

INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE SERGIPE
CAMPUS ARACAJU
DIRETORIA DE ENSINO
COORDENADORIA DE ENGENHARIA CIVIL
CURSO DE BACHARELADO EM ENGENHARIA CIVIL

SARA VIANA DE QUEIROZ

ANÁLISE COMPARATIVA DE ESTRUTURAS EM CONCRETO ARMADO COM
LAJES NERVURADAS E LAJES MACIÇAS, EM CONDIÇÕES DE INCÊNDIO
NORMATIVAS

MONOGRAFIA

ARACAJU

2023

SARA VIANA DE QUEIROZ

**ANÁLISE COMPARATIVA DE ESTRUTURAS EM CONCRETO ARMADO COM
LAJES NERVURADAS E LAJES MACIÇAS, EM CONDIÇÕES DE INCÊNDIO
NORMATIVAS**

Monografia apresentada como requisito parcial à obtenção do título de Bacharel, da Coordenação do Curso de Engenharia Civil, do Instituto Federal de Sergipe – Campus Aracaju.

Orientador: Prof. Msc. Euler Wagner Freitas Santos

ARACAJU

2023

Ficha catalográfica elaborada pela Bibliotecária Geocelly Oliveira Gambardella / CRB-5 1815, com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

Queiroz, Sara Viana de.

Q3a Análise comparativa de estruturas em concreto armado com lajes nervuradas e lajes maciças, em condições de incêndio normativas. / Sara Viana de Queiroz. – Aracaju, 2023.

57 f. : il.

Orientador: Prof. Me. Euler Wagner Freitas Santos. Monografia (Graduação - Bacharelado em Engenharia Civil) - Instituto Federal de Sergipe, 2023.

1. Dimensionamento. 2. Situação de Incêndio. 3. Concreto armado. 4. Laje nervurada. 5. Laje maciça. I. Santos, Euler Wagner Freitas. II. Título.

CDU 624.073

INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE SERGIPE

CAMPUS ARACAJU

CURSO DE BACHARELADO EM ENGENHARIA CIVIL

TERMO DE APROVAÇÃO

Título da Monografia Nº 258

**ANÁLISE COMPARATIVA DE ESTRUTURAS EM CONCRETO ARMADO COM
LAJES NERVURADAS E LAJES MACIÇAS, EM CONDIÇÕES DE INCÊNDIO
NORMATIVAS.**

SARA VIANA DE QUEIROZ

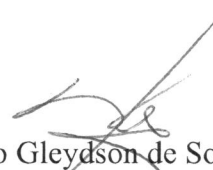
Esta monografia foi apresentada às 11 h 0 do dia 12 de JULHO de 2023 como requisito parcial para a obtenção do título de BACHARELA EM ENGENHARIA CIVIL. A candidata foi arguida pela Banca Examinadora composta pelos professores abaixo assinados.

Após deliberação, a Banca Examinadora considerou o trabalho aprovado.


Prof. M.Sc. Fábio Wendell da Graça Nunes
(IFS – Campus Lagarto)


Prof. M.Sc. Marcílio Fabiano Goivinho
(IFS – Campus Aracaju)


Prof. Dr. Euler Wagner Freitas Santos
(IFS – Campus Aracaju)
Orientador


Prof. Dr. Pablo Gleydson de Sousa
(IFS – Campus Aracaju)
Coordenador da COEC

RESUMO

QUEIROZ, Sara Viana de. **Análise comparativa de estruturas em concreto armado com lajes nervuradas e lajes maciças, em condições de incêndio normativas**. 57f. Monografia (Bacharelado em Engenharia Civil) – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Sergipe – Campus Aracaju. 2023.

