0,50 m	Y = 0,50 m
6			$\alpha = 1,724$		$\alpha = 1,179$	
	x = 0,50 m	Y = 0,50 m	x = 0,50 m	Y = 0,50 m	x = 0,50 m	Y = 0,50 m

Fonte: do autor.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

5.8 Conclusão

Com base nos resultados obtidos nas análises teóricas, dentro das limitações do software utilizado, foi possível apresentar aspectos relevantes do comportamento de estruturas de concreto armado, que devem ser considerados nos procedimentos executivos, na elaboração do projeto de escoras ou estrutural. Assim, para as características dos elementos estruturais descritas neste estudo, e considerando as delimitações de geometrias dos elementos estruturais, as lajes maciças, estudadas, têm-se algumas conclusões que seguem:

1. Após analisar os resultados, sugere-se para as configurações de laje que não atenderam ao espaçamento mínimo fixado em 0,5m, uma nova hipótese de dimensionamento de projeto, considerando as situações de construção, e ajustando os coeficientes γ_c , γ_f , γ_s e efeito Rusch, para tal situação, uma vez que as ações de construção podem ser tão críticas quanto, ou ainda maiores que as ações correspondentes às cargas de serviço, devendo ser consideradas no projeto estrutural.
2. Ainda, pode-se observar que as conclusões de Salvador (2013), parecem estar corretas, uma vez que lajes com vãos pequenos, se atendidos os espaçamentos entre escoramentos remanescentes de forma adequada, não necessitam de alterações nas considerações de projeto e lajes com vão maiores necessitam de ajustes, sendo necessário majorar as cargas de projeto para atender o espaçamento mínimo entre escoras remanescentes, fixado em 0,5m.

5.9 Sugestões para futuros estudos

Percebendo-se a necessidade de ampliar os estudos teóricos e ou experimentais desta análise, pode-se sugerir alguns aspectos que podem ser futuramente analisados e pesquisados:

1. ampliação da investigação experimental, com intuito de obter resultados mais representativos, incluindo o escoramento das vigas;
2. majorar em 40%, o fator de carga nos pontaletes, como carga concentrada, correspondente à sua área de influência, já sugerido por Salvador 2013;
3. considerar a situação de um pavimento inteiro, composto por lajes com diferentes geometrias e vinculações de bordo, e repetir a análise realizada neste estudo;

REFERÊNCIAS

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

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR-6120** Cargas para o cálculo de estruturas de edificações (incorpora a Errata de 30 de abril de 2000). Rio de Janeiro: ABNT, 1980.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR-14931** Execução de estruturas de concreto – Procedimento. Rio de Janeiro: ABNT, 2004.

ASSAHI, Paulo. N. **Sistema de fôrma para estrutura de concreto / Concreto–Ensino, pesquisa e realizações**. Ed: G.C. Isaia, São Paulo, IBRACON, 2005.

ARAÚJO, José Milton de, **Curso de concreto armado**. Vol. 2. Ed: Dunas, Rio Grande, 2010.

BORGES, Alberto Nogueira, **Curso prático de cálculo em concreto armado**. Ed: Imperial Novo Milênio, Rio de Janeiro, 2010.

BOTELHO, M. H. C, MARCHETTI, Osvaldemar, **Concreto armado eu te amo**. 5ª edição. Ed: Editora Blucher, São Paulo, 2008.

MARTHA, Luiz Fernando, **Análise de estruturas, conceitos e métodos básicos**. Ed: Campos. Rio de Janeiro, 2010.

PASSUELO, Alexandra; et. al. **Concreto: ensino, pesquisa e realizações**. Ed: G.C. Isaia, São Paulo, IBRACON, 2005.

PRADO, J. F. M. A.; CORRÊA, M. R. S. **Estruturas de edifícios em concreto armado submetidas a ações de construção**. São Carlos, n. 19, 1999. Tese de Doutorado.

ROYER, K. **ACI Concrete International**, vol. 6, nº7, Julho, 1963.

SALVADOR, Paulo Fernando, **Influência dos ciclos de execução nas deformações das estruturas de concreto armado de edifícios de andares múltiplos**. Porto Alegre: PPGEC/UFRGS, 2007. Dissertação de mestrado.

SALVADOR, Paulo Fernando, **Investigação teórica e experimental da transferência de cargas entre pavimentos de concreto escorados**. Porto Alegre: PPGEC/UFRGS, 2013. Tese de Doutorado.