

LEANDRO BORGES NOGUEIRA

ESTUDO DA CARGA ORIUNDA DAS PAREDES SOBRE A LAJE:

“Análise de dimensionamento e verificação em pavimentos que não possuem paredes divisórias pré-definidas, utilizando o método de layouts pré-definidos e valores estipulado pela ABNT: NBR 6120 novembro 1980”.

Trabalho de conclusão de curso apresentado por **Leandro Borges Nogueira** como exigência do curso de graduação em Engenharia Civil do Centro Universitário do Sul de Minas sob a orientação do professor Me. Antonio de Faria

**VARGINHA/MG
2015**

LEANDRO BORGES NOGUEIRA

**ESTUDO DA CARGA ORIUNDA DAS PAREDES SOBRE A LAJE:
“Análise de dimensionamento e verificação em pavimentos que não possuem paredes
divisórias pré-definidas, utilizando o método de layouts pré-definidos e valores
estipulado pela ABNT: NBR 6120 novembro 1980”.**

Trabalho de conclusão de curso apresentado por **Leandro Borges Nogueira** como exigência do curso de graduação em Engenharia Civil do Centro Universitário do Sul de Minas, como pré-requisito para obtenção do grau de bacharel pela banca examinadora composta pelos membros:

Aprovado em: ___ / ___ / ___

Prof. M.Sc. Antônio de Faria
(Orientador)

Prof. Armando Belato Pereira

Prof. Elker Lucas Garroni

Dedico este trabalho aos meus avós, pelo incentivo e carinho durante nosso breve e saudoso convívio. E aos meus pais, que me auxiliaram e se esforçaram para que eu vencesse meu objetivo.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus, aos familiares e amigos, pelo amparo diante dos obstáculos enfrentados. Dedico em especial agradecimento à minha irmã, que sempre esteve disposta a ajudar. A minha noiva, que me auxiliou e apoiou durante o curso. Aos meus patrões, pelo entendimento diante do tempo dedicado aos estudos. E aos professores e funcionários, pela total dedicação. Em especial, ao orientador Me. Antonio de Faria.

*“A tarefa não é tanto ver aquilo que
ninguém viu, mas pensar o que ninguém ainda
pensou sobre aquilo que todo mundo vê.”*

Arthur Schopenhauer

RESUMO

O presente trabalho possui como objetivo apresentar uma metodologia para determinar a carga média por metro quadrado a ser considerada nas lajes de edificações, sem a localização estabelecida das paredes. Para isso, apresentou-se a importância das divisórias nas edificações e apontaram-se os vários tipos de materiais que compõem tais estruturas, como o tijolo cerâmico, bloco cerâmico, bloco de concreto celular, entre outros citados no trabalho. Assim, na elaboração do projeto proposto foi determinado quatro diferentes tipos de layouts e quatro distintos materiais de alvenaria. Adotou-se para esse projeto a utilização da laje maciça, na qual os esforços foram obtidos por meio de dois métodos distintos, um manual e outro com auxílio de ferramentas computacionais. Dessa forma, após a obtenção de um valor para cada método, foi possível realizar a comparação de tais resultados e concluir a impossibilidade de se encontrar uma forma padrão de determinar a carga a ser utilizada no caso estudado.

Palavras Chave: Carga, Parede divisória, divisória.

ABSTRACT

This work aims to present a methodology to determine the average load per square meter to be considered in building slabs, without the established location of the walls. For this, it presented the importance of the partitions in the building and pointed to the various types of materials that make up these structures, such as ceramic brick, ceramic block, cellular concrete blocks and others cited in the work. Thus, the design of the proposed project was given four different layouts and four distinct masonry. Was adopted for this design to use the slab, in which efforts have been obtained by two different methods, one manual and one with the aid of computational tools. Thus, after obtaining a value for each method, it was possible to compare these findings and completed the impossibility of finding a standard way of determining the load to be used in the case studied.

Keywords: *Load, dividing wall, divider.*

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Resistência à compressão - Classes de blocos sílico-calcários	35
Tabela 2 – Modelos e dimensões da família do bloco modular de 12,5cm.....	35
Tabela 3 - Modelos e dimensões da família do bloco modular de 20cm	36
Tabela 4 - Dimensões dos blocos de concreto celular autoclavado da Precon.....	38
Tabela 5 – Dimensões comercializadas das chapas de gesso acartonado Standard	40
Tabela 6 – Tolerâncias das características geométricas das chapas de gesso acartonado.....	41
Tabela 7 – Limites para as características físicas e mecânicas das chapas de gesso acartonado	41
Tabela 8 – Tipos de massa.....	42
Tabela 9 – Características e críticas	42
Tabela 10 – Tipos de fitas	43
Tabela 11 – Características e critérios.....	43
Tabela 12 – Peso específico dos materiais	45
Tabela 13 - Tabela de correspondência entre a classe de agressividade ambiental e o cobrimento nominal para $\Delta c=10\text{mm}$ - resumida para uso em lajes.....	54
Tabela 14 - Valores mínimos para armaduras passivas aderentes	57
Tabela 15 - Taxas mínimas ($\rho_{\text{mín}}$ - %) de armadura de flexão para vigas e lajes.	57
Tabela 16 - Valores do coeficiente ξ em função do tempo	71
Tabela 17 - Tabelas de deslocamentos limites - resumida para o uso em lajes.....	72
Tabela 18 – Metro linear de divisória por laje.....	89
Tabela 19 - Resumo das informações dos materiais das divisórias.....	90
Tabela 20 – Resultado das cargas em cada laje.....	91
Tabela 21 - Vinculação das lajes, vãos e lambda.	99
Tabela 22 - Altura das lajes (h) e cargas atuantes.	102
Tabela 23 - Momentos fletores solicitantes (kN.cm/m)	105
Tabela 24 - Valores de K_{MD} , K_Z e Área de aço.	106
Tabela 25 - Área de aço adotado, espaçamento, diâmetro.	108
Tabela 26 - Comprimento das armaduras positivas e negativas (cm).....	112
Tabela 27 - Reações de apoio (kN/m)	113
Tabela 28 - Flechas imediata (a_i) e total (a_{total}) nas lajes.	119
Tabela 29 - Verificação do cisalhamento e biela de compressão	122
Tabela 30 – Resultados dos momentos e reações utilizando 1kN/m^2	123

Tabela 31 – Resultado da Flecha utilizando 1kN/m ²	123
Tabela 32 - Quantitativo de armadura	123
Tabela 33 - Deformação, momento positivo e momento negativo.....	127
Tabela 34 - Deformação, momento positivo e momento negativo – para o caso de 1kN/m ²	128
Tabela 35 - Quantitativo de armadura e concreto - para as 16 situações método de placas...	130
Tabela 36 - Quantitativo de armadura e concreto - para 1kN/m ² método de placas	131
Tabela 37 - Quantitativo de armadura e concreto - para as 16 situações método de grelhas.	131
Tabela 38 - Quantitativo de armadura e concreto - para 1kN/m ² método de grelhas.....	132
Tabela A 1 - Peso específico dos materiais de construção	139
Tabela A 2 - Densidade aparente de alguns materiais.....	140
Tabela B 1 – Coeficiente para o cálculo das flechas elásticas	142
Tabela B 2 - Coeficientes para o cálculo dos momentos máximos – Casos 1, 2 e 3	143
Tabela B 3 - Coeficientes para o cálculo dos momentos máximos – Casos 4, 5 e 6	144
Tabela B 4 - Coeficientes para o cálculo dos momentos máximos – Casos 7 e 8	145
Tabela B 5 - Coeficientes para o cálculo dos momentos máximos – Caso 9	146
Tabela B 6- Coeficientes para o cálculo das reações nas vigas de apoio de lajes – Casos 1 a 3	147
Tabela B 7 - Coeficientes para o cálculo das reações nas vigas de apoio de lajes – Casos 4 a 6	148
Tabela B 8 - Coeficientes para o cálculo das reações nas vigas de apoio de lajes – Casos 7 a 9	149
Tabela C 1 – Valores do coeficiente γ_{f2}	150

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Detalhe do tipo de amarração de vara horizontal.....	24
Figura 2 – Modelo de forma de madeira	25
Figura 3 – Fabricação do tijolo adobe	26
Figura 4 – Execução do superadobe	27
Figura 5 – Saco Raschel sendo preenchido	27
Figura 6 – Tijolo comum	28
Figura 7 – Tijolo refratário	28
Figura 8 – Tijolo laminado	28
Figura 9 - Bloco cerâmico de vedação com furos	30
Figura 10 - Bloco cerâmico de vedação	30
Figura 11 – Bloco de concreto vazado simples	31
Figura 12 – Bloco tipo canaleta.....	31
Figura 13 – Bloco compensador	31
Figura 14 – Exemplos de famílias de blocos de concreto	32
Figura 15 – Diagrama de fluxo típico do processo de fabricação de blocos de concreto	33
Figura 16 – Desenho esquemático dos blocos maciços.....	35
Figura 17 – Desenho esquemático do bloco furado, perfurado ou vazado.....	36
Figura 18 – Desenho esquemático do bloco vazado.....	36
Figura 19 – Processo de fabricação dos BCCA.....	39
Figura 20 – Guias e montantes	42
Figura 21 – Condições de vinculação de placas de laje isoladas.....	50
Figura 22 - Caso específico de vinculação	51
Figura 23 - Peso próprio calculado para 1 m ² de laje.....	52
Figura 24 - Altura útil d, supondo armadura de flexão positiva.....	54
Figura 25 - Extensão da armadura negativa nos apoios com continuidade entre lajes.	59
Figura 26 - Definição das áreas de influência de carga para cálculo das reações nas vigas	63
Figura 27 - Reações nas vigas de uma laje.....	64
Figura 28 – Exemplo de grelha equivalente de uma laje.....	75
Figura 29 - Tela inicial	78
Figura 30 - Linhas construtivas	78
Figura 31 - Lançamento dos pilares	79
Figura 32 - Lançamento das vigas.....	79

Figura 33 - Lançamento das lajes	80
Figura 34 - Lançamento da carga local	81
Figura 35 - Malha principal.....	81
Figura 36 - Diagrama de deformação em 3D	82
Figura 37 - Diagramas	83
Figura 38 – Projeto	84
Figura 39 – Laje com representação do layout 1.....	85
Figura 40 – Laje com representação do layout 2.....	87
Figura 41 – Laje com representação do layout 3.....	88
Figura 42 – Laje com representação do layout 4.....	89
Figura 43 - Lajes 3 e 4.....	94
Figura 44 - Layout 4.....	94
Figura 45 - Caso específico de vinculação - Lajes 1, 5.1 e 5.5.	96
Figura 46 – Vinculação laje 1.....	97
Figura 47 - Caso específico de vinculação - Lajes 5.1, 5.3 e 5.5	97
Figura 48 - Laje 5.5 vinculação de caso 9	99
Figura 49 - Momentos fletores (kN.cm/m).....	104
Figura 50 - Detalhamento da armadura negativa.....	111
Figura 51 - Detalhamento da armadura positiva	111
Figura 52 - Detalhamento da seção - armadura positiva	111

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

A – Área

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas

BCCA – Bloco de concreto celular autoclavado

BQ – Borda Quadrada

BR – Borda Rebaixada

BSC – Bloco Sílico-Calcário

e_d – Espessura da divisória (m)

e_r – Espessura do revestimento (m)

ELU – Estado limite último

ELS – Estado limite de serviço

INMETRO - Instituto Nacional de Meteorologia, Qualidade e Tecnologia.

L – comprimento (m)

NBR - Norma Brasileira Regulamentadora

P – Carga atuante

RF – Resistente ao fogo

RU – Resistente à umidade

ST - Standard

TCPO - Tabela de Composição de Preços para Orçamento

UNIDADE DE MEDIDA

Cm – Centímetro

g/m^2 - Grama por metro quadrado

kN – Kilo Newton

kN/m^2 - Kilo Newton por metro quadrado

kN/m^3 - Kilo Newton por metro cúbico

m - Metro

m^2 - Metro quadrado

mm - Milímetro

MPa - Mega Pascal

$^{\circ}C$ - Grau Celsius

LISTA DE SÍMBOLOS

- E_c - Compressão do concreto
 ν - Coeficiente de Poisson
 α - Coeficiente para cálculo da flecha
 μ - Coeficiente para cálculo de momento
 x - Coordenada de um ponto genérico
 y - Coordenada de um ponto genérico
 ∂ - Diferencial parcial
 w - Deslocamento vertical
 h - Espessura da placa
 f - Flecha elástica
 b - Largura
 \pm - Mais ou menos
 \leq - Menor ou igual à
 \geq - Maior ou igual à
 l_y - Maior vão da laje
 l_x - Menor vão da laje
 G_c - Módulo de deformação transversal do concreto
 E - Módulo de deformação longitudinal do concreto
 m_x - Momento positivo no eixo x
 m_y - Momento positivo no eixo y
 x_x - Momento negativo no eixo x
 x_y - Momento negativo no eixo y
 γ - Peso específico
% - Por cento
 I_f - Rigidez à Flexão
 I_t - Rigidez à Torção
 D - Rigidez à flexão da placa
 τ - Tensor de deslocamento
 σ - Tensor de tensões
 ε - Tensor de deformação

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	17
1.1 Justificativa	17
1.2 Objetivos	18
1.2.1 Objetivos específicos	18
1.3 Metodologia	20
1.4 Organização do trabalho	20
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	22
2.1 Paredes divisórias	22
2.1.1 Taipa	23
2.1.1.1 Taipa de mão.....	23
2.1.1.2 Taipa de pilão	24
2.1.2 Adobe.....	25
2.1.3 Tijolo cerâmico	27
2.1.3.1 Tijolo comum.....	28
2.1.3.2 Tijolo refratário.....	28
2.1.3.3 Tijolo laminado.....	29
2.1.4 Bloco cerâmico	30
2.1.5 Bloco de concreto	31
2.1.6 Bloco sílico-calcário	34
2.1.7 Bloco de concreto celular autoclavado	37
2.1.8 Chapas de gesso acartonado	39
2.1.9 Peso específico aparente dos materiais.....	44
2.2 Lajes	45
2.2.1 LAJES MACIÇAS.....	45
2.3 Métodos de determinação dos esforços nas lajes	46
2.3.1 Determinação de esforços e deslocamentos por meio de séries	49
2.3.1.1 Condição de apoio das lajes.....	50
2.3.1.2 Ações atuantes nas lajes.....	52
2.3.1.3 Espessuras mínimas para as lajes	53
2.3.1.4 Cobrimento mínimo para armadura.....	53
2.3.1.5 Altura útil (d).....	54

2.3.1.6 Momentos fletores	55
2.3.1.7 Dimensionamento da armadura	56
2.3.1.8 Reações de Apoio	62
2.3.1.9 Flechas	64
2.3.1.10 Flecha imediata.....	67
2.3.1.11 Flecha diferida no tempo (fluência)	70
2.3.1.12 Flechas máximas admitidas	71
2.3.1.13 Verificação do cisalhamento	73
2.3.2 Método de grelha equivalente.....	75
2.3.2.1 Análise técnica da ferramenta Programa Grelha	77
2.3.2.2 Procedimento para análise na ferramenta computacional.....	77
3. MATERIAIS E MÉTODOS	83
3.1 Projeto proposto	83
3.2 Características das lajes.....	84
3.3 Quantitativo de parede	89
3.4 Cargas atuantes nas lajes.....	90
3.5 Resultados para cada layout.....	91
4. EXEMPLO NUMÉRICO RESOLVIDO PELO MÉTODO DAS PLACAS	93
4.1 Dimensionamento	93
4.1.1 Dados preliminares	95
4.1.2 Condição de apoio	96
4.1.3 Dimensionamento da altura das lajes	99
4.1.4 Cálculo das ações atuantes.....	100
4.1.5 Cálculo momentos fletores	102
4.1.6 Armadura longitudinal.....	105
4.1.6.1 Comprimento da armadura longitudinal.....	109
4.1.7 Reações de apoio	112
4.1.8 Flechas	114
4.1.8.1 Momento de fissuração.....	114
4.1.8.2 Cálculo da linha neutra e momento de inércia estádio II.....	115
4.1.8.3 Inércia equivalente.....	116
4.1.8.4 Flecha imediata	117

4.1.8.5 Flecha diferida no tempo	118
4.1.8.6 Flecha total.....	119
4.1.9 Verificação do cisalhamento.....	120
4.1.9.1 Verificação da biela de compressão	121
4.1.10 Dimensionamento utilizando o valor proposto pela NBR 6120:1980.....	123
5. ANÁLISE DO EXEMPLO ANTERIOR UTILIZANDO MÉTODO DE GRELHAS EQUIVALENTES COM AUXÍLIO DE SOFTWARE.....	124
5.1 Considerações	124
5.2 Análise com a ferramenta computacional.....	125
5.2.1 Análise utilizando o valor proposto pela NBR 6120:1980.....	128
6. DISCUSSÃO.....	129
7. CONCLUSÃO.....	133
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	134
ANEXOS	139

1. INTRODUÇÃO

Os elementos de divisória são indispensáveis em edificações, sejam residenciais ou comerciais. A cada dia surgem novos materiais e novas tecnologias para atender as exigências de sustentabilidade, durabilidade, resistência, isolamento térmico, isolamento acústico e de vedação; Tais materiais podem ser de: tijolo cerâmico, bloco cerâmico, bloco de concreto celular, gesso acartonado, dentre outros materiais.

As divisórias também possuem uma grande importância nos cálculos estruturais, devido ao fato de estarem classificadas no item 11.3.2 da ABNT: NBR 6118:2014 como ações permanentes diretas. Entretanto, no mercado de apartamentos de alto padrão (classe A) ou em edificações comerciais, as cargas geradas pelo peso próprio das paredes tornam-se uma incógnita em relação às suas finalidades, pois nessas situações, nem sempre são conhecidas as localizações das divisórias no projeto.

Nesses casos, a ABNT: NBR 6118:2014 não proporciona parâmetros para cálculos. O único parâmetro oferecido é o presente na ABNT: NBR 6120:1980 no item 2.1.2, que indica a utilização de uma carga com um peso não inferior a um terço do peso por metro linear, e, que esse valor seja no mínimo 1KN/m^2 .

Por isso, por meio de comparações de layouts pré-definidos, utilizando diversos materiais constituintes, uma vez que não se sabe qual será empregado, é possível realizar um estudo preliminar, afim de se obter um parâmetro a ser seguido no problema estudado.

Assim, entre as opções de modelos de lajes disponíveis, como a laje nervurada, laje lisa, laje alveolar, a laje maciça torna-se a alternativa mais simples para esse complexo estudo. Além disso, segundo bibliografias existentes, há diversas maneiras para se determinar os esforços de tal tipo laje. Entre essas estão as mais rudimentares, executadas manualmente com auxílio de tabelas, e as complexas, que utilizam desde pequenas ferramentas computacionais até grandes softwares comerciais.

Dessa maneira, o presente trabalho busca, por meio de cálculos, analisar uma forma de se determinar a carga a ser adotada em casos de ambientes que não possuem divisórias pré-estabelecidas. E, então, transformar o manuseio de números em uma ferramenta de prevenção e, por consequência, de proteção da sociedade.

1.1 Justificativa

Para se iniciar um dimensionamento estrutural, é necessário estabelecer os carregamentos inerentes à estrutura. Segundo a ABNT: NBR 6120:1980, as cargas são classificadas em duas categorias: cargas permanentes e cargas acidentais.

De acordo com a ABNT: NBR 6120:1980 no item 2.1.1, carga permanente é a “carga constituída pelo peso próprio da estrutura e pelo peso de todos os elementos construtivos fixos e instalações permanentes”. Assim, devido às paredes divisórias serem um item praticamente fixo na edificação, essas são de grande importância para a determinação da carga permanente.

Com a saturação do mercado imobiliário, a possibilidade de encontrar o que se procura, sem a necessidade de adaptações, é grande. Portanto, a indústria da construção civil, com avanço das tecnologias e estudos, busca atender de forma satisfatória e mais ampla diferentes necessidades com a mesma edificação. As construções que não possuem ambientes definidos possibilitam que as pessoas definam o layout dos ambientes da maneira mais conveniente. Todavia, a maior mobilidade de alocar os cômodos impossibilita o estabelecimento das cargas oriundas das paredes e atuantes nas lajes.

Assim, a ABNT: NBR 6120:1980 trata tal peculiaridade no item 2.1.2 de forma que,

Quando forem previstas paredes divisórias, cuja posição não esteja definida no projeto, o cálculo de pisos com suficiente capacidade de distribuição transversal da carga, quando não for feito por processo exato, pode ser feito admitindo, além dos demais carregamentos, uma carga uniformemente distribuída por metro quadrado de piso não menor que um terço do peso por metro linear de parede pronta, observado o valor mínimo de 1 kN/m².

No entanto, se houver desconhecimento das posições e de seus comprimentos, a norma não deixa claro o método para se calcular essas cargas.

1.2 Objetivos

Este trabalho tem como objetivo apresentar uma metodologia para determinar a carga média por metro quadrado a ser considerada nas lajes de edificações, ou outra maneira para se dimensionar uma laje quando não se tem a localização definida das paredes divisórias.

1.2.1 Objetivos específicos

- Estudo e análise das normas ABNT: NBR 6120:1980 e ABNT NBR 6118:2014, para determinação das cargas atuantes em lajes.

- Descrição dos diferentes tipos de divisórias usuais em edificações residenciais e comerciais;
- Estimar a carga atuante das paredes divisórias nas lajes;
- Avaliar os valores encontrados de acordo com a ABNT: NBR 6120:1980.
- Determinar os esforços;
- Fazer o dimensionamento e detalhamento das lajes;
- Fazer a verificação no ELS;
- Fazer um comparativo entre os momentos e os quantitativos de armadura utilizando o método básico (método das placas) e comparando-o com um procedimento mais complexo (grelha equivalente), para esse tendo auxílio de uma ferramenta computacional.

1.3 Metodologia

No desenvolvimento do trabalho, é utilizada a seguinte metodologia:

- I. Elaboração e apresentação de um projeto piloto, que será subdividido em cinco pavimentos, para estudo e análise proposto pelo trabalho;
- II. Apresentação da situação proposta para cada pavimento analisado. E também, a exposição das divisórias utilizadas por cada um desses pavimentos.
- III. Determinação dos carregamentos das quatro lajes apresentadas. Em seguida, comparação com a solução proposta pela ABNT: NBR 6120:1980.
- IV. Determinação dos esforços nas quatro lajes estudadas, utilizando o método de séries e o método de grelha equivalente, utilizando softwares para a resolução do último.
- V. Dimensionamento no estado limite último (ELU) das armaduras e detalhamento das lajes, e verificação no estado limite de serviço (ELS), analisando e comparando os resultados obtidos.

1.4 Organização do trabalho

O capítulo 2 apresenta conceitos essenciais para o entendimento do trabalho. Descrevendo a composição, a utilização, a fabricação e o modo de execução de alguns tipos de divisórias. Além disso, apresenta tipos de lajes e como dimensioná-las.

O capítulo 3 expõe os parâmetros que serão utilizados no decorrer do presente trabalho, além de descrever os materiais e demais informações necessárias para as análises posteriores. Esse também apresenta o método utilizado para calcular a carga atuante nas lajes e os valores encontrados para cada uma dessas.

No capítulo 4, serão determinados os esforços nas lajes pelo método de placas, sendo feito desde a análise da vinculação até os dimensionamento e detalhamento da armadura para um exemplo determinado.

Posteriormente o capítulo 5, terá como proposta analisar o mesmo exemplo proposto no capítulo 4 pelo método de grelha equivalente utilizando uma ferramenta computacional para determinação dos deslocamentos e diagramas fletores.

No capítulo 6, serão discutidos os valores encontrados para cada método utilizado, comparando-os entre si e apontando possíveis soluções a serem utilizadas.

Por fim, o capítulo 7 apresenta a conclusão, em que se expões a análise final entre os valores encontrados e o valor recomendado pela Associação Brasileira de Norma Técnica, através da NBR 6120:1980.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Para a elaboração do presente trabalho é necessário o conhecimento dos seguintes métodos e materiais. Esses são essenciais para um melhor entendimento e análise do estudo proposto.

2.1 Paredes divisórias

São todos e quaisquer elementos que são utilizados para adequar ou subdividir as áreas internas. São denominadas diferentemente em cada literatura, sendo chamadas de paredes, alvenarias, e segundo a ABNT: NBR 6120:1980, paredes divisórias. Estes podem ser constituídas por diversos tipos de materiais, que por meio de novas tecnologias, veem sendo aperfeiçoadas. Um exemplo de tal é a melhoria das suas resistências quanto aos quesitos: térmicos, sonoros e de impactos, juntamente com a busca para diminuir as cargas provocadas pelas paredes.

As cargas das paredes divisórias são itens de grande influência para os cálculos estruturais, pelo fato de estarem classificadas como cargas permanentes de longa duração. Tais itens podem resultar em uma grande economia nas fundações e estruturas. Assim, quando se compara alvenarias de vedação de blocos cerâmicos com parede de chapas de gesso acartonado, pode-se alcançar uma redução de 15% em armaduras, devido aos 17%, aproximados, de redução provocada pelos somatórios de cargas verticais. (SANTIN, 2000). Além disso, segundo o estudo de Ciarlini, Pinto e Osório (2001), em que são comparadas paredes de blocos de gesso não acartonado com blocos cerâmicos vazados de seis furos, a economia proposta por esse método de alvenaria mais leve pode alcançar cerca de 12% das armaduras e 25% no volume de concreto da fundação, com redução de, aproximadamente, 15% dos somatórios das cargas verticais.

Como as paredes divisórias podem ser constituídas de diferentes materiais, sua composição desenvolveu-se simultaneamente com a evolução da humanidade, sendo determinante o surgimento de novas tecnologias. Alguns elementos utilizados são: taipa, adobe, tijolo cerâmico, bloco cerâmico, bloco de sílico-calcário, bloco de concreto celular autoclavado, drywall, dentre outros.

2.1.1 Taipa

Segundo Corona e Lemos (1972, apud PISANI e CANTEIRO, 2006, p.2), taipa se refere à utilização de solo, argila ou terra como matéria prima básica de construção. Com o vocábulo de origem árabe, entrou para a língua portuguesa por influência mourisca.

Assim, com a utilização do solo como matéria prima, a construção de paredes pode ser executada de duas maneiras distintas: a taipa de mão e a taipa de pilão.

Apesar desse sistema de construção ter sido amplamente utilizado na colonização brasileira, com o surgimento de novas tecnologias, como os tijolos maciços, e a falta de conhecimentos por partes dos construtores em relação ao padrão de execução, as construções perderam sua durabilidade, conforto e estabilidade que possuíam no período colonial. Então, tal técnica passou a ser associada a construções das classes de baixos poderes aquisitivos. (LOPES et al, 2013 ; PISANI e CANTEIRO, 2006).

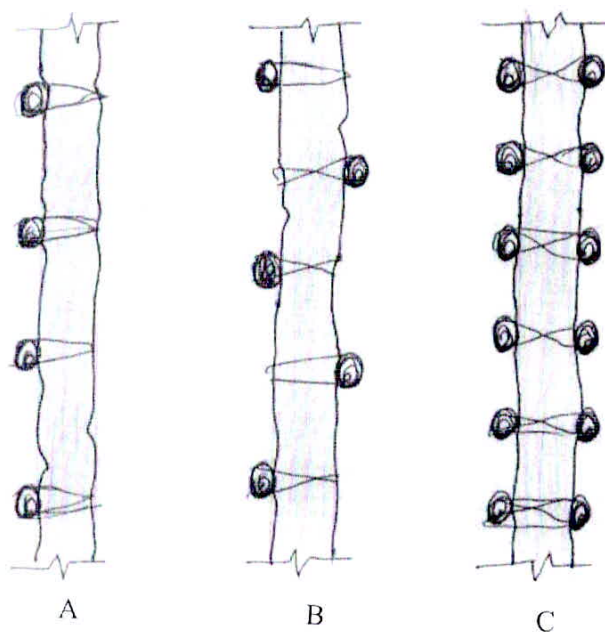
2.1.1.1 Taipa de mão

A taipa de mão também é conhecida por pau-a-pique, taipa de sopapo, barro armado e taipa de sabe. Variando a nomenclatura de acordo com a região e época.

A execução dessa técnica consiste, resumidamente, em paus a pique, peças verticais, que geralmente são de seções circulares e variam de acordo com o tipo e idade da árvore de origem. Tais peças são encaixadas perpendicularmente às baldrames e aos frechais. Além dessas, madeiras mais finas, denominadas varas, peças horizontais, são amarradas também perpendicularmente de um ou dos dois lados, podendo ser de forma alternada conforme figura 1. Assim, depois de feita toda a montagem da estrutura, preenche-se essa com uma mistura de água e solo e finaliza-se com a compressão manual. (LOPES, 2013; PISANI e CANTEIRO, 2006).

Essa técnica pode ser utilizada tanto para paredes internas como para paredes externas. Porém, devido essa possuir um menor peso em comparação às paredes executadas pelo outro tipo de taipa, é costume que, mesmo em casas executadas pelo procedimento de pilão, as divisórias internas sejam executadas pelo processo de prensa pelas mãos.

Figura 1 – Detalhe do tipo de amarração de vara horizontal



A – Varas amarradas de um lado; B – Varas amarradas alternadas ; C – Varas amarradas de dois lados
Fonte: Pisani (2004)

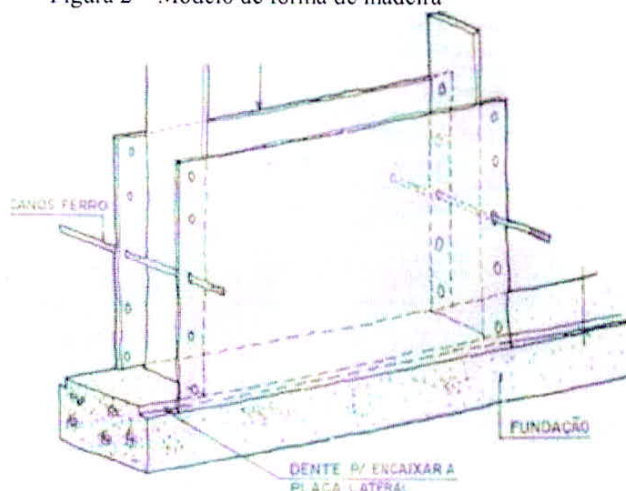
2.1.1.2 Taipa de pilão

A taipa de pilão é semelhante à taipa de mão, diferenciando-se, principalmente, pelo o auxílio da mão de pilão para a compressão.

De acordo com Silva (2000), “um dos sistemas construtivos mais utilizados na antiguidade, a taipa de pilão era considerada o mais sólido sistema de construção em terra crua, já que as paredes construídas inteiras, monoliticamente, iam se solidificando progressivamente, com o passar dos tempos”. Sato (2011) afirma que, “nas construções de taipa de pilão, as paredes são maciças, construídas apenas de barro socado, mas algumas vezes utilizam-se aditivos”. Os aditivos são adicionados durante o amassamento e podem ser: areia, cal, cascalho, estrume animal e fibra vegetal. (ALBERNAZ e LIMA, 1998 apud PISANI, 2004, p. 9).

Dessa forma, assim como a taipa de mão, após a argamassa de barro estar preparada, essa é utilizada para preencher os taipais, formas de madeiras semelhantes com as utilizadas atualmente para o concreto, demonstrado na figura 2. Consideradas pesadas, por serem maciças, essas são executadas, em maior escala, para vedações externas, e, em menor escala, para divisórias internas.

Figura 2 – Modelo de forma de madeira



Fonte: Montoro (1994 apud SATO; 2011, p. 17)

2.1.2 Adobe

O tijolo de adobe é considerado um dos mais antigos materiais da construção civil, sendo antecedente ao tijolo de barro e largamente utilizado no Antigo Egito e na Mesopotâmia. (VAZ, 2013). “Adobe é uma palavra de origem árabe, que foi assimilada pelo espanhol e transmitida às Américas, onde foi adotada também pelo idioma inglês”. (DETHIER, 1982 apud SILVA, 2000, p. 29).

Tal material consiste na confecção de tijolos de barro onde a principal matéria prima é a terra crua. Essa, após ser amassada, é colocada em formas conforme figura 3, geralmente de madeiras e retangulares, sendo as de dimensões 20x20x40cm (largura x altura x comprimento) mais utilizada no Brasil. Para isso, é necessário que o barro não fique quebradiço e nem muito plástico, portanto, deve-se controlar a dosagem de argila, areia e água. Logo, para melhorar a resistência, são acrescentados estrumes de boi ou fibras vegetais na mistura. Além disso, a secagem dos tijolos é feita ao sol e/ou a sombra. Para a prevenção de falhas na fabricação, é necessário evitar o contato com as chuvas ao longo da secagem. E assim, a combustão não é utilizada no processo de fabricação, como na maioria dos tijolos utilizados nas alvenarias.

Figura 3 – Fabricação do tijolo adobe



Fonte: Alexandria (2006, apud ARAUJO, 2009, p. 11)

Os assentamentos dos tijolos são feitos por meio de argamassa de barro, a mesma utilizada para a fabricação do tijolo. Assim como em outros tipos de tijolos, o assentamento é executado pelo sistema usual de amarração de paredes, no qual a fiada é sempre transpassada pela próxima fiada. E, em vãos de janelas e portas, geralmente são utilizados reforços de madeira para confecção da verga e contra verga. Para que haja uma maior durabilidade, é aconselhável que as coberturas possuam beirais maiores, pois, esses protegem as paredes do contato direto com a água das chuvas. Nesse tipo de edificação, é comum a utilização de camadas de revestimentos que geralmente são feitas em duas etapas, semelhantes ao chapisco e ao emboço. Tais etapas são importantes para uma maior durabilidade, uma melhor estética e uma possível pintura sobre o revestimento, seja com cal ou tinta a base de silicato de potássio ou de sódio.

Embora se encontre construções feitas inteiramente de adobe, essa técnica era habitualmente utilizada para paredes divisórias internas. (COLIN, 2010). Atualmente, não há grande ocorrência do adobe no Brasil, mas, é evidente em outros países do mundo. Assim, Motta (2004, apud ARAUJO, 2009, p.13) afirma que “nos Estados Unidos o uso de construções em adobe é generalizado, sendo inclusive símbolo de status possuir uma casa construída com esse tipo de material, existindo inclusive uma norma que regula os procedimentos”. Logo, características, como a simplicidade de execução, agilidade, economia e sustentabilidade, influenciam para o contínuo uso de tal técnica no país norte-americano.

Além disso, existem técnicas semelhantes ao adobe, denominadas superadobe e hiperadobe. O superadobe é a técnica de se ensacar a terra, e moldar os sacos como demonstra a figura 4, que são compostos por polipropileno. As principais diferenças entre esse método e

o adobe comum são a simplicidade e a rapidez da execução. E ainda, é através desse que surge o hiperadobe. Como principal diferença, o hiperadobe apresenta o uso do saco composto pelo material Raschel (figura 5). O mesmo usado nas feiras para ensacar frutas, tal material caracteriza-se pelo descarte da combustão (na etapa do reboco), em que serve como chapisco para receber o reboco natural, e um menor uso de plástico. (VAZ, 2013).

Figura 4 – Execução do superadobe



Fonte: Vaz (2013)

Figura 5 – Saco Raschel sendo preenchido



Fonte: Vaz (2013)

2.1.3 Tijolo cerâmico

A palavra cerâmica procede do termo grego *kéramos*, que significa argila. Assim, segundo Ribeiro (2002 apud MENDES; CARVALHO; BORGES; 2012, p.4), “os produtos cerâmicos, sob o ponto de vista dos materiais de construção civil, são obtidos pela moldagem, secagem e queima de argila ou de misturas contendo argila”. Logo, devido à abundância de tal matéria prima e seu fácil manuseio, a indústria cerâmica é considerada a mais antiga do mundo.

Em geral, os tijolos são utilizados para execução de paredes, pilares, muros , dentre outros (AZEREDO, 1997). Os principais tijolos são: tijolo comum (figura 6), tijolo refratário (figura7) e o tijolo laminado (figura 8).



2.1.3.1 Tijolo comum

O tijolo comum, considerado a evolução do adobe, é conhecido por tijolo maciço, tijolinho e tijolo de barro cru. Definido pela ABNT: NBR 7170:1983 como “tijolo que possui todas as faces plenas de material, podendo apresentar rebaixos de fabricação em uma das faces de maior área”, esse foi amplamente utilizado na construção civil, mas perdeu espaço para as novas tecnologias. Devido ao grande uso no passado, além da NBR 7170, ele possui mais duas normas brasileiras, sendo essas a NBR 6460 e a NBR 8041. Essas usadas, respectivamente para padronização de método de ensaio e padronização de formas e dimensões.

A produção do tijolo comum é realizada com argila, que após ser amassada, é moldada por extrusão e queimada em temperatura normalmente de 950 a 1100°C. Após o término de tal processo, devem-se atender as especificações normativas, como a resistência à compressão de 1,5 a 4,0 Mpa. Com as dimensões estabelecidas pela ABNT: NBR 8041:1983, sendo essas 5,7x9,0x19,0cm e 9,0x9,0x19,0cm (altura x largura x comprimento), após a fabricação do tijolo, é aceitável o acréscimo e decréscimo de 3mm, no máximo, em qualquer dimensão. Assim, casos que não estejam dentro desse limite estarão fora de norma, podendo ser descartados.

As alvenarias executadas com esse material são basicamente para paredes de vedação ou paredes portantes em pequenas estruturas. (BORGES; CARVALHO; MENDES; 2012). Seu método de execução, denominado amarração, é o mesmo utilizado por todos os tipos de blocos. Caracterizado pela ultrapassagem entre cada fiada e a fiada anterior, tal método utiliza uma argamassa de assentamento entre os tijolos e as fiadas, para solidificar a alvenaria, absorver pequenas deformações e uniformizar as tensões entre os tijolos.

2.1.3.2 Tijolo refratário

Embora o tijolo refratário também seja composto por argila, como o tijolo comum, sua matéria prima contém propriedades e características diferentes. A menor retração mecânica, quando exposto às elevadas temperaturas, e o comportamento como isolante térmico são alguns dos diferenciais entre as argilas utilizadas pelos tijolos comum e refratário.

Esse tipo de tijolo possui uma resistência mecânica maior que a do tijolo comum. Além disso, tal tijolo é utilizado em ambientes que atingem temperaturas em torno de 1200°C, sendo, principalmente, empregado em revestimento de lareiras, fornos e churrasqueiras. Assim, a sua fabricação deve seguir as normas vigentes, específicas para esse material.

O assentamento necessita de uma argamassa própria para tal tipo de alvenaria, a argamassa refratária. Definida pela ABNT: NBR 8826 (1997 apud FERNANDES, 2012, p. 10) como “produto refratário não conformado constituído de grãos finamente moídos, podendo ser misturado com água e/ou aditivos ligantes [...]”, essa é utilizada no método de amarração, presente em todos os tipos de blocos, onde a execução é feita pela ultrapassagem de cada fiada pela fiada anterior.

2.1.3.3 Tijolo laminado

Visto que o tijolo laminado não apresenta as dimensões nominais recomendadas pela ABNT: NBR 8041:1983, esse é considerado um tijolo especial. Composto por vinte e um (21) furos, com dimensões aproximadas de 11,5x5x24cm, sendo largura x altura x comprimento, esse tijolo é fabricado de forma semelhante ao bloco cerâmico.

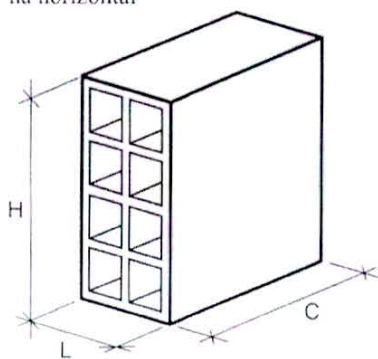
Os tijolos laminados são usualmente utilizados para alvenaria aparente. Considerados uma evolução do tijolo comum, esses possuem maior resistência mecânica e menor porosidade, absorvendo, assim, menos água. Seu assentamento é feito por meio do método convencional de amarração, em que cada fiada ultrapassa a fiada anterior, como os outros tipos de blocos.

2.1.4 Bloco cerâmico

Os blocos cerâmicos juntamente aos blocos de concreto são atualmente as principais formas de construção. (OLIVEIRA, 2013). A norma que padroniza esses blocos (ABNT: NBR 15270) é fragmentada em três partes, sendo: Parte 1: Blocos cerâmicos para alvenaria de vedação – Terminologia e requisitos; Parte 2: Blocos cerâmicos para alvenaria estrutural – Terminologia e requisitos; Parte 3: Blocos cerâmicos para alvenaria de vedação e estrutural – Métodos de ensaio.

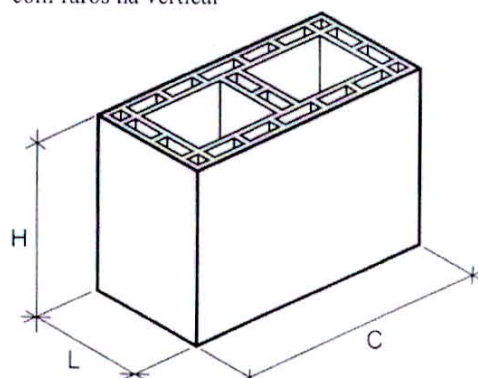
Segundo a ABNT: NBR 15270-1:2005, “os blocos cerâmicos para vedação constituem as alvenarias externas ou internas que não têm a função de resistir a outras cargas verticais, além do peso da alvenaria da qual faz parte”. Assim, os blocos podem ser fabricados com furos tanto no sentido horizontal, como no sentido horizontal.

Figura 9 - Bloco cerâmico de vedação com furos na horizontal



Fonte: ABNT: NBR 15270-1:2005

Figura 10 - Bloco cerâmico de vedação com furos na vertical



Fonte: ABNT: NBR 15270-1:2005

A figura 9 representa o bloco de vedação que é fabricado para trabalhar, exclusivamente, com os furos no sentido horizontal. Já a figura 10, representa o bloco de vedação que é produzido para trabalhar, na vertical.

Com várias dimensões padronizadas, segundo a tabela 1 da ABNT: NBR 15270-1:2005, as principais dimensões comerciais são 9x19x19cm, 9x19x29cm e 14x19x29cm (largura x altura x comprimento). Sua matéria prima principal, como nos tijolos cerâmicos, é a argila. A produção do bloco também é semelhante a dos tijolos, com a passagem pelo processo de queima e a conformação através da extrusão. Além disso, o processo de execução deve respeitar orientações da ABNT: NBR 8545:1984, que trata da execução de alvenaria sem função estrutural do tijolo e dos blocos cerâmicos. O seu assentamento é realizado com juntas de

argamassa, e, habitualmente, é utilizado o método convencional de amarração, no qual cada camada de bloco é transpassada pela próxima camada.

2.1.5 Bloco de concreto

Como citado anteriormente, os bloco de concreto em conjunto ao bloco cerâmico são atualmente os mais utilizados em alvenaria.

O bloco pode ser fabricado de três tipos diferentes, são esses: bloco de concreto vazado simples (figura 11), bloco tipo canaleta (figura 12) e bloco compensador (figura 13).



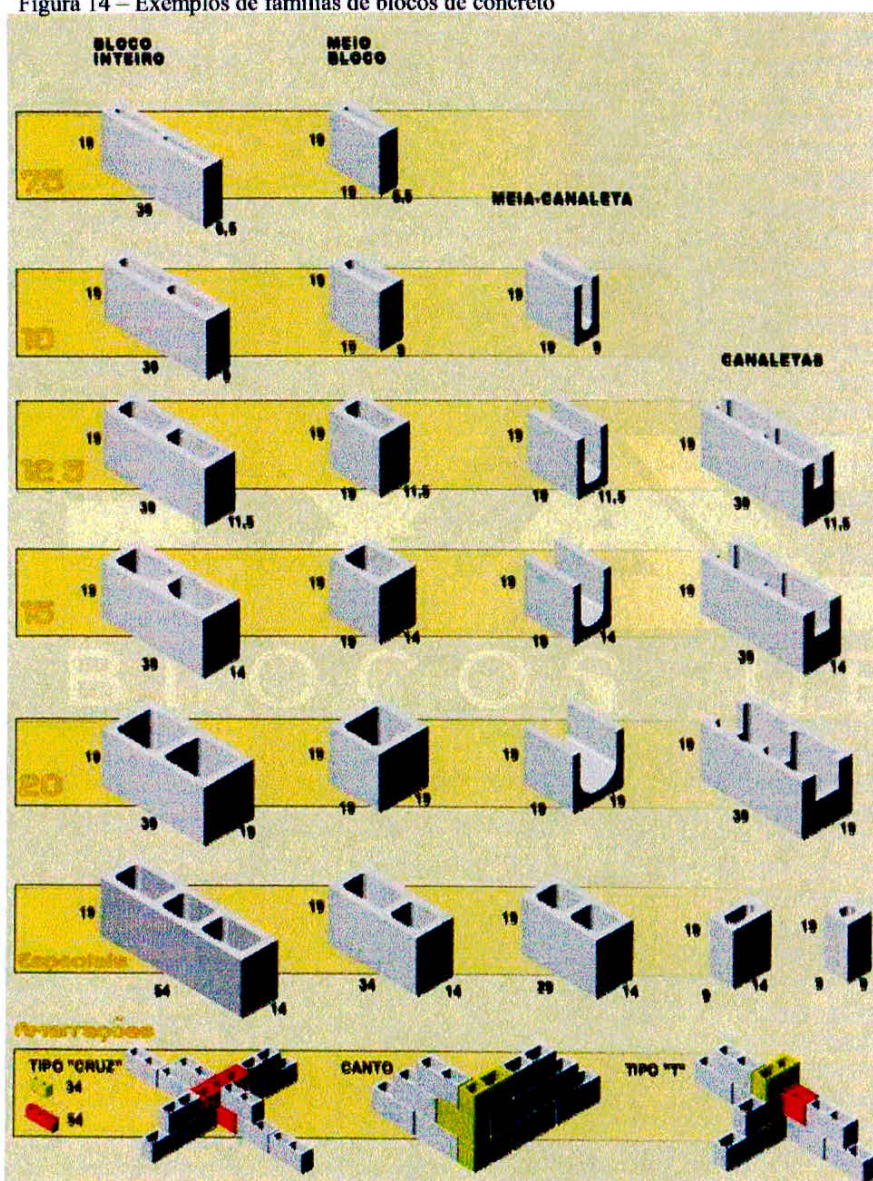
O bloco de concreto vazado simples é definido pela ABNT: NBR 6136:2014 como “componente para execução de alvenaria, com ou sem função estrutural, vazado nas faces superior e inferior, cuja área líquida é igual ou inferior a 75% da área bruta”. Esse bloco é usualmente utilizado para subir as alvenarias, tendo os outros dois tipos para auxílio em determinadas etapas. Como, por exemplo, os blocos tipo canaleta, que são citados pela ABNT: NBR 6136:2014 como blocos “criados para racionalizar a execução de vergas, contravergas e cintas”. É o bloco compensador, que é destinado para ajuste de modulação.

Os blocos de concreto podem ter variadas dimensões e variadas espessuras de paredes, estas especificações estão citadas nos itens 5.1.1 e 5.1.2, respectivamente, da ABNT: NBR 6136:2014. Assim, esses possuem o respaldo normativo para ter uma tolerância máxima de 2mm para mais ou para menos na largura e de 3mm para mais ou para menos na altura e comprimento.

Os blocos de dimensões (largura x altura x comprimento) 9x19x39cm, 14x19x39cm e 19x19x39cm são os mais comuns no mercado, e são popularmente chamados de blocos de 10, 15 e 20. Para que se possam identificar as diversas dimensões dos blocos de concretos, a indústria da construção civil e as normas utilizam a terminologia “família” (figura 14). Essa

“família” é composta por blocos que possuem dimensões coordenadas para execuções de alvenarias paginadas¹. A utilização desse grupo de acordo com Santos (2011), “irá propiciar que a alvenaria, tanto no sentido vertical quanto no horizontal, vá consumir um número inteiro de blocos, evitando-se os indesejáveis cortes dos blocos, induzindo grande geração de entulho e elevados desperdícios nos canteiros das obras”. Para isso, é necessário que antes seja feito o projeto de paginação.

Figura 14 – Exemplos de famílias de blocos de concreto

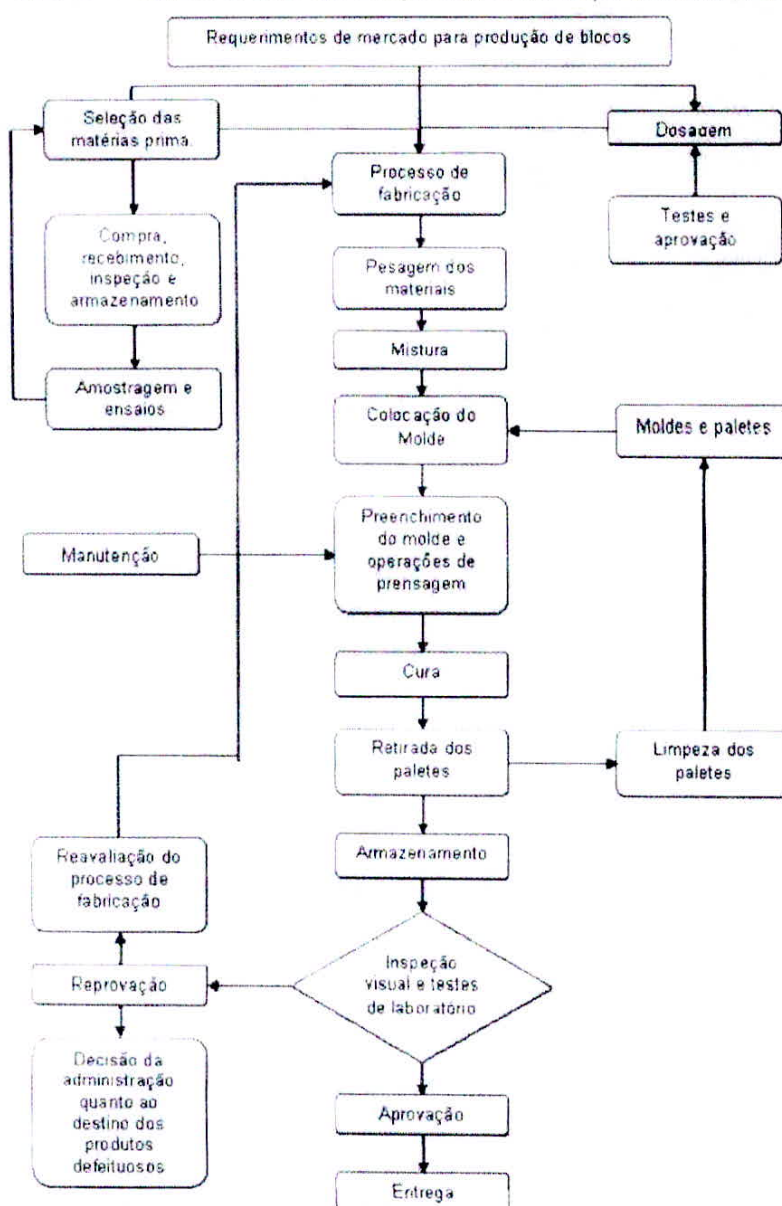


Fonte: Exactomm Blocos de Concreto (s/d; apud SANTOS, 2011, p. 24)

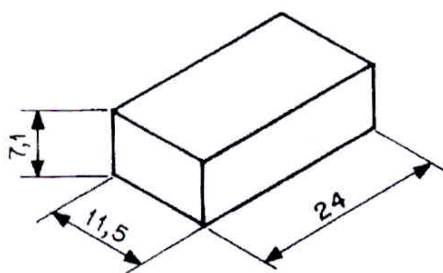
¹ Alvenaria paginada é aquela que possui um projeto de paginação das alvenarias, sabendo-se a posição de cada bloco.

Os materiais para a produção do bloco, segundo Salvador Filho (2007) “são basicamente: cimento Portland, agregados graúdo e miúdo, e água. Dependendo de requisitos específicos, a dosagem do concreto poderá também empregar outros componentes, tais como adições minerais, pigmentos, aditivos etc”. Esses, atualmente, são produzidos em grande escala, por máquinas automáticas, que seguem o diagrama de fluxo demonstrado na figura 15. No final desse processo, o bloco, sem função estrutura, deve ter resistência à compressão de no mínimo 2,0 Mpa.

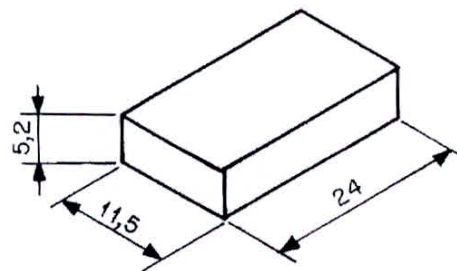
Figura 15 – Diagrama de fluxo típico do processo de fabricação de blocos de concreto



Fonte: CIDB (2004, apud SALVADO FILHO, 2007, p. 68)



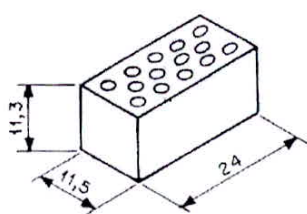
Maciço tipo (a)



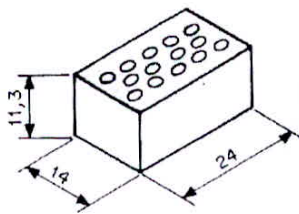
Maciço tipo (b)

Fonte: ABNT NBR 14974-1:2003

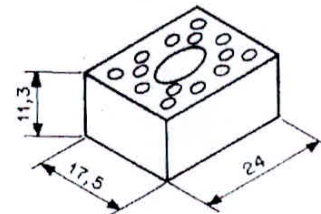
Figura 17 – Desenho esquemático do bloco furado, perfurado ou vazado



Furado ou perfurado tipo (c)



Furado ou perfurado tipo (d)



Furado, perfurado ou vazado tipo (e)

Fonte: ABNT NBR 14974-1:2003

Tabela 3 - Modelos e dimensões da família do bloco modular de 20cm

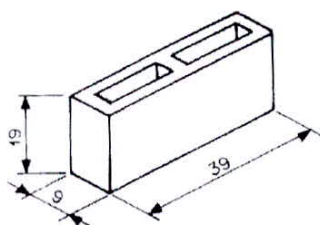
Tipo	Largura (cm)	Altura (cm)	Comprimento (cm)
Vazado (a)	9,00	19,00	39,00
Vazado (b)	14,00	19,00	39,00
Vazado (c)	19,00	19,00	39,00

Fonte: ABNT: NBR 14974-1:2003

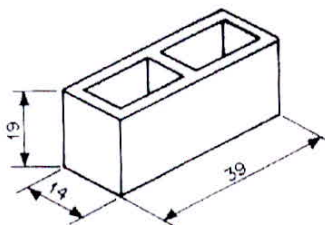
Notas: 1- Para bloco vazado tipo (a), (b) e (c) ver desenho esquemático da figura 18.

2- A espessura de qualquer parede dos blocos não pode ser inferior a 2,0 cm.

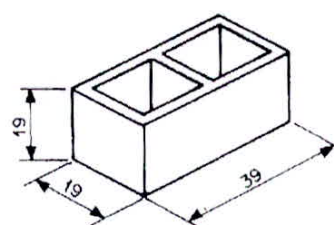
Figura 18 – Desenho esquemático do bloco vazado



Vazado tipo (a)



Vazado tipo (b)



Vazado tipo (c)

Fonte: ABNT NBR 14974-1:2003

Possuindo a ABNT: NBR 14974-1:2003 como norma regulamentadora de dimensões, de método de ensaio e requisitos, tal norma apresenta três importantes tabelas. Assim, a primeira apresenta a resistência à compressão de acordo com a classe do bloco e as outras duas demonstram as dimensões padronizadas.

Os blocos sílico-calcários são separados em dez classes relacionadas de “A” a “J”, que variam de 4,5 a 35,0Mpa, referente à resistência à compressão, de acordo com a tabela 1.

Tabela 1 - Resistência à compressão - Classes de blocos sílico-calcários

Classe	Resistência à compressão
Classe A	4,5 Mpa
Classe B	6,0 Mpa
Classe C	7,5 Mpa
Classe D	8,0 Mpa
Classe E	10,0 Mpa
Classe F	12,0 Mpa
Classe G	15,0 Mpa
Classe H	20,0 Mpa
Classe I	25,0 Mpa
Classe J	35,0 Mpa

Fonte: ABNT: NBR 14974-1:2003

Referente à dimensão, o bloco é dividido em dois grupos. Os blocos modulares de 12,5cm e os blocos modulares de 20cm, de acordo com as tabelas 2 e 3 e as figuras 16, 17 e 18.

Tabela 2 – Modelos e dimensões da família do bloco modular de 12,5cm

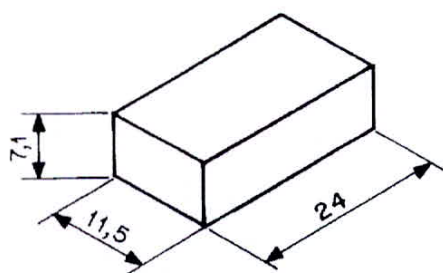
Tipo Largura	Largura (cm)	Altura (cm)	Comprimento (cm)
Maciço (a)	11,50	7,10	24,00
Maciço (b)	11,50	5,20	24,00
Furado, perfurado ou vazado (c)	11,50	11,30	24,00
Furado, perfurado ou vazado(d)	14,00	11,30	24,00
Furado, perfurado ou vazado (e)	17,50	11,30	24,00

Fonte: ABNT: NBR 14974-1:2003

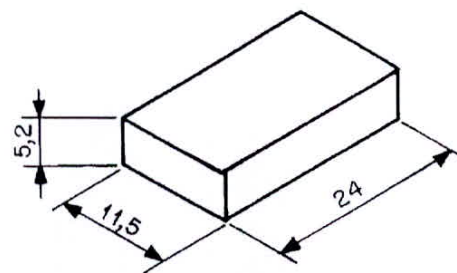
Notas: 1- Para bloco maciço tipo (a) e tipo (b), ver desenho esquemático da figura 16.

2- Para bloco furado, perfurado ou vazado, ver desenho esquemático da figura 17.

Figura 16 – Desenho esquemático dos blocos maciços



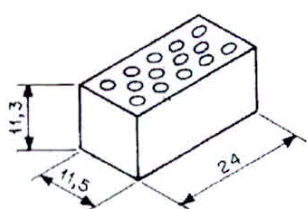
Maciço tipo (a)



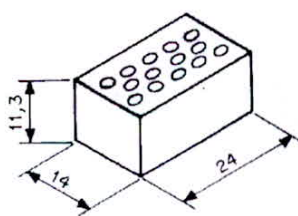
Maciço tipo (b)

Fonte: ABNT NBR 14974-1:2003

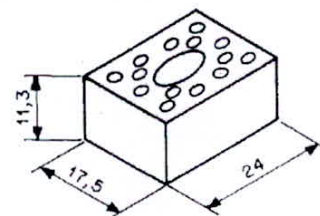
Figura 17 – Desenho esquemático do bloco furado, perfurado ou vazado



Furado ou perfurado tipo (c)



Furado ou perfurado tipo (d)



Furado, perfurado ou vazado tipo (e)

Fonte: ABNT NBR 14974-1:2003

Tabela 3 - Modelos e dimensões da família do bloco modular de 20cm

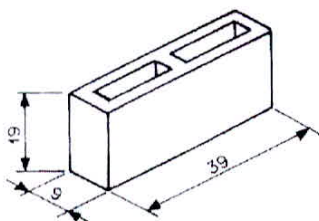
Tipo	Largura (cm)	Altura (cm)	Comprimento (cm)
Vazado (a)	9,00	19,00	39,00
Vazado (b)	14,00	19,00	39,00
Vazado (c)	19,00	19,00	39,00

Fonte: ABNT: NBR 14974-1:2003

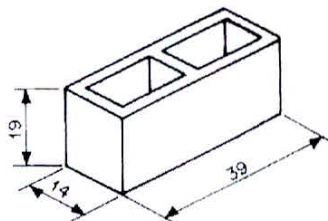
Notas: 1- Para bloco vazado tipo (a) ,(b) e (c) ver desenho esquemático da figura 18.

2- A espessura de qualquer parede dos blocos não pode ser inferior a 2,0 cm.

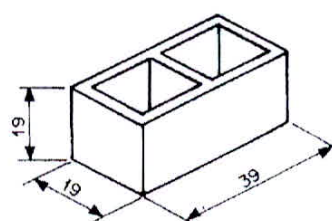
Figura 18 – Desenho esquemático do bloco vazado



Vazado tipo (a)



Vazado tipo (b)



Vazado tipo (c)

Fonte: ABNT NBR 14974-1:2003

O procedimento executivo dos blocos de sílico-calcários é regulamentado pela ABNT: NBR 14974-2:2003 e também citado em etapas pela TCPO (2010), que menciona os seguintes passos:

- 1) Nivelar o baldrame ou o piso, impermeabilizando-o normalmente.
- 2) Assentar os blocos-chave nos cantos externos e em cada encontro das paredes internas ou ao lado dos pilares.
- 3) Os blocos-chave são assentados conforme a planta de modulação, marcando exatamente a posição das paredes. Observar o nivelamento entre os blocos-chave.
- 4) Entre os blocos-chave são assentados os blocos da 1ª fiada, que serão na quantidade exata da planta de modulação com 1 cm de junta vertical.
- 5) Nos cantos externos, os blocos são amarrados entre si pelo sistema de assentamento.
- 6) No assentamento das demais fiadas, a linha de nível na aresta dos blocos manterá toda a alvenaria no nível e prumo requeridos.
- 7) Levanta-se a alvenaria até a fiada correspondente à base da laje do piso superior.
- 8) Nos encontros dos pilares com a alvenaria, fazer a amarração com tela de aço galvanizado.
- 9) Para a execução de contraverga: faz-se o enchimento dos blocos em canaleta com a armação de ferro corrido, com avanço de 1 e 1/2 bloco de cada lado do vão.

O processo de fabricação desses blocos é realizado, atualmente, por máquinas automáticas, que permitem a produção em grande escala. Resumidamente, a produção é feita através da mistura de cal virgem e areia silicosa, sem aditivos, permitindo blocos com texturas uniformes, resistentes e quase brancas. A mistura recebe água, e após essa etapa, a nova mistura é moldada e prensada. Para finalizar o processo, o bloco é endurecido no autoclave².

2.1.7 Bloco de concreto celular autoclavado

O concreto celular se originou na Suécia, em 1924, por Joahan Axel Erickon. Esse material possui como principal característica a boa isolamento térmica. O início da produção do concreto celular autoclavado, em escala industrial, ocorreu nos países escandinavos, Suécia e Dinamarca, no ano de 1929. (BARRETO, 2012; FERRAZ, 2011). Segundo a Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT, 1995 apud FERRAZ, 2011), através da NBR 13438, define-se o concreto celular autoclavado da seguinte maneira:

² Aparelho inventado por Charles Chamberland, que através do calor e pressão de vapor, realiza o processo de endurecimento do bloco sílico-calcário.

Como concreto leve obtido através de um processo industrial, constituído de materiais calcários (cimento, cal ou ambos) e materiais ricos em sílica, granulados finamente. Esta mistura é expandida através da utilização de produtos formadores de gases, água e aditivos, se for o caso, sendo submetidos à pressão e temperatura através de vapor saturado. O concreto celular autoclavado contém células fechadas, aeradas, uniformemente distribuídas.

Os BCCA's, que são os blocos de concreto celular autoclavado, também são definidos pela referida norma como "Componentes de edificações, maciços, com função estrutural ou não, utilizada principalmente para a construção de paredes internas e externas e preenchimentos de lajes". Esses blocos, que possuem dimensões usuais maiores que os blocos de concreto e os blocos cerâmicos, têm como principais dimensões a altura de 300mm, o comprimento de 600mm e variadas larguras. Conforme a tabela 4 abaixo, os blocos são produzidos nessas dimensões e em outras pela Precon, uma empresa fabricante de BCCA.

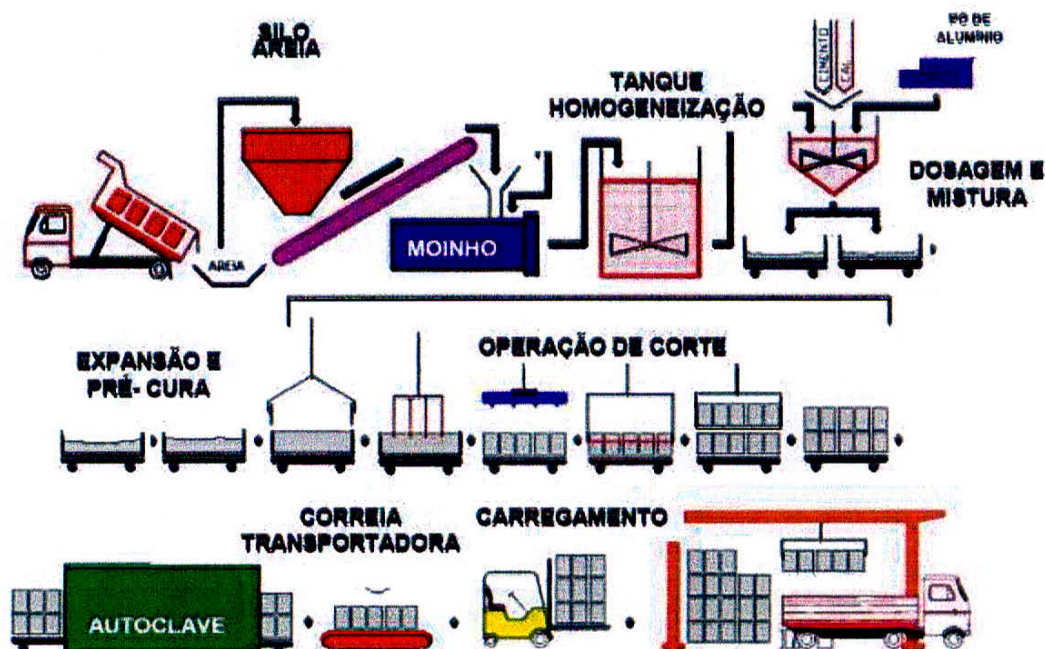
Tabela 4 - Dimensões dos blocos de concreto celular autoclavado da Precon

Tamanho do Bloco	Espessura (cm)
60x30cm	7,5
	10
	12,5
	15
	17,5
	20
30x25cm	7,5
	10
	12,5
	15
	17,5
	20

Fonte: Precon (2010)

Os blocos de concreto celular autoclavado são constituídos de areia, cal e cimento, basicamente. Misturados em proporções específicas, são necessárias à adição de água e uma pequena quantidade de pó de alumínio, que funciona como agente expensor. Durante a pré-cura, o aditivo expensor produz pequenas células de ar, que resulta em um material sólido, leve e termicamente muito isolado. Após a desmoldagem, o concreto celular é cortado nas dimensões desejadas. Finalmente, o concreto é direcionado para o autoclave, com alta pressão e temperatura, exemplificado pela figura 19.

Figura 19 – Processo de fabricação dos BCCA



Fonte: Precon (2010, apud FERRAZ, 2011)

O processo executivo desse bloco, segundo recomendações da fabricante Precon (2010), é que seja feita através do processo de amarração, no qual todas as juntas de assentamento são preenchidas e têm a espessura variando de 10 a 15mm.

2.1.8 Chapas de gesso acartonado

As chapas de gesso acartonado são definidas pela ABNT: NBR 14715:2001 como “Chapas fabricadas industrialmente mediante um processo de laminação contínua de uma mistura de gesso, água e aditivos entre duas lâminas de cartão, onde uma é virada sobre as bordas longitudinais e colada sobre a outra”. Essas chapas, que possuem como principal característica seu menor peso em relação aos demais materiais, também são conhecidas no Brasil como Drywall e possuem três tipos principais de chapas, sendo: Standard (ST), para uso geral; Resistente à umidade (RU) e Resistente ao Fogo (RF).

Para a execução desse material, são necessários alguns componentes. Assim, descritos da seguinte maneira: Componentes para fechamento da divisória; componentes para estruturação e suporte da divisória; componentes para fixação das chapas e dos perfis metálicos; materiais para tratamento das juntas; material para isolamento termo acústico da divisória.

Os componentes para fechamento da divisória são basicamente constituídos pela chapa de gesso acartonado, que são duas placas paralelas com o espaço central preenchido com sulfato de cálcio desidratado. As chapas, segundo a norma regulamentadora, podem possuir dois tipos de bordas, a BR (borda rebaixada) e BQ (borda quadrada), tendo a borda rebaixada uma facilidade para o tratamento das juntas.

As placas de gesso devem possuir algumas informações, que são exigidas pela norma, são essas:

- Marca e/ou fabricante;
- Identificação do lote de produção;
- Tipo de chapa;
- Tipo de borda;
- Dimensões da chapa expressas de acordo com o Sistema Métrico Internacional;
- Referências a NBR 14715:2001.

No Brasil, existem três principais fabricantes dessa tecnologia, sendo: Knauf do Brasil, Lafarge Gypsum e Placo do Brasil. Essas empresas são as fundadoras da Associação Brasileira dos fabricantes de chapas para Drywall e trabalham com as dimensões para placas de gesso acartonado ST, conforme tabela 5.

Tabela 5 – Dimensões comercializadas das chapas de gesso acartonado Standard

Fabricante	Espessura (mm)	Largura (cm)	Comprimento (cm)
Knauf	9,5	60 ou 120	180 a 360
	12,5		
	15,0		
Gypsum	6,4	120	240
	9,5		
	12,5		180 a 300
	15,0		
Placo do Brasil	9,5	60 ou 120	180, 200, 240, 250
	12,5		
	15,0		

Fonte: (PLACO DO BRASIL, 2014; KNAUF, 2015; GYPSUM, 2013), adaptado pelo autor

As geometrias das placas devem obedecer às tolerâncias e limites impostos pela ABNT NBR 14715:2001, demonstrados nas tabelas 6 e 7 abaixo.

Tabela 6 – Tolerâncias das características geométricas das chapas de gesso acartonado

Características geométricas		Tolerância	Limite	
Espessura	9,5mm	± 0,5mm	-	
	12,5mm		-	
	15,0mm		-	
Largura			Máximo de 1.200mm	
Comprimento			Máximo de 3.600mm	
Esquadro		≤ 2,5mm/m de largura	-	
Rabaixo ¹⁾	Largura	Mínimo	-	40mm
		Máximo	-	80mm
	Profundidade	Mínimo	-	0,6mm
		Máximo	-	2,5mm

Fonte: ABNT: NBR 14715:2001

¹⁾ A borda rebaixada deve estar situada na face da frente da chapa e suas largura e profundidade devem ser medidas de acordo com a NBR 14716

Tabela 7 – Limites para as características físicas e mecânicas das chapas de gesso acartonado

Determinação		Limites		
		Espessura da chapa mm		
		9,5	12,5	15,0
Densidade superficial de massa kg/m ²	Mínimo	6,5	8,0	10,0
	Máximo	8,5	12,0	14,0
	Varição máxima em relação à média da amostra de um lote	± 0,5		
Resistência mínima à ruptura na flexão N	Longitudinal ⁽¹⁾	400,0	550,0	650,0
	Transversal ⁽²⁾	160,0	210,0	250,0
Dureza superficial determinada pelo diâmetro máximo mm		20		
Absorção máxima de água para chapa resistente à umidade (RU) %		5		
Absorção superficial máxima de água para chapa resistente à umidade (RU), tanto para a face da frente, quanto para a face do verso (característica facultativa), g/m ²		160		

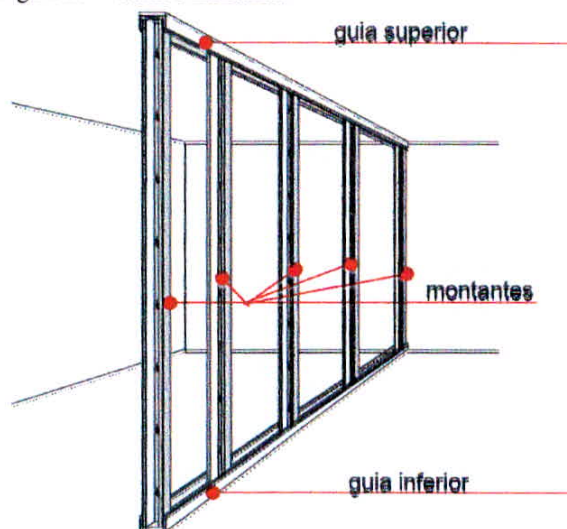
Fonte: ABNT: NBR 14715:2001

¹⁾ Amostra com a face da frente virada para baixo. Carga aplicada na face do verso

²⁾ Amostra com a face da frente virada para cima. Carga aplicada na face da frente

Os componentes para fixação, que são os suportes das divisórias, são constituídos por perfil metálico, que é formado basicamente por guias e montantes. Como ilustrado na figura 20.

Figura 20 – Guias e montantes



Fonte: Taniguti (1999)

A função das guias é direcionar as divisórias, que são fixadas no piso e no teto, enquanto os montantes servem para a estruturação da divisória, estando posicionados verticalmente. (TANIGUTI, 1999). Para a fixação dos perfis nas estruturas convencionadas (paredes, lajes, liares, vigas e outros), dos perfis metálicos entre si e da fixação das placas de gesso nos perfis, devem ser utilizados parafusos de acordo com as especificações da ABNT NBR: 15758-1:2009.

Para o tratamento das juntas, é necessário seguir as instruções e recomendações do item 9 da ABNT NBR: 15758-1:2009. Esse tratamento é executado através de duas etapas, sendo a primeira a utilização das massas apropriadas para tratamento e a segunda a utilização de fitas. As massas utilizadas para a realização desse tratamento devem seguir algumas especificações conforme as tabelas 8 e 9.

Tabela 8 – Tipos de massa

Tipo de massa	Utilização
Massa em pó para tratamento de juntas	Tratamento de juntas entre chapas em paredes, forros e revestimentos. Deve ser misturada com água para a sua aplicação
Massa pronta para tratamento de juntas	Tratamento de juntas entre chapas em paredes, forros e revestimentos, pronta para uso

Fonte: ABNT: NBR 15758-1:2009, adaptado pelo autor

Tabela 9 – Características e críticas

Características	Crerios	Métodos de ensaio
Retração	$\leq 35\%$	ASTM C 474 e 475
Craqueamento/fissuração	Não ocorrência	
Putrefação	≥ 96 h	
Aderência da fita à massa	$\geq 90\%$	
Fissura da massa nas bordas da fita	$\leq 10\%$	

Fonte: ABNT: NBR 15758-1:2009, adaptado pelo autor

Segundo Ferguson (1996, apud MORATO JUNIOR, 2008, p. 29), as massas não devem ser utilizadas individualmente, mas sim com o auxílio das fitas, pois essas massas não possuem resistência à tração. As fitas que devem ser utilizadas também são especificadas por tipos e características conforme a norma, expresso nas tabelas 10 e 11.

Tabela 10 – Tipos de fitas

Tipos	Utilização
Fita de papel micro perfurado ^a	Tratamento de juntas entre chapas
Fita de papel com reforço metálico (aço galvanizado ou alumínio) ^b	Reforço de ângulos salientes
Fita para isolamento acústico (banda acústica) ^c	Isolamento dos perfis nos perímetros das paredes, forros e revestimentos.

Fonte: ABNT NBR 15758-1:2009, adaptado pelo autor

^a Ver características na tabela 11

^b As características são aquelas informadas pelo fornecedor das fitas ou conforme especificações constantes no projeto

^c Fita de espuma de poliuretano, auto-adesiva, em uma das faces, com espessura maior ou igual a 3mm, com largura em função do tipo de perfil, como: U 30 x 30 b = 30mm / perfil 70mm b = 70mm / perfil 48mm b = 50mm / perfil 90mm b = 95mm

Tabela 11 – Características e critérios

Características	Crerios	Métodos de ensaio	Amostragem
Resistência à tração ^a	$\geq 5,25\text{N/mm}$	ASTM C 474	Um rolo
Largura ^a (L) em mm	$47,6 \leq L \leq 57,2$		
Espessura (e) ^a	$\leq 0,30\text{mm}$		
Estabilidade dimensional ^a	Longitudinal $\leq 0,4\%$		
	Transversal $\leq 2,5\%$		
Quantidade de furos por metro (furos/m)	$200 \leq \text{furos/m} \leq 500$	Contagem	1,0 m

Fonte: ABNT: NBR 15758-1:2009, adaptado pelo autor

^a Segundo ASTM C 475

A fim de melhorar o desempenho termo acústico da parede divisória, utiliza-se material isolante para preencher o espaço entre as chapas de gesso, sendo comum o uso de lã de rocha ou de vidro. Para facilitar a execução, é necessário que as instalações e reforços estejam concluídos e uma das faces esteja fechada. (SILVA, 2000, apud MORATO JUNIOR, 2008, p. 27).

De acordo com Medeiros (2005, apud OLIVEIRA, 2013, p.47) o processo de execução das paredes de gesso acartonado pode ser feito nas seguintes etapas:

- a) Marcação e fixação da estrutura metálica no piso;
- b) Colocação de uma das faces da chapa;
- c) Colocação dos reforços e acessórios metálicos;
- d) Instalações elétricas e hidráulicas;
- e) Isolamento termo acústico;
- f) Fechamento da segunda face;
- g) Tratamento das juntas e acabamento.

Tais etapas são empregadas sempre seguindo as orientações da ABNT: 15758-1:2009, que estabelece os procedimentos executivos para montagem e instalações das paredes em chapas de gesso acartonado.

2.1.9 Peso específico aparente dos materiais

A determinação da carga provocada pelas divisórias é obtida através dos pesos específicos e das dimensões das alvenarias. A tabela 12 demonstra os valores considerados para elaboração do trabalho e foi elaborada por meio de informações contidas no anexo A.

Tabela 12 – Peso específico dos materiais

MATERIAIS	PESOS ESPECÍFICOS (kN/m ³)
Taipa	19
Tijolo de adobe	17
Tijolo Maciço	18
Bloco Cerâmico (Furos Verticais)	8
Bloco de concreto	12
Bloco Sílico-Cálcario	20
Bloco de concreto celular	5,8
Alvenaria Drywall (placas de gesso + perfis metálicos + material isolante)	0,27 (kN/m ²)

Fonte: Autor

2.2 Lajes

As lajes são denominadas, pela norma ABNT: 6118:2014, como placas e são definidas como “elementos de superfície plana, sujeitos principalmente a ações normais a seu plano. As placas com espessura maior que 1/3 do vão devem ser estudados como placas espessas”.

Essas placas têm como objetivo receber as cargas verticais que atuam na estrutura de modo geral e transmiti-las aos apoios, sejam esses: pilares, vigas, ou outros elementos estruturais. As lajes podem variar de acordo com seu tipo, como por exemplo: laje maciça, laje nervurada e laje sem viga.

2.2.1 LAJES MACIÇAS

As lajes maciças são lajes de concreto armado ou concreto protendido, formadas por uma placa maciça. Essas apresentam um bom comportamento estrutural, pois distribuem suas reações em todas as vigas de contorno, além de poderem trabalhar em uma ou duas direções. (CARVALHO E FIGUEIREDO FILHO, 2014; REIS, 2014; NOGUEIRA E CASTRO, 2010).

Para o presente trabalho foi escolhido a utilização dessa para a análise proposta.

2.3 Métodos de determinação dos esforços nas lajes

As lajes são solicitadas essencialmente por momentos fletores e forças cortantes. Há basicamente dois métodos de cálculo para as lajes: o elástico, que será utilizado, e o de ruptura ou plástico. Segundo Carvalho e Figueiredo Filho (2014), o método elástico se baseia na análise do comportamento do elemento sob cargas de serviço e não considera o concreto fissurado, enquanto o método de ruptura se baseia nos mecanismos de ruptura das lajes.

O método elástico, que é denominado pela ABNT NBR 6118:2014 como linear, tem como base a equação do equilíbrio de um elemento infinitesimal de placa e nas relações de compatibilidade das deformações do mesmo.

a. Equações de equilíbrio

$$\frac{\partial \sigma_x}{\partial x} + \frac{\partial \tau_{xy}}{\partial y} + \frac{\partial \tau_{xz}}{\partial z} = 0 \quad \text{Eq.(1)}$$

$$\frac{\partial \tau_{xy}}{\partial x} + \frac{\partial \sigma_y}{\partial y} + \frac{\partial \tau_{yz}}{\partial z} = 0 \quad \text{Eq.(2)}$$

$$\frac{\partial \tau_{xz}}{\partial x} + \frac{\partial \tau_{yz}}{\partial y} + \frac{\partial \sigma_z}{\partial z} = 0 \quad \text{Eq.(3)}$$

b. Equações constitutivas

$$\sigma_x = 2G \left[\varepsilon_x + \frac{\nu}{1-2\nu} (\varepsilon_x + \varepsilon_y + \varepsilon_z) \right] \quad \text{Eq.(4)}$$

$$\sigma_y = 2G \left[\varepsilon_y + \frac{\nu}{1-2\nu} (\varepsilon_x + \varepsilon_y + \varepsilon_z) \right] \quad \text{Eq.(5)}$$

$$\sigma_z = 2G \left[\varepsilon_z + \frac{\nu}{1-2\nu} (\varepsilon_x + \varepsilon_y + \varepsilon_z) \right] \quad \text{Eq.(6)}$$

$$\tau_{xy} = G\gamma_{xy} \quad \text{Eq.(7)}$$

$$\tau_{xz} = G\gamma_{xz} \quad \text{Eq.(8)}$$

$$\tau_{yz} = G\gamma_{yz} \quad \text{Eq.(9)}$$

c. Equações de compatibilidade

$$\varepsilon_x = \frac{\partial u}{\partial x} \quad \text{Eq.(10)}$$

$$\varepsilon_y = \frac{\partial v}{\partial y} \quad \text{Eq.(11)}$$

$$\varepsilon_z = \frac{\partial w}{\partial z} \quad \text{Eq.(12)}$$

$$\gamma_{xy} = \frac{\partial v}{\partial x} + \frac{\partial u}{\partial y} \quad \text{Eq.(13)}$$

$$\gamma_{xz} = \frac{\partial w}{\partial x} + \frac{\partial u}{\partial z} \quad \text{Eq.(14)}$$

$$\gamma_{yz} = \frac{\partial w}{\partial y} + \frac{\partial v}{\partial z} \quad \text{Eq.(15)}$$

Somando os conjuntos de equações, nota-se que existem 15 incógnitas para serem determinadas, sendo seis incógnitas de tensões (equações construtivas), seis de deformações (equações de compatibilidade) e três de deslocamentos (equações de equilíbrio). O que torna uma solução analítica extremamente complexa. (KUDLANVEC JUNIOR, GRUBER, AMPOLINI, 2012).

O estudo das placas pode ser feito através de uma teoria simplificada, no qual é necessário considerar hipóteses fundamentais de cálculo. Essas são conhecidas como hipóteses de Kirchhoff-Love. (HENNRICHS, 2003). São elas:

- a) Material homogêneo, elástico, isotrópico e elasticamente linear;
- b) Os deslocamentos transversais são pequenos em relação à espessura da placa. Uma deflexão de até 1/10 da espessura é aceitável para uma teoria de pequenas deformações; (SZILARD, 2004; apud KUDLANVEC JUNIOR, GRUBER, AMPOLINI, 2012);
- c) A espessura h da placa é pequena em comparação às outras dimensões, da ordem de 1/10;
- d) A ação das placas nas vigas de contorno se faz somente através de forças verticais, não havendo transmissão de momentos de torção para as vigas;
- e) As ações das placas nas vigas são uniformemente distribuídas, e não há transmissão de carga diretamente para os pilares. A carga nas placas é transferida para as vigas e dessas para os pilares;
- f) As vigas de contorno são indeslocáveis na direção vertical;
- g) A rotação das placas no contorno é livre (apoio simples) ou totalmente impedida (engastada).

(FARIA, 2014; KUDLANVEC JUNIOR, GRUBER, AMPOLINI, 2012)

A partir das equações de equilíbrio, das leis constitutivas do material e das relações entre deslocamentos e deformações, realizam-se as operações matemáticas necessárias, utilizando as considerações das hipóteses de Kirchhoff. E assim, obtém-se a equação fundamental ou equação de Lagrange, como também é conhecido. (PINHEIRO, MUZARDO, SANTOS, 2003)

$$\frac{\partial^4 w}{\partial x^4} + 2 \cdot \frac{\partial^4 w}{\partial x^2 \partial y^2} + \frac{\partial^4 w}{\partial y^4} = -\frac{P}{D} \quad \text{Eq.(16)}$$

$$D = \frac{E \cdot h^3}{12 \cdot (1-\nu^2)} \quad \text{Eq.(17)}$$

Segundo Carvalho e Figueiredo Filho (2014), com a resolução da equação fundamental, “obtem-se a expressão para a superfície elástica $w = w(x, y)$, e com suas derivadas os momentos m_x e m_y nas direções x e y respectivamente”.

$$\frac{m_x}{D} = \frac{\partial^2 w}{\partial x^2} + \nu \cdot \frac{\partial^2 w}{\partial y^2} \quad \text{Eq.(18)}$$

$$\frac{m_y}{D} = \frac{\partial^2 w}{\partial y^2} + \nu \cdot \frac{\partial^2 w}{\partial x^2} \quad \text{Eq.(19)}$$

Para a determinação dos esforços das lajes citadas no item 2.2, serão apontados dois métodos elásticos, utilizados, posteriormente, no trabalho. São esses: Utilização de séries e o de Grelha Equivalente.

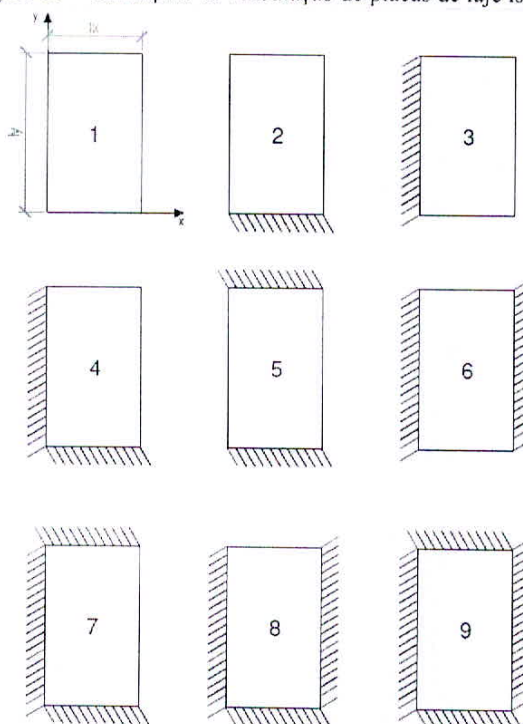
Os dois métodos são usuais, sendo que o primeiro, Utilização de Séries, distribui a carga das paredes uniformemente por toda a área da laje, enquanto o outro método obtém uma análise das cargas em suas devidas posições, e, logo, possui uma análise mais condizente com a realidade daquela laje.

2.3.1 Determinação de esforços e deslocamentos por meio de séries

O cálculo por séries pode ser resolvido por diversos processos existentes. Nesse trabalho será abordado tal cálculo através das tabelas desenvolvidas por Bares e adaptadas para o coeficiente de Poisson $\nu = 0,20$ (CARVALHO E FIGUEIREDO FILHO, 2014).

Esse método é realizado por meio da análise individual de cada laje, acompanhando seus modos de vinculação com as vigas de extremidade e com lajes vizinhas, por meio de quadros (figura 21) que apresentam várias condições de vinculações e lajes. (FARIA, 2009).

Figura 21 – Condições de vinculação de placas de laje isoladas



Fonte: Carvalho e Figueiredo Filho (2014)

Para o dimensionamento da laje é necessária vários procedimentos que serão explicados nos próximos tópicos.

2.3.1.1 Condição de apoio das lajes

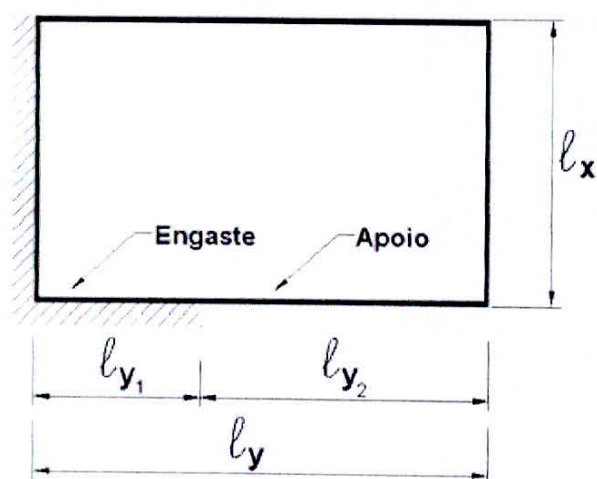
A primeira análise se refere à vinculação da laje, feita através do estudo da situação e do enquadramento em um dos quadros da figura 21. Logo, se não possuir continuidade, essa deve ser considerada apoiada, caso contrário, a laje deve ser considerada engastada. Todavia, tal análise deve ser atenciosa, pois, caso a laje não possua vão ou espessura suficiente para impedir a rotação da outra laje, essa é considerada apoiada.

Dessa maneira, na situação em que a laje possuir continuidade, mas apresentar diferença de espessura, é necessário um estudo de caso. Pois, a literatura apenas afirma que a laje não é considerada engaste quando a diferença de espessura é grande. Todavia, na ocorrência de dúvida, é aconselhável realizar as duas hipóteses (engastada e apoiada) e adotar os maiores momentos (positivos e negativos) para o dimensionamento.

No caso de lajes com dimensões diferentes, é preciso fazer a verificação para avaliar em qual caso a laje de menor extensão se encaixa.

Para exemplificar, a figura 38 representa uma laje com uma porção de comprimento ℓ_y engastada (ℓ_{y1}) e outra apoiada (ℓ_{y2}). Nesse sentido, é preciso realizar as três verificações para determinar em qual tipo de vinculação a laje se encaixa. Logo, posteriormente, é possível determinar os coeficientes tabelados que auxiliam nos cálculos de momento, de reações e, enfim, de dimensionamento da laje.

Figura 22 - Caso específico de vinculação



Fonte: Pinheiro, Muzardo e Santos (2010).

- a) Considerar a borda totalmente apoiada.

$$\ell_{y1} \leq \frac{\ell_y}{3} \quad \text{Eq.(20)}$$

- b) Calcular os esforços em ambas as condições (apoiado e engastado) e adotar os maiores valores dimensionados.

$$\frac{\ell_y}{3} < \ell_{y1} < \frac{2 \cdot \ell_y}{3} \quad \text{Eq.(21)}$$

- a) Considerar a borda totalmente apoiada.

$$\ell_{y1} \geq \frac{2 \cdot \ell_y}{3} \quad \text{Eq.(22)}$$

2.3.1.2 Ações atuantes nas lajes

As ações ou carregamentos considerados nas lajes são diversos, como pessoas, mobílias, equipamentos fixos ou móveis, divisórias, paredes, dentre outros. Nesse sentido, as lajes atuam recebendo essas cargas de utilização e transmitindo-as para os apoios.

Para a determinação das ações atuantes nas lajes deve-se recorrer às normas NBR 6118, NBR 8681 e NBR 6120. Assim, nas construções de edifícios, geralmente, as ações principais a serem consideradas são as ações permanentes (g) e as ações variáveis (q).

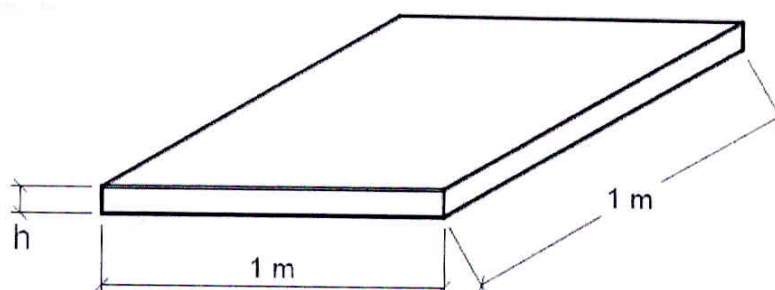
Segundo a ABNT: NBR 6118:2014, “ações permanente são as que ocorrem com valores praticamente constantes durante toda a vida da construção”. Logo, o peso próprio da estrutura, os pesos dos elementos construtivos fixos e os pesos de instalações permanentes são alguns dessas ações.

2.3.1.2.1 Peso Próprio da Laje

O peso próprio da laje representa o peso do concreto armado que forma a laje maciça. A NBR 6118 indica que seja utilizado como peso específico do concreto armado (γ_{conc}) o valor de 25 kN/m³. Diante disso, para lajes com espessura constante e com peso uniformemente distribuído em sua área, o peso próprio para lajes, em um metro quadrado de laje, pode ser calculado como:

$$g_{PP} = \gamma_{conc} \cdot h \quad \text{Eq.(23)}$$

Figura 23 - Peso próprio calculado para 1 m² de laje



Fonte: Bastos (2015)

2.3.1.2.2 Argamassa de regularização e revestimento

Colocada logo acima do concreto da superfície superior da laje, a camada de argamassa possui a função de nivelar e diminuir a rugosidade da laje, preparando-a para receber o revestimento.

O piso, dessa maneira, é o revestimento final na superfície superior da laje, assentado sobre a argamassa de regularização. Para a sua correta quantificação, é necessário definir o tipo ou material de composição do piso, o que normalmente é feito com auxílio do projeto arquitetônico.

A ação permanente da argamassa e do revestimento é representada por:

$$g_{rev} = \gamma_{arg} \cdot e_{arg} + \gamma_{rev} \cdot e_{rev} \quad \text{Eq.(24)}$$

2.3.1.3 Espessuras mínimas para as lajes

A espessura mínima para as lajes maciças é estabelecida pelo item 13.2.4.1 da NBR 6118, sendo:

- a) 7 cm para lajes de cobertura não em balanço;
- b) 8 cm para lajes de piso não em balanço;
- c) 10 cm para lajes em balanço;
- d) 10 cm para lajes que suportem veículos de peso total menor ou igual a 30 kN;
- e) 12 cm para lajes que suportem veículos de peso total maior que 30 kN;
- f) 15 cm para lajes com protensão apoiada em vigas, com o mínimo de $\ell/42$ para lajes de piso biapoiadas e $\ell/50$ para lajes de piso contínuas;
- g) 16 cm para lajes lisas e 14 cm para lajes cogumelo fora do capitel.

2.3.1.4 Cobrimento mínimo para armadura

Os cobrimentos nominais das armaduras, para $\Delta c = 10\text{mm}$, possuem valores mínimos, estabelecidos pela NBR 6118, a serem respeitados. Sendo esses encontrados na tabela 7.2 da referida norma e na tabela 13 do trabalho.

Tabela 13 - Tabela de correspondência entre a classe de agressividade ambiental e o cobrimento nominal para $\Delta c=10\text{mm}$ - resumida para uso em lajes.

Tipo de estrutura	Componente ou elemento	Classe de agressividade ambiental (CAA)			
		I	II	III	IV ^a
		Cobrimento nominal em (mm)			
Concreto armado	Laje ^b	20	25	35	45

Fonte: ABNT NBR 6118:2014.

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

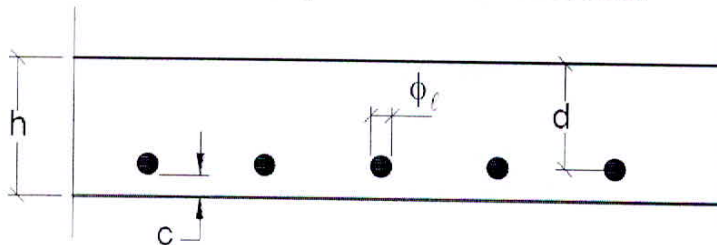
^b Para a face superior de lajes e vigas que serão revestidas com argamassa de contrapiso, com revestimentos finais secos tipo carpete e madeira, com argamassa de revestimento e acabamento, como pisos de elevado desempenho, pisos cerâmicos, pisos asfálticos e outros, as exigências desta Tabela podem ser substituídas pelo item 7.4.7.5 da ABNT NBR 6118:2014, respeitado um cobrimento nominal ≥ 15 mm.

2.3.1.5 Altura útil (d)

A altura útil d , distância entre o centro de gravidade da armadura tracionada e a face comprimida da seção, depende principalmente do cobrimento da armadura. Como na Figura 24, em geral, a altura útil é dada pela relação:

$$d = h - c - \frac{\phi_t}{2} \quad \text{Eq.(25)}$$

Figura 24 - Altura útil d , supondo armadura de flexão positiva



Fonte: Bastos (2015)

2.3.1.5.1 Pré-dimensionamento da altura da laje

Para o cálculo das lajes é necessário estimar inicialmente a sua altura. Existem vários e diferentes processos para essa estimativa, sendo um deles dado pela equação:

$$d \cong (2,5 - 0,1 n)\ell^* \quad \text{Eq.(26)}$$

Sendo n = o número de bordas engastadas da laje

$$\ell^* \leq \begin{cases} \ell_x \\ 0,7 \ell_y \end{cases} \quad \text{Eq.(27)}$$

Nesse sentido, ao valor encontrado para equação 25 deve ser adicionado o valor do cobrimento e o valor da metade do diâmetro da barra, conforme na equação 28. Visto que, tal valor é uma estimativa, realizada na obtenção de um primeiro valor para o início do dimensionamento, após as devidas verificações e caso haja necessidade ele pode ser alterado.

$$h = d + c + \frac{\phi_l}{2} \quad \text{Eq.(28)}$$

2.3.1.6 Momentos fletores

Os momentos fletores e as flechas nas lajes maciças armadas em duas direções podem ser dimensionados aplicando diferentes teorias, como a Teoria da Elasticidade e a Teoria das Charneiras Plásticas. No presente trabalho, como dito anteriormente, será abordado tal cálculo através das tabelas desenvolvidas por Bares e adaptadas para o coeficiente de Poisson $\nu = 0,20$.

Para determinação dos momentos máximos positivos, por unidade de comprimento, nas direções x e y , são utilizadas as equações:

$$m_x = \mu_x \cdot \frac{p \cdot l_x^2}{100} \quad \text{Eq.(29)}$$

$$m_y = \mu_y \cdot \frac{p \cdot l_x^2}{100} \quad \text{Eq.(30)}$$

Para determinação dos momentos máximos negativos, por unidade de comprimento, nas direções x e y, são utilizadas as equações:

$$x_x = \mu'_x \cdot \frac{p \cdot l_x^2}{100} \quad \text{Eq.(31)}$$

$$x_y = \mu'_y \cdot \frac{p \cdot l_x^2}{100} \quad \text{Eq.(32)}$$

No qual os coeficientes $\mu_x, \mu_y, \mu'_x, \mu'_y$ serão retirados das tabelas B2, B3, B4 e B5 do anexo B desse trabalho, em função do λ .

2.3.1.7 Dimensionamento da armadura

Conhecidos os momentos fletores, prossegue-se para a determinação das armaduras. Assim, esse dimensionamento é feito da mesma maneira das vigas, admitindo a largura da seção com uma faixa unitária de um metro ($b_w = 100$ cm). Obtendo, dessa forma, uma armadura por metro linear e, portanto, a armadura encontrada deve ser distribuída ao longo da largura.

Logo, é necessário o cálculo do K_{MD} e a verificação desse comparando com o máximo admitido pela norma vigente (6118:2014).

$$K_{MD} = \frac{M_d}{b_w \cdot d^2 \cdot f_{cd}} \quad \text{Eq.(33)}$$

Limite:

$$K_{MD,LIM} \rightarrow \text{Para concretos com } f_{ck} \leq 50\text{MPa} = 0,45$$

$$K_{MD,LIM} \rightarrow \text{Para concretos com } 50\text{MPa} < f_{ck} \leq 90\text{MPa} = 0,35$$

Com o valor do K_{MD} verificado, se obtém K_z e prossegue-se para o cálculo da área de aço. (Para o melhor entendimento vide anexo D).

$$A_s = \frac{M_d}{k_z \cdot d \cdot f_{yd}} \quad \text{Eq.(34)}$$

Sendo:

A_s – Área de aço (cm^2/m);

M_d – Momento fletor atuante de cálculo;

K_z – Expressão = $1 - 0,4K_x$ (vide anexo D, tabela D1)

d – Altura útil;

f_{yd} – Tensão de escoamento do aço

2.3.1.7.1 Armaduras mínimas

As armaduras devem respeitar os valores mínimos recomendados pela NBR 6118, indicados nas tabelas 14 e 15.

Tabela 14 - Valores mínimos para armaduras passivas aderentes
Resumida para elementos estruturais sem armaduras ativas

Armadura	Elementos estruturais sem armaduras ativas
Armaduras negativas	$\rho_s \geq \rho_{\min}$
Armaduras negativas de bordas sem continuidade	$\rho_s \geq 0,67 \rho_{\min}$
Armaduras positivas de lajes armadas nas duas direções	$\rho_s \geq 0,67 \rho_{\min}$
Armadura positiva (principal) de lajes armadas em uma direção	$\rho_s \geq \rho_{\min}$
Armadura positiva (secundária) de lajes armadas em uma direção	$A_s/s \geq 20\%$ da armadura principal $A_s/s \geq 0,9 \text{ cm}^2/\text{m}$ $\rho_s \geq 0,5 \rho_{\min}$

Fonte: ABNT: NBR 6118:2014

Onde: $\rho_s = A_s/b_w h$ e $\rho_p = A_p/b_w h$

NOTA: Os valores de ρ_{\min} são definidos em 17.3.5.2.1

Tabela 15 - Taxas mínimas (ρ_{\min} - %) de armadura de flexão para vigas e lajes.

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

Fonte: ABNT: NBR 6118:2014

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

2.3.1.7.2 Armaduras máximas

Sobre a armadura máxima, a ABNT: NBR 6118:2014 no item 17.3.5.2.4 diz que “a soma das armaduras de tração e de compressão ($A_s + A'_s$) não pode ter valor maior que 4 % A_c , calculada na região fora da zona de emendas.”

2.3.1.7.3 Diâmetro mínimo

A norma não especifica o diâmetro mínimo para a armadura negativa das lajes. No entanto, casualmente, o valor mínimo adotado é de 6,3 mm, a fim de evitar deformação da barra durante as atividades de execução da laje. Porém, barras de diâmetros maiores, como 8 mm e 10 mm, são mais indicadas para a armadura negativa, devido maior resistência a deformação durante a execução, além de levarem espaçamentos maiores. (BASTOS, 2015).

2.3.1.7.4 Diâmetro máximo

O diâmetro máximo estabelecido pela norma para armadura de flexão é igual $h/8$. (ABNT: NBR 6118:2014, 20.1)

2.3.1.7.5 Espaçamento mínimo

A norma não especifica valores para o espaçamento mínimo. Segundo Bastos, “a rigor, pode-se adotar o valor recomendado para as barras de uma mesma camada horizontal das armaduras longitudinais das vigas”. Mas, deve-se considerar também que o espaçamento mínimo deve ser aquele que não dificulte a execução do (a): amarração das barras, disposição

das barras, completo preenchimento da peça e total envolvimento das barras pelo concreto. Assim, na prática, adotam-se espaçamentos superiores a 7 cm entre as barras. (BASTOS, 2015).

2.3.1.7.6 Espaçamento máximo

O espaçamento máximo imposto pela norma é o seguinte:

$$S = \begin{cases} 2h \\ 20 \text{ cm} \end{cases} \quad \text{Eq.(35)}$$

Prevalecendo o menor desses dois valores na região dos maiores momentos fletores. (ABNT: NBR 6118:2014, 20.1)

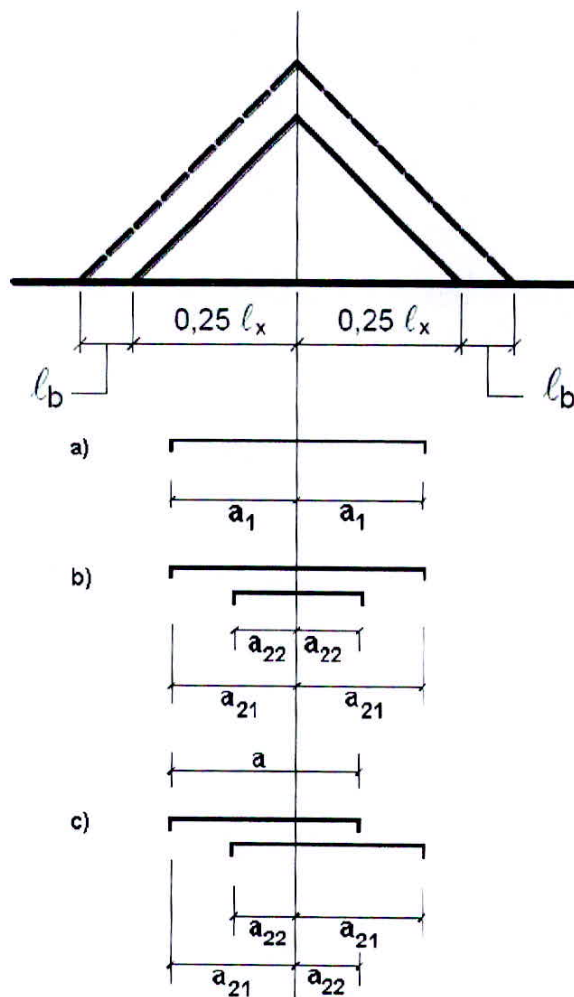
2.3.1.7.7 Comprimento da armadura negativa nos apoios com continuidade de lajes

A nova atualização da norma não especifica o tamanho a ser adotado para o comprimento das barras de armadura negativa. O critério utilizado será de acordo com a bibliografia, que determina, de forma aproximada, baseando no diagrama trapezoidal indicado na Figura 25, em que se adota para ℓ um dos valores: (PINHEIRO, MUZARDO E SANTOS, 2010; BASTOS, 2015).

- O maior entre os menores vãos das lajes adjacentes, quando ambas forem consideradas engastadas nesse apoio;
- O menor vão da laje admitida engastada, quando a outra for suposta simplesmente apoiada nesse vínculo.

Com base nesse procedimento aproximado, são possíveis três alternativas para os comprimentos das barras, indicadas nas figuras 25, nas letras a, b e c.

Figura 25 - Extensão da armadura negativa nos apoios com continuidade entre lajes.



Fonte: Bastos (2015)

- a) Um tipo de barra: Adota-se um comprimento a_1 para cada lado do apoio, sendo a_1 igual ao menor valor entre:

$$a_1 \geq \begin{cases} a_l + l_b \\ 0,25l_x + l_b \end{cases} \quad \text{Eq.(36)}$$

Sendo:

a_l – Deslocamento do diagrama, dado por $1,5d$; (NBR 6118, 19.4.1)

l_b – Comprimento de ancoragem com gancho;

\emptyset - Diâmetro da barra.

- b) Dois tipos de barras: Consideram-se dois comprimentos de barras, com a_{21} e a_{22} dados pelos maiores valores entre:

$$a_{21} \geq \begin{cases} \frac{0,25\ell_x + a_\ell}{2} + \ell_b \\ 0,25\ell_x + 10\emptyset \end{cases} \quad \text{Eq.(37)}$$

$$a_{22} \geq \begin{cases} a_\ell + \ell_b \\ \frac{0,25\ell_x + a_\ell}{2} + 10\emptyset \end{cases} \quad \text{Eq.(38)}$$

Onde ℓ_x é o maior vão entre os vãos menores das duas lajes:

$$\ell_x \geq \begin{cases} \ell_{x1} \\ \ell_{x2} \end{cases} \quad \text{Eq.(39)}$$

$$\ell_x \geq \begin{cases} \ell_{x1} \\ \ell_{x2} \end{cases}$$

- c) Barras alternadas de mesmo comprimento: São adotadas barras de mesmo comprimento, considerando na alternativa anterior as expressões que, em geral, conduzem aos maiores valores, são essas:

$$a_{21} = \frac{0,25\ell_x + a_\ell}{2} + \ell_b \quad \text{Eq.(40)}$$

$$a_{22} = \frac{0,25\ell_x + a_\ell}{2} + 10\emptyset \quad \text{Eq.(41)}$$

Também se consegue estimar o comprimento da barra, através da expressão 42, e posicioná-las pelas equações 43 e 44.

$$a = 0,375\ell_x + 2 \cdot \ell_b \quad \text{Eq.(42)}$$

$$a_{21} = \frac{2}{3} 0,375\ell_x + \ell_b \quad \text{Eq.(43)}$$

$$\text{Eq.(44)}$$

$$a_{22} = \frac{1}{3} 0,375 \ell_x + \ell_b$$

2.3.1.7.8 Comprimento da armadura positiva

Nas lajes armadas em uma ou duas direções, que tenha a armadura transversal dispensada segundo o item 19.4.1 da norma 6118, e quando não houver avaliação explícita dos acréscimos das armaduras decorrentes da presença dos momentos volventes nas lajes, toda a armadura positiva deve ser levada até os apoios e prolongada no mínimo 4 cm além do eixo teórico do apoio, não se permitindo escalonamento desta armadura. (ABNT: NBR 6118:2014, 20.1).

2.3.1.8 Reações de Apoio

A ação das lajes nas vigas de apoio, no estado elástico, ocorre por um carregamento não uniforme e com intensidade variável ao longo do comprimento, dependendo, principalmente, das condições de apoio e da relação entre os vãos. Sendo assim, diante de tais fatores, os esforços nas vigas torna-se de difícil resolução e o carregamento de complexa determinação. (CARVALHO, 2014).

Segundo Mazzilli (1988, apud CARVALHO, 2014), “não existem referências bibliográficas em que se encontre um modo prático de calcular essas reações de forma correta”. Porém, de modo simplificado, pode-se considerar que a ação das lajes maciças nas vigas seja empregada uniformemente. A ABNT: NBR 6118:2014, no item 14.7.6.1, prescreve que:

Para o cálculo das reações de apoio das lajes maciças retangulares com carga uniforme podem ser feitas as seguintes aproximações:

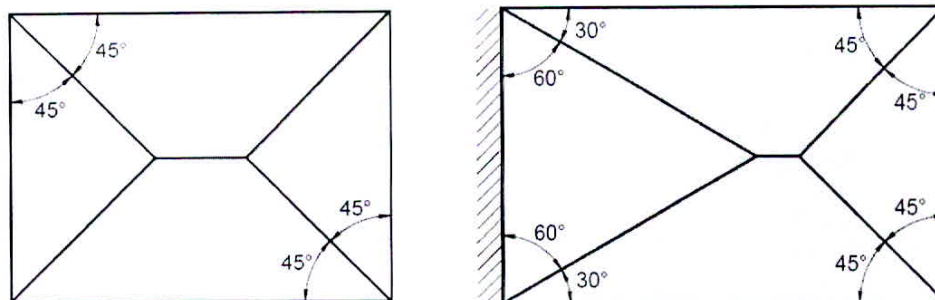
a) As reações em cada apoio são as correspondentes às cargas atuantes nos triângulos ou trapézios determinados através das charneiras plásticas correspondentes à análise efetivada com os critérios de 14.7.4, sendo que essas reações podem ser, de maneira aproximada, consideradas uniformemente distribuídas sobre os elementos estruturais que lhes servem de apoio;

b) Quando a análise plástica não for efetuada, as charneiras podem ser aproximadas por retas inclinadas, a partir dos vértices, com os seguintes ângulos:

- 45° entre dois apoios do mesmo tipo;
- 60° a partir do apoio considerado engastado, se o outro for considerado simplesmente apoiado;
- 90° a partir do apoio, quando a borda vizinha for livre.

A Figura 26 mostra o esquema prescrito pela norma, em que cada viga de apoio da laje receberá o carregamento que estiver nos triângulos ou trapézios a elas relacionadas. Admitindo-se que tal carregamento seja uniforme.

Figura 26 - Definição das áreas de influência de carga para cálculo das reações nas vigas



Fonte: Bastos (2015)

As reações são calculadas de duas maneiras distintas, sendo essas:

- Reações nas direções x e y nas vigas em bordas apoiadas (q_x , por exemplo, refere-se à viga perpendicular ao eixo x):

$$q_x = k_x \cdot p \cdot \frac{\ell_x}{10} \quad \text{Eq.(45)}$$

$$q_y = k_y \cdot p \cdot \frac{\ell_x}{10} \quad \text{Eq.(46)}$$

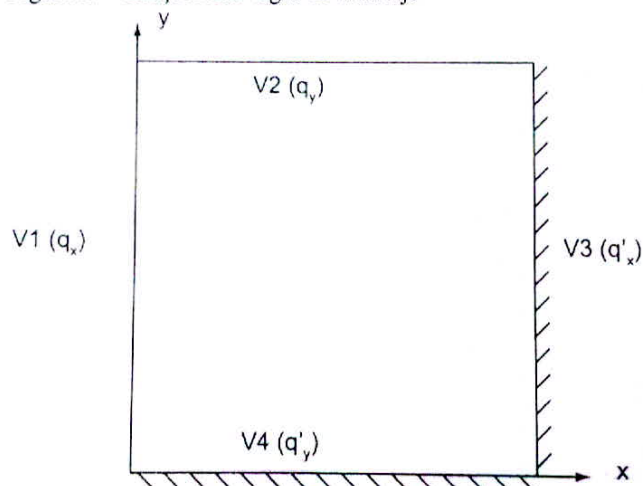
- Reações nas direções x e y nas vigas em bordas engastadas:

$$q'_x = k'_x \cdot p \cdot \frac{\ell_x}{10} \quad \text{Eq.(47)}$$

$$q'_y = k'_y \cdot p \cdot \frac{\ell_x}{10} \quad \text{Eq.(48)}$$

A figura 27 ilustra as reações nas vigas de uma laje de acordo com as condições de apoio.

Figura 27 - Reações nas vigas de uma laje



Fonte: Carvalho (2014)

No Anexo B, nas tabelas B6 a B8, estão apresentados os coeficientes que auxiliam o cálculo das reações de apoio para lajes com carregamento uniformemente distribuído.

2.3.1.9 Flechas

A NBR 6118 propõe que a verificação da flecha para laje maciça seja realizada da mesma maneira que se verifica uma viga de concreto armado. Assim, considera-se a existência de fissuras, o momento de inércia, a flecha imediata, a flecha diferida, a flecha total e, ainda, verifica-se o enquadramento de tais flechas nos valores limites.

Além disso, a referida norma discorre a respeito dos resultados aproximados encontrados por esses processos, uma vez que a deformação real depende também do processo construtivo e das propriedades dos materiais.

2.3.1.9.1 Verificação de fissuras

Durante a vida útil de uma estrutura ou durante sua construção pode ocorrer de a tração máxima superar o valor de resistência à tração do concreto. Logo, quando isso ocorre, a fibra mais tracionada de concreto se rompe e surge, assim, a primeira fissura, fazendo com que a

armadura passe a trabalhar de maneira mais efetiva na peça de concreto. Já em relação à distribuição de tensões na região comprimida, há a permanência linear.

Após a abertura da fissura, as verificações de deformações devem ser analisadas no estágio II, conforme o item 17.3.2.1 da ABNT: NBR 6118: 2014 prescreve:

O modelo de comportamento da estrutura pode admitir o concreto e o aço como materiais de comportamento elástico e linear, de modo que as seções ao longo do elemento estrutural possam ter as deformações específicas determinadas no estágio I, desde que os esforços não superem aqueles que dão início à fissuração, e no estágio II, em caso contrário.

2.3.1.9.2 Verificação do estágio da peça de concreto

Para o cálculo da flecha é necessário conhecer o estágio de cálculo da seção crítica considerada. Segundo a ABNT: NBR 6118: 2014 no item 17.3.1, “nos estados-limites de serviço às estruturas trabalham parcialmente no estágio I³ e parcialmente no estágio II⁴. A separação entre esses dois comportamentos é definida pelo momento de fissuração”.

Segundo tal norma, o momento de fissuração pode ser calculado, de forma aproximada, pela seguinte equação:

$$M_r = \frac{\alpha f_{ct} I_c}{y_t} \quad \text{Eq.(49)}$$

Sendo:

- $\alpha = 1,2$ para seções T ou duplo T;
- $\alpha = 1,3$ para seções I ou T invertido;
- $\alpha = 1,5$ para seções retangulares.

Onde:

- α é o fator que correlaciona aproximadamente a resistência à tração na flexão com a resistência à tração direta;
- y_t é a distância do centro de gravidade da seção à fibra mais tracionada;

³ Sob a ação de um momento fletor M_I de pequena intensidade, a tensão de tração no concreto não ultrapassa sua resistência característica a tração (f_{tk}).

⁴ Aumentado o valor do momento fletor para M_{II} , as tensões de tração na maioria dos pontos abaixo da linha neutra (LN) terão valores superiores ao da resistência característica do concreto a tração (f_{tk}).

- I_c é o momento de inércia da seção bruta de concreto;
- f_{ct} é a resistência à tração direta do concreto, com o quantil apropriado a cada verificação particular. Para determinação do momento de fissuração, deve ser usado o $f_{ctk,inf}$ no estado-limite de formação de fissuras e o $f_{ct,m}$ no estado-limite de deformação excessiva.

Na falta de ensaios para determinação da resistência à tração indireta (NBR 7222) e da resistência à tração na flexão (NBR 12142), o valor médio da resistência à tração direta ($f_{ct,m}$) pode ser avaliado em função da resistência característica do concreto à compressão (f_{ck}), por meio das expressões (ABNT: NBR 6118:2014, item 8.2.5):

$$f_{ctk,inf} = 0,7 f_{ct,m} \quad \text{Eq.(50)}$$

$$f_{ctk,sup} = 1,3 f_{ct,m} \quad \text{Eq.(51)}$$

- Para concretos de classes até C50:

$$f_{ct,m} = 0,3 f_{ck}^{2/3} \quad \text{Eq.(52)}$$

- Para concretos de classes C55 até C90:

$$f_{ct,m} = 2,12 \ln (1 + 0,11 f_{ck}) \quad \text{Eq.(53)}$$

Sendo:

Os valores de $f_{ct,m}$ e f_{ck} são expressos em MPa.

$f_{ckj} \geq 7$ MPa, e as equações 52 e 53 também podem ser usadas para idades diferentes de 28 dias.

2.3.1.9.3 Verificação da linha neutra

Quando o momento fletor solicitante de uma seção na laje é maior que o momento fletor de fissuração, a seção está no estágio II, ou seja, está fissurada. Neste caso, deve-se considerar o módulo de elasticidade secante (E_{cs}) e a posição da linha neutra deve ser calculada no estágio II.

Com o carregamento aumentando, as fissuras, que estão abertas, tendem a caminhar em direção à linha neutra da peça e as tensões de compressão no concreto deixam de apresentar uma distribuição linear. Assim, a fissuração influencia a rigidez, reduzindo-a. Visto que, a rigidez depende do grau de fissuração, que é um fenômeno progressivo, e dos momentos fletores, que também sofrem uma redistribuição na medida em que as fissuras se desenvolvem, a rigidez da peça é de difícil análise. (CAMACHO, 2005).

Adotando que todo o concreto da região tracionado está sendo desprezado, o esforço de tração resistido, somente pela armadura, tem-se o estágio II puro. Para o cálculo da posição (x) da linha neutra nesse estágio, é determinado igual à zero o momento estático da seção homogeneizada em relação à linha neutra. (CAMACHO, 2005).

O cálculo da posição (x) da linha neutra, para vigas de seção retangular, pode ser encontrado em Ghali e Favre (1986, apud, CAMACHO, 2005) pela equação abaixo.

$$\begin{aligned} X_{II}^2 + 2 \cdot \frac{\alpha_e \cdot A_s}{b} \cdot X_{II} - 2 \cdot \frac{\alpha_e \cdot A_s}{b} \cdot d &= 0 \\ X_{II}^2 + 2 \cdot \frac{\alpha_e \cdot A_s}{b} \cdot X_{II} - 2 \cdot \frac{\alpha_e \cdot A_s}{b} \cdot d &= 0 \end{aligned} \quad \text{Eq.(54)}$$

Sendo

$$\alpha_e = \frac{E_s}{E_{cs}} \quad \text{Eq.(55)}$$

Conhecido o X_{II} , o momento de inércia do estágio II puro pode ser obtido por:

$$I_{II} = \frac{b \cdot X_{II}^3}{3} + \alpha_e \cdot A_s \cdot (X_{II} - d)^2 \quad \text{Eq.(56)}$$

2.3.1.10 Flecha imediata

A flecha imediata, que não leva em conta os efeitos da fluência, ocorre quando é aplicado o primeiro carregamento na peça, e pode ser realizada considerando ou não a fissuração.

Nesse sentido, para verificar se há a necessidade de considerar a fissuração, é preciso analisar se o momento atuante (M_a) é maior que o momento de fissuração resistente da estrutura (M_r), conforme a equação 57. Caso o M_a seja maior, há fissuração e, por isso, é necessário fazer a inércia equivalente, devido à peça apresentar regiões fissuradas (estádio II), regiões entre fissuras (estádio I) e configurar uma situação intermediária entre os dois estádios. Logo, um procedimento mais coerente consiste em considerar tal grau de fissuração intermediário, entre o de peça não fissurada e o de peça completamente fissurada, no qual pode ser empregado a expressão de Branson, demonstrado na equação 58.

$$M_a > M_r \quad \text{Eq.(57)}$$

$$I_{(eq)} = \left(\frac{M_r}{M_a}\right)^3 \cdot I_c + \left[1 - \left(\frac{M_r}{M_a}\right)^3\right] \cdot I_{II} \quad \text{Eq.(58)}$$

Sendo:

I_c - Momento de inércia da seção bruta de concreto;

$$I_c = \frac{b \cdot h^3}{12} \quad \text{Eq.(59)}$$

I_{II} - Momento de inércia da seção fissurada de concreto no estágio II;

M_r - Momento de fissuração do elemento estrutural, cujo valor deve ser reduzido à metade no caso de utilização de barras lisas;

M_a - Momento fletor na seção crítica do vão considerado, ou seja, o momento máximo no vão para vigas biapoiadas ou contínuas e momento no apoio para balanços, para a combinação de ações considerada nessa avaliação.

E_{cs} - Módulo de elasticidade secante do concreto.

O módulo de elasticidade secante pode ser obtido pelo método de ensaio da NBR 8522 ou estimado pela expressão:

$$E_{CS} = \alpha_i \cdot E_{ci} \quad \text{Eq.(60)}$$

$$\alpha_i = 0,8 + 0,2 \frac{f_{ck}}{80} \leq 1,0 \quad \text{Eq.(61)}$$

Na falta de resultados de ensaios no item 8.2.8, a NBR 6118 permite estimar o valor do módulo de elasticidade inicial (E_{ci}) aos 28 dias segundo as expressões:

- Para f_{ck} de 20 a 50 Mpa:

$$E_{ci} = \alpha_e \cdot 5600 \sqrt{f_{ck}} \quad \text{Eq.(62)}$$

Sendo:

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

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

$\alpha_e = 0,9$ para calcário;

$\alpha_e = 0,7$ para arenito.

- Para f_{ck} de 55 a 90 Mpa:

$$E_{ci} = 21,5 \cdot 10^3 \alpha_e \left(\frac{f_{ck}}{10} + 1,25 \right)^{1/3} \quad \text{Eq.(63)}$$

Caso M_a seja menor que M_r , conclui-se que não há fissuras. Nesta situação, para o cálculo da flecha imediata, pode ser usado o momento de inércia da seção bruta de concreto (I_c). Admitindo-se comportamento elástico, que pode ser obtida por meio de tabelas, em função das condições de apoio e do tipo de carregamento, conforme a equação 64, que é uma simplificação da expressão 65.

$$\alpha_i = \frac{p \ell_x^4}{E \cdot h^3} \cdot \frac{\alpha}{100} \quad \text{Eq.(64)}$$

$$\text{Eq.(65)}$$

$$a_i = \frac{\alpha}{100} \cdot \frac{b}{12} \cdot \frac{p \ell_x^4}{E_c I}$$

Sendo:

α - Coeficiente tabelado, (tabela B1);

b - Largura da seção;

p - Valor do carregamento na laje considerando a combinação quase permanente;

E_c - Módulo de Elasticidade;

I - Momento de Inércias.

Onde, a combinação quase permanente representa (ABNT: NBR 6118:2014 tabela 11.4):

$$F_{d,ser} = F_{gk} + \Psi_2 \cdot F_{qk} \quad \text{Eq.(66)}$$

$F_{d,ser}$ - É o valor de cálculo das ações para combinações de serviço;

F_{qjk} - É o valor característico das ações variáveis principais diretas;

Ψ_2 - É o fator de redução de combinações quase permanente para ELS (Anexo C).

2.3.1.11 Flecha diferida no tempo (fluência)

A flecha diferida é, segundo a ABNT: NBR 6118:2014, “a flecha adicional diferida (α_f), decorrente das cargas de longa duração em função da fluência, pode ser calculada de maneira aproximada pela multiplicação da flecha imediata pelo fator α_f dado pela expressão”:

$$\alpha_f = \frac{\Delta \xi}{1 + 50 \cdot \rho'} \quad \text{Eq.(67)}$$

Onde:

$$\rho' = \frac{A'_s}{b \cdot d} \quad \text{Eq.(68)}$$

A'_s - Área da armadura comprimida, se existir;

b - Largura da seção transversal;

d - Altura útil;

ξ - Coeficiente função do tempo, que pode ser obtido diretamente na Tabela 16 ou ser calculado pelas expressões seguintes:

$$\Delta\xi = \xi(t) - \xi(t_0) \quad \text{Eq.(69)}$$

$$\xi(t) = 0,68 (0,996^t) t^{0,32} \text{ para } t \leq 70 \text{ meses} \quad \text{Eq.(70)}$$

$$\xi(t) = 2 \text{ para } t > 70 \text{ meses} \quad \text{Eq.(71)}$$

Tabela 16 - Valores do coeficiente ξ em função do tempo

Tempo (t) meses	0	0,5	1	2	3	4	5	10	20	40	≥ 70
Coeficiente ξ (t)	0	0,54	0,68	0,84	0,95	1,04	1,12	1,36	1,64	1,89	2

Fonte: ABNT NBR 6118:2014.

Onde,

t - Tempo, em meses, quando se deseja o valor da flecha diferida;

t_0 - Idade, em meses, relativa à data de aplicação da carga de longa duração.

O valor da flecha total deve ser obtido por:

$$a_f = (1 + \alpha_f) \cdot a_i \quad \text{Eq.(72)}$$

2.3.1.12 Flechas máximas admitidas

As flechas máximas ou deslocamentos-limites, como são definidos pela ABNT: NBR 6118:2014 no item 13.3, “são valores práticos utilizados para verificação em serviço do estado-limite de deformações excessivas da estrutura”. E a norma citada também classifica esses limites em quatro grupos básicos, sendo esses:

- a) Aceitabilidade sensorial: o limite é caracterizado por vibrações indesejáveis ou efeito visual desagradável. A limitação da flecha para prevenir essas vibrações, em situações especiais de utilização, deve ser realizada como estabelecido na no item 23 da NBR 6118;
- b) Efeitos específicos: os deslocamentos podem impedir a utilização adequada da construção;
- c) Efeitos em elementos não estruturais: deslocamentos estruturais podem ocasionar o mau funcionamento de elementos que, apesar de não fazerem parte da estrutura, estão a ela ligados;
- d) Efeitos em elementos estruturais: os deslocamentos podem afetar o comportamento do elemento estrutural, provocando afastamento em relação às hipóteses de cálculo adotadas. Se os deslocamentos forem relevantes para o elemento considerado, seus efeitos sobre as tensões ou sobre a estabilidade da estrutura devem ser considerados, incorporando-as ao modelo estrutural adotado.

Os valores-limites de deslocamentos que visam proporcionar um adequado comportamento da estrutura em serviço estão apresentados na tabela 17. Essa foi resumida para o uso em lajes, mas pode ser encontrada completa na tabela 13.3 da ABNT: NBR 6118:2014.

Tabela 17 - Tabelas de deslocamentos limites - resumida para o uso em lajes.

Tipo de efeito	Razão da limitação	Exemplo	Deslocamento a considerar	Deslocamento-limite
Aceitabilidade sensorial	Visual	Deslocamento visível em elementos estruturais	Total	1/250
	Outro	Vibrações sentidas no piso	Devido a cargas acidentais	1/350
Efeitos estruturais em serviço	Pavimentos que devem permanecer planos	Ginásios e pistas de boliche	Total	1/350+ contra flecha ^a
			Ocorrido após a construção do piso	1/600

Fonte: ABNT NBR 6118:2014

a - Os deslocamentos podem ser parcialmente compensados pela especificação de contraflechas. Entretanto, a atuação isolada da contraflecha não pode ocasionar um desvio do plano maior que 1/350.

2.3.1.13 Verificação do cisalhamento

Segundo Pinheiro, Muzardo e Santos (2010), “as forças cortantes, em geral, são satisfatoriamente resistidas pelo concreto, dispensando o emprego de armadura transversal”. Sobre o assunto, Carvalho (2014) diz que “as lajes conseguem mobilizar um esquema de resistência ao esforço cortante fazendo com que seu efeito não seja crítico, [...] e armaduras transversais só são necessárias em situações especiais”.

As recomendações da NBR 6118:2014 encontram-se no item 19.4, no qual duas situações são previstas: lajes sem armadura para força cortante e lajes com armadura para força cortante. Nesse sentido, será apresentado o primeiro caso, pois, segundo a bibliografia, é o caso mais frequente.

2.3.1.13.1 Laje sem armadura para força cortante

A ABNT: NBR 6118:2014 prescreve no item 19.4.1 a seguinte recomendação: “as lajes maciças ou nervuradas, podem prescindir de armadura transversal para resistir às forças de tração oriundas da força cortante, quando a força cortante de cálculo, a uma distância d da face do apoio, obedecer à expressão”:

$$V_{Sd} \leq V_{Rd1} \quad \text{Eq.(73)}$$

Onde V_{Sd} é a força cortante de cálculo e a força cortante máxima V_{Rd1} é:

$$V_{Rd1} = [\tau_{Rd} \cdot k (1,2 + 40\rho_1) + 0,15 \sigma_{cp}] b_w \cdot d \quad \text{Eq.(74)}$$

Onde:

$$\sigma_{cp} = \frac{N_{Sd}}{A_c} \quad \text{Eq.(75)}$$

N_{Sd} – Força longitudinal na seção devida à protensão ou carregamento (compressão com sinal positivo).

τ_{Rd} – É a tensão resistente de cálculo do concreto ao cisalhamento;

$$\tau_{Rd} = 0,25 f_{ctd} \quad \text{Eq.(76)}$$

$$f_{ctd} = \frac{f_{ctk,inf}}{\gamma_c} \quad \text{Eq.(77)}$$

$$\rho_1 = \frac{A_{s1}}{b_w \cdot d}, \text{ não maior que } |0,02| \quad \text{Eq.(78)}$$

A_{s1} – Área da armadura de tração que se estende até não menos que $d + \ell_{b,nec}$ além da seção considerada, com $\ell_{b,nec}$ definido no item 9.4.2.5 da ABNT: NBR 6118:2014;

k – Coeficiente que tem os seguintes valores:

- Para elementos no qual 50 % da armadura inferior não chegam até o apoio $k = |1|$;
- Para os demais casos: $k = |1,6 - d|$, não menor que $|1|$, com d em metros.

2.3.1.13.2 Verificação da biela de compressão

Segundo Carvalho (2014), “a verificação da compressão diagonal do concreto (bielas comprimida), em elementos sem armadura de cisalhamento, é feito comparando-se a força cortante solicitante de cálculo V_{Sd} com a resistência de cálculo V_{Rd2} , dada por”:

$$V_{Sd} \leq V_{Rd2} \quad \text{Eq.(79)}$$

Sendo:

V_{Sd} - É a força cortante solicitante de cálculo;

V_{Rd2} - É a força cortante resistente de cálculo, relativa à ruína da biela; no modelo I (item 17.4.2.2 da NBR 6118:2014).

$$\text{Eq.(80)}$$

$$V_{Rd2} = 0,27 \cdot \alpha_{V2} \cdot f_{cd} \cdot b_w \cdot d$$

$$\alpha_{V2} = \left(1 - \frac{f_{ck}}{250}\right), f_{ck} \text{ em MPa} \quad \text{Eq.(81)}$$

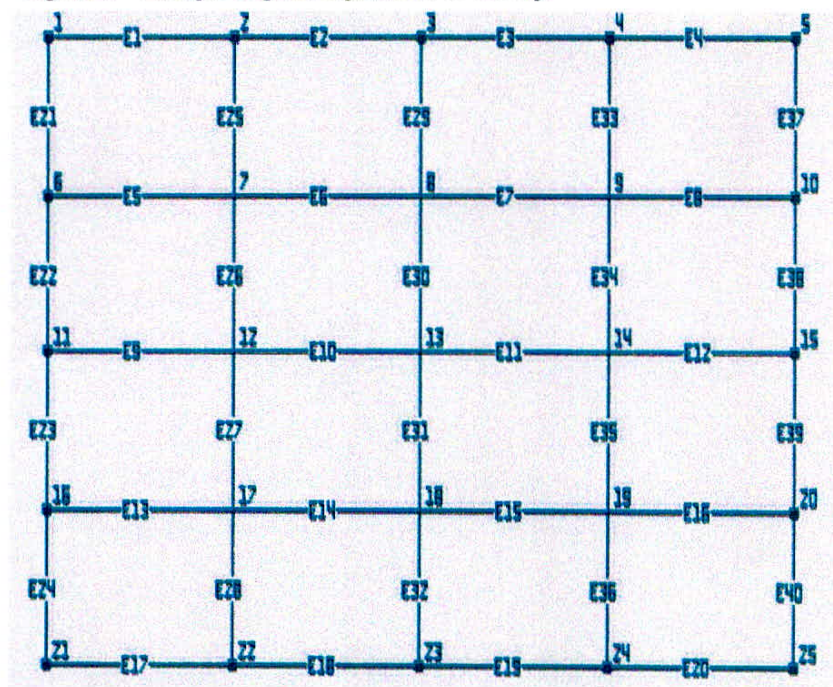
2.3.2 Método de grelha equivalente

O método de grelha equivalente teve início com Marcus e tem como ideia principal a substituição da laje por uma malha equivalente de vigas. Segundo Mello (2005),

“as cargas podem se dividir entre os elementos da grelha equivalente, de acordo com a área de influência de cada elemento ou, segundo critérios em Carvalho (1994), podem ser consideradas uniformemente distribuídas ao longo dos elementos, ou mesmo, dentro de certa aproximação, concentradas nos nós.”

Para análise de um pavimento através desse método, é necessário à divisão das lajes em um número adequado de faixas. Considerando que, como as vigas, as faixas também sejam substituídas por elementos estruturais de barras em seus eixos, obtendo-se uma grelha equivalente, exemplificada na figura 28. (SILVA, 2003).

Figura 28 – Exemplo de grelha equivalente de uma laje



Fonte: Silva (2003)

Quanto ao carregamento, esses são considerados atuantes nas barras da grelha equivalente de acordo com a área de influência de cada uma. Sendo que, tal carregamento pode ser concentradas nos nós ou uniformemente distribuídas ao longo das barras. (SILVA, 2003).

As características geométricas das barras são de dois tipos: as do elemento placa (laje) e as do elemento viga-placa (viga-laje). Para o cálculo referente à inércia à flexão do primeiro, é considerada uma faixa de largura b , que é dada pela metade dos espaços entre os elementos vizinhos, e altura h , que é representada pela espessura da placa. (Carvalho e Figueiredo Filho, 2014). Para se avaliar a rigidez à torção (I_t), no estágio I, segundo Hambly (1976, SILVA, 2003), é utilizado o dobro da rigidez à flexão (I_f). Assim, para um elemento de placa, pode-se escrever:

$$I_f = \frac{b \cdot h^3}{12} \quad \text{Eq.(82)}$$

$$I_t = 2 \cdot I_f = \frac{b \cdot h^3}{6} \quad \text{Eq.(83)}$$

Segundo Carvalho e Figueiredo Filho (2014),

“o elemento viga-placa, na flexão, pode-se considerar uma parte da placa trabalhando como mesa da viga, configurando então, dependendo da posição, uma viga de seção T ou meio T. Uma vez determinada a largura colaborante, a inércia à flexão da seção resultante pode ser calculada supondo a peça trabalhando tanto no estágio I como no II.”

A inércia à torção do elemento viga no estágio I, de maneira simplificada, admitindo a viga como retangular e desprezando a contribuição da laje adjacente, é dada pela expressão:

$$I_t = \frac{h \cdot b^3}{3} \quad \text{Eq.(84)}$$

Já no estágio II, conforme indica Carvalho (1994), pode-se considerar o valor da inércia à torção do elemento viga como sendo 10% daquele dado pela Resistência dos Materiais. Assim:

$$I_t = \frac{h \cdot b^3}{30} \quad \text{Eq.(85)}$$

E, a partir das recomendações da ABNT: NBR 6118:2014, é possível a determinação dos valores do módulo de deformação longitudinal à compressão do concreto (E_c), do módulo de deformação transversal do concreto (G_c), e do coeficiente de Poisson (ν).

Para a determinação dos esforços e deslocamentos, através dos métodos de grelhas equivalentes, será empregado o software Programa Grelha desenvolvido por Andrew J.R. Cass em sua defesa de mestrado pela UFSCar.

2.3.2.1 Análise técnica da ferramenta Programa Grelha

Trata-se de um programa com pré-processador gráfico que permite a análise de grelhas por barras, desenvolvido pelo engenheiro Andrew J. R. Cass e pelo professor Roberto Chust de Carvalho, visando seu emprego no cálculo de estruturas de pavimentos de concreto.

O programa foi desenvolvido usando um sistema “RAD” (Rapid Application Development), neste caso, o “Lazarus Free Pascal⁵”, que é um software livre, e usando as técnicas de programação orientada a objetos (POO). Segundo os desenvolvedores, o software foi criado em caráter livre para que outros usuários programadores possam contribuir para implementações e melhorias do mesmo. Neste trabalho utilizou-se a versão 1.4.5.

2.3.2.2 Procedimento para análise na ferramenta computacional

Ao iniciar o Programa Grelha é iniciado o processador gráfico, como mostrado na figura 29. Esse é composto por sete abas laterais, são elas:

1. Dados Iniciais;
2. Linhas de Construção;
3. Pilares;
4. Vigas;
5. Lajes;
6. Cálculos e malha;

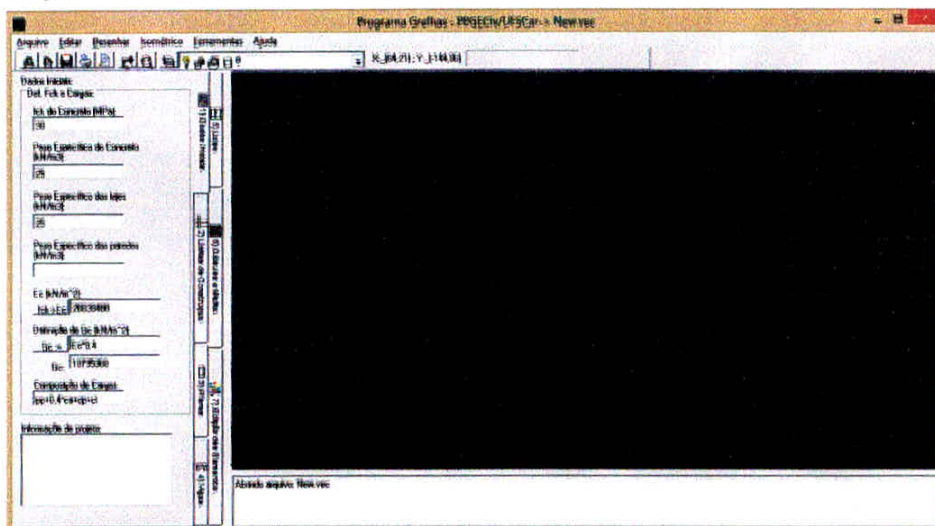
⁵ O Lazarus Free Pascal é uma IDE (Integrated Development Environment) - Ambiente Integrado de Desenvolvimento -, é um programa de computador que reúne ferramentas de apoio ao desenvolvimento de software que tem como objetivo o de agilizar o processo de desenvolvimento.

7. Edição dos elementos.

Para obtenção dos resultados, são necessários os preenchimentos das seis primeiras abas. A seguir será demonstrado o roteiro utilizado para análise, outras informações também podem ser encontradas no tutorial⁶, criado pelo desenvolvedor Andrew.

- 1) Tela inicial: Nessa tela são preenchidos os dados iniciais: sendo esses o fck do concreto, o peso próprio do concreto e da laje, o módulo de elasticidade, o módulo de elasticidade transversal e a composição de cargas, essa última podendo ser alterada, portanto permitindo várias combinações.

Figura 29 - Tela inicial

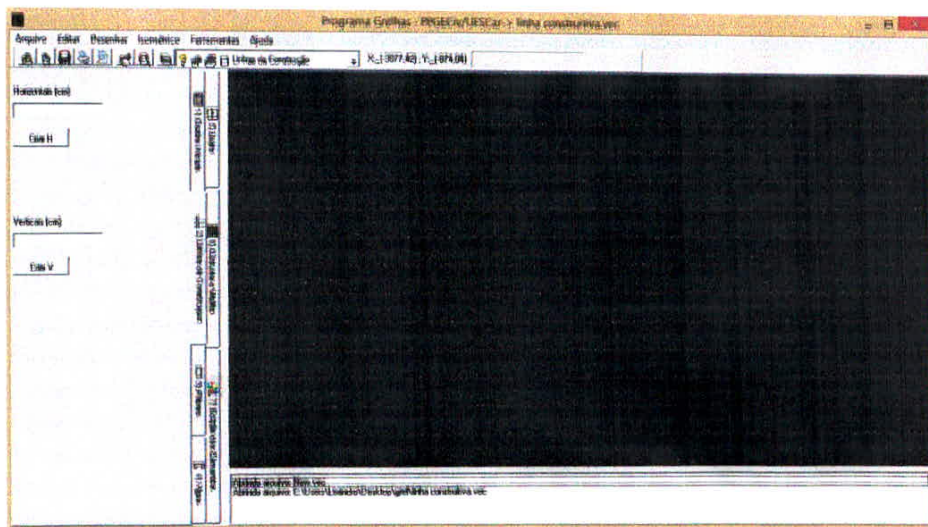


Fonte: Cass e Carvalho (2015)

- 2) Na segunda etapa são criadas as linhas construtivas para auxiliarem na construção do desenho.

Figura 30 - Linhas construtivas

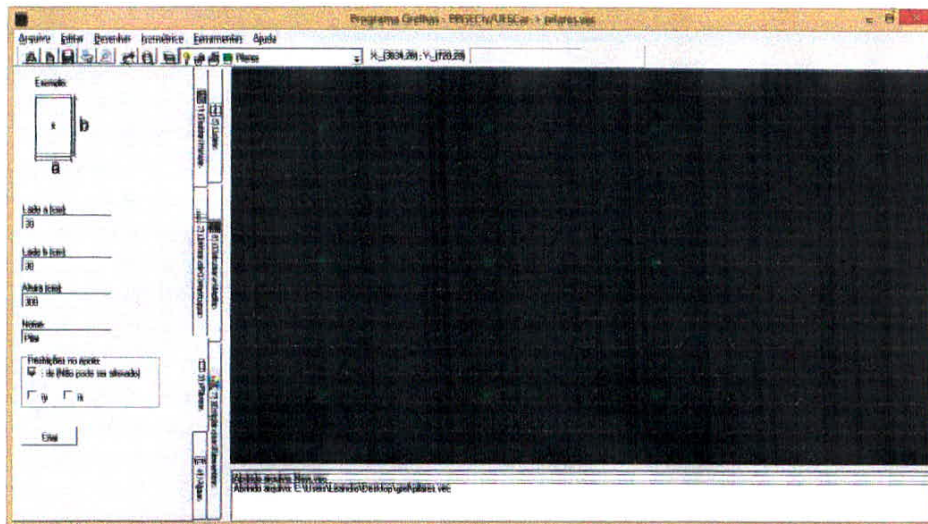
⁶ Tutorial pode ser encontrado no link: <https://www.youtube.com/watch?v=MH5gTZaiYN8>



Fonte: Cass e Carvalho (2015)

- 3) Nessa aba são lançados os pilares, tendo que informar suas dimensões quanto aos lados e a altura, e também sendo necessário preencher a restrição do apoio. Pode-se também nomear o pilar.

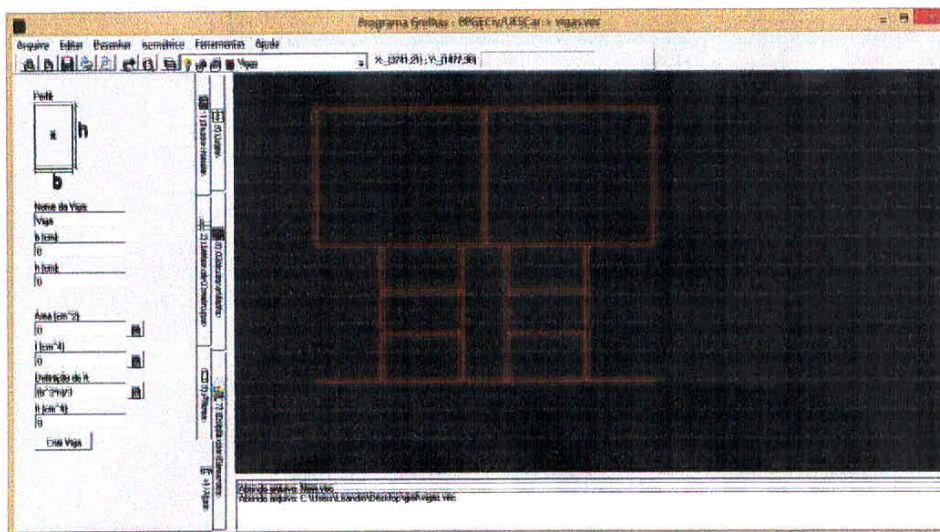
Figura 31 - Lançamento dos pilares



Fonte: Cass e Carvalho (2015)

- 4) Vigas: São lançadas as vigas, podendo nomeá-las e sendo necessário o preenchimento dos valores da base e da altura da viga, nessa aba consegue-se calcular a área, inércia e a torção do elemento.

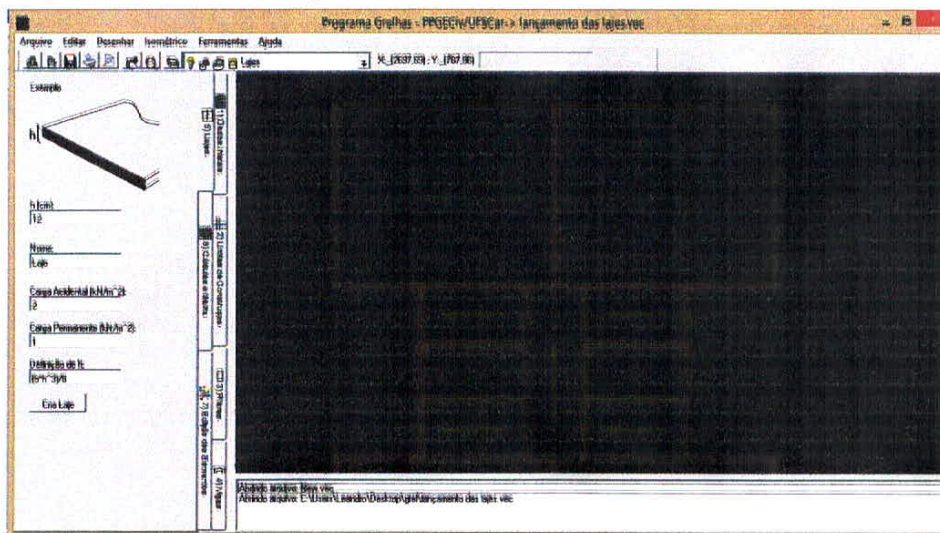
Figura 32 - Lançamento das vigas



Fonte: Cass e Carvalho (2015)

- 5) A quinta aba é a da laje, nessa é realizada o lançamento da laje, podendo nomeá-la, e sendo preenchidos a altura, o valor da carga acidental e o valor da carga permanente (excluindo o peso próprio, pois o mesmo já calcula).

Figura 33 - Lançamento das lajes



Fonte: Cass e Carvalho (2015)

- 6) Cálculos e malhas: Nessa etapa, pode-se dizer que é a mais importante, pois é nessa parte em são geradas as malhas: principal e deformada. Sendo também a aba em que se determinam os espaçamentos da malha principal, que se lança a carga local e que são gerados os diagramas de momento fletor, momento torçor, força cortante e de deslocamento.

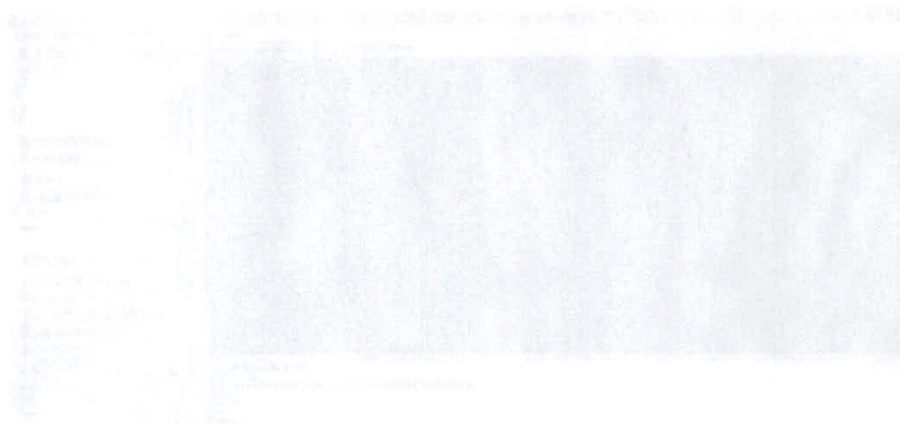
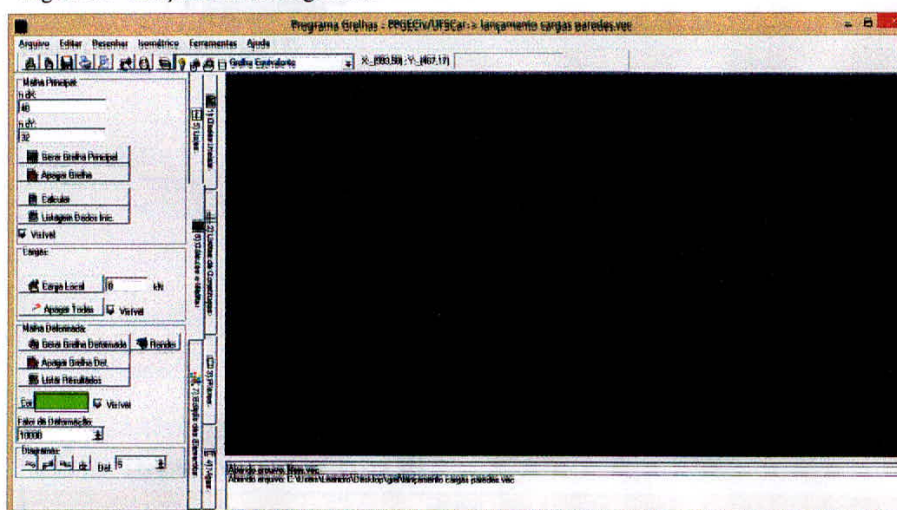
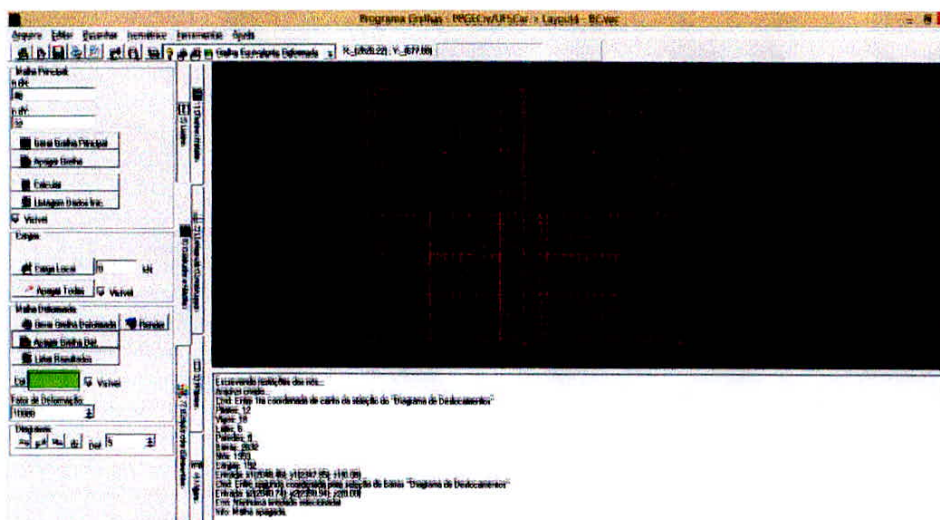


Figura 34 - Lançamento da carga local



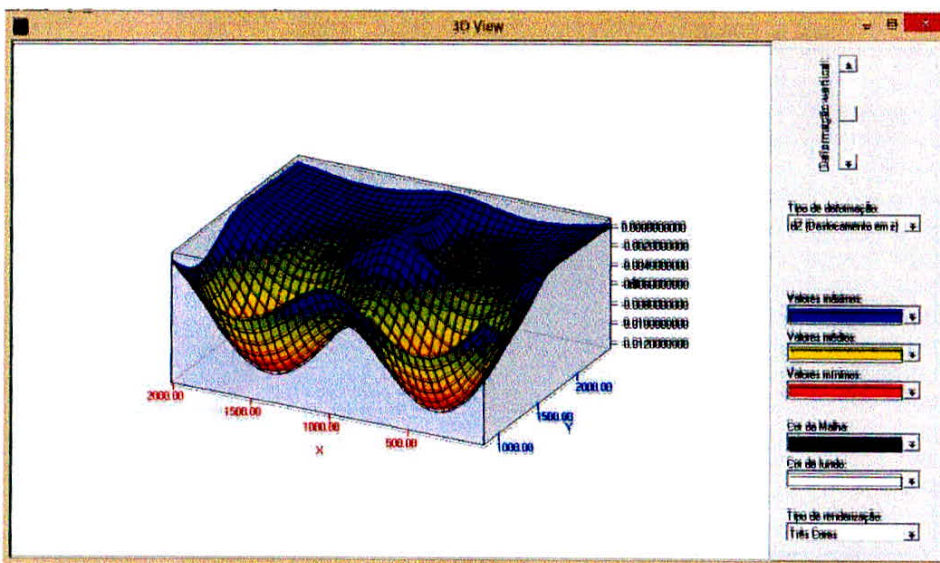
Fonte: Cass e Carvalho (2015)

Figura 35 - Malha principal



Fonte: Cass e Carvalho (2015)

Figura 36 - Diagrama de deformação em 3D

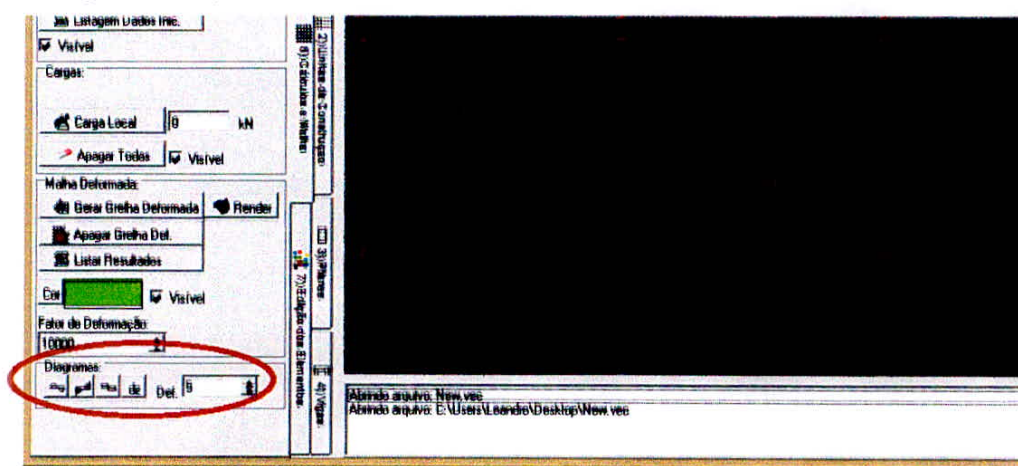


Fonte: Cass e Carvalho (2015)

- 7) A última aba pertence à edição dos elementos, caso seja necessário alterar alguma informação do elemento lançado, é preciso selecioná-lo. Logo, no canto esquerdo, irão aparecer as informações desse, caso seja necessário alterar, basta apenas preencher com o novo dado e marcar a opção grava.

Após o término do roteiro, é possível retirar os valores dos momentos atuantes e da deformação, por meio dos diagramas, que são encontrados no canto inferior esquerdo da sexta aba, como demonstrado na figura abaixo.

Figura 37 - Diagramas



Fonte: Cass e Carvalho (2015)

3. MATERIAIS E MÉTODOS

Nos tópicos a seguir serão apresentados os parâmetros e métodos que serão utilizados para calcular, comparar e analisar os resultados obtidos com os valores propostos pela norma regulamentadora.

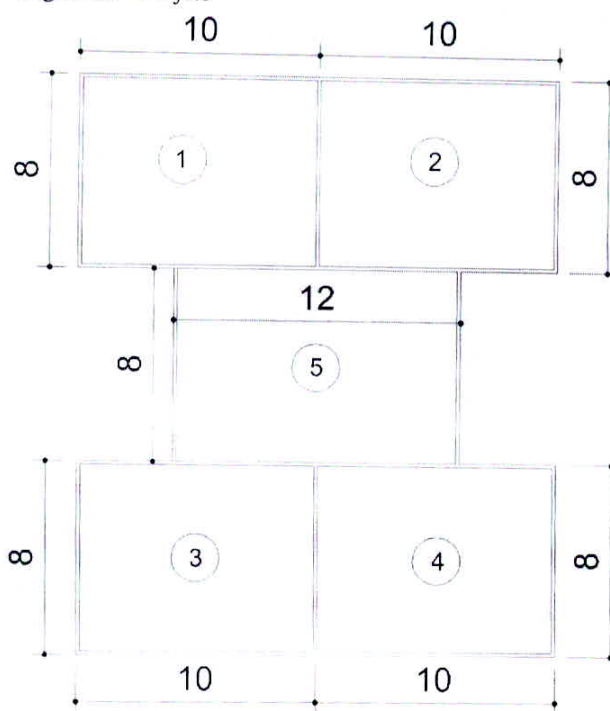
3.1 Projeto proposto

Para realização do trabalho, foi necessária a elaboração de um projeto para análise das cargas oriundas das divisórias.

O projeto elaborado (figura 38) possui 416m², distribuídos em cinco lajes. Sendo que, as quatro lajes que serão estudadas possuem 80m² e a quinta 96m². As quatro lajes foram elaboradas com diferentes layouts, para se analisar diferentes comprimentos de paredes que

serão executados de distintos materiais. A laje restante é a única na qual as localizações das paredes divisórias devem ser pré-determinadas, pois essa recebe as estruturas hidráulicas para o banheiro e cozinha. E também, irá receber os acessos como: corredor, escada e elevador.

Figura 38 – Projeto



Fonte: Autor

3.2 Características das lajes

Para determinação da carga atuante em cada laje foi pré-determinado a desconsideração do uso da carga de peso próprio da laje, da carga referente à argamassa e do revestimento (do chão e do teto) utilizado.

A laje 5 não entrará na análise, pois essa é uma laje padrão que não possui alteração de material nem layout, logo, serão analisados somente as quatro primeiras lajes. Utilizando-se, assim, os seguintes parâmetros:

Os materiais a serem usados para confecções das paredes divisórias:

- Bloco sílico-calcário vazado da família de 20cm;
- Bloco de concreto celular autoclavado, com dimensões de 10x30x60cm;

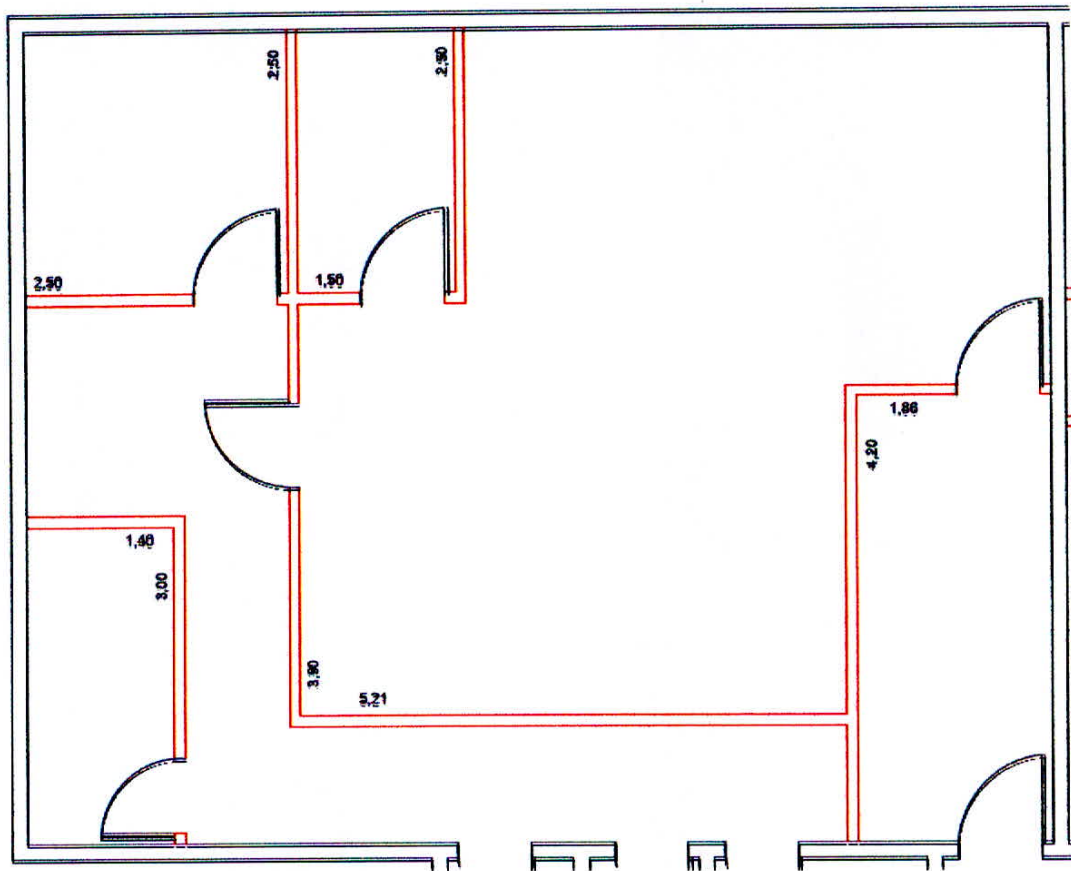
- Drywall do modelo W111-120/90 da empresa Kanuf, com espessura total de 12,0cm, com largura dos montantes de 9,0cm e espaçados a cada 60cm. As placas de gesso acartonado utilizadas do tipo ST (standard) de 12,5mm;
- Bloco cerâmico com furos na vertical, com dimensão de 9x19x19cm.

Dessa forma, com a análise de quatro materiais diferentes em cada laje, adotou-se um revestimento para cada material:

- Para o Bloco sílico-calcário, por ter um ótimo acabamento superficial, será utilizada uma camada de revestimento de 1,0cm de argamassa de gesso, de cada lado, com peso específico aparente de 12,5KN/m³;
- O Bloco de concreto celular autoclavado terá como camada de revestimento 1,0cm de argamassa de gesso, com peso específico aparente de 12,5KN/m³.
- Na parede divisória que será utilizado o sistema Drywall, não se aplicará nenhuma camada de revestimento.
- Para o Bloco cerâmico com furos na vertical, será utilizado como camada de revestimento de 2,0cm de reboco, de cada lado, com argamassa de peso específico aparente de 21KN/m³.

O layout 1 (figura 39) possui 80m² de área e paredes divisórias internas apresentando 2,80m de altura, que estendem do vão da face superior da laje inferior até a face inferior da laje superior.

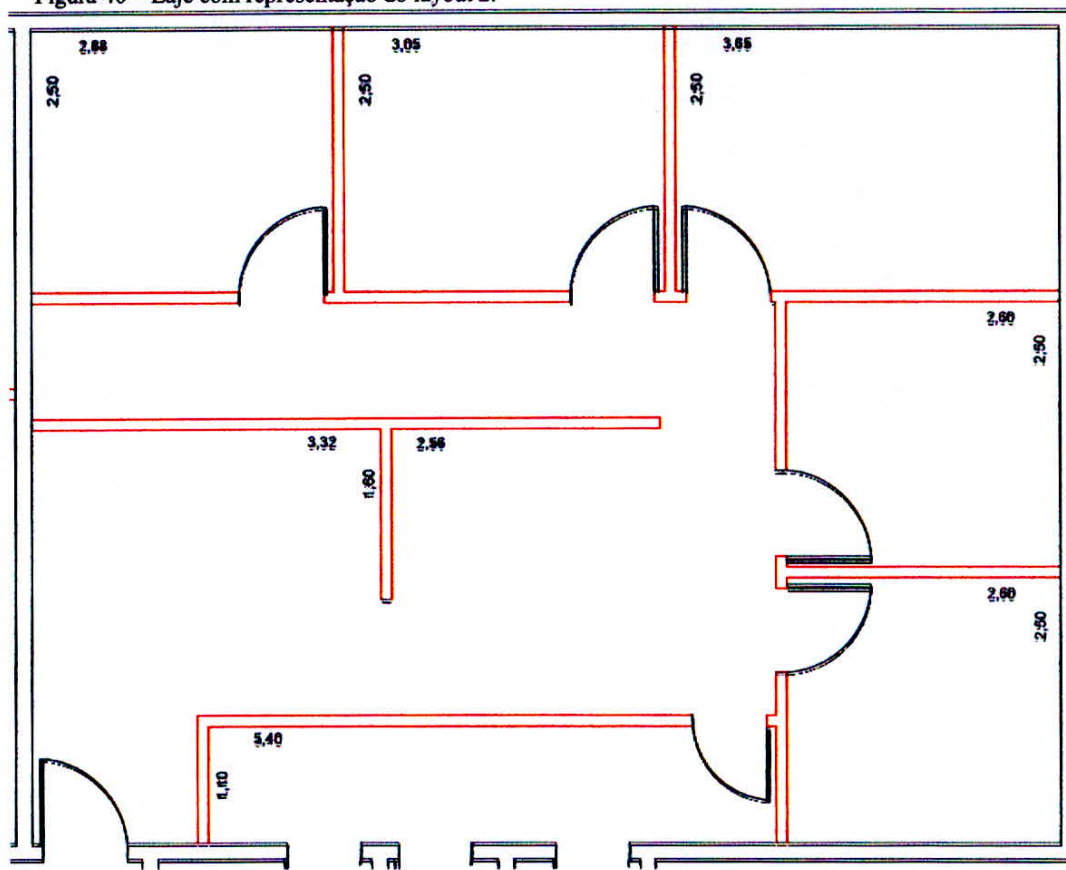
Figura 39 – Laje com representação do layout 1.



Fonte: Autor

A laje com o layout 2 (figura 40) também possui 80m² de área e paredes divisórias internas, cujas alturas estendem-se do vão da face superior da laje inferior até a face inferior da laje superior e medem 2,80m.

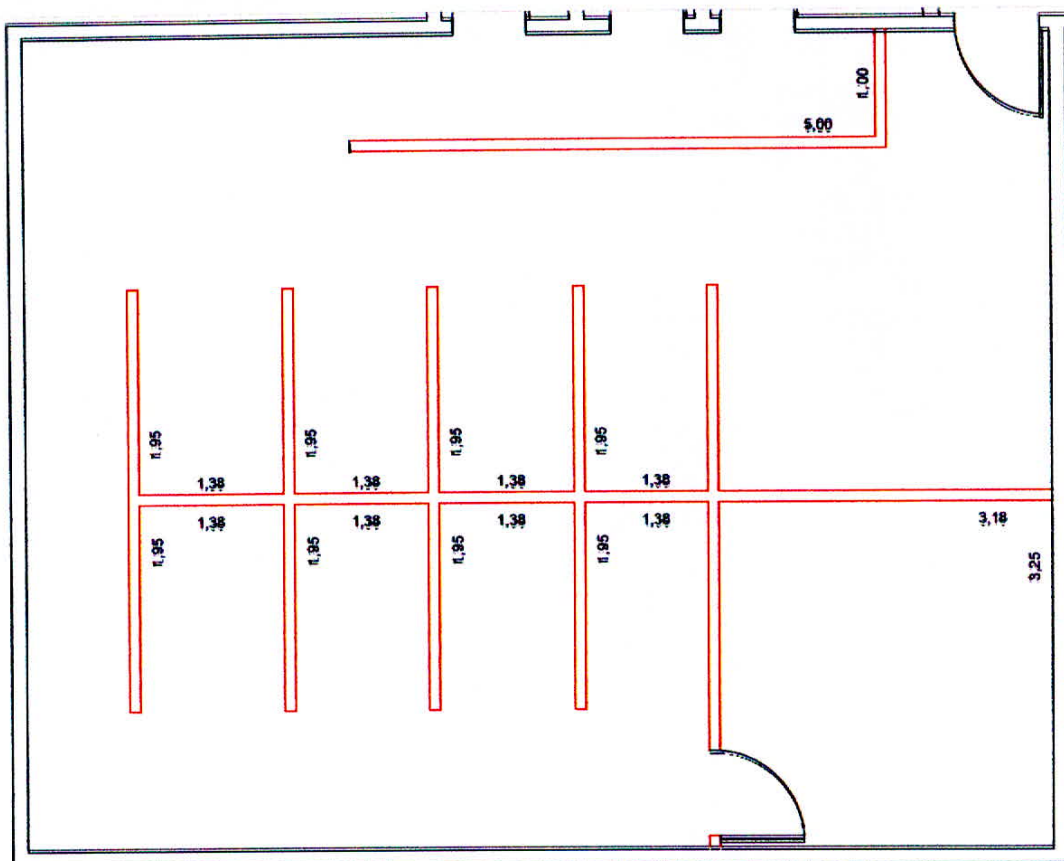
Figura 40 – Laje com representação do layout 2.



Fonte: Autor

O layout 3 (figura 41) possui uma área de 80m² e paredes divisórias internas com altura de 1,80m .

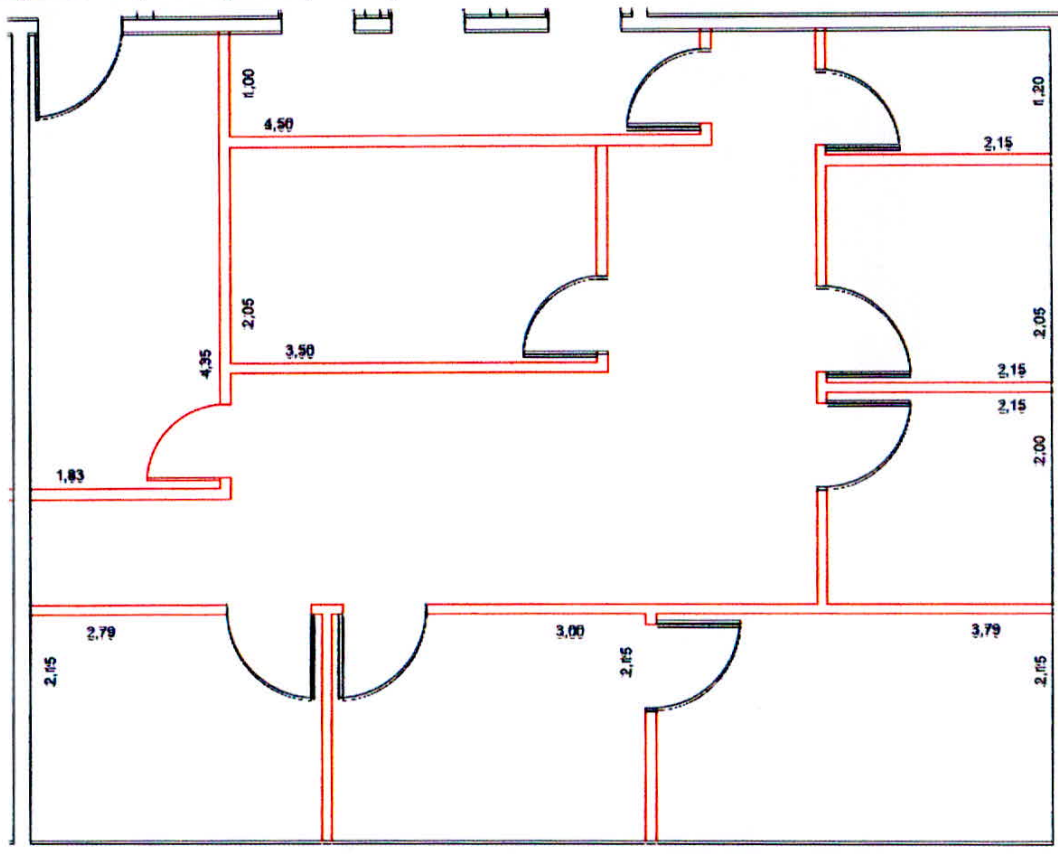
Figura 41 – Laje com representação do layout 3.



Fonte: Autor

O ultimo layout, sendo esse o layout 4 (figura 42) tem uma área total de 80m² e paredes divisórias internas, cujas alturas estendem-se do vão da face superior da laje inferior até a face inferior da laje superior e medem 2,80m.

Figura 42 – Laje com representação do layout 4.



Fonte: Autor

3.3 Quantitativo de parede

Depois de definido todas as especificações das lajes, foi necessário realizar o levantamento de metro linear de divisória de cada laje. O resultado encontrado está expresso na tabela 18.

Tabela 18 – Metro linear de divisória por laje

Lajes	Metro linear de divisória (m)
Laje 1	28,57
Laje 2	36,16
Laje 3	35,5
Laje 4	40,66

Fonte: Autor

3.4 Cargas atuantes nas lajes

Para determinação das cargas oriundas das divisórias, é preciso saber as dimensões dessas e em qual material ocorrerá à execução. Assim, como todas as informações já estão determinadas, há a possibilidade de se calcular as cargas.

O cálculo a ser feito deve seguir a equação 86.

$$P = \frac{(e_r \cdot \gamma + e_d \cdot \gamma) \cdot L \cdot h}{A} \quad \text{Eq.(86)}$$

Onde:

P – Carga atuante (kN/m²)

e_r – Espessura do revestimento (m)

γ – Peso específico (kN/m³)

e_d – Espessura da divisória (m)

L – Comprimento (m)

A – Área da laje (m²)

h – Altura da parede (m)

A fim de facilitar a visualização, foi elaborada uma tabela (tabela 19) com o resumo das informações a serem usadas para o cálculo da carga em cada laje.

Tabela 19 - Resumo das informações dos materiais das divisórias

Layout	Material utilizado	Dimensões (espessura x altura x comprimento)	γ (kN/m ³)	e _r (m)	γ _{reboco} (kN/m ³)	h (m)	Metro linear de divisória (m)
Layout 1	Bloco sílico-calcário	9x19x39cm	20	0,02	12,5	2,80	28,57
	Bloco de concreto celular autoclavado	10x30x60cm	5,8	0,02	12,5		
	Placa de gesso acartonado	12cm de espessura	0,27 (kN/m ²)	0	0		
	Bloco cerâmico com furos na vertical	9x19x19cm	8	0,04	21		
Layout 2	Bloco sílico-calcário	9x19x39cm	20	0,02	12,5	2,80	36,16
	Bloco de concreto celular autoclavado	10x30x60cm	5,8	0,02	12,5		
	Placa de gesso acartonado	12cm de espessura	0,27 (kN/m ²)	0	0		
	Bloco cerâmico com furos na vertical	9x19x19cm	8	0,04	21		

Tabela 19 – Continuação...

Layout	Material utilizado	Dimensões (espessura x altura x comprimento)	γ (kN/m ³)	e_r (m)	γ_{reboco} (kN/m ³)	h (m)	Metro linear de divisória (m)
Layout 3	Bloco silico-calcário	9x19x39cm	20	0,02	12,5	1,80	35,5
	Bloco de concreto celular autoclavado	10x30x60cm	5,8	0,02	12,5		
	Placa de gesso acartonado	12cm de espessura	0,27 (kN/m ²)	0	0		
	Bloco cerâmico com furos na vertical	9x19x19cm	8	0,04	21		
Layout 4	Bloco silico-calcário	9x19x39cm	20	0,02	12,5	2,80	40,66
	Bloco de concreto celular autoclavado	10x30x60cm	5,8	0,02	12,5		
	Placa de gesso acartonado	12cm de espessura	0,27 (kN/m ²)	0	0		
	Bloco cerâmico com furos na vertical	9x19x19cm	8	0,04	21		

Fonte: Autor

3.5 Resultados para cada layout

Após ser aplicada a equação 86, utilizando os dados específicos para cada layout, encontraram-se os valores inerentes para essas, conforme visualizado na tabela 20.

Tabela 20 – Resultado das cargas em cada laje

Layout	Material utilizado	P (kN)
Layout 1	Bloco silico-calcário	2,05
	Bloco de concreto celular autoclavado	0,83
	Placa de gesso acartonado	0,27
	Bloco cerâmico	1,56
Layout 2	Bloco silico-calcário	2,59
	Bloco de concreto celular autoclavado	1,05
	Placa de gesso acartonado	0,34
	Bloco cerâmico	1,97

Tabela 20 – Continuação...

Lajes	Material utilizado	P (kN)
Layout 3	Bloco sílico-calcário	1,64
	Bloco de concreto celular autoclavado	0,66
	Placa de gesso acartonado	0,22
	Bloco cerâmico	1,25
Layout 4	Bloco sílico-calcário	2,92
	Bloco de concreto celular autoclavado	1,18
	Placa de gesso acartonado	0,38
	Bloco cerâmico	2,22

Fonte: Autor

4. EXEMPLO NUMÉRICO RESOLVIDO PELO MÉTODO DAS PLACAS

O exemplo numérico será dimensionado no Estado Limite Último (ELU) e verificado no Estado Limite de Serviço (ELS), conforme determinado na NBR 6118. Visto que, ELU representa o estado em que a estrutura sofre o colapso e, assim, determina sua paralisação, enquanto o ELS é o estado relacionado ao conforto do usuário, a durabilidade, a aparência, e a boa utilização das estruturas.

Serão dimensionadas somente as armaduras para os momentos fletores, não sendo consideradas as armaduras de borda (armaduras construtivas) e as armaduras de distribuição.

Para o dimensionamento da laje é necessária vários procedimentos que serão explicados nos próximos tópicos.

4.1 Dimensionamento

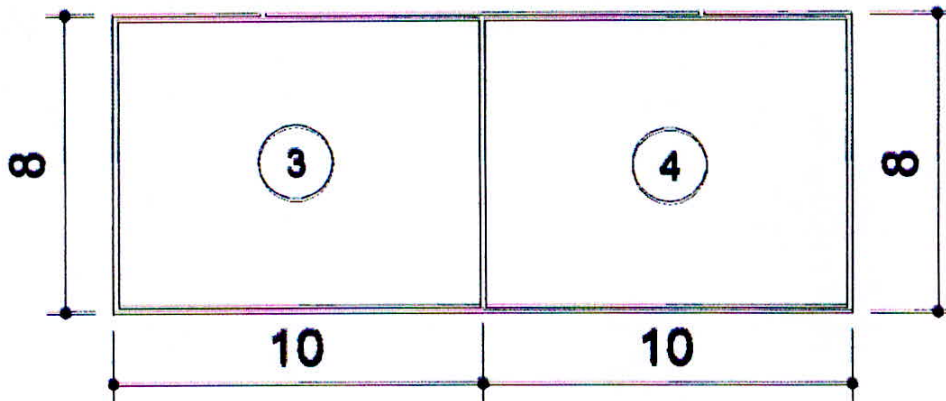
Nesse capítulo será realizado o dimensionamento utilizando os procedimentos descritos no item 2.3.1 do trabalho.

Dessa forma, será empregado o projeto, os quatro modelos de layouts e os quatro materiais constituintes de alvenaria utilizados para análise no item 3, demonstrados nas figuras: 38 (projeto) e 39 a 42 (layouts).

O projeto possui cinco principais lajes, sendo o primeiro par de lajes (laje um e dois) e o segundo par de lajes (laje três e quatro) contínuos. Portanto, serão adotados oito projetos, dois projetos para cada material. Assim, o primeiro projeto será composto pelo layout 1 (nas lajes 1 e 2) e pelo layout 2 (nas lajes 3 e 4), e, visto que a laje 5 é central e constante para todos os casos, ela será subdividida em outras cinco lajes (5.1 a 5.5).

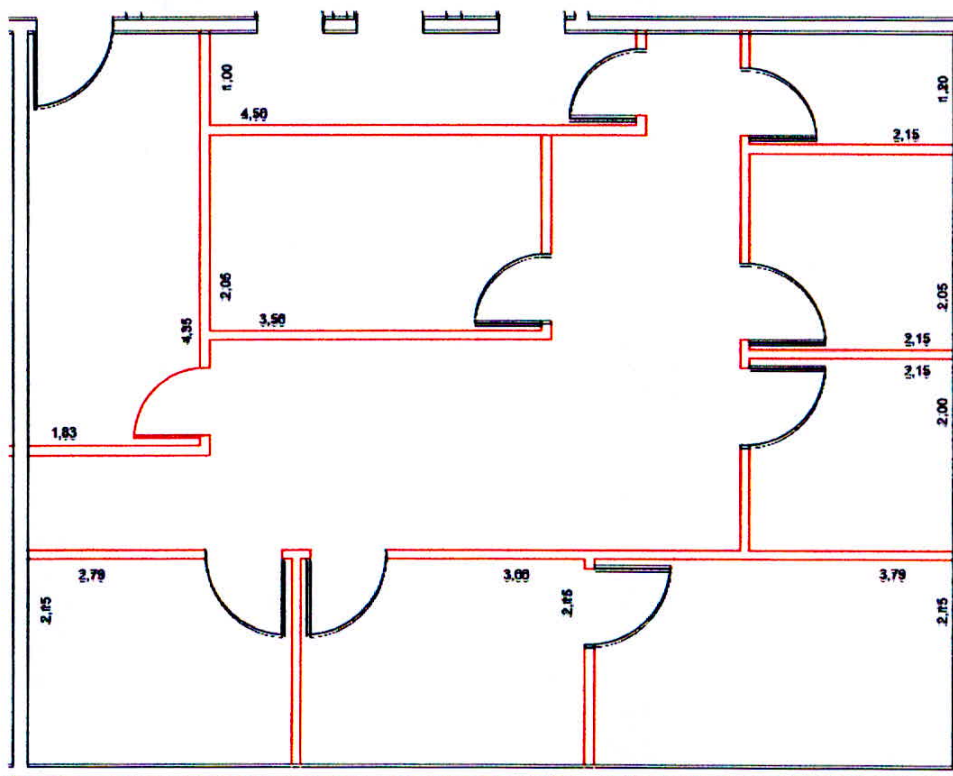
Assim, para exemplificar os cálculos resolvidos, será executado o caso do par de lajes 3 e 4 (figura 43) com layout 4 (figura 44), utilizando como material constituinte o bloco cerâmico (características adotadas no item 3 e tabela 19).

Figura 43 - Lajes 3 e 4



Fonte: Autor

Figura 44 - Layout 4



Fonte: Autor

4.1.1 Dados preliminares

Em todos os casos serão utilizados os seguintes critérios:

- ❖ $f_{ck} - 30 \text{ Mpa}$
- ❖ $\gamma_{conc} - 25 \text{ kN/m}^3$
- ❖ $\alpha_E - 1,0$ (Granito ou gnaisse)
- ❖ $\Psi_2 - 0,4$ (Edifício comercial)
- ❖ Retirada da escora - 28 dias
- ❖ Espessura da argamassa - 2 cm
- ❖ $\gamma_{arg} - 18 \text{ kN/m}^3$
- ❖ Espessura do revestimento - 2 cm
- ❖ $\gamma_{piso} - 28 \text{ kN/m}^3$
- ❖ Classe III (forte) - $c = 35 \text{ mm}$
- ❖ q (sobrecarga) - 2 kN/m^2 (escritório, corredores)
- ❖ Módulo de elasticidade secante do concreto para $f_{ck} \leq 50$:

$$E_{cs} = \alpha_i \cdot E_{ci} \quad \text{Eq.(87)}$$

$$\alpha_i = 0,8 + 0,2 \frac{f_{ck}}{80} \leq 1,0 \quad \text{Eq.(88)}$$

$$E_{ci} = \alpha_e \cdot 5600 \sqrt{f_{ck}} \quad \text{Eq.(89)}$$

$$\alpha_i = 0,8 + 0,2 \frac{30}{80} \rightarrow 0,875 \leq 1,0 \quad \text{Eq.(90)}$$

$$E_{ci} = 1,0 \cdot 5600 \sqrt{30} \rightarrow 30.672,46 \quad \text{Eq.(91)}$$

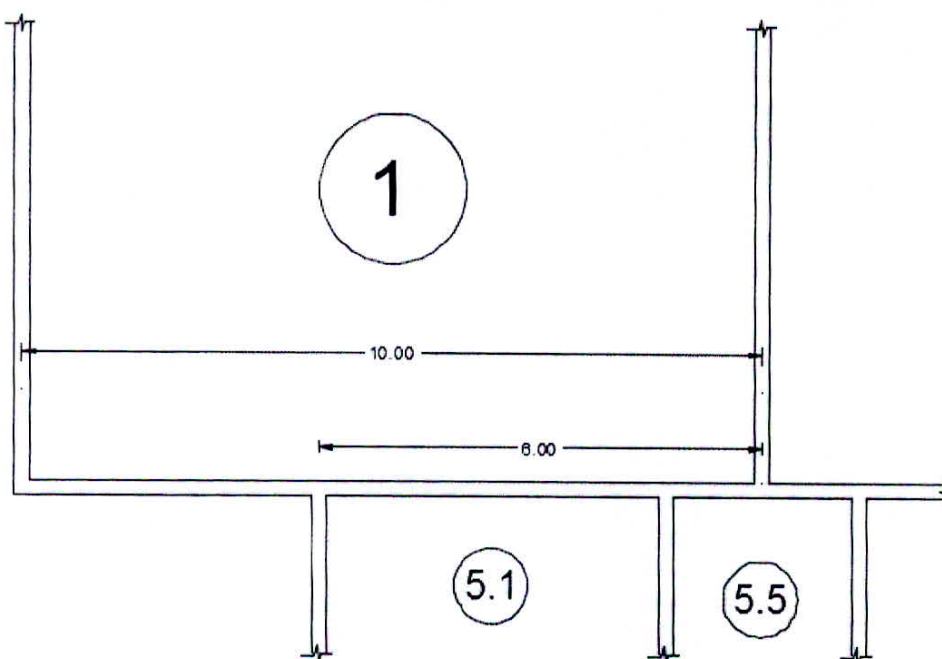
$$E_{cs} = 0,875 \cdot 30.672,46 \rightarrow 26.838,40 \quad \text{Eq.(92)}$$

4.1.2 Condição de apoio

Conforme o tópico 2.3.1.1, uma das primeiras análises a serem feitas é a vinculação da laje. No projeto proposto, têm-se dois casos em que lajes vizinhas possuem comprimentos distintos, assim, é preciso verificar qual consideração será tomada.

A primeira situação (figura 45) representa a análise da laje 1 com as lajes 5.5 e 5.1, na qual a laje 1 faz divisa com ambas, mas não em toda sua extensão. Esse caso também ocorrerá com a laje 2, 3 e 4, logo, como todas são simétricas, basta a análise de uma laje e as outras seguirão o mesmo princípio.

Figura 45 - Caso específico de vinculação - Lajes 1, 5.1 e 5.5.



Fonte: Autor

$$\ell_{y1} \leq \frac{\ell_y}{3} \quad \text{ou} \quad \frac{\ell_y}{3} < \ell_{y1} < \frac{2 \cdot \ell_y}{3} \quad \text{ou} \quad \ell_{y1} \geq \frac{2 \cdot \ell_y}{3} \quad \text{Eq.(93)}$$

$$\ell_{y1} = 6 \quad \text{e} \quad \frac{\ell_y}{3} = 3,33 \quad \text{e} \quad \frac{2 \ell_y}{3} = 6,66 \quad \text{Eq.(94)}$$

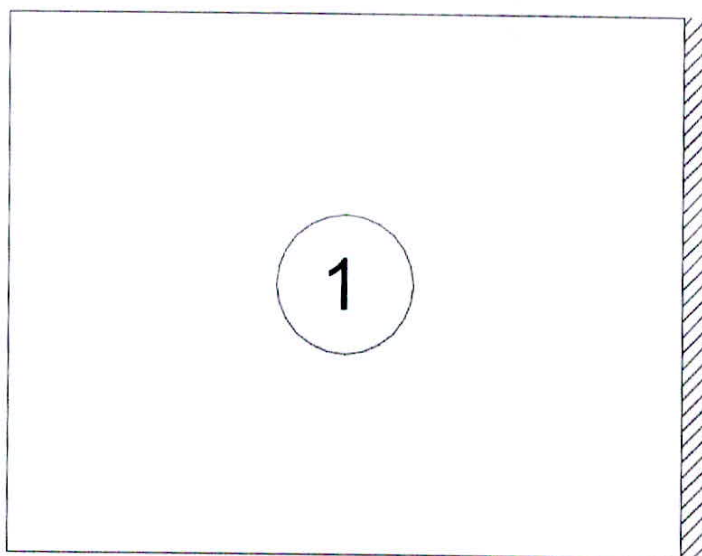
Eq.(95)

$$3,33 < 6 < 6,66$$

Após a verificação ser realizada, observa-se que a laje se enquadrava na segunda hipótese, na qual é dimensionada para ambos os casos (engastada e apoiada) e são adotados os maiores valores de dimensionamento. No decorrer dos cálculos dos próximos tópicos, contudo, encontrou-se valores bem distintos para as espessuras da laje 1 e das lajes 5.1 e 5.5, com uma diferença superior ao dobro da primeira laje em comparação as outras duas. Com a análise das dimensões das lajes, foi possível notar uma grande diferença entre a laje 1 e as demais, sendo cabível admitir que essas não são capazes de absorver a rotação provocada pela laje mais espessa e de maior área (laje1). Portanto, a primeira laje deve ter suas vinculações de acordo com a figura 46.

Assim, as lajes 5.1 e 5.5 são consideradas engastadas, já que essas são justapostas a laje 1, que possui a rigidez suficiente para impedir a rotação proporcionadas por elas.

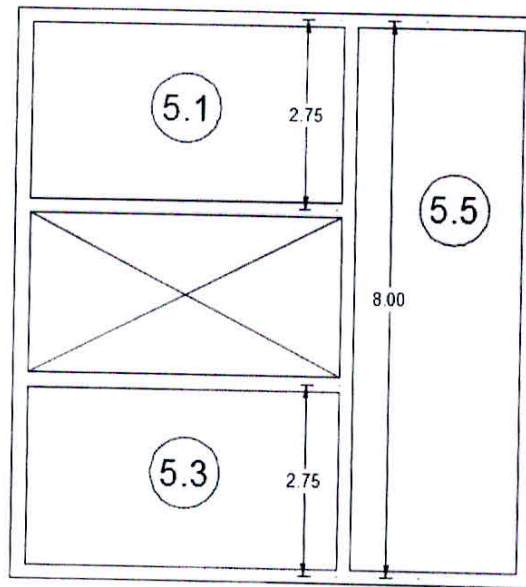
Figura 46 – Vinculação laje 1



Fonte: Autor

Além disso, tem-se a divisa da laje 5.5, representada pela figura 47, que é formada entre as lajes 5.1, 5.3 e um espaço aberto (poço de escada ou elevador). Logo, é necessário averiguar em qual condição se encaixa a somatória das extensões das lajes contínuas.

Figura 47 - Caso específico de vinculação - Lajes 5.1, 5.3 e 5.5



Fonte: Autor

$$\ell_{y1} \leq \frac{\ell_y}{3} \quad \text{ou} \quad \frac{\ell_y}{3} < \ell_{y1} < \frac{2 \cdot \ell_y}{3} \quad \text{ou} \quad \ell_{y1} \geq \frac{2 \cdot \ell_y}{3} \quad \text{Eq.(96)}$$

$$\ell_{y1} = 5,5 \quad \text{e} \quad \frac{\ell_y}{3} = 2,67 \quad \text{e} \quad \frac{2 \cdot \ell_y}{3} = 5,33 \quad \text{Eq.(97)}$$

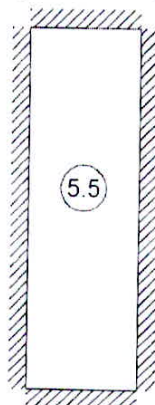
$$5,5 > 5,33 \quad \text{Eq.(98)}$$

Com o resultado obtido na equação 98, a laje 5.5 pode ser adotada como engastada nas lajes 5.1 e 5.3, como expresso na figura 48, e essas lajes também foram consideradas engastadas na laje 5.5.

Nos tópicos seguintes, conclui-se que todas as subdivisões da laje 5 possuem espessuras semelhantes, logo, adota-se que essas consigam absorver as rotações proporcionadas pelas lajes justapostas. Mesmo a laje 5.5, que possui área maior do que as demais, têm suas rotações suportadas pelas outras, pois, como seu comprimento na direção ℓ_x (direção ao qual será gerado a rotação nas lajes vizinhas) é pequeno, pode-se admitir que os esforços de torção proporcionados por essa seja resistido pelas lajes adjacentes.

As lajes 5.2 e 5.4 possuem a mesma interpretação feita para as lajes 5.1 e 5.3, por serem simétricas.

Figura 48 - Laje 5.5 vinculação de caso 9



Fonte: Autor

Para melhor visualização foi construída a tabela 21, com o tipo de vinculações das lajes, seus vãos e lambdas.

Tabela 21 - Vinculação das lajes, vãos e lambda.

Material	Layout	lx (cm)	ly (cm)	λ	Tipo
Bloco cerâmico	1	8,0	10,0	1,25	2
	2	8,0	10,0	1,25	2
	3	8,0	10,0	1,25	2
	4	8,0	10,0	1,25	2
Bloco sílico calcário	1	8,0	10,0	1,25	2
	2	8,0	10,0	1,25	2
	3	8,0	10,0	1,25	2
	4	8,0	10,0	1,25	2
Bloco concreto celular	1	8,0	10,0	1,25	2
	2	8,0	10,0	1,25	2
	3	8,0	10,0	1,25	2
	4	8,0	10,0	1,25	2
Placa de gesso acartonado	1	8,0	10,0	1,25	2
	2	8,0	10,0	1,25	2
	3	8,0	10,0	1,25	2
	4	8,0	10,0	1,25	2
Laje (corredor, banheiros e cozinhas)	5.1 = 5.2 = 5.3 = 5.4	2,75	4,70	1,71	4
	5.5	2,60	8,0	3,08	9

Fonte: Autor

4.1.3 Dimensionamento da altura das lajes

Na ocasião foi realizado um pré-dimensionamento realizado da seguinte maneira para determinação do “d”:

$$d \cong (2,5 - 0,1 n)\ell^* \quad \text{Eq.(99)}$$

$$\ell^* \leq \begin{cases} \ell_x \\ 0,7 \ell_y \end{cases} \quad \text{Eq.(100)}$$

$$\ell^* \leq \begin{cases} 8,0 \\ 0,7 \cdot 10 \end{cases} \rightarrow 7,0 \quad \text{Eq.(101)}$$

$$d \cong (2,5 - 0,1 \cdot 1)7,0 \rightarrow 16,80 \text{ cm} \quad \text{Eq.(102)}$$

Após a determinação, esse valor foi somado ao valor do cobrimento e ao valor da metade do diâmetro da barra utilizada na armadura positiva, no qual foi, inicialmente, adotado um diâmetro de 10 mm.

$$h = d + c + \frac{\phi_l}{2} \quad \text{Eq.(103)}$$

$$h = 16,8 + 3,5 + \frac{1,0}{2} \rightarrow 20,8 \text{ cm} \quad \text{Eq.(104)}$$

➤ 8 cm sendo o mínimo exigido pela NBR 6118:2014

Assim, o valor mais coerente a ser adotado é 21cm, pois, 20,8 não é usual e nem executável. Mas, devido à realização dos cálculos acontecerem em uma planilha, sucede automaticamente as verificações posteriores, e, dessa forma, ocorre à possibilidade de correção instantânea de tal para um valor mais oportuno, que, nesse caso, foi de 20 cm. Portanto, os valores adotados para “h” foram os valores que já atendem a todas as verificações, esses valores podem ser observados na tabela 22. O valor do d’ inicialmente adotado como 4,0 cm (cobrimento mais a metade do diâmetro da barra), juntamente com a altura (h) foi corrigido automaticamente na planilha.

4.1.4 Cálculo das ações atuantes

Dessa forma, no capítulo 3, no item 3.5, do presente trabalho, têm-se os valores encontrados de carga das paredes por m^2 para cada tipo de layout e material constituinte de alvenaria. Sendo preciso, assim, calcular as demais cargas, como peso próprio da laje, a carga referente ao material de revestimento e a determinação da carga acidental, conforme a NBR 6120. Realizando, posteriormente, o dimensionamento das lajes.

Para o cálculo das ações atuantes serão consideradas as cargas provenientes das alvenarias, encontrados na tabela 20, o peso próprio da laje, o peso da argamassa de regularização, o peso do revestimento e a sobrecarga de utilização.

- **Peso próprio**

O peso próprio da laje é dado pela seguinte expressão:

$$g_{PP} = \gamma_{conc} \cdot h \quad \text{Eq.(105)}$$

$$g_{PP} = 25 \cdot 0,20 \rightarrow 5,0kN/m^2 \quad \text{Eq.(106)}$$

- **Argamassa de regularização e revestimento**

Esses carregamentos podem ser obtidos por meio da equação:

$$g_{rev} = \gamma_{arg} \cdot e_{arg} + \gamma_{rev} \cdot e_{rev} \quad \text{Eq.(107)}$$

$$g_{rev} = 18 \cdot 0,02 + 28 \cdot 0,02 \rightarrow 0,92kN/m^2 \quad \text{Eq.(108)}$$

- **Carga da parede**

Conforme já feito no item 3.4, pode se chegar ao carregamento por meio da expressão:

$$g_{par} = \frac{(e_r \cdot \gamma + e_d \cdot \gamma) \cdot L \cdot h}{A} \quad \text{Eq.(109)}$$

O exemplo realizado é para o layout 4, com bloco cerâmico, e as informações necessárias podem ser encontradas no item 3.

$$\text{Eq.(110)}$$

$$g_{par} = \frac{(0,04 \cdot 21 + 0,09 \cdot 8) \cdot 40,66 \cdot 2,80}{80} \rightarrow 2,22 \text{ kN/m}^2$$

- Sobrecarga de utilização

Para sobrecarga, foi adotado em todas as lajes o valor de 2kN/m², retirado da ABNT: NBR 6120:1980. Já os critérios utilizados foram extraídos dos itens 14 (escritório) e 8 (corredores) da tabela 2 de tal norma.

A tabela 22 tem como objetivo resumir os valores empregados para as alturas (h) das lajes e demonstrar os valores de cargas atuantes nessas.

Tabela 22 - Altura das lajes (h) e cargas atuantes.

Material	Layout	h (cm)	d' (cm)	g _{pp} (kN/m ²)	g _{rev} (kN/m ²)	g _{par} ^a (kN/m ²)	Variável (q)	Total
Bloco cerâmico	1	19,0	5,0	4,75	0,92	1,56	2,0	9,23
	2	20,0	5,0	5,00	0,92	1,97	2,0	9,89
	3	19,0	5,0	4,75	0,92	1,25	2,0	8,92
	4	20,0	5,0	5,00	0,92	2,22	2,0	10,14
Bloco sílico calcário	1	20,0	5,0	5,00	0,92	2,05	2,0	9,97
	2	20,0	5,0	5,00	0,92	2,59	2,0	10,51
	3	19,0	5,0	4,75	0,92	1,64	2,0	9,31
	4	21,0	5,0	5,25	0,92	2,92	2,0	11,09
Bloco concreto celular	1	18,0	5,0	4,50	0,92	0,83	2,0	8,25
	2	19,0	5,0	4,75	0,92	1,05	2,0	8,72
	3	18,0	5,0	4,50	0,92	0,66	2,0	8,08
	4	19,0	5,0	4,75	0,92	1,18	2,0	8,85
Placa de gesso acartonado	1	17,0	5,0	4,25	0,92	0,27	2,0	7,44
	2	18,0	5,0	4,50	0,92	0,34	2,0	7,76
	3	17,0	5,0	4,25	0,92	0,22	2,0	7,39
	4	18,0	5,0	4,50	0,92	0,38	2,0	7,80
Laje (corredor, banheiros e cozinhas)	5.1 a 5.4	9,00	4,50	2,25	0,92	2,78	2,0	7,95
	5.5	8,00	4,50	2,00	0,92	0,00	2,0	4,92

Fonte: Autor

^a Valores podem ser encontrados na tabela 15 do presente trabalho.

4.1.5 Cálculo momentos fletores

Os momentos fletores podem ser encontrados, conforme as equações 29 e 30, para momentos positivos e, com as equações 31 e 32, para os momentos negativos, de acordo com o item 2.3.1.6. Nesse sentido, tais equações necessitam dos coeficientes encontrados nas tabelas desenvolvidas por Bares e que se encontram no anexo B do trabalho.

No caso que está sendo discutido, será necessário encontrar os dois momentos positivos e o momento negativo somente do eixo y. Assim, para obter esses coeficientes é necessário o lambda, disponível na tabela 21.

$$\lambda = \frac{\ell_y}{\ell_x} \quad \text{Eq.(111)}$$

$$\begin{aligned} \ell_x &= 8m \\ \ell_y &= 10m \end{aligned}$$

$$\lambda = \frac{10}{8} \rightarrow 1,25 \quad \text{Eq.(112)}$$

Conhecido o lambda, é preciso apenas buscar na tabela o valor dos coeficientes para o caso 2 e para o lambda 1,25.

μ_x	μ_y	μ'_y
4,88	4,10	10,16

Com os coeficientes definidos, pode-se, finalmente, utilizar as equações para determinação dos momentos fletores.

$$m_x = \mu_x \cdot \frac{p \cdot l_x^2}{100} \quad \text{Eq.(113)}$$

$$m_y = \mu_y \cdot \frac{p \cdot l_x^2}{100} \quad \text{Eq.(114)}$$

$$x_y = \mu'_y \cdot \frac{p \cdot l_x^2}{100} \quad \text{Eq.(115)}$$

$$\text{Eq.(116)}$$

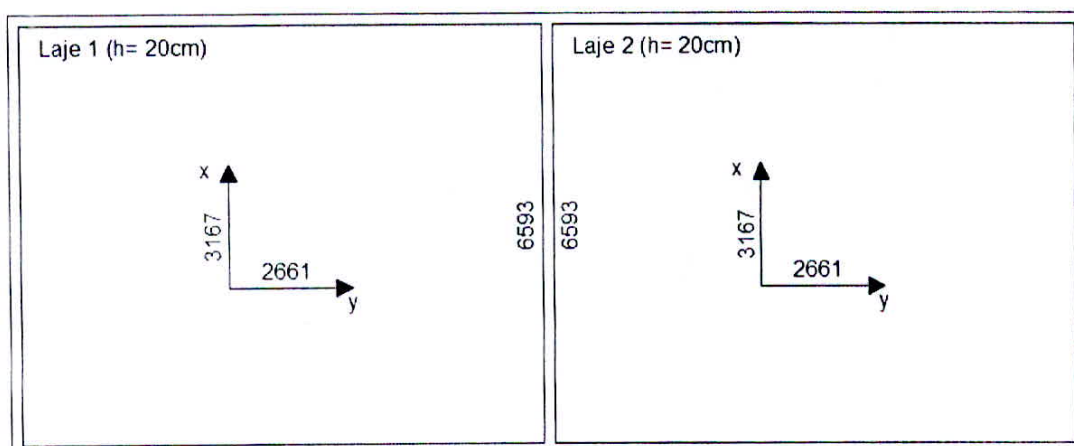
$$m_x = 4,88 \cdot \frac{10,14 \cdot 8^2}{100} \rightarrow 31,67 \text{ kN.m/m}$$

$$m_y = 4,10 \cdot \frac{10,14 \cdot 8^2}{100} \rightarrow 26,61 \text{ kN.m/m} \quad \text{Eq.(117)}$$

$$x_y = 10,16 \cdot \frac{10,14 \cdot 8^2}{100} \rightarrow 65,93 \text{ kN.m/m} \quad \text{Eq.(118)}$$

A figura 49 demonstra um exemplo de como indicar os momentos atuantes em uma laje, que dever ser feita de forma cuidadosa, pois uma simples inversão de valores pode acarretar um cálculo equivocado das armaduras.

Figura 49 - Momentos fletores (kN.cm/m)



Fonte: Autor

Para simplificar, foi elaborada a tabela 23, na qual estão expressos todos os coeficientes utilizados para os cálculos dos momentos fletores e também os valores dos momentos atuantes em cada laje.

Tabela 23 - Momentos fletores solicitantes (kN.cm/m)

Material	Layout	Tipo	λ	P (kN/m ²)	μ_x	μ'_x	μ_y	μ'_y	M _x	M' _x	M _y	M' _y
Bloco cerâmico	1	2,0	1,25	9,23	4,88	0	4,10	10,16	2883	0	2422	6002
	2	2,0	1,25	9,89	4,88	0	4,10	10,16	3089	0	2595	6431
	3	2,0	1,25	8,92	4,88	0	4,10	10,16	2786	0	2341	5800
	4	2,0	1,25	10,14	4,88	0	4,10	10,16	3167	0	2661	6593
Bloco sílico calcário	1	2,0	1,25	9,97	4,88	0	4,10	10,16	3114	0	2616	6483
	2	2,0	1,25	10,51	4,88	0	4,10	10,16	3282	0	2758	6834
	3	2,0	1,25	9,31	4,88	0	4,10	10,16	2908	0	2443	6054
	4	2,0	1,25	11,09	4,88	0	4,10	10,16	3464	0	2910	7211
Bloco concreto celular	1	2,0	1,25	8,25	4,88	0	4,10	10,16	2577	0	2165	5364
	2	2,0	1,25	8,72	4,88	0	4,10	10,16	2723	0	2288	5670
	3	2,0	1,25	8,08	4,88	0	4,10	10,16	2524	0	2120	5254
	4	2,0	1,25	8,85	4,88	0	4,10	10,16	2764	0	2322	5755
Placa de gesso acartonado	1	2,0	1,25	7,44	4,88	0	4,10	10,16	2324	0	1952	4838
	2	2,0	1,25	7,76	4,88	0	4,10	10,16	2424	0	2036	5046
	3	2,0	1,25	7,39	4,88	0	4,10	10,16	2308	0	1939	4805
	4	2,0	1,25	7,80	4,88	0	4,10	10,16	2436	0	2047	5072
Laje (corredor, banheiros e cozinhas)	5.1 a 5.4	4,0	1,71	7,95	5,27	11,30	2,16	8,15	317	679	130	490
	5.5	9,0	3,08	4,92	4,19	8,33	1,17	5,72	139	277	39	190

Fonte: Autor

4.1.6 Armadura longitudinal

Com os momentos fletores definidos, as armaduras referentes a esses podem ser calculadas, por meio da equação 34. Mas, primeiramente, é preciso calcular o K_{MD} , encontrado no anexo D, para que se tenha o valor do K_z .

- Cálculo para o caso discutido, Laje 1, momento negativo:

$$K_{MD} = \frac{M_d}{b_w \cdot d^2 \cdot f_{cd}} \quad \text{Eq.(119)}$$

$$K_{MD} = \frac{1,4 \cdot 6593}{100 \cdot 15^2 \cdot 3/1,4} \rightarrow 0,191 \quad \text{Eq.(120)}$$

$$K_{MD} = 0,68 \cdot K_x - 0,272 \cdot K_x^2 \quad \text{Eq.(121)}$$

$$\frac{0,68 \mp \sqrt{(-0,68)^2 - 4 \cdot 0,272 \cdot 0,191}}{2 \cdot 0,272} = \begin{cases} 0,322 \\ 2,177 \end{cases} \rightarrow 0,3222 \quad \text{Eq.(122)}$$

$$K_z = 1 - 0,4K_x \rightarrow 0,8712 \quad \text{Eq.(123)}$$

$$A_s = \frac{M_d}{K_z \cdot d \cdot f_s} \quad \text{Eq.(124)}$$

$$A_s = \frac{1,4 \cdot 6593}{0,8712 \cdot 15 \cdot \left(\frac{50}{1,15}\right)} \rightarrow 16,25 \text{cm}^2 \quad \text{Eq.(125)}$$

Para o melhor entendimento, foi elaborada uma tabela que apresenta todos os valores de K_{MD} , de K_z e da área de aço calculada.

Tabela 24 - Valores de K_{MD} , K_z e Área de aço.

Material	Layout	M_x			M'_x			M_y			M'_y		
		KMD	KZ	$A_{s,efet}$	KMD	KZ	$A_{s,efet}$	KMD	KZ	$A_{s,efet}$	KMD	KZ	$A_{s,efet}$
Bloco cerâmico	1	0,096	0,940	7,05	0	1	0	0,081	0,950	5,86	0,200	0,864	15,98
	2	0,090	0,944	7,02	0	1	0	0,075	0,954	5,84	0,187	0,874	15,80
	3	0,093	0,942	6,80	0	1	0	0,078	0,952	5,66	0,193	0,870	15,33
	4	0,092	0,942	7,22	0	1	0	0,077	0,952	6,00	0,191	0,871	16,25
Bloco sílico calcário	1	0,090	0,944	7,08	0	1	0	0,076	0,953	5,89	0,188	0,873	15,94
	2	0,095	0,940	7,50	0	1	0	0,080	0,950	6,23	0,198	0,866	16,94
	3	0,097	0,939	7,12	0	1	0	0,081	0,950	5,91	0,202	0,862	16,15
	4	0,088	0,945	7,38	0	1	0	0,074	0,954	6,14	0,184	0,876	16,57
Bloco concreto celular	1	0,100	0,937	6,81	0	1	0	0,084	0,948	5,66	0,207	0,858	15,49
	2	0,091	0,943	6,64	0	1	0	0,076	0,953	5,52	0,189	0,872	14,96
	3	0,098	0,938	6,66	0	1	0	0,082	0,949	5,53	0,203	0,861	15,11
	4	0,092	0,942	6,75	0	1	0	0,077	0,952	5,61	0,192	0,870	15,21

Tabela 24 – Continuação...

Material	Layout	M _x			M' _x			M _y			M' _y		
		KMD	KZ	A _{s,efet}	KMD	KZ	A _{s,efet}	KMD	KZ	A _{s,efet}	KMD	KZ	A _{s,efet}
Placa de gesso acartonado	1	0,105	0,934	6,68	0	1	0	0,089	0,944	5,55	0,220	0,847	15,33
	2	0,094	0,941	6,38	0	1	0	0,079	0,951	5,30	0,195	0,868	14,40
	3	0,105	0,934	6,63	0	1	0	0,088	0,945	5,51	0,218	0,849	15,19
	4	0,094	0,941	6,41	0	1	0	0,079	0,951	5,33	0,196	0,867	14,49
Laje (corredor, banheiros e cozinhas)	5.1 a 5.4	0,102	0,936	2,42	0,219	0,848	5,73	0,042	0,975	0,95	0,158	0,896	3,91
	5.5	0,074	0,954	1,34	0,148	0,904	2,82	0,021	0,988	0,80	0,101	0,936	1,87

Fonte: Autor

A_{s,efet} é o maior valor entre o A_{s,calc} e o A_{s,min}.

Após o cálculo da área de aço, é necessário reconhecer o espaçamento máximo permitido, de acordo com a NBR 6118, adotar o espaçamento utilizado e o diâmetro da barra.

$$A_{s,min} = \frac{0,15}{100} \cdot 100 \cdot 20 \rightarrow 3cm^2 \quad \text{Eq.(126)}$$

$$S_{max} = \begin{cases} 2h \\ 20 \text{ cm} \end{cases} \quad \text{Eq.(127)}$$

$$S_{max} \leq \begin{cases} 40 \\ 20 \text{ cm} \end{cases} \rightarrow 20cm \quad \text{Eq.(128)}$$

- Adotando Ø12,5mm:

$$S = \frac{1,227}{16,25} \cdot 100 \rightarrow 7,55 \text{ cm} \rightarrow 7,50cm \quad \text{Eq.(129)}$$

A armadura calculada é para o momento negativo, sendo essa armadura distribuída pelo comprimento ℓ_x . Para determinação da área de aço adotada por metro linear, segue-se o procedimento seguinte:

$$N^{\circ}_{barras} = \frac{\ell_x}{S} \quad \text{Eq.(130)}$$

$$N^{\circ}_{barras} = \frac{800}{7,5} \rightarrow 106 \text{ barras} \quad \text{Eq.(131)}$$

$$\frac{N^{\circ}_{barras}}{\ell_x} = \text{Barras por metro} \quad \text{Eq.(132)}$$

$$\frac{106}{8} = 13,25 \text{ barras} \quad \text{Eq.(133)}$$

$$1,227 \cdot 13,25 = 16,258 \text{ cm}^2 \quad \text{Eq.(134)}$$

Para os cálculos das demais áreas de aço adotadas, segue-se o mesmo procedimento, atentando-se com a área de aço mínima para o momento positivo que se altera segundo a NBR 6118. Assim, para melhor visualização foi criada a tabela na qual apresenta todos esses valores.

Tabela 25 - Área de aço adotado, espaçamento, diâmetro.

Material	Layout	M _x			M' _x			M _y			M' _y		
		A _{S,adot}	S	Ø	A _{S,adot}	S	Ø	A _{S,adot}	S	Ø	A _{S,adot}	S	Ø
Bloco cerâmico	1	7,074	11,0	10,0 mm	0	0,0	0,0	5,993	13,0	10,0 mm	15,338	8,0	12,5 mm
	2	7,074	11,0	10,0 mm	0	0,0	0,0	5,993	13,0	10,0 mm	15,338	8,0	12,5 mm
	3	6,524	12,0	10,0 mm	0	0,0	0,0	5,600	14,0	10,0 mm	15,338	8,0	12,5 mm
	4	7,074	11,0	10,0 mm	0	0,0	0,0	5,993	13,0	10,0 mm	16,258	7,5	12,5 mm
Bloco sílico calcário	1	7,074	11,0	10,0 mm	0	0,0	0,0	5,993	13,0	10,0 mm	15,338	8,0	12,5 mm
	2	7,467	10,5	10,0 mm	0	0,0	0,0	5,993	13,0	10,0 mm	16,258	7,5	12,5 mm
	3	7,467	10,5	10,0 mm	0	0,0	0,0	5,993	13,0	10,0 mm	16,258	7,5	12,5 mm
	4	7,467	10,5	10,0 mm	0	0,0	0,0	5,993	13,0	10,0 mm	16,258	7,5	12,5 mm
Bloco concreto celular	1	6,760	11,5	10,0 mm	0	0,0	0,0	5,600	14,0	10,0 mm	15,338	8,0	12,5 mm
	2	6,524	12,0	10,0 mm	0	0,0	0,0	5,600	14,0	10,0 mm	15,338	8,0	12,5 mm
	3	6,524	12,0	10,0 mm	0	0,0	0,0	5,600	14,0	10,0 mm	15,338	8,0	12,5 mm
	4	6,524	12,0	10,0 mm	0	0,0	0,0	5,600	14,0	10,0 mm	15,338	8,0	12,5 mm
Placa de gesso acartonado	1	6,524	12,0	10,0 mm	0	0,0	0,0	5,600	14,0	10,0 mm	15,338	8,0	12,5 mm
	2	6,524	12,0	10,0 mm	0	0,0	0,0	5,207	15,0	10,0 mm	14,417	8,5	12,5 mm
	3	6,524	12,0	10,0 mm	0	0,0	0,0	5,600	14,0	10,0 mm	15,338	8,0	12,5 mm
	4	6,524	12,0	10,0 mm	0	0,0	0,0	5,600	14,0	10,0 mm	14,417	8,5	12,5 mm

Tabela 25 – Continuação...

Material	Layout	M _x			M' _x			M _y			M' _y		
		A _{S,adot}	S	Ø	A _{S,adot}	S	Ø	A _{S,adot}	S	Ø	A _{S,adot}	S	Ø
Laje (corredor, banheiros e cozinhas)	5.1 a 5.4	2,390	13,0	6,3 mm	5,565	9,0	8,0 mm	1,702	18,0	6,3 mm	3,841	13,0	8,0 mm
	5.5	1,950	16,0	6,3 mm	3,144	16,0	8,0 mm	1,920	16,0	6,3 mm	1,920	16,0	6,3 mm

Fonte: Autor

4.1.6.1 Comprimento da armadura longitudinal

Para os comprimento das armaduras positivas, será adotado o prolongamento de 4 cm além dos eixos teórico de apoio (eixo da viga).

A armadura negativa será executada conforme o item 2.3.1.7.7.C, do presente trabalho, baseando-se na literatura e nas antigas normas, que recomendam o seguinte modo de se calcular:

$$a = 0,375 \ell_x + 2 \cdot \ell_b \quad \text{Eq.(135)}$$

$$\ell_x \geq \begin{cases} \ell_{x1} \\ \ell_{x2} \end{cases} \quad \text{Eq.(136)}$$

$$\ell_x \geq \begin{cases} 8,0 \\ 8,0 \end{cases} \rightarrow 8,0 \quad \text{Eq.(137)}$$

É necessário para o comprimento total o cálculo da ancoragem, que será calculado de acordo com o comprimento de ancoragem básica do item 9.4.2.4 da ABNT: NBR 6118:2014. Também se faz necessário o cálculo dos ganchos das barras, esses, por sua vez, serão executados em ângulo reto, com comprimento não inferior a 8ϕ , conforme prevê o item 9.4.2.3 da referida norma.

$$\ell_b = \frac{\phi}{4} \cdot \frac{f_{yd}}{f_{bd}} \quad \text{Eq.(138)}$$

$$f_{yd} = \frac{500}{1,15} \rightarrow 434,78 \text{ MPa} \quad \text{Eq.(139)}$$

$$\text{Eq.(140)}$$

$$f_{bd} = \eta_1 \cdot \eta_2 \cdot \eta_3 \cdot f_{ctd}$$

Sendo:

$$\eta_1 = 2,25 \text{ (CA50, barra nervurada)}$$

$$\eta_2 = 1,00 \text{ (situação de boa aderência)}$$

$$\eta_3 = 1,00 \text{ (\(\phi < 32\text{mm}\))}$$

$$f_{ctd} = \frac{0,21 \cdot \sqrt[3]{f_{ck}^2}}{1,4} \quad \text{Eq.(141)}$$

$$f_{ctd} = \frac{0,21 \cdot \sqrt[3]{30^2}}{1,4} \rightarrow 1,448 \text{ MPa} \quad \text{Eq.(142)}$$

$$f_{bd} = 2,25 \cdot 1,0 \cdot 1,0 \cdot 1,448 \rightarrow 3,258 \text{ MPa} \quad \text{Eq.(143)}$$

$$\ell_b = \frac{12,5}{4} \cdot \frac{500}{1,15 \cdot 3,258} \rightarrow 417,03 \text{ mm} \rightarrow 42 \text{ cm} \quad \text{Eq.(144)}$$

$$\ell_{gancho} = 8 \cdot \phi \rightarrow 10 \text{ cm} \quad \text{Eq.(145)}$$

$$\ell_{b,total} = 52 \text{ cm} \quad \text{Eq.(146)}$$

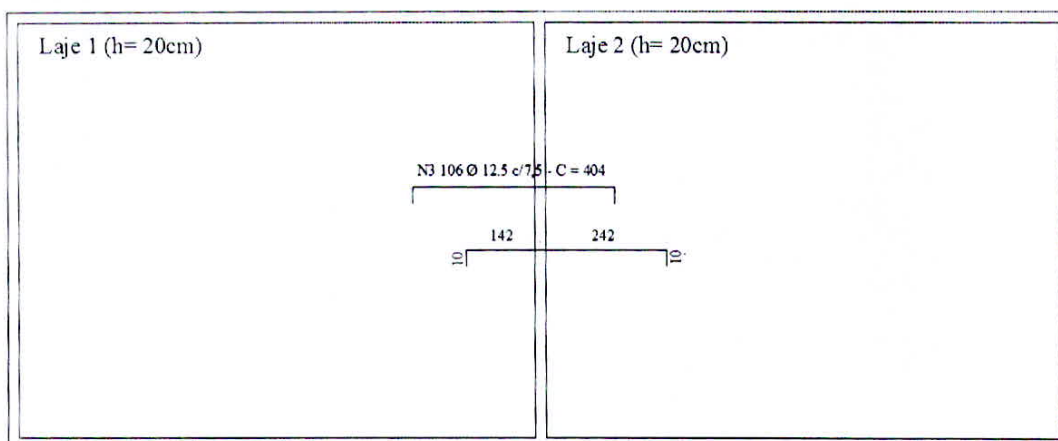
$$a = \frac{3}{8} \cdot 8,0 + 2 \cdot 0,52 \rightarrow 4,04 \text{ m} \quad \text{Eq.(147)}$$

$$a_{21} = \frac{2}{3} \cdot 0,375 \ell_x + \ell_b \rightarrow 2,52 \text{ m} \quad \text{Eq.(148)}$$

$$a_{22} = \frac{1}{3} \cdot 0,375 \ell_x + \ell_b \rightarrow 1,52 \text{ m} \quad \text{Eq.(149)}$$

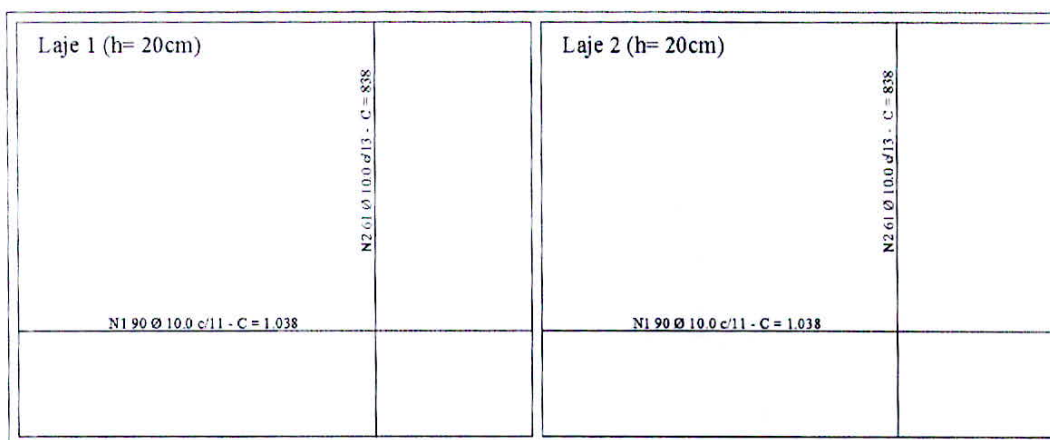
Abaixo, na figura 50, tem-se o detalhamento de como ficará o escalonamento da armadura negativa para a resolução do caso. A figura 51 demonstra o detalhamento da armadura positiva e a figura 52 o detalhamento transversal da peça para a armadura positiva.

Figura 50 - Detalhamento da armadura negativa



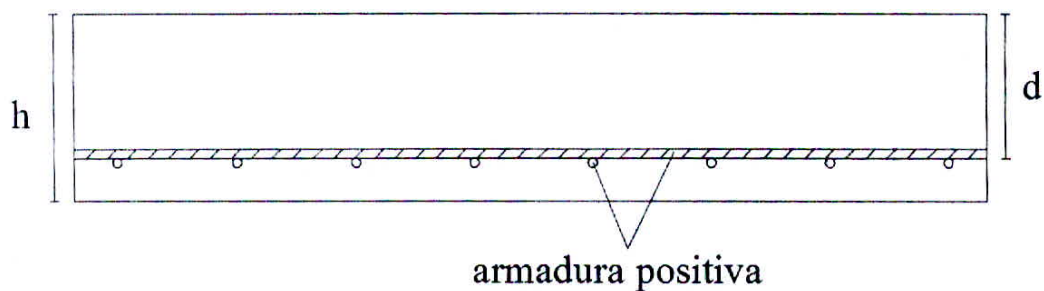
Fonte: Autor

Figura 51 - Detalhamento da armadura positiva



Fonte: Autor

Figura 52 - Detalhamento da seção - armadura positiva



Fonte: Autor

Assim, são expressos na tabela 26 os comprimentos totais das armaduras.

Tabela 26 - Comprimento das armaduras positivas e negativas (cm)

Material	Layout	M_x			M'_x			M_y			M'_y		
		ℓ_{comp}	ℓ_{apoio}	ℓ_{total}	ℓ_{comp}	ℓ_b	ℓ_{total}	ℓ_{comp}	ℓ_{apoio}	ℓ_{total}	ℓ_{comp}	ℓ_b	ℓ_{total}
Bloco cerâmico	1	1000	19	1038	0	0	0	800	19	838	300	52	404
	2	1000	19	1038	0	0	0	800	19	838	300	52	404
	3	1000	19	1038	0	0	0	800	19	838	300	52	404
	4	1000	19	1038	0	0	0	800	19	838	300	52	404
Bloco sílico calcário	1	1000	19	1038	0	0	0	800	19	838	300	52	404
	2	1000	19	1038	0	0	0	800	19	838	300	52	404
	3	1000	19	1038	0	0	0	800	19	838	300	52	404
	4	1000	19	1038	0	0	0	800	19	838	300	52	404
Bloco concreto celular	1	1000	19	1038	0	0	0	800	19	838	300	52	404
	2	1000	19	1038	0	0	0	800	19	838	300	52	404
	3	1000	19	1038	0	0	0	800	19	838	300	52	404
	4	1000	19	1038	0	0	0	800	19	838	300	52	404
Placa de gesso acartonado	1	1000	19	1038	0	0	0	800	19	838	300	52	404
	2	1000	19	1038	0	0	0	800	19	838	300	52	404
	3	1000	19	1038	0	0	0	800	19	838	300	52	404
	4	1000	19	1038	0	0	0	800	19	838	300	52	404
Laje (corredor, banheiros e cozinhas)	5.1 a 5.4	470	19	508	103	34	171	275	19	313	103	34	171
	5.5	800	19	838	98	34	166	260	19	298	98	28	154

Fonte: Autor

ℓ_b – comprimento de ancoragem com gancho

ℓ_{apoio} – comprimento prolongado 4cm do eixo

4.1.7 Reações de apoio

As reações de apoio podem ser calculadas, de acordo com as equações 45 e 46, para lajes apoiadas e, segundo as equações 47 e 48, para vigas engastadas. Para utilização dessas equações, são necessários os coeficientes, que podem ser encontrados no anexo B.

O lambda para as lajes que estão no processo de resolução é igual a $\lambda = 1,25$, conforme já calculado no item 4.1.5. Assim, encontram-se os valores dos coeficientes para esse lambda na tabela.

$$\begin{array}{ccc} k_x & k_y & k'_y \\ 2,29 & 2,48 & 4,30 \end{array}$$

Com os coeficientes definidos, já é possível a substituição na fórmula.

$$q_x = k_x \cdot p \cdot \frac{\ell_x}{10} \quad \text{Eq.(150)}$$

$$q_y = k_y \cdot p \cdot \frac{\ell_x}{10} \quad \text{Eq.(151)}$$

$$q'_y = k'_y \cdot p \cdot \frac{\ell_x}{10} \quad \text{Eq.(152)}$$

$$q_x = 2,29 \cdot 10,14 \cdot \frac{8}{10} \rightarrow 18,58 \frac{kN}{m} \quad \text{Eq.(153)}$$

$$q_y = 2,48 \cdot 10,14 \cdot \frac{8}{10} \rightarrow 20,12 \frac{kN}{m} \quad \text{Eq.(154)}$$

$$q'_y = 4,30 \cdot 10,14 \cdot \frac{8}{10} \rightarrow 34,88 \frac{kN}{m} \quad \text{Eq.(155)}$$

A resolução acima se aplica para os demais casos, que foram resolvidos e demonstrados através da tabela 27.

Tabela 27 - Reações de apoio (kN/m)

Material	Layout	Tipo	λ	P (kN/m ²)	k_x	k'_x	k_y	k'_y	q_x	q'_x	q_y	q'_y
Bloco cerâmico	1	2,0	1,25	9,23	2,29	0	2,48	4,30	16,91	0,00	18,31	31,75
	2	2,0	1,25	9,89	2,29	0	2,48	4,30	18,12	0,00	19,62	34,02
	3	2,0	1,25	8,92	2,29	0	2,48	4,30	16,34	0,00	17,70	30,69
	4	2,0	1,25	10,14	2,29	0	2,48	4,30	18,58	0,00	20,12	34,88
Bloco sílico calcário	1	2,0	1,25	9,97	2,29	0	2,48	4,30	18,27	0,00	19,78	34,30
	2	2,0	1,25	10,51	2,29	0	2,48	4,30	19,25	0,00	20,85	36,15
	3	2,0	1,25	9,31	2,29	0	2,48	4,30	17,06	0,00	18,47	32,03
	4	2,0	1,25	11,09	2,29	0	2,48	4,30	20,32	0,00	22,00	38,15

Tabela 27 – Continuação...

Material	Layout	Tipo	λ	P (kN/m ²)	k_x	k'_x	k_y	k'_y	q_x	q'_x	q_y	q'_y
Bloco concreto celular	1	2,0	1,25	8,25	2,29	0	2,48	4,30	15,11	0,00	16,37	28,38
	2	2,0	1,25	8,72	2,29	0	2,48	4,30	15,98	0,00	17,30	30,00
	3	2,0	1,25	8,08	2,29	0	2,48	4,30	14,80	0,00	16,03	27,80
	4	2,0	1,25	8,85	2,29	0	2,48	4,30	16,21	0,00	17,56	30,44
Placa de gesso acartonado	1	2,0	1,25	7,44	2,29	0	2,48	4,30	13,63	0,00	14,76	25,59
	2	2,0	1,25	7,76	2,29	0	2,48	4,30	14,22	0,00	15,40	26,69
	3	2,0	1,25	7,39	2,29	0	2,48	4,30	13,54	0,00	14,66	25,42
	4	2,0	1,25	7,80	2,29	0	2,48	4,30	14,29	0,00	15,48	26,83
Laje (corredor, banheiros e cozinhas)	5.1 a 5.4	4,0	1,71	7,95	2,58	4,48	1,83	3,17	5,64	9,79	4,00	6,93
	5.5	9,0	3,08	4,92	0,00	5,00	0,00	2,50	0,00	6,40	0,00	3,20

Fonte: Autor

4.1.8 Flechas

Para o cálculo da flecha, é necessário conhecer o estágio de cálculo da seção crítica considerada, devido a isso, é necessário calcular o momento de fissuração da peça, para que se possa fazer uma análise referente ao momento atuante M_a .

4.1.8.1 Momento de fissuração

$$M_r = \frac{\alpha f_{ct} I_c}{y_t} \quad \text{Eq.(156)}$$

Por ser uma seção retangular, utiliza-se $\alpha = 1,5$.

$$f_{ct} = 0,3 \cdot \sqrt[3]{f_{ck}^2} \quad \text{Eq.(157)}$$

$$f_{ct} = 0,3 \cdot \sqrt[3]{30^2} \rightarrow 2,90 \text{MPa} \quad \text{Eq.(158)}$$

$$I_c = \frac{b \cdot h^3}{12} \quad \text{Eq.(159)}$$

$$I_c = \frac{100 \cdot 20^3}{12} \rightarrow 66.666,67 \text{ cm}^4 \quad \text{Eq.(160)}$$

Devido ser uma seção retangular, $y_t = 10 \text{ cm}$.

$$M_r = \frac{1,5 \cdot 0,290 \cdot 66.666,67}{10} \rightarrow 2.896 \text{ kN.cm} \quad \text{Eq.(161)}$$

Para o valor de M_a , considera-se o maior momento positivo atuante naquela laje, que, nesse caso, é de 3.167 kN.cm. É necessário fazer a verificação para confirmar se o momento resistente é capaz de absorver o momento solicitante.

$$M_a > M_r \quad \text{Eq.(162)}$$

$$3167 > 2896 \quad \text{Eq.(163)}$$

4.1.8.2 Cálculo da linha neutra e momento de inércia estádio II

Dessa maneira, é necessário calcular a linha neutra de tal peça fissurada. Essa pode ser calculada pela seguinte equação:

$$X_{II}^2 + 2 \cdot \frac{\alpha_e \cdot A_s}{b} \cdot X_{II} - 2 \cdot \frac{\alpha_e \cdot A_s}{b} \cdot d = 0 \quad \text{Eq.(164)}$$

$$X_{II}^2 + 2 \cdot \frac{\alpha_e \cdot A_s}{b} \cdot X_{II} - 2 \cdot \frac{\alpha_e \cdot A_s}{b} \cdot d = 0$$

$$\alpha_e = \frac{E_s}{E_{cs}} \quad \text{Eq.(165)}$$

$$\alpha_e = \frac{210.000}{26.838,40} \rightarrow 7,8246 \quad \text{Eq.(166)}$$

A área de aço a ser considerada é aquela referente ao valor do momento solicitante adotado. Então, $A_s = 7,07 \text{ cm}^2$.

Resolvendo essa parte da equação, obtém-se:

$$\frac{\alpha_e \cdot A_s}{b} = \frac{\alpha_e \cdot A_s}{b} \quad \text{Eq.(167)}$$

$$2 \cdot \frac{7,82 \cdot 7,07}{100} = 1,106 \quad \text{Eq.(168)}$$

$$2 \cdot \frac{7,82 \cdot 7,07}{100} = 1,106$$

$$X_{II}^2 + 1,106 \cdot X_{II} - 1,106 \cdot 15 = 0 \quad \text{Eq.(169)}$$

$$X_{II}^2 + 1,106 \cdot X_{II} - 1,106 \cdot 15 = 0$$

$$\frac{-1,106 \pm \sqrt{(1,106^2) - 4 \cdot 1 \cdot (-16,59)}}{2} = \begin{cases} -4,66 \\ 3,5589 \end{cases} \quad \text{Eq.(170)}$$

$$X_{II} = 3,56 \text{ cm}$$

Com a posição da linha neutra, consegue-se calcular o momento de inércia no estádio II, pela seguinte expressão:

$$I_{II} = \frac{b \cdot X_{II}^3}{3} + \alpha_e \cdot A_s \cdot (X_{II} - d)^2 \quad \text{Eq.(171)}$$

$$I_{II} = \frac{100 \cdot 3,56^3}{3} + 7,82 \cdot 7,07 \cdot (3,56 - 15)^2 \quad \text{Eq.(172)}$$

$$I_{II} \cong 8.747,95 \quad \text{Eq.(173)}$$

4.1.8.3 Inércia equivalente

Após o cálculo da inércia no estádio II, é preciso calcular a inércia equivalente, que se dá por meio da equação:

$$\text{Eq.(174)}$$

$$I_{(eq)} = \left(\frac{M_r}{M_a}\right)^3 \cdot I_c + \left[1 - \left(\frac{M_r}{M_a}\right)^3\right] \cdot I_{II}$$

$$I_{(eq)} = \left(\frac{2896}{3167}\right)^3 \cdot 66.666,67 + \left[1 - \left(\frac{2896}{3167}\right)^3\right] \cdot 8.747,95 \quad \text{Eq.(175)}$$

$$I_{(eq)} = 53.034,36 \text{ cm}^4$$

4.1.8.4 Flecha imediata

Com a determinação da inércia equivalente, finalmente, pode-se calcular a flecha. A flecha elástica é obtida por meio da equação 176 ou pode ser simplificada, tornando-se igual à equação 177.

$$a_i = \frac{\alpha}{100} \cdot \frac{b}{12} \cdot \frac{p \ell_x^4}{E_c I} \quad \text{Eq.(176)}$$

Simplificando:

$$a_i = \frac{p \ell_x^4}{E \cdot h^3} \cdot \frac{\alpha}{100} \quad \text{Eq.(177)}$$

Pode-se notar que para ambos os casos é necessário o valor de α , que é tabelado e pode ser encontrado no anexo B. Assim como os outros coeficientes já encontrados, esse depende do tipo de vinculação e do valor do lambda.

O valor do lambda das lajes calculadas é de 1,25, portanto, pode-se encontrar na tabela o valor correspondente para o coeficiente α .

$$\alpha = 5,34$$

A carga “p”, para a determinação da flecha elástica, não possui o valor do somatório de todas as cargas atuantes, e sim, utiliza a carga quase permanente, que é aquela que ocorre praticamente a todo tempo. Assim, a carga permanente usa em sua resolução um fator de redução para carga variável principal, que, no caso em desenvolvimento, a única carga é a accidental.

$$F_{d,ser} = F_{gk} + \Psi_2 \cdot F_{qk} \quad \text{Eq.(178)}$$

$$F_{d,ser} = 8,14 + 0,4 \cdot 2,0 \rightarrow 8,94 \text{ kN/m}^2 \quad \text{Eq.(179)}$$

Para a determinação da flecha elástica, será utilizada a equação 176, sem estar simplificada, pois, devido à peça possuir abertura de fissuras a inércia não é calculada mais pela equação 160 e, conseqüentemente, não pode ser simplificada para a equação 177.

$$a_i = \frac{5,34}{100} \cdot \frac{100}{12} \cdot \frac{8,94 \times 10^{-4} \cdot 800^4}{2.683,84 \cdot 53.034,36} \quad \text{Eq.(180)}$$

$$a_i = 1,14 \text{ cm}$$

Sendo o limite estabelecido pela norma de $\ell/250$.

$$a_{i,lim} = \frac{\ell}{250} \rightarrow 3,20 \text{ cm} \quad \text{Eq.(181)}$$

4.1.8.5 Flecha diferida no tempo

A flecha adicional diferida (a_f) é decorrente das cargas de longa duração em função da fluência. Para o cálculo de tal flecha, é necessário o conhecimento do prazo de retirada das escoras, que, conforme o item 4.1.1, é de 28 dias para todas as lajes.

$$\alpha_f = \frac{\Delta\xi}{1 + 50 \cdot \rho'} \quad \text{Eq.(182)}$$

ρ' é nulo, devido não possuir nenhuma armadura de compressão.

$$\Delta\xi = \xi(t) - \xi(t_0) \quad \text{Eq.(183)}$$

$$\xi(t) = 0,68 (0,996^t) t^{0,32} \text{ para } t \leq 70 \text{ meses} \quad \text{Eq.(184)}$$

$$\xi(t) = 2 \text{ para } t > 70 \text{ meses} \quad \text{Eq.(185)}$$

$$\xi(t) = \frac{28}{30} \rightarrow 0,933 \quad \text{Eq.(186)}$$

$$\xi(t) = 0,68 \cdot (0,996^{0,933}) \cdot 0,933^{0,32} \rightarrow 0,6626 \quad \text{Eq.(187)}$$

$$\Delta\xi = 0,6626 - 2 \rightarrow 1,3374 \quad \text{Eq.(188)}$$

$$\alpha_f = \frac{1,3374}{1 + 0} \rightarrow 1,3374 \quad \text{Eq.(189)}$$

4.1.8.6 Flecha total

$$a_{total} = (1 + 1,3374) \cdot 1,14 \rightarrow 2,66 \text{ cm} \quad \text{Eq.(190)}$$

Os demais casos foram calculados da mesma maneira, e, para o melhor entendimento, foi elaborada a tabela 28 com os valores de momento de fissuração, momento atuante, flecha imediata, flecha considerando a fluência e flecha limite.

Tabela 28 - Flechas imediata (a_i) e total (a_{total}) nas lajes.

Material	Layout	α	$P_{q,perm.}$	M_r	M_a	$EI_{(eq)}^1$	a_i	a_{total}	a_{limite}
Bloco cerâmico	1	5,34	8,03	2614	2883	119.490.459,24	1,22	2,85	3,20
	2	5,34	8,69	2896	3089	151.568.773,48	1,05	2,45	3,20
	3	5,34	7,72	2614	2786	129.998.558,12	1,08	2,52	3,20
	4	5,34	8,94	2896	3167	142.335.725,68	1,14	2,66	3,20
Bloco sílico calcário	1	5,34	8,77	2896	3114	148.508.439,77	1,08	2,52	3,20
	2	5,34	9,31	2896	3282	130.609.839,11	1,30	3,04	3,20
	3	5,34	8,11	2614	2908	117.202.601,18	1,26	2,95	3,20
	4	5,34	9,89	3193	3464	168.341.556,42	1,07	2,50	3,20
Bloco concreto celular	1	5,34	7,05	2346	2577	102.475.985,17	1,25	2,92	3,20
	2	5,34	7,52	2614	2723	137.889.513,18	0,99	2,31	3,20
	3	5,34	6,88	2346	2524	107.908.494,72	1,16	2,71	3,20
	4	5,34	7,65	2614	2764	132.672.575,80	1,05	2,45	3,20
Placa de gesso acartonado	1	5,34	6,24	2093	2324	83.906.110,89	1,36	3,18	3,20
	2	5,34	6,56	2346	2424	119.747.629,91	1,00	2,34	3,20
	3	5,34	6,19	2093	2308	85.380.283,32	1,32	3,09	3,20
	4	5,34	6,60	2346	2436	118.223.253,08	1,02	2,38	3,20

Tabela 28 – Continuação...

Material	Layout	α	$P_{q,perm.}$	M_r	M_a	$EI_{(eq)}^1$	a_i	a_{total}	a_{limite}
Laje (corredor, banheiros e cozinhas)	5.1 a 5.4	4,88	6,75	587	317	-	0,10	0,23	1,10
	5.5	3,07	3,72	463	139	-	0,04	0,09	1,04

Fonte: Autor

¹ O valor de EI, é o valor da inércia equivalente multiplicado pela $E_{cs} = 26.838,40$ MPa

a_i - Flecha imediata calculada com a carga quase permanente

a_{total} - Flecha considerando a fluência

a_{total} - $l/250$ conforme NBR 6118, item 13.3

4.1.9 Verificação do cisalhamento

As forças cortantes, em geral, são satisfatoriamente resistidas pelo concreto, dispensando o emprego de armadura transversal. Contudo, a verificação é necessária e tem seu início na comparação do valor solicitante com o valor resistente, por meio da equação 191.

$$V_{Sd} \leq V_{Rd1} \quad \text{Eq.(191)}$$

Para o valor de V_{sd} , força cortante de cálculo, foi utilizada a maior reação de apoio da laje, que pode ser encontrado na tabela 27. Já a V_{rd1} , força cortante máxima resistente, tem o seu calculado dado pela expressão:

$$V_{Rd1} = [\tau_{Rd} \cdot k (1,2 + 40\rho_1) + 0,15 \sigma_{cp}] b_w \cdot d \quad \text{Eq.(192)}$$

O valor de σ_{cp} é nulo, já que não foi utilizada nenhuma protensão.

$$\tau_{Rd} = 0,25 f_{ctd} \quad \text{Eq.(193)}$$

$$f_{ctd} = \frac{f_{ctk,inf}}{\gamma_c} \quad \text{Eq.(194)}$$

$$\tau_{Rd} = 0,25 \frac{0,7 \cdot 0,3 \sqrt[3]{30^2}}{1,4} \rightarrow 0,36206 \text{ MPa} \quad \text{Eq.(195)}$$

A área de aço utilizada no cálculo é a área de aço para o momento positivo na direção da força cortante. No caso analisado, a força cortante mais solicitante é o q'_y , portanto, o valor utilizado foi o da área de aço para o momento M_y .

$$\rho_1 = \frac{A_{s1}}{b_w \cdot d}, \text{ não maior que } |0,02| \quad \text{Eq.(196)}$$

$$\rho_1 = \frac{5,993}{100 \cdot 15} \rightarrow 0,004 \quad \text{Eq.(197)}$$

Como todas as armaduras inferiores chegam até o apoio, o valor de k será dado pela seguinte equação:

$$k = 1,6 - d, \text{ não menor que } 1 \quad \text{Eq.(198)}$$

$$k = 1,6 - 0,15 \rightarrow 1,45 \quad \text{Eq.(199)}$$

$$V_{Rd1} = [362,06 \cdot 1,45 \cdot (1,2 + 40 \cdot 0,004) + 0]1,0 \cdot 0,15 \quad \text{Eq.(200)}$$

$$V_{Rd1} = 107,10 \text{ kN} \quad \text{Eq.(201)}$$

$$V_{Sd} = 1,4 \cdot 34,882 \rightarrow 48,83 \text{ kN} \quad \text{Eq.(202)}$$

$$48,83 \leq 107,10 \text{ ok!} \quad \text{Eq.(203)}$$

A eficiência dos cálculos foi constatada, assim, não é necessária a armadura transversal de cisalhamento.

4.1.9.1 Verificação da biela de compressão

Para verificação da biela de compressão, analisa-se a seguinte condição.

$$V_{Sd} \leq V_{Rd2} \quad \text{Eq.(204)}$$

$$V_{Rd2} = 0,27 \cdot \alpha_{v2} \cdot f_{cd} \cdot b_w \cdot d \quad \text{Eq.(205)}$$

$$\alpha_{V2} = \left(1 - \frac{f_{ck}}{250}\right), f_{ck} \text{ em MPa} \quad \text{Eq.(206)}$$

$$\alpha_{V2} = \left(1 - \frac{30}{250}\right) \rightarrow 0,88 \quad \text{Eq.(207)}$$

$$V_{Rd2} = 0,27 \cdot 0,88 \cdot \frac{30.000}{1,4} \cdot 1,0 \cdot 0,15 \rightarrow 763,71 \text{ kN} \quad \text{Eq.(208)}$$

$$48,83 \leq 763,71 \text{ ok!} \quad \text{Eq.(209)}$$

A verificação foi atendida, não há problema de compressão excessiva nas bielas de concreto.

Os valores para as verificações das outras lajes foram tabeladas.

Tabela 29 - Verificação do cisalhamento e biela de compressão

Material	Layout	V _{sd}	A _{s,adot}	V _{Rd1}	V _{Rd2}
Bloco cerâmico	1	44,45	5,99	100,65	675,00
	2	47,63	5,99	107,10	723,21
	3	42,96	5,60	100,65	675,00
	4	48,83	5,99	107,10	723,21
Bloco sílico calcário	1	48,02	5,99	107,10	723,21
	2	50,62	5,99	107,10	723,21
	3	44,84	5,99	100,65	675,00
	4	53,41	5,99	113,45	771,43
Bloco concreto celular	1	39,73	5,60	94,10	626,79
	2	42,00	5,60	100,65	675,00
	3	38,91	5,60	94,10	626,79
	4	42,62	5,60	100,65	675,00
Placa de gesso acartonado	1	35,83	5,60	90,02	578,57
	2	37,37	5,21	94,10	626,79
	3	35,59	5,60	90,02	578,57
	4	37,56	5,60	94,10	626,79
Laje (corredor, banheiros e cozinhas)	5.1 a 5.4	13,71	2,39	35,47	216,96
	5.5	8,95	1,95	28,56	168,75

Fonte: Autor

4.1.10 Dimensionamento utilizando o valor proposto pela NBR 6120:1980

Realizando todo o procedimento do capítulo 2, do item 2.2.1.1, mas não utilizando um layout e sim adotando um valor de 1 kN/m^2 , como previsto na NBR 6120:1980, obteve-se os seguintes resultados:

Tabela 30 – Resultados dos momentos e reações utilizando 1 kN/m^2

Laje	Tipo	h	λ	P (kN/m^2)	M_x	M'_x	M_y	M'_y	q_x	q'_x	q_y	q'_y
Utilizando 1 kN/m^2	2	18,0	1,25	8,42	2630	0	2209	5475	15,425	0,000	16,705	28,965

Fonte: Autor

Tabela 31 – Resultado da Flecha utilizando 1 kN/m^2

Laje	Tipo	α	$P_{q,perm.}$	M_r	M_a	$EI_{(eq)}^1$	a_i	a_{total}	a_{limite}
Utilizando 1 kN/m^2	2	5,34	6,42	2346	2630	97.568.060,21	1,16	2,71	3,20

Fonte: Autor

Tabela 32 - Quantitativo de armadura

Laje	M_x				M_y				M'_y			
	Quan	diam	comp.	peso total	Quan	diam	comp.	peso total	Quan	diam	comp.	peso total
Utilizando 1 kN/m^2	90,0	10,0 mm	1038	576,40	59	10,0 mm	838	305,06	100	12,5 mm	404	389,05

Fonte: Autor

5. ANÁLISE DO EXEMPLO ANTERIOR UTILIZANDO MÉTODO DE GRELHAS EQUIVALENTES COM AUXÍLIO DE SOFTWARE

O método de grelha equivalente teve início com Marcus e tem como ideia principal a substituição da laje por uma malha equivalente de vigas. Por esse método, é possível encontrar os momentos atuantes e as deformações (flechas) das lajes. Com esses valores obtidos, pode-se realizar uma comparação entre tais e o valor encontrado pelo método em séries. Para determinação desses, o projeto será lançado na ferramenta computacional Programa Grelha Equivalente.

5.1 Considerações

Para a utilização do software foram necessárias algumas considerações diante de todos os casos analisados, são essas:

- Serão analisadas somente as lajes 1, 2, 3 e 4, para todos os casos de layouts e materiais constituinte da alvenaria;
- Foi trabalhado com $f_{ck} = 30$ Mpa;
- Peso específico do concreto 25 kN/m^3 ;
- Pesos específico das lajes 25 kN/m^3 ;
- O valor do módulo de elasticidade considerado foi o de $26.838.400 \text{ kN/m}^2$;
- A carga considerada foi a quase permanente, com a seguinte formulação: peso próprio (pp) + $0,4 \cdot$ carga acidental (ca) + carga permanente (cp) + carga local (cl);
- Carga acidental considerada de 2 kN/m^2 ;
- Carga permanente adotada de $0,92 \text{ kN/m}^2$, referente ao carregamento simultâneo do revestimento e da argamassa de regularização;
- Carga local será de acordo com o layout e material de composição analisado;

- Os pilares foram considerados com dimensões de 30x30 (cm);
- As vigas foram pré-determinadas com altura igual a 8% do vão, sempre arredondando para cima e múltiplo de 5 cm.
- A altura da laje foi determinada de acordo com o que foi utilizado no outro método;
- Será considerada uma malha principal composta por barras espaçadas em 50 cm, com 2.632 barras e 1.353 nós.

5.2 Análise com a ferramenta computacional

O exemplo analisado será o mesmo que foi desenvolvido pelo método de séries, sendo esse: o caso do par de lajes 3 e 4 (figura 43) com layout 4 (figura 44), utilizando como material constituinte o bloco cerâmico (características adotadas no item 3 e tabela 19).

Assim, para tal análise será seguido os procedimentos do item 2.3.2.2, conforme abaixo.

1) Dados Iniciais:

- F_{ck} do concreto: 30 Mpa;
- Peso específico do concreto: 25 kN/m³;
- Peso específico das lajes: 25 kN/m³;
- Módulo de elasticidade E_c : 26.838.400 kN/m²;
- Módulo de elasticidade transversal G_c : 10.735.360 kN/m²;
- Composição de Cargas: $pp+0.4*ca+cp+cl$ (quase permanente).

2) Linhas construtivas:

- Foram criadas nessa etapa as linhas dos eixos das vigas e pilares para facilitar a entrada de dados desses nos próximos passos.

3) Pilares:

- Lado A e B: 30 cm;
- Altura: 300 cm;

- Restrição no apoio: dz (Não pode ser alterado).

4) Vigas:

- Base (b): 30 cm;
- Altura (h): 8% do vão. Por exemplo, vão de 10 m, h = 80 cm.

5) Lajes:

- Altura (h): 20 cm; (retirado da tabela 22);
- Carga acidental: 2 kN/m²;
- Carga permanente: 0,92 kN/m²; (Equação 108);

6) Cálculo e Malha:

- Malha principal (sendo uma malha com espaçamento 50 x 50 cm.)
 - n dx: 40
 - n dy: 32
- Carga local:

$$g_{par} = (e_r \cdot \gamma + e_d \cdot \gamma) \cdot h \quad \text{Eq.(210)}$$

$$g_{par} = (0,09 \cdot 8 + 0,04 \cdot 21) \cdot 2,80 \rightarrow 4,368 \text{ kN/m} \quad \text{Eq.(211)}$$

– Portanto, utiliza-se a metade do valor da Equação 211, pois o inter eixo utilizado é de 50 cm e não de 1 metro.

- Deformação máxima: 0,0128195 m;
- Momento fletor: 12,2243 (positivo, sendo considerado o pior caso);
- Momento fletor: 20,3879 (negativo).

Após a realização do passo a passo, reuniu-se o valor de deformação e os valores dos momentos fletores máximos: positivo e negativo. Assim, construindo a tabela 34.

Tabela 33 - Deformação, momento positivo e momento negativo.

Material	Layout	Deformação		Momento positivo (kN.m)	Momento negativo (kN.m)
		Nó	(m)		
Bloco cerâmico	1	1035	0,0122745	10,6244	17,9584
	2	1036	0,0129669	13,2449	20,8997
	3	1035	0,0129108	11,9604	18,5153
	4	995	0,0128195	12,2243	20,3879
Bloco sílico calcário	1	1036	0,0119274	12,0669	20,0761
	2	1036	0,0138636	14,3277	22,5316
	3	994	0,01351	12,6011	19,4201
	4	995	0,013123	13,965	22,6515
Bloco concreto celular	1	994	0,0120249	9,1586	15,8862
	2	995	0,0119689	10,6514	17,5461
	3	1035	0,0121609	9,6747	15,9143
	4	995	0,0119274	10,1907	17,3161
Placa de gesso acartonado	1	995	0,0119534	8,027	14,1912
	2	994	0,0113218	8,7662	14,9377
	3	994	0,0117942	8,0762	13,9729
	4	994	0,011304	8,6158	14,8611

Fonte:Autor

Com os valores dos momentos é possível o cálculo das armaduras, igualmente ao processo feito pelo método das placas.

Para exemplificar segue o cálculo para armadura positiva

$$K_{MD} = \frac{M_d}{b_w \cdot d^2 \cdot f_{cd}} \quad \text{Eq.(212)}$$

$$K_{MD} = \frac{1,4 \cdot 12,2243}{0,50 \cdot 0,15^2 \cdot 30.000/1,4} \rightarrow 0,071 \quad \text{Eq.(213)}$$

$$K_{MD} = 0,68 \cdot K_x - 0,272 \cdot K_x^2 \quad \text{Eq.(214)}$$

$$\frac{0,68 \mp \sqrt{(-0,68)^2 - 4 \cdot 0,272 \cdot 0,071}}{2 \cdot 0,272} = \begin{cases} 0,1092 \\ 2,390 \end{cases} \rightarrow 0,1092 \quad \text{Eq.(215)}$$

$$K_z = 1 - 0,4K_x \rightarrow 0,956 \quad \text{Eq.(216)}$$

$$A_s = \frac{M_d}{K_z \cdot d \cdot f_s} \quad \text{Eq.(217)}$$

$$A_s = \frac{1,4 \cdot 12,2243}{0,9556 \cdot 0,15 \cdot \left(\frac{50}{1,15}\right)} \rightarrow 2,746 \text{ cm}^2/\text{m} \quad \text{Eq.(218)}$$

- Adotando $\varnothing 6,3$ mm:

$$S = \frac{0,312}{2,746} \cdot 100 \rightarrow 11,36 \text{ cm} \rightarrow 11 \text{ cm} \quad \text{Eq.(219)}$$

5.2.1 Análise utilizando o valor proposto pela NBR 6120:1980

Para essa análise foi utilizado o valor de 1kN/m^2 distribuído em toda a laje, sem considerar uma carga local.

Assim obtiveram-se os seguintes resultados.

Tabela 34 - Deformação, momento positivo e momento negativo – para o caso de 1kN/m^2

Laje	Deformação		Momento positivo (kN.m)	Momento negativo (kN.m)
	Nó	(m)		
Utilizando 1kN/m^2	995	0,0129756	8,8579	15,3724

Fonte:Autor

6. DISCUSSÃO

No caso específico de uma construção que não possui ambientes definidos, ou seja, que apresenta maior mobilidade de alocar os cômodos e impossibilita o estabelecimento das cargas oriundas das paredes e atuantes nas lajes torna-se necessário o estudo para avaliar o enquadramento ao item 2.1.2 da NBR 6120:1980, que apresenta o valor mínimo a ser adotado de valor 1kN/m^2 . Para avaliar se o valor determinado pela norma é suficiente ou razoável para ser adotado foi proposto à elaboração de um projeto e análise do mesmo com diferentes tipos de materiais constituintes de alvenaria e diferentes tipos de layouts.

Foram determinados quatro materiais e quatro layouts distintos, no qual foi analisado cada material em relação a cada layout, tendo assim dezesseis situações de análise.

A primeira análise foi a dos valores dos carregamentos, realizado por meio dos valores das cargas oriundas das paredes divisórias, obtidos na tabela 20. Observou-se que somente em quatro ocasiões, das dezesseis avaliadas, os valores foram inferiores ao aconselhado pela NBR 6120:1980, e todas essas quatro situações ocorreram quando o material constituinte foi à placa de gesso acartonado, que é dentre os materiais escolhidos o mais leve.

Contudo, como o problema é a inexistência de um projeto arquitetônico (layout) e não ter o conhecimento de qual o material as alvenarias serão construídas, uma possível fórmula de análise é considerar à média dessas situações, sendo que para as dezesseis situações a média é $1,32\text{kN/m}^2$ que é superior ao 1kN/m^2 proposto pela NBR 6120:1980. Se análise se resumisse a este aspecto, o ideal seria ou utilizar a média ou para critério de segurança utilizar o maior carregamento, que seria de $2,92\text{kN/m}^2$.

Porém desenvolvendo uma análise mais detalhada foram dimensionados todos os casos pelo método de placas e pelo método da grelha equivalente assim obteve-se os valores para os momentos fletores, que podem ser encontrados nas tabelas 23 e 30 (método das placas) e 33 e 34 (método das grelhas).

Se analisarmos os valores da tabela 23 com os valores da tabela 30, ambas dimensionadas pelo método das placas e considerando momentos positivos, os valores encontrados para o bloco cerâmico e para o bloco de sílico calcário não são superados nenhuma vez pelos momentos encontrados quando se adota o valor recomendado pela norma. Enquanto se comparado os valores da tabela 30 com os valores obtidos para placa de gesso acartonado, ocorre o contrario, sendo superior em todos os momentos positivos. Em contrapartida o bloco de concreto celular, em alguns casos são superiores e alguns casos são inferiores (se comparado aos valores obtidos considerando 1kN/m^2), o que demonstra que layout interfere na magnitude

do momento, já que utilizando o mesmo material para todos os layouts em alguns casos superou o indicado por norma enquanto em outros não.

Analisando os valores das tabelas 33 e 34, valores obtidos através do método de grelha equivalente, observa-se que os valores da tabela 34, que apresenta os momentos para o carregamento utilizando 1kN/m^2 , são inferiores somente aos momentos positivos para o caso de placa de gesso acartonado, sendo superado em todos os outros materiais.

Nota-se que os momentos de um método para o outro tem uma grande variação, devido o modo de análise de cada processo, sendo o de grelha equivalente mais preciso, uma vez que considera a rigidez dos apoios laterais, assim acarretando em uma diminuição considerável do momento.

Para uma análise levando em consideração os quantitativos de armadura e de concreto, foram elaboradas as tabelas 35 e 36 para o método de placas.

Tabela 35 - Quantitativo de armadura e concreto - para as 16 situações método de placas

Material	Layout	Método das placas			
		Peso total (kg)	Peso total + 10% (kg)	Volume total (m ³)	Volume total + 10% (m ³)
Bloco cerâmico	1,00	1280,85	1408,94	15,20	16,72
	2,00	1280,85	1408,94	16,00	17,60
	3,00	1215,34	1336,87	15,20	16,72
	4,00	1304,19	1434,61	16,00	17,60
Bloco sílico calcário	1,00	1280,85	1408,94	16,00	17,60
	2,00	1336,22	1469,84	16,00	17,60
	3,00	1336,22	1469,84	15,20	16,72
	4,00	1336,22	1469,84	16,80	18,48
Bloco concreto celular	1,00	1234,55	1358,01	14,40	15,84
	2,00	1215,34	1336,87	15,20	16,72
	3,00	1215,34	1336,87	14,40	15,84
	4,00	1215,34	1336,87	15,20	16,72
Placa de gesso acartonado	1,00	1215,34	1336,87	13,60	14,96
	2,00	1171,31	1288,44	14,40	15,84
	3,00	1215,34	1336,87	13,60	14,96
	4,00	1192,00	1311,19	14,40	15,84

Fonte: Autor

Tabela 36 - Quantitativo de armadura e concreto - para 1kN/m² método de placas

Laje	Peso total (kg)	Peso total + 10% (kg)	Volume total (m ³)	Volume total + 10% (m ³)
Utilizando 1 kN/m ²	1.270,51	1.397,56	14,4	15,84

Fonte: Autor

Desenvolvendo o método de grelhas utilizando as mesmas alturas que o método de placas, criou-se uma tabela do quantitativo de armadura, uma vez que o de concreto será igual ao do método anterior.

Tabela 37 - Quantitativo de armadura e concreto - para as 16 situações método de grelhas

Material	Layout	Método das grelhas	
		Peso total (kg)	Peso total + 10% (kg)
Bloco cerâmico	1,00	473,30	520,63
	2,00	555,65	611,22
	3,00	505,30	555,83
	4,00	510,04	561,04
Bloco sílico calcário	1,00	489,46	538,40
	2,00	569,87	626,86
	3,00	555,65	611,22
	4,00	555,65	611,22
Bloco concreto celular	1,00	446,21	490,84
	2,00	468,56	515,42
	3,00	468,56	515,42
	4,00	441,48	485,62
Placa de gesso acartonado	1,00	413,93	455,32
	2,00	409,19	450,11
	3,00	413,93	455,32
	4,00	409,19	450,11

Fonte: Autor

Tabela 38 - Quantitativo de armadura e concreto - para 1kN/m² método de grelhas

Laje	Método das grelhas	
	Peso total (kg)	Peso total + 10% (kg)
Utilizando 1kN/m ²	475,67	523,24

Analisando as quatro tabelas anteriores que apresentam a quantidade de armadura de acordo com os métodos estudados observa-se um valor discrepante entre os mesmos. Enfim, o quantitativo de aço encontrado para o carregamento de 1 kNm² superou 56% da amostragem dos valores das 16 situações, ou seja nas 16 situações avaliadas 9 possuem armaduras inferiores se relacionadas aos valores utilizando 1kN/m².

7. CONCLUSÃO

Após análise dos resultados obtidos considerando a avaliação das cargas atuantes nas lajes por metro quadrado, utilizando o processo de dimensionamento através do método de placas e grelhas foi possível chegar ao consumo de aço e fazer considerações a respeito do assunto.

Portanto, por meio da observação dos valores encontrados, pode se afirmar que não há uma maneira “padrão” de tomar decisões para o cálculo do pavimento sem layout definido, visto que não houve uma linearidade nos valores comparados entre os métodos distintos. Assim, é preciso realizar uma análise para se determinar qual a maneira e a carga solicitante a ser considerada no dimensionamento.

Pode se concluir que pelo método de grelhas equivalente é possível obter um valor mais preciso, uma vez que o método é mais rígido no lançamento dos carregamentos e considera a rigidez dos materiais de apoio. Entretanto, o layout e o material constituinte interferem no quantitativo final.

Além das conclusões anteriores é importante ressaltar que o valor de 1kN/m^2 proposto pela NBR 6120:1980 está defasado em algumas situações, portanto utilizá-lo sem fazer um estudo dos materiais que podem ser utilizados, podem resultar em soluções com segurança inferior exigida para estruturas de concreto armado.

Portanto o ideal seria realizar uma pesquisa na região onde será construída a edificação com tais características, de modo a encontrar e determinar os materiais mais utilizados, e com essa informação definir layouts, que após análise conforme apresentada neste estudo obtém-se o valor de carregamento e momentos fletores a serem utilizados, sendo indicado o uso da situação que possui maior momento fletor e conseqüentemente maior armadura.

Todavia esse estudo e análise cabem ao profissional projetista, já que o mesmo deve ter conhecimento e a sensibilidade para escolher qual a melhor e mais viável opção.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ARAUJO, Herbert G. **Manualização de construções em adobe**. 2009. 49f. Dissertação (Trabalho de Conclusão de Curso) - Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2009.
- ANTUNES, Juliana S. **Estudo da construção de edifício em alvenaria estrutural com bloco sílico-calcário numa construtora São Carlense**. 2009. 49f. Dissertação (Trabalho de Conclusão de Curso) - Centro de Ciências Exatas e de Tecnologia da Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2009.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 14715: Chapas de gesso acartonado – Requisitos**. Rio de Janeiro: ABNT, 2001. jul.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 14974-1: Bloco sílico-calcário para alvenaria – Parte 1: Requisitos, dimensões e métodos de ensaio**. Rio de Janeiro: ABNT, 2003. ago.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 14974-2: Bloco sílico-calcário para alvenaria- Parte 2: Procedimentos para execução de alvenaria**. Rio de Janeiro: ABNT, 2003. ago.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS: **NBR 15270-1: Componentes Cerâmicos - Parte 1: Blocos Cerâmicos para Alvenaria de Vedação – Terminologia e Requisitos**. Rio de Janeiro: ABNT, 2005. ago.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS: **NBR 15758-1: Sistemas construtivos em chapas de gesso para drywall – Projeto e procedimentos executivos para montagem Parte 1: Requisitos para sistemas usados como paredes**. Rio de Janeiro: ABNT, 2009. set.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6118: Projeto de Estruturas de Concreto - Procedimento**. Rio de Janeiro: ABNT, 2014. abril.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6120: Cargas para o Cálculo de Estruturas de Edificações**. Rio de Janeiro: ABNT, 1980. nov.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6136: Blocos vazados de concreto simples para alvenaria – Requisitos**. Rio de Janeiro: ABNT, 2014. mar.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6460: Tijolo Maciço Cerâmico para Alvenaria- Verificação da Resistência à compressão**. Rio de Janeiro: ABNT, 1983. jun.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7170: Tijolo maciço cerâmico para alvenaria**. Rio de Janeiro: ABNT, 1983. jun.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 8041: Tijolo maciço cerâmico para alvenaria – Forma e dimensões**. Rio de Janeiro: ABNT, 1983. jun.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS: **NBR 8545: Execução de Alvenaria sem Função Estrutural de Tijolos e Blocos Cerâmicos**. Rio de Janeiro: ABNT, 1984. jul.

AZEREDO, Hélio A. **O edifício até sua cobertura**. 2 ed. São Paulo: Edgard Blücher LTDA, 1997.

BARRETO, Matheus F.O. **Análise microestrutural de blocos de concreto celular autoclavado (bcc) com o auxílio de métodos instrumentais**. Conexão Ciência, v. 7, n 2, p. 38-63, 2012.

BASTOS, Paulo S.S. **Lajes de concreto armado: notas de aula**. Estruturas de concreto 1. 119 f, UNESP. 2015.

BUENO, Luiz O.S. **Cálculo e dimensionamento de lajes e comparação entre as ferramentas disponíveis**. 2008. 66f. Dissertação (Trabalho de Conclusão de Curso) – Universidade Anhembi Morumbi, São Paulo, 2008.

CARVALHO, R.C. **Análise não-linear de pavimentos de edifícios de concreto através da analogia de grelha**. 1994. 202 f. Tese (Doutorado em Engenharia de Estruturas). Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo, 1994.

CASS, Andrew J.R. **Programa gráfico livre para a análise de lajes de edificações em concreto armado usando o modelo de grelha equivalente**. 2015. 183 f. Tese (Doutorado em Análise Estrutural). Universidade Federal de São Carlos, 2015.

CAMACHO, J.F. **Concreto Armado: Estados limites de utilização**. 2005. 48 f. Núcleo de Ensino e Pesquisa da Alvenaria estrutural - NAPAE, 2005.

CARVALHO, R.C.; FIGUEIREDO FILHO J.R. **Cálculo de dimensionamento de estruturas usuais de concreto armado**. 4ª edição. EDUFScar, São Carlos: 2014.

CIARLINI, A.G.C.; OSÓRIO, A.P.; PINTO, D.C. **Gesso, tecnologia que reduz cargas e custos na construção civil**. Dissertação (Pós-Graduação) - Universidade Federal de Pernambuco, Pernambuco, 2001.

COLIN, Sílvio. **Técnicas científicas do período colonial-I**. Coisas da Arquitetura. Disponível em: <<https://coisasdaarquitetura.wordpress.com/2010/09/06/tecnicas-construtivas-do-periodo-colonial-i/>> 06 set. 2010.

Acesso em: 01 de maio 2015 às 16:31 hrs

FARIA, A. **Uma nova abordagem na utilização de ferramentas computacionais no ensino de conteúdos da disciplina estruturas de concreto em cursos de engenharia civil**. 2009. 190 f. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de São Carlos. 2009.

FARIA, A. **Notas de aula das matérias de estruturas I e II com Professor Mestre Antônio de Faria**. Centro Universitário do Sul de Minas, UNIS-MG, curso de Engenharia Civil, Varginha: 2014.

FERNANDES R. F.; Manoel. **Estudo das propriedades das argamassas refratárias úmidas com o tempo de estocagem**. 2012. 110f. Dissertação (Doutorado) - Universidade Federal de Minas Gerais, Minas Gerais, 2012.

FERRAZ, Fabiana de Carvalho. **Comparação dos sistemas de alvenaria de vedação: bloco de concreto celular Autoclavado x bloco cerâmico**. 2011. 97f. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2011.

GYPSUM. **Catálogo de Produtos**. 2013

Disponível em: < http://www.gypsum.com.br/shared/catalogo_produtos.pdf >

Acesso em: 17 de maio de 2015 às 22:02

HENNRICH, Carlos A. **Estudo sobre a modelagem de lajes planas de concreto armado**. 2003. 201 f. Dissertação (Pós-Graduação) – Universidade Federal de Santa Catarina Centro Tecnológico – Departamento Engenharia Civil. 2003.

INMETRO. **Blocos de Concreto para Alvenaria sem Função Estrutural**. 2012

Disponível em: < <http://www.inmetro.gov.br/consumidor/produtos/blocoConcreto.asp?iacao=imprimir> >

Acesso em: 12 de maio de 2015 às 21:53 hrs.

KUDLANVEC JUNIOR, V.L; GRUBER, Y.A; AMPOLINI, A.B. **Aplicação do método dos elementos finitos no estudo da teoria das placas**. 2012. 143 f. Dissertação (Trabalho de Conclusão de Curso) – Universidade Federal do Paraná. 2012.

KNAUF. **Paredes Knauf**. Folheto técnico. 2015

Disponível em: < <http://www.bassani.com.br/wp-content/uploads/paredes.pdf> >

Acesso em: 14 de abril de 2015 às 10:03hrs.

LOPES, Wilza G.R. et al. **A taipa de mão em Teresina, Piauí, Brasil: a improvisação e o uso de procedimentos construtivos**. Actas do 6º ATP 9º SIACOT. Digital, n 1, p. 70-78. 2013.

Disponível em: < iduc.uc.pt/index.php/digitar/article/download/1420/868 >

Acesso em: 19 de abril de 2015 às 13:50 hrs.

MELLO, Ana L.V. **Cálculo de lajes lisas com protensão parcial e limitada**. 2005. 138f. Dissertação (Pós-Graduação) - Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2005.

MENDES, Hugo; CARVALHO, Kleber M.B.; BORGES, Tâmara E. **Tijolos e alvenarias: no âmbito da construção civil**. 2012. 20f. Dissertação (Trabalho de Conclusão de Curso) - Faculdade de Tecnologia e Ciência. Itabuna. 2012.

MENDONÇA, Paulo. **Habitar sob uma segunda pele: estratégias para a redução do impacto ambiental de construções solares passivas em climas temperados**. 2015.

Disponível em: < <http://repositorium.sdum.uminho.pt/handle/1822/4250> >

Acesso em: 21 de abril de 2014 às 19:21 hrs.

MESQUITA FILHO, Júlio. **Estudo das lajes**. Curso de concreto armado (NBR 6118/2003): estudo das lajes. UNESP, Ilha Solteira, 2004.

MILITO, José A. **Técnicas de construção civil e construção de edifícios**. Apostila da Faculdade de Ciências Tecnológicas da PUC – Campinas e Faculdade de Engenharia de Sorocaba. 303 f. 2009.

MORATO JUNIOR, José A. **Divisórias em gesso acartonado: sua utilização na construção civil**. 2008. 74f. Dissertação (Trabalho de conclusão de Curso) – Universidade Anhembi Morumbi, São Paulo, 2008.

NOGUEIRA, Dorival J.L.; CASTRO, Fábio S. **Sistemas estruturais de lajes** – parâmetros de escolhas da solução estrutural de lajes. 2010. 133f. Dissertação (Trabalho de Conclusão de Curso) – Centro de Ciências exatas e tecnológicas, Belém, 2010.

OLIVEIRA Dayana R.B. **Estudo comparativo de alternativas para vedações internas de edificações**. 2013. 91f. Dissertação (Trabalho de Conclusão de Curso) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2013.

PESOS específicos de materiais. Orçamentos e Orçamentação na construção civil. 2012.
Disponível em: < <http://orcamentos.eu/project/pesos-especificos-de-materiais/> >
Acesso em: 21 de maio de 2015 às 12:09 hrs.

PINHEIRO, Libânio M.; MUZARDO, Cassiane D.; SANTOS, Sandro P. Lajes Maciças – Capítulo 11. **Departamento de Engenharia de Estruturas**. 2010. USP – EESC

PINHEIRO, Libânio M. **Fundamentos do concreto e projeto de edifícios**. Departamento de Engenharia de Estruturas. 2010. USP – EESC

PISANI, Maria A.J. **Taipas: A Arquitetura de Terra**, São Paulo, v.5, n.1, p.9-15, jan/jul.2004.

PISANI, Maria A.J; CANTEIRO, Fábio. **Taipa de mão: História e Contemporaneidade**. Aedificandi Revista de Arquitetura e Construção (Ensaio), São Paulo, v. 1, n.2, p.1-21, out.2006.

PLACO. **Guia Placo 2014** – Soluções Construtivas. 2014
Disponível em: < www.placo.com.br/produtos-drywall/material-impreso-drywall/arquivos/AF-GuiaPlaco2014_00%20Completo_ok.pdf >
Acesso em: 17 de maio de 2015 às 22:12 hrs.

PRECON. **Ficha Técnica** – Bloco de Concreto Celular Autoclavado. 2010
Disponível em: < www.precon.com.br/preconmaterialdeconstrucao/img/bloco/bloco_19072013035229.pdf >
Acesso em: 09 de abril de 2015 às 22:04

REIS, Mateus dos. **Cartilha para execução de lajes treliçadas pré-moldadas em edificações residenciais de pequeno porte**. 2014. 93f. Dissertação (Trabalho de Conclusão de Curso) - Centro Universitário do Sul de Minas, Varginha, 2014.

SALVADOR FILHO, José A.A. **Blocos de concreto para alvenaria em construções industrializadas**. 2007. 246f. Dissertação (Doutorado) - Universidade de São Paulo, São Carlos, 2007.

SANTIN, Eder. A economia que vem do drywall. **Presente e Futuro**, Técnica, Revista da Tecnologia da Construção. São Paulo, 2000, Editora PINI.

Disponível em: <techne.pini.com.br/engenhariacivil/44/artigo2861741.aspx>.

Acesso em: 12 de abril 2015 às 16:01 hrs.

SANTOS, Carlos E.O. **Análise de Blocos Estruturais de concreto utilizando a técnica da ultrassonografia**. 2011. 85f. Dissertação (Pós-Graduação) - Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2011.

SATO, Márica H.Y. **Análise de estruturas em taipa de pilão**. 2011. 100f. Dissertação (Mestrado) - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2011.

SILVA, Cláudia G.T. **Conceitos e preconceitos relativos às construções em terra crua**. 2000. 155f. Dissertação (Mestrado) - Escola Nacional de Saúde Pública/Fundação Oswaldo Cruz, Rio de Janeiro, 2000.

SILVA, Marcos A.F. **A utilização da analogia de grelha para análise de pavimentos de edifícios em concreto armado**. V Simpósio EPUSP sobre Estruturas de Concreto. 2003.

SOUSA, A.M.D. et al. **Propriedades físico-mecânicas de blocos sílico calcários incorporando resíduo calcário**. HOLOS, Ano 27, Vol 3. 2011

STRAMANDINOLI, Juliana S.B. **Contribuições à análise de lajes nervuradas por analogia de grelha**. 2003. 199 f. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis. 2003.

TANIGUTI, Eliana Kimie. **Método construtivo de vedação vertical interna de chapas de gesso acartonado**. 1999. 316f. Dissertação (Mestrado) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo. 1999

TCPO, **Tabela de Composições de Preço para Orçamento**, 2010. 13.ed. São Paulo:Pini, 2010.

TOPECA. **Tijolo Refratário**. Brasil: 2015

Disponível em: <<http://www.topeca.pt/index.php/pt/product/special/806>>

Acesso em: 12 de maio 2015 às 15:08 hrs.

VAZ, Diana. **Adobe, superadobe e hiperadobe**. Construir sustentável: o portal da construção ecoeficiente. 2013.

Disponível em: <<http://www.construirsustentavel.com.br/materiais-sustentaveis/1119>>

Acesso em: 01 de maio 2015 às 19:21 hrs.

ANEXOS

ANEXO A – TABELAS E DADOS DE PESO ESPECÍFICO

As tabelas aqui apresentadas foram utilizadas para a elaboração da tabela 12. Além dessas fontes, foram utilizadas informações retiradas das referências: PESOS..., 2012; ANTUNES, 2009.

Tabela A 1 - Peso específico dos materiais de construção

Materiais		Peso específico aparente (kN/m ³)
1 Rochas	Arenito	26
	Basalto	30
	Gneiss	30
	Granito	28
	Mármore e calcáreo	28
2 Blocos artificiais	Blocos de argamassa	22
	Cimento amianto	20
	Lajotas cerâmicas	18
	Tijolos furados	13
	Tijolos maciços	18
	Tijolos sílico-calcáreos	20
3 Revestimentos e concretos	Argamassa de cal, cimento e areia	19
	Argamassa de cimento e areia	21
	Argamassa de gesso	12,5
	Concreto simples	24
	Concreto armado	25
4 Madeiras	Pinho, cedro	5
	Louro, imbuia, pau óleo	6,5
	Guajuvirá, guatambu, grápia	8
	Angico, cabriuva, ipê róseo	10
5 Metais	Aço	78,5
	Alumínio e ligas	28
	Bronze	85
	Chumbo	114
	Cobre	89
	Ferro fundido	72,5
	Estanho	74
	Latão	85
	Zinco	72
6 Materiais diversos	Alcatrão	12
	Asfalto	13
	Borracha	17
	Papel	15
	Plástico em folhas	21
	Vidro plano	26

Fonte: ABNT: NBR 6120:1980

Tabela A 2 - Densidade aparente de alguns materiais

Material	[Kg/m³]
Aço	7.780
Acrílicos, PVC	1.200-1.400
Aglomerado de fibras de madeira aglutinadas com cimento	1.350
Aglomerado de fibras de madeira - denso	850-1.000
Aglomerado de fibras de madeira - leve	200-250
Aglomerado de partículas de madeira - prensadas	350-750
Aglomerado de partículas de madeira - extrudidas	550-650
Aglomerado negro de cortiça expandida	120
Água	997
Alcatifa	400
Alumínio	2.700
Argamassa de inertes correntes	1.800-2.100
Argila expandida (8/16)	<400
Aglomerado de cortiça	500
Areia - seca	1.500
Areia - saturada	1.650
Ar seco	1.223
Asfalto	2.110
Balsa	60-120
Basalto	2.700-3.000
Betão de inertes correntes - normal	2.200-2.400
Betão de inertes correntes - cavernoso	1.700-2.100
Betão de pozolana ou escória expandida - com finos	1.200-1.600
Betão de pozolana ou escória expandida - sem finos	1.000-1.200
Betão de pedra-pomes	950-1.150
Betão de argila expandida - dosagem de cimento	≥300 Kg/m ³ 1.000-1.800
Betão de argila expandida - dosagem de cimento	≤250 Kg/m ³ 600-1.000
Betão de vermiculite ou de perlite - cimento/areia:	1/3 600-800
Betão de vermiculite ou de perlite - cimento/areia:	1/6 400-600
Betão autoclavado	400-800
Borracha natural	1.000
Borrachas sintéticas, formo-fenólicas, poliamidas, poliésteres, polietilenos	900-1.700
Brita ou seixo calcário	1.000-1.500
Cal	1.600
Calcário - mármore	2.600
Calcário - outros	1.480-2.590
Cerâmica de barro vermelho	1.800-2.000
Chapa de vidro	2.500
Chumbo	11.340
Cobre	8.930
Contraplacado	350-550
Duralumínio	2.800

Espuma rígida de Poliuretano	30-40
Estuque projectado ou de massa volúmica elevada	1.100-1.300
Estuque tradicional, placas de estafe, gesso cartonado	750-1.000
Estuque com inertes leves - gesso/inerte: 1/1	700-900
Estuque com inertes leves - gesso/inerte: 1/2	500-700
Ferro	7.870
Ferro fundido	7.500
Fibra de celulose	60
Fibra de Côco	85
Granito, gneisse, pórfiro	2.300-2.900
Grés - quartzoso	2.200-2.800
Grés - calcário	2.000-2.700
Lã de rocha	20-180
Lã de vidro	8-80
Latão	8.400
Lava, traquito, andesito	2.000-2.700
Madeira de massa volúmica elevada	800-1.000
Madeiras pouco densas (Carvalho, freixo, faia, pinho, casquinha, cedro, abeto)	300-750
Materiais granulares leves ou fibras soltas	20-100
Membranas betuminosas	1.000-1.100
Placas de fibrocimento	1.400-2.200
Poliestireno expandido moldado	15-35
Poliestireno expandido extrudido	25-40
Sílex	2.600-2.800
Terra - seca	1.500
Terra - saturada	1.700
Terra - compactada	1.850
Tijolo	1.800-2.000
Vidro	2.500
Vidro celular	110-140
Xisto, ardósia	2.000-2.800
Zinco	7.130

Fonte: Pina dos Santos (1990, apud MENDONÇA, 2005)

ANEXO B – TABELAS DE COEFICIENTES DE BARES

Para o cálculo das flechas elásticas em lajes retangulares e submetidas a carregamento uniformemente distribuído, é necessário o coeficiente α , que é retirado da tabela, de acordo com o λ da laje dado pela equação:

$$\lambda = \frac{l_y}{l_x} \quad \text{Eq.(220)}$$

Sendo, l_x o menor lado da placa.

Tabela B I – Coeficiente para o cálculo das flechas elásticas

α	CASO1	CASO2	CASO3	CASO4	CASO5	CASO6	CASO7	CASO8	CASO9
1,00	4,67	3,20	3,20	2,42	2,21	2,21	1,81	1,81	1,46
1,05	5,17	3,61	3,42	2,67	2,55	2,31	2,04	1,92	1,60
1,10	5,64	4,04	3,63	2,91	2,92	2,41	2,27	2,04	1,74
1,15	6,09	4,47	3,82	3,12	3,29	2,48	2,49	2,14	1,87
1,20	6,52	4,91	4,02	3,34	3,67	2,56	2,72	2,24	1,98
1,25	6,95	5,34	4,18	3,55	4,07	2,63	2,95	2,33	2,10
1,30	7,36	5,77	4,35	3,73	4,48	2,69	3,16	2,42	2,20
1,35	7,76	6,21	4,50	3,92	4,92	2,72	3,36	2,48	2,30
1,40	8,14	6,62	4,65	4,08	5,31	2,75	3,56	2,56	2,37
1,45	8,51	7,02	4,78	4,23	5,73	2,80	3,73	2,62	2,45
1,50	8,87	7,41	4,92	4,38	6,14	2,84	3,91	2,68	2,51
1,55	9,22	7,81	5,00	4,53	6,54	2,86	4,07	2,53	2,57
1,60	9,54	8,17	5,09	4,65	6,93	2,87	4,22	2,87	2,63
1,65	9,86	8,52	5,13	4,77	7,33	2,87	4,37	2,78	2,68
1,70	10,15	8,87	5,17	4,88	7,70	2,88	4,51	2,79	2,72
1,75	10,43	9,19	5,26	4,97	8,06	2,88	4,63	2,81	2,76
1,80	10,71	9,52	5,36	5,07	8,43	2,89	4,75	2,83	2,80
1,85	10,96	9,82	5,43	5,16	8,77	2,89	4,87	2,85	2,83
1,90	11,21	10,11	5,50	5,23	9,08	2,90	4,98	2,87	2,85
1,95	11,44	10,39	5,58	5,31	9,41	2,90	5,08	2,89	2,88
2,00	11,68	10,68	5,66	5,39	9,72	2,91	5,19	2,91	2,91
∞	15,35	15,35	6,38	6,38	15,35	3,07	6,38	3,07	3,07

FONTE: Carvalho e Figueiredo Filho (2014)

Para o cálculo dos momentos (equações 21, 22, 23 e 24), são necessários os coeficientes, que são retirados das tabelas de acordo com o λ da laje. Tais tabelas foram baseadas na solução de Bares e adaptadas para o coeficiente de Poisson igual a 0,20.

Tabela B 2 - Coeficientes para o cálculo dos momentos máximos – Casos 1, 2 e 3

λ	Caso 1		Caso 2			Caso 3		
	μ_x	μ_y	μ_x	μ_y	μ'_y	μ_x	μ'_x	μ_y
1,00	4,41	4,41	3,07	3,94	8,52	3,94	8,52	3,07
1,05	4,80	4,45	3,42	3,78	8,79	4,19	8,91	2,84
1,10	5,18	4,49	3,77	3,90	9,18	4,43	9,30	2,76
1,15	5,56	4,49	4,14	3,97	9,53	4,64	9,63	2,68
1,20	5,90	4,48	4,51	4,05	9,88	4,85	9,95	2,59
1,25	6,27	4,45	4,88	4,10	10,16	5,03	10,22	2,51
1,30	6,60	4,42	5,25	4,15	10,41	5,20	10,48	2,42
1,35	6,93	4,37	5,60	4,18	10,64	5,36	10,71	2,34
1,40	7,25	4,33	5,95	4,21	10,86	5,51	10,92	2,25
1,45	7,55	4,30	6,27	4,19	11,05	5,64	11,10	2,19
1,50	7,86	4,25	6,60	4,18	11,23	5,77	11,27	2,12
1,55	8,12	4,20	6,90	4,17	11,39	5,87	11,42	2,04
1,60	8,34	3,14	7,21	4,14	11,55	5,98	11,55	1,95
1,65	8,62	4,07	7,42	4,12	11,67	6,07	11,67	1,87
1,70	8,86	4,00	7,62	4,09	11,79	6,16	11,80	1,79
1,75	9,06	3,96	7,66	4,05	11,88	6,24	11,92	1,74
1,80	9,27	3,91	7,69	3,99	11,96	6,31	12,04	1,68
1,85	9,45	3,83	8,22	3,97	12,03	6,38	12,14	1,64
1,90	9,63	3,75	8,74	3,94	12,14	6,43	12,24	1,59
1,95	9,77	3,71	8,97	3,88	12,17	6,47	12,29	1,54
2,00	10,00	3,64	9,18	3,80	12,20	6,51	12,34	1,48
∞	12,57	3,77	9,18	3,80	12,20	7,61	12,76	1,48

Fonte: Carvalho e Figueiredo Filho (2014)

Tabela B 3 - Coeficientes para o cálculo dos momentos máximos – Casos 4, 5 e 6

λ	Caso 4				Caso 5			Caso 6		
	μ_x	μ'_x	μ_y	μ'_y	μ_x	μ_y	μ'_y	μ_x	μ'_x	μ_y
1,00	2,81	6,99	2,81	6,99	2,15	3,17	6,99	3,17	6,99	2,15
1,05	3,05	7,43	2,81	7,18	2,47	3,32	7,43	3,29	7,20	2,07
1,10	3,30	7,87	2,81	7,36	2,78	3,47	7,87	3,42	7,41	1,99
1,15	3,53	8,28	2,80	7,50	3,08	3,58	8,26	3,52	7,56	1,89
1,20	3,76	8,69	2,79	7,63	3,38	3,70	8,65	3,63	7,70	1,80
1,25	3,96	9,03	2,74	7,72	3,79	3,80	9,03	3,71	7,82	1,74
1,30	4,16	9,37	2,69	7,81	4,15	3,90	9,33	3,79	7,93	1,67
1,35	4,33	9,65	2,65	7,88	4,50	3,96	9,69	3,84	8,02	1,59
1,40	4,51	9,93	2,60	7,94	4,85	4,03	10,00	3,90	8,11	1,52
1,45	4,66	10,41	2,54	8,00	5,19	4,09	10,25	3,94	8,13	1,45
1,50	4,81	10,62	2,47	8,06	5,53	4,14	10,49	3,99	8,15	1,38
1,55	4,93	10,82	2,39	8,09	5,86	4,16	10,70	4,03	8,20	1,34
1,60	5,06	10,99	2,31	8,12	6,18	4,17	10,91	4,06	8,25	1,28
1,65	5,16	11,16	2,24	8,14	6,48	4,14	11,08	4,09	8,28	1,23
1,70	5,27	11,30	2,16	8,15	6,81	4,12	11,24	4,12	8,30	1,18
1,75	5,36	11,43	2,11	8,16	7,11	4,12	11,39	4,14	8,31	1,15
1,80	5,45	11,55	2,04	8,17	7,41	4,10	11,43	4,15	8,32	1,11
1,85	5,53	11,57	1,99	8,17	7,68	4,08	11,65	4,16	8,33	1,08
1,90	5,60	11,67	1,93	8,18	7,95	4,04	11,77	4,17	8,33	1,04
1,95	5,67	11,78	1,91	8,19	8,21	3,99	11,83	4,17	8,33	1,01
2,00	5,74	11,89	1,88	8,20	8,47	3,92	11,88	4,18	8,33	0,97
∞	7,06	12,50	1,95	8,20	12,58	4,13	11,88	4,18	8,33	0,97

Fonte: Carvalho e Figueiredo Filho (2014)

Tabela B 4 - Coeficientes para o cálculo dos momentos máximos – Casos 7 e 8

λ	Caso 7				Caso 8			
	μ_x	μ'_x	μ_y	μ'_y	μ_x	μ'_x	μ_y	μ'_y
1,00	2,13	5,46	2,60	6,17	2,60	6,17	2,13	5,46
1,05	2,38	5,98	2,66	6,46	2,78	6,47	2,09	5,56
1,10	2,63	6,50	2,71	6,75	2,95	6,76	2,04	5,65
1,15	2,87	7,11	2,75	6,97	3,09	6,99	1,98	5,70
1,20	3,11	7,72	2,78	7,19	3,23	7,22	1,92	5,75
1,25	3,43	8,81	2,79	7,36	3,34	7,40	1,85	5,75
1,30	3,56	8,59	2,77	7,51	3,46	7,57	1,78	5,76
1,35	3,76	8,74	2,74	7,63	3,55	7,70	1,72	5,75
1,40	3,96	8,88	2,71	7,74	3,64	7,82	1,64	5,74
1,45	4,15	9,16	2,67	7,83	3,71	7,91	1,59	5,73
1,50	4,32	9,44	2,63	7,91	3,78	8,00	1,53	5,72
1,55	4,48	9,68	2,60	7,98	3,84	8,07	1,47	5,69
1,60	4,63	9,91	2,55	8,02	3,89	8,14	1,42	5,66
1,65	4,78	10,13	2,50	8,03	3,94	8,20	1,37	5,62
1,70	4,92	10,34	2,45	8,10	3,98	8,25	1,32	5,58
1,75	5,04	10,53	2,39	8,13	4,01	8,30	1,27	5,56
1,80	5,17	10,71	2,32	8,17	4,04	8,34	1,20	5,54
1,85	5,26	10,88	2,27	8,16	4,07	8,38	1,17	5,55
1,90	5,36	11,04	2,22	8,14	4,10	8,42	1,14	5,56
1,95	5,45	11,20	2,14	8,13	4,11	8,45	1,11	5,60
2,00	5,55	11,35	2,07	8,12	4,13	8,47	1,08	5,64
∞	7,07	12,50	2,05	8,12	4,18	8,33	1,09	5,64

Fonte: Carvalho e Figueiredo Filho (2014)

Tabela B 5 - Coeficientes para o cálculo dos momentos máximos – Caso 9

λ	Caso 9			
	μ_x	μ'_x	μ_y	μ'_y
1,00	2,11	5,15	2,11	5,15
1,05	2,31	5,50	2,10	5,29
1,10	2,50	5,85	2,09	5,43
1,15	2,73	6,14	2,06	5,51
1,20	2,94	6,43	2,02	5,59
1,25	3,04	6,67	1,97	5,64
1,30	3,13	6,90	1,91	5,68
1,35	3,25	7,09	1,86	5,69
1,40	3,38	7,28	1,81	5,70
1,45	3,48	7,43	1,73	5,71
1,50	3,58	7,57	1,66	5,72
1,55	3,66	7,68	1,60	5,72
1,60	3,73	7,79	1,54	5,72
1,65	3,80	7,88	1,47	5,72
1,70	3,86	7,97	1,40	5,72
1,75	3,91	8,05	1,36	5,72
1,80	3,95	8,12	1,32	5,72
1,85	3,98	8,18	1,26	5,72
1,90	4,01	8,24	1,21	5,72
1,95	4,04	8,29	1,19	5,72
2,00	4,07	8,33	1,16	5,72
∞	4,19	8,33	1,17	5,72

Fonte: Carvalho e Figueiredo Filho (2014)

Para o cálculo reações das lajes (equações 32, 33, 34 e 35), são necessários os coeficientes, que são retirados das tabelas de acordo com o λ da laje. Tais tabelas são para a situação de laje retangular sujeita a carga uniformemente distribuída.

Tabela B 6- Coeficientes para o cálculo das reações nas vigas de apoio de lajes – Casos 1 a 3

λ	Caso 1		Caso 2			Caso 3		
	k_x	k_y	k_x	k_y	k'_y	k_x	k'_x	k_y
1,00	2,50	2,50	1,83	2,32	4,02	2,32	4,02	1,83
1,05	2,62	2,50	1,92	2,37	4,10	2,38	4,13	1,83
1,10	2,73	2,50	2,01	2,41	4,17	2,44	4,23	1,83
1,15	2,83	2,50	2,10	2,44	4,22	2,50	4,32	1,83
1,20	2,92	2,50	2,20	2,46	4,27	2,54	4,41	1,83
1,25	3,00	2,50	2,29	2,48	4,30	2,59	4,48	1,83
1,30	3,08	2,50	2,38	2,49	4,32	2,63	4,55	1,83
1,35	3,15	2,50	2,47	2,50	4,33	2,67	4,62	1,83
1,40	3,21	2,50	2,56	2,50	4,33	2,70	4,68	1,83
1,45	3,28	2,50	2,64	2,50	4,33	2,74	4,74	1,83
1,50	3,33	2,50	2,72	2,50	4,33	2,77	4,79	1,83
1,55	3,39	2,50	2,80	2,50	4,33	2,80	4,84	1,83
1,60	3,44	2,50	2,87	2,50	4,33	2,82	4,89	1,83
1,65	3,48	2,50	2,93	2,50	4,33	2,85	4,93	1,83
1,70	3,53	2,50	2,99	2,50	4,33	2,87	4,97	1,83
1,75	3,57	2,50	3,05	2,50	4,33	2,89	5,01	1,83
1,80	3,61	2,50	3,10	2,50	4,33	2,92	5,05	1,83
1,85	3,65	2,50	3,15	2,50	4,33	2,94	5,09	1,83
1,90	3,68	2,50	3,20	2,50	4,33	2,96	5,12	1,83
1,95	3,72	2,50	3,25	2,50	4,33	2,97	5,15	1,83
2,00	3,75	2,50	3,29	2,50	4,33	2,99	5,18	1,83
∞	5,00	2,50	5,00	2,50	4,33	3,66	6,25	1,83

Fonte: Carvalho e Figueiredo Filho (2014)

Tabela B 7 - Coeficientes para o cálculo das reações nas vigas de apoio de lajes – Casos 4 a 6

λ	Caso 4				Caso 5		Caso 6	
	k_x	k'_x	k_y	k'_y	k_x	k'_y	k'_x	k_y
1,00	1,83	3,17	1,83	3,17	1,44	3,56	3,56	1,44
1,05	1,92	3,32	1,83	3,17	1,52	3,66	3,63	1,44
1,10	2,00	3,46	1,83	3,17	1,59	3,75	3,69	1,44
1,15	2,07	3,58	1,83	3,17	1,66	3,84	3,74	1,44
1,20	2,14	3,70	1,83	3,17	1,73	3,92	3,80	1,44
1,25	2,20	3,80	1,83	3,17	1,80	3,99	3,85	1,44
1,30	2,25	3,90	1,83	3,17	1,88	4,06	3,89	1,44
1,35	2,30	3,99	1,83	3,17	1,95	4,12	3,93	1,44
1,40	2,35	4,08	1,83	3,17	2,02	4,17	3,97	1,44
1,45	2,40	4,15	1,83	3,17	2,09	4,22	4,00	1,44
1,50	2,44	4,23	1,83	3,17	2,17	4,25	4,04	1,44
1,55	2,48	4,29	1,83	3,17	2,24	4,28	4,07	1,44
1,60	2,52	4,36	1,83	3,17	2,31	4,30	4,10	1,44
1,65	2,55	4,42	1,83	3,17	2,38	4,32	4,13	1,44
1,70	2,58	4,48	1,83	3,17	2,45	4,33	4,15	1,44
1,75	2,61	4,53	1,83	3,17	2,53	4,33	4,17	1,44
1,80	2,64	4,58	1,83	3,17	2,59	4,33	4,20	1,44
1,85	2,67	4,63	1,83	3,17	2,66	4,33	4,22	1,44
1,90	2,70	4,67	1,83	3,17	2,72	4,33	4,24	1,44
1,95	2,72	4,71	1,83	3,17	2,78	4,33	4,26	1,44
2,00	2,75	4,75	1,83	3,17	2,84	4,33	4,28	1,44
∞	3,66	6,33	1,83	3,17	5,00	4,33	5,00	1,44

Fonte: Carvalho e Figueiredo Filho (2014)

Tabela B 8 - Coeficientes para o cálculo das reações nas vigas de apoio de lajes – Casos 7 a 9

λ	Caso 7			Caso 8			Caso 9	
	k_x	k'_x	k'_y	k'_x	k_y	k'_y	k'_x	k'_y
1,00	1,44	2,50	3,03	3,03	1,44	2,50	2,50	2,50
1,05	1,52	2,63	3,08	3,12	1,44	2,50	2,62	2,50
1,10	1,59	2,75	3,11	3,21	1,44	2,50	2,73	2,50
1,15	1,66	2,88	3,14	3,29	1,44	2,50	2,83	2,50
1,20	1,73	3,00	3,16	3,36	1,44	2,50	2,92	2,50
1,25	1,80	3,13	3,17	3,42	1,44	2,50	3,00	2,50
1,30	1,88	3,25	3,17	3,48	1,44	2,50	3,08	2,50
1,35	1,94	3,36	3,17	3,54	1,44	2,50	3,15	2,50
1,40	2,00	3,47	3,17	3,59	1,44	2,50	3,21	2,50
1,45	2,06	3,57	3,17	3,64	1,44	2,50	3,28	2,50
1,50	2,11	3,66	3,17	3,69	1,44	2,50	3,33	2,50
1,55	2,16	3,75	3,17	3,73	1,44	2,50	3,39	2,50
1,60	2,21	3,83	3,17	3,77	1,44	2,50	3,44	2,50
1,65	2,25	3,90	3,17	3,81	1,44	2,50	3,48	2,50
1,70	2,30	3,98	3,17	3,84	1,44	2,50	3,53	2,50
1,75	2,33	4,04	3,17	3,87	1,44	2,50	3,57	2,50
1,80	2,37	4,11	3,17	3,90	1,44	2,50	3,61	2,50
1,85	2,40	4,17	3,17	3,93	1,44	2,50	3,65	2,50
1,90	2,44	4,21	3,17	3,96	1,44	2,50	3,68	2,50
1,95	2,47	4,28	3,17	3,99	1,44	2,50	3,72	2,50
2,00	2,50	4,33	3,17	4,01	1,44	2,50	3,75	2,50
∞	3,66	6,34	3,17	5,00	1,44	2,50	5,00	2,50

Fonte: Carvalho e Figueiredo Filho (2014)

ANEXO C – TABELA DE COEFICIENTES DE PONDERAÇÃO γ_{f2}

Tabela retirada da ABNT: NBR 6118:2014, no item 11.7.1, com coeficientes utilizados para ponderação de cargas.

Tabela C 1 – Valores do coeficiente γ_{f2}

Ações		γ_{f2}		
		Ψ_0	Ψ_1^a	Ψ_2
Cargas acidentais de edifícios	Locais em que não há predominância de pesos de equipamentos que permanecem fixos por longos períodos de tempo, nem de elevadas concentrações de pessoas ^b	0,5	0,4	0,3
	Locais em que há predominância de pesos de equipamentos que permanecem fixos por longos períodos de tempo, ou de elevada concentração de pessoas ^c	0,7	0,6	0,4
	Bibliotecas, arquivos, oficinas e garagens	0,8	0,7	0,6
Vento	Pressão dinâmica do vento nas estruturas em geral	0,6	0,3	0
Temperatura	Variações uniformes de temperatura em relação à média anual local	0,6	0,5	0,3

^a Para valores de ψ_1 relativos às pontes e principalmente aos problemas de fadiga, ver seção 23 da NBR 6118:2014

^b Edifícios residenciais.

^c Edifícios comerciais, de escritórios, estações e edifícios públicos.

Fonte: ABNT: NBR 6118:2014, tabela 11.2

ANEXO D – DIMENSIONAMENTO DA ARMADURA LONGITUDINAL UTILIZANDO MÉTODO ADIMENSIONAL

Fonte: (KATAOKA, L.T. 2005 apud CARVALHO E FIGUEIREDO FILHO, 2014) – material colhido na íntegra.

A seguir, será apresentado o procedimento de cálculo utilizado para dimensionamento no estado limite último da armadura longitudinal para concretos até C50, segundo (CARVALHO E FIGUEIREDO FILHO, 2014).

1.1. Nomenclaturas Utilizadas

Para melhor entendimento dos procedimentos que serão descritos para o dimensionamento das peças de concreto armado, é conveniente definir as principais nomenclaturas das grandezas envolvidas no cálculo (ABNT NBR 6118, 2014).

d – altura útil: distância entre o centro de gravidade da armadura longitudinal tracionada até à fibra mais comprimida de concreto.

d' – distância entre o centro de gravidade da armadura transversal comprimida e a face mais próxima do elemento estrutural (fibra mais comprimida de concreto).

M_{sd} – momento fletor solicitante de cálculo na seção (na continuação será chamado apenas de M_d): no dimensionamento é obtido multiplicando-se o momento em serviço pelo coeficiente de ponderação γ_f .

M_{rd} – momento fletor resistente de cálculo (calculado com f_{cd} e f_{yd}): máximo momento fletor que a seção pode resistir (deve-se ter sempre $M_{sd} \leq M_{rd}$).

b_w – largura da seção transversal de vigas de seção retangular ou da nervura (parte mais estreita da seção transversal), também chamada de alma das vigas de seção T.

h – altura total da seção transversal de uma peça.

z – braço de alavanca: distância entre o ponto de aplicação das resultantes das tensões normais de compressão no concreto e de tração no aço (distância entre o centro de gravidade da armadura de tração e o centro de gravidade da região comprimida de concreto).

x – altura (profundidade) da linha neutra: distância da borda mais comprimida do concreto ao ponto que tem deformação e tensão nulas (distância da linha neutra ao ponto de maior encurtamento da seção transversal de uma peça fletida).

y – altura da linha neutra convencional: altura do diagrama retangular de tensões de compressão no concreto, na seção transversal de uma peça fletida; é uma idealização que simplifica o equacionamento do problema e conduz a resultados bem próximos daqueles que seriam obtidos com o diagrama parábola-retângulo ($y = 0,8 \cdot x$).

1.2. Cálculo da Armadura Longitudinal de Vigas sob Flexão Normal Utilizando fórmulas Adimensionais e Tabela para Dimensionamento de Seções Retangulares.

O cálculo da quantidade de armadura longitudinal, para seções transversais retangulares, conhecidos a resistência do concreto (f_{ck}), largura da seção (b_w), altura útil (d) e tipo de aço (f_{yd} e ϵ_{yd}) é feito, de maneira simples, a partir do equilíbrio das forças atuantes na seção. O dimensionamento pode ser utilizado para a flexão normal pura e simples, que é representada pelos domínios 2, 3, 4 e 4a, de acordo com (CARVALHO E FIGUEIREDO, 2014; KATAOKA, 2005).

1.2.1. Equacionamento

a) Equilíbrio das forças atuantes normais à seção transversal: como não há força externa, a força atuante no concreto (F_c) deve ser igual à força atuante na armadura (F_s):

$$\sum F = 0 \rightarrow F_s - F_c = 0 \rightarrow F_s = F_c \quad \text{Eq.(221)}$$

b) Equilíbrio dos momentos: o momento das forças internas em relação a qualquer ponto (no caso, em relação ao C.G. da armadura) deve ser igual ao momento externo de cálculo:

$$\text{Eq.(222)}$$

$$\sum M = M_d \rightarrow M_d = F_c \cdot z$$

Sendo:

$$F_c = (0,85 \cdot f_{cd}) \cdot (b_w) \cdot (0,8 \cdot x) \quad \text{Eq.(223)}$$

$$z = d - 0,4 \cdot x \text{ (braço de alavanca)} \quad \text{Eq.(224)}$$

Tem-se:

$$M_d = (0,68 \cdot x \cdot d - 0,272 \cdot x^2) \cdot b_w \cdot f_{cd} \quad \text{Eq.(225)}$$

Resolvendo esta equação obtém-se x , o qual define a posição da linha neutra, necessário para determinação da armadura. Nota-se que a variação de x não é linear com o esforço solicitante M_d , mas segue um polinômio do segundo grau.

c) Cálculo da área necessária de armadura (A_s): Com o valor de x determinado é possível encontrar A_s . A força na armadura (F_s) vem do produto da área de aço (A_s) pela tensão atuante no aço (f_s).

Tem-se:

$$\frac{M_d}{M_z} = F_s = f_s \cdot A_s, \text{ resultando:}$$

$$A_s = \frac{M_d}{z \cdot f_s} \quad \text{Eq.(226)}$$

Admitindo que a peça esteja trabalhando nos domínios 2 ou 3, para um melhor aproveitamento da armadura, tem-se $\varepsilon_s \geq \varepsilon_{yd}$, resultando que a tensão na armadura é a de escoamento ($f_s = f_{yd}$); caso contrário, tira-se o valor de ε_s do diagrama de tensão \times deformação do aço e calcula-se f_s , ficando:

$$A_s = \frac{M_d}{z \cdot f_{yd}} \quad \text{Eq.(227)}$$

1.2.2. Equacionamento Adimensional

Dessa forma, a forma adimensional das equações de dimensionamento é dada por:

a) Equação de M_d :

- dividindo ambos os membros da equação de M_d por $b_w \cdot d^2 \cdot f_{cd}$ tem-se:

$$\frac{M_d}{b_w \cdot d^2 \cdot f_{cd}} = \frac{(0,68 \cdot x \cdot d - 0,272 \cdot x^2) \cdot b_w \cdot f_{cd}}{b_w \cdot d^2 \cdot f_{cd}} = \left(0,68 \cdot \frac{x}{d} - 0,272 \cdot \frac{x^2}{d^2} \right) \quad \text{Eq.(228)}$$

- chamando

$$\frac{M_d}{b_w \cdot d^2 \cdot f_{cd}} = K_{MD} \text{ e } \frac{x}{d} = K_x \text{ a equação anterior torna-se:}$$

$$K_{MD} = 0,68 \cdot (K_x) - 0,272 \cdot (K_x)^2 \quad \text{Eq.(229)}$$

A equação anterior contém apenas termos adimensionais, e K_x só pode variar de 0 a 1 ($x = 0$ e $x = d$):

$$x = 0 \text{ (início do domínio 2)} \rightarrow K_x = \frac{x}{d} = 0 \rightarrow K_{MD} = 0$$

$$x = d \text{ (fim do domínio 4)} \rightarrow K_x = \frac{x}{d} = 1 \rightarrow K_{MD} = 0,408$$

b) Expressão que fornece o braço de alavanca z ($z = d - 0,4 \cdot x$):

- dividindo os dois termos por d resulta:

$$\frac{z}{d} = \frac{d - 0,4 \cdot x}{d} = 1 - 0,4 \cdot \frac{x}{d} \quad \text{Eq.(230)}$$

- chamando $\frac{z}{d} = K_Z$ e lembrando que $K_X = \frac{x}{d}$, da equação anterior obtém-se K_Z :

$$K_Z = 1 - 0,4 \cdot K_X \quad \text{Eq.(231)}$$

- c) Expressão para o cálculo da armadura

$A_s = \frac{M_d}{z \cdot f_s}$ e, com $z = (K_Z) \cdot d$, resulta:

$$A_s = \frac{M_d}{(K_Z) \cdot d \cdot f_s} \quad \text{Eq.(232)}$$

- d) Equação que relaciona as deformações com a altura da linha neutra

$\frac{x}{d} = \frac{\varepsilon_c}{\varepsilon_c + \varepsilon_s}$ e, como $\frac{x}{d} = K_X$, resulta:

$$K_X = \frac{\varepsilon_c}{\varepsilon_c + \varepsilon_s} \quad \text{Eq.(233)}$$

Como K_X só admite valores de 0 a 1, pode-se construir a tabela 1.1 em que a cada K_X arbitrado entre 0 e 1 corresponde: um valor de K_{MD} ; um de K_Z ; conhecendo-se ε_c , um de ε_s . É importante destacar que conhecido o par de deformações ($\varepsilon_c; \varepsilon_s$) conhece-se o domínio em que a peça está trabalhando. Na tabela, por praticidade, foram dados valores a K_{MD} e calculados os demais, mantidos os limites de validade para K_X .

$$K_X = \frac{x}{d} = 0,45 \text{ e } K_{MD} \approx 0,25 \quad \text{Eq.(234)}$$

Tabela D 1 - Valores para cálculo de armadura longitudinal de seções retangulares para concretos até a classe 50.

K_{MD}	K_X	K_Z	ϵ_C	ϵ_S
0,01	0,0148	0,9941	0,1502	10,0
0,02	0,0298	0,9881	0,3068	10,0
0,03	0,0449	0,982	0,4704	10,0
0,04	0,0603	0,9759	0,6414	10,0
0,05	0,0758	0,9697	0,8205	10,0
0,055	0,0837	0,9665	0,9133	10,0
0,06	0,0916	0,9634	1,0083	10,0
0,065	0,0996	0,9602	1,1056	10,0
0,07	0,1076	0,957	1,2054	10,0
0,075	0,1156	0,9537	1,3077	10,0
0,08	0,1238	0,9505	1,4126	10,0
0,085	0,132	0,9472	1,5203	10,0
0,09	0,1402	0,9439	1,6308	10,0
0,095	0,1485	0,9406	1,7444	10,0
0,1	0,1569	0,9372	1,8611	10,0
0,105	0,1653	0,9339	1,981	10,0
0,11	0,1739	0,9305	2,0645	10,0
0,115	0,1824	0,927	2,087	10,0
0,12	0,1911	0,9236	2,1075	10,0
0,125	0,1998	0,9201	2,126	10,0
0,13	0,2086	0,9166	2,1428	10,0
0,135	0,2174	0,913	2,1579	10,0
0,14	0,2264	0,9094	2,1714	10,0
0,145	0,2354	0,9058	2,1834	10,0
0,15	0,2445	0,9022	2,194	10,0
0,155	0,2537	0,8985	3,3391	10,0
0,16	0,263	0,8948	3,50	9,8104
0,165	0,2723	0,8911	3,50	9,3531
0,17	0,2818	0,8873	3,50	8,9222
0,175	0,2913	0,8835	3,50	8,5154
0,18	0,3009	0,8796	3,50	8,1306
0,185	0,3107	0,8757	3,50	7,7662
0,19	0,3205	0,8718	3,50	7,4204
0,195	0,3304	0,8678	3,50	7,0919
0,2	0,3405	0,8638	3,50	6,7793
0,205	0,3507	0,8597	3,50	6,4814
0,21	0,3609	0,8556	3,50	6,1971
0,215	0,3713	0,8515	3,50	5,9255
0,22	0,3819	0,8473	3,50	5,6658
0,225	0,3925	0,843	3,50	5,417
0,23	0,4033	0,8387	3,50	5,1785
0,235	0,4142	0,8343	3,50	4,9496
0,24	0,4253	0,8299	3,50	4,7297
0,245	0,4365	0,8254	3,50	4,5181
0,25	0,4479	0,8208	3,50	4,3144
0,255	0,4594	0,8162	3,50	4,1181
0,26	0,4711	0,8115	3,50	3,9287
0,265	0,483	0,8068	3,50	3,7459
0,27	0,4951	0,802	3,50	3,5691
0,275	0,5074	0,797	3,50	3,3981
0,28	0,5199	0,7921	3,50	3,2324
0,285	0,5326	0,787	3,50	3,0719
0,29	0,5455	0,7818	3,50	2,9162
0,295	0,5587	0,7765	3,50	2,7649
0,3	0,5721	0,7712	3,50	2,6179
0,305	0,5858	0,7657	3,50	2,4748
0,31	0,5998	0,7601	3,50	2,3355
0,315	0,6141	0,7544	3,50	2,1997
0,32	0,6287	0,7485	3,50	2,0672
0,325	0,6437	0,7425	3,50	1,9376
0,33	0,659	0,7364	3,50	1,811
0,34	0,691	0,7236	3,50	1,5652
0,35	0,7249	0,71	3,50	1,3283
0,36	0,7612	0,6955	3,50	1,0983
0,37	0,8003	0,6799	3,50	0,8732
0,38	0,8433	0,6627	3,50	0,6506