A verificação dos elementos das edificações para a situação de incêndio no Brasil é, em geral, determinada pelas legislações estaduais. Em vários estados brasileiros, a legislação estabelece que as estruturas estejam de acordo com as exigências da segurança contra incêndio. Visto que não há como prever quando um incêndio irá ocorrer, é necessário respeitar as exigências das leis e das normas técnicas durante o desenvolvimento dos projetos estruturais de edificações, inclusive as de concreto armado. Para facilitar essa tarefa, podem ser utilizados *softwares* que executam dimensionamentos, análises e detalhamentos de estruturas. Assim, esse estudo tem como propósito analisar os dimensionamentos das estruturas em concreto armado com lajes maciças e lajes nervuradas na ocasião de um incêndio e comparar esses resultados com os oriundos de dimensionamentos dessas estruturas à temperatura ambiente. Esses dimensionamentos foram feitos com o auxílio do *software* AltoQi Eberick V10 e considerando às prescrições da ABNT NBR 6118:2014, da ABNT NBR 15200:2012 e da ABNT NBR 14432:2001. Foram feitos os dimensionamentos de dezesseis modelos de pórticos residenciais, uma parte projetada com lajes do tipo maciça e outra com lajes do tipo nervuradas, variando as alturas totais e os vãos dos ambientes. Dessa maneira, esse trabalho permitiu concluir que, para as estruturas adotadas neste estudo, as edificações com maiores alturas totais e maiores vãos, em geral, precisaram de mais modificações nas dimensões dos seus elementos estruturais para satisfazer as exigências das condições de incêndio. Já as edificações com menores alturas totais, apenas com o dimensionamento à temperatura ambiente, atendiam aos requisitos da situação de incêndio.

Palavras-chave: Dimensionamento. Situação de Incêndio. Concreto armado. Lajes nervuradas. Lajes maciças.

ABSTRACT

QUEIROZ, Sara Viana de. ***Comparative analysis of reinforced concrete structures with ribbed slabs and solid slabs under normative fire condition***. 57f. *Monography* (Bacharelado em Engenharia Civil) – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Sergipe – Campus Aracaju. 2023.

The verification of building elements for the fire situation in Brazil is generally determined by state legislation. In several Brazilian states, legislation mandates that structures comply with fire safety requirements. Since it is impossible to predict when a fire will occur, it is necessary to adhere the requirements of laws and technical standards during the development of structural projects for buildings, including those made of reinforced concrete. To simplify this task, software can be used to perform dimensioning, analysis and detailing of structures. Therefore, this study aims to analyze the design of structures made of reinforced concrete with solid slabs and ribbed slabs in the event of a fire and compare these results with those derived from the design of these structures at room temperature. These dimensions were created with the assistance of the AltoQi Eberick V10 software, taking into account the provisions of ABNT NBR 6118:2014, ABNT NBR 15200:2012 and ABNT NBR 14432:2001. Sixteen residential model porticoes were designed, with one portion featuring solid slabs and the other portion featuring ribbed slabs, varying the overall heights and spans of the spaces. Thus, this work led to the conclusion that, for the structures examined in this study, buildings with greater overall heights and larger spans generally required more modifications in the dimensions of their structural elements to meet the requirements of fire conditions. On the other hand, buildings with lower overall heights, designed only for room temperature conditions, met the requirements of the fire situation.

Keywords: Sizing. Fire Situation. Reinforced concrete. Ribbed slabs. Solid slabs.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Funções das lajes.	15
Figura 2 - Sistema construtivo convencional com laje maciça.	16
Figura 3 - Ilustração de Laje nervurada.....	17
Figura 4 - Ilustrações de lajes pré-fabricadas.....	18
Figura 5 - Sistemas de lajes sem vigas.....	19
Figura 6 - Representação de edifícios com e sem vigas baldrame.	20
Figura 7 - Representação de edifícios com elementos de contraventamento.	21
Figura 8 - Ilustração da largura mínima da viga ($b_{w_{\min}}$) e cobrimento da face do concreto exposta ao fogo (c_1).....	25
Figura 9 - Planta baixa do pórtico modelo.	31
Figura 10 - Pórtico modelo típico.....	31
Figura 11 - Esboço da cubeta da laje nervurada.....	33
Figura 12 - Menu de configurações das verificações de incêndio do AltoQi Eberick V10.....	36
Figura 13 - Percentuais das vigas que necessitaram de acréscimo no cobrimento de concreto das armaduras para os pórticos com lajes maciças, e com 28,0 m de altura, em condição de incêndio.....	44
Figura 14 - Valores das capas das lajes nervuradas em temperatura ambiente.....	47
Figura 15 - Valores das capas das lajes nervuradas em condições de incêndio.	47
Figura 16 - Percentuais das vigas que necessitaram de acréscimo no cobrimento de concreto das armaduras para os pórticos com lajes nervuradas e com 28,0 m de altura em condição de incêndio.....	49
Figura 17 - Evolução, em porcentagem, dos acréscimos necessários nas espessuras das lajes maciças e nas capas das lajes nervuradas quando submetidas às condições de incêndio.....	50

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Classes de agressividade ambiental.....	23
Tabela 2 - Correspondência entre classe de agressividade e qualidade do concreto.	24
Tabela 3 - Dimensões mínimas para vigas contínuas ou vigas de pórticos.	25
Tabela 4 - Dimensões mínimas para lajes contínuas.....	25
Tabela 5 - Dimensões mínimas para lajes nervuradas simplesmente apoiadas.....	26
Tabela 6 - Tempos requeridos de resistência ao fogo, em função da altura da edificação e do tipo de ocupação.	28
Tabela 7 - Quantidade total de elementos estruturais em função da altura adotada para cada edificação.	32
Tabela 8 - TRRFs das edificações de acordo com a NBR 14432:2001.	32
Tabela 9 - Dimensões finais e incrementos, em centímetros, dos elementos estruturais das edificações e dimensões das lajes maciças.	34
Tabela 10 - Dimensões e incrementos das lajes nervuradas em centímetros.	34
Tabela 11 - Dimensões das vigas, pilares e lajes maciças, em temperatura ambiente, para o vão de 5,0 m.	37
Tabela 12 - Dimensões das vigas, pilares e lajes maciças, em temperatura ambiente, para o vão de 6,0 m.	38
Tabela 13 - Dimensões das vigas, pilares e lajes maciças, em temperatura ambiente, para o vão de 8,0 m.	38
Tabela 14 - Dimensões das vigas, pilares e lajes maciças, em temperatura ambiente, para o vão de 10,0 m.	39
Tabela 15 - Dimensões das vigas, pilares e lajes nervuradas, em temperatura ambiente, para o vão de 5,0 m.....	40
Tabela 16 - Dimensões das vigas, pilares e lajes nervuradas, em temperatura ambiente, para o vão de 6,0 m.....	40
Tabela 17 - Dimensões das vigas, pilares e lajes nervuradas, em temperatura ambiente, para o vão de 8,0 m.....	41
Tabela 18 - Dimensões das vigas, pilares e lajes nervuradas, em temperatura ambiente, para o vão de 10,0 m.....	41

Tabela 19 - Incrementos feitos nas espessuras das lajes maciças submetidas à condição de incêndio.....	43
Tabela 20 - Incrementos feitos nos cobrimentos das vigas submetidas à condição de incêndio.....	43
Tabela 21 - Incrementos feitos nas capas das lajes nervuradas submetidas à condição de incêndio (cm).....	46
Tabela 22 - Incrementos feitos nos cobrimentos das vigas submetidas à condição de incêndio.....	46
Tabela 23 - Incrementos feitos nos cobrimentos das nervuradas nas lajes nervuradas submetidas à condição de incêndio.....	48

Sumário

1	INTRODUÇÃO	11
2	OBJETIVOS	13
2.1	OBJETIVO GERAL	13
2.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	13
3	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	14
3.1	ESTRUTURAS DE CONCRETO ARMADO	14
3.1.1	Concreto	14
3.1.1	Aço Para Concreto Armado	14
3.2	ELEMENTOS ESTRUTURAIS EM CONCRETO ARMADO DE EDIFÍCIOS	15
3.2.1	Lajes	15
3.2.1.1	<i>Lajes maciças</i>	16
3.2.1.2	<i>Lajes nervuradas</i>	17
3.2.1.3	<i>Outros tipos de lajes</i>	18
3.1.1	Vigas	20
3.1.2	Pilares	21
3.3	ASPECTOS GERAIS SOBRE DURABILIDADE DAS ESTRUTURAS DE CONCRETO DA NBR 6118:2014	22
3.4	ESTRUTURAS DE CONCRETO EM SITUAÇÃO DE INCÊNDIO	24
3.4.1	Documentos Técnicos Normativos	24
3.4.1.1	<i>NBR 15200:2012</i>	24
3.4.1.2	<i>NBR 14432:2001</i>	27
3.4.1.3	<i>Instruções técnicas (Its) dos corpos de bombeiros militar de SP e SE</i>	29
4	METODOLOGIA	30
4.1	MODELOS ESTRUTURAIS	30
4.2	MÉTODOS DE DIMENSIONAMENTO	35

5	RESULTADOS E DISCUSSÕES	37
5.1	ANÁLISE DAS ESTRUTURAS COM LAJES MACIÇAS EM TEMPERATURA AMBIENTE	37
5.2	ANÁLISE DAS ESTRUTURAS COM LAJES NERVURADAS EM TEMPERATURA AMBIENTE	39
5.3	ANÁLISE DAS ESTRUTURAS COM LAJES MACIÇAS EM SITUAÇÃO DE INCÊNDIO	42
5.4	ANÁLISE DAS ESTRUTURAS COM LAJES NERVURADAS EM SITUAÇÃO DE INCÊNDIO	45
6	CONCLUSÃO	51
	REFERÊNCIAS	54

1 INTRODUÇÃO

A escolha do sistema construtivo adequado é um processo importante desde a fase inicial do planejamento da obra. Cada tipo de estrutura possui vantagens, desvantagens e características distintas. Assim, é necessário conhecer as particularidades de cada modelo e, então, selecionar a melhor solução estrutural a ser aplicada na construção (LIRA e TEIXEIRA, 2022). Escolher o método mais apropriado aumenta as chances de se obter um processo construtivo mais simples, com menores custos e com mais qualidade, independente dos cenários.

Em se tratando dos sistemas construtivos de lajes, tem-se que as obras mais antigas de concreto armado precisavam de estruturas com maiores volumes, possuíam, em geral, cargas distribuídas e vãos pequenos. Dessa forma, a laje maciça era uma solução bastante conveniente (SPOHR, 2008). Essa laje, além de satisfazer os aspectos citados anteriormente, possui uma execução simples, além de não exigir mão de obra especializada.

Com os edifícios cada vez mais altos e com vãos cada vez maiores, a laje maciça tornou-se, em muitos casos, uma solução antieconômica, por conta da sua elevada espessura final, que faz com que uma parte significativa do carregamento advinha do seu peso próprio (BEZERRA, 2018). Fez-se necessário então a aplicação de soluções mais econômicas. Além disso, houve um avanço na ciência dos materiais que levou a um aumento na resistência do aço e do concreto, permitindo o uso de elementos estruturais com seções menores e vãos maiores (SPOHR, 2008).

Uma das alternativas encontradas para esse novo formato do mercado da construção civil foi à laje nervurada. Essas estruturas permitem vãos maiores, por possuírem rigidez à flexão maior, proporcionam uma redução da carga dos elementos, eliminando uma porcentagem considerável do concreto na região tracionada da estrutura, o que reduz o consumo de materiais (SILVA, 2010). Outra vantagem dessas lajes está relacionada à melhoria no sistema de fôrmas para moldagem, o que deixa a montagem mais simples e reduz o tempo da obra (SACRAMENTO *et al.*, 2018).

No entanto, não só o desempenho dos elementos estruturais em temperatura ambiente deve ser considerado nos projetos das edificações. Para Silva (2012), a segurança em caso de incêndios também se faz necessária, pois se sabe que há uma redução da resistência da estrutura em situações de temperaturas elevadas. Ela pode ser garantida a partir da consideração de dimensões mínimas para as lajes, determinadas pela NBR 15200:2012, e também com o cumprimento das condições recomendadas pela NBR 14432:2001.

Como citado anteriormente, as lajes nervuradas, para vãos maiores, são mais econômicas que as lajes maciças. Porém, considerando a necessidade da elaboração de projetos de estruturas para suportar a ação de incêndio e as dimensões mínimas necessárias para a função corta-fogo desses elementos (ARAÚJO, 2014), apresentadas na NBR 15200:2012, nota-se que a laje nervurada talvez não seja a alternativa mais viável economicamente (LIRA e TEIXEIRA, 2022).

Assim, esse estudo visa demonstrar que é imprescindível observar nas estruturas de concreto armado, inclusive nas estruturas com lajes maciças e nervuradas, os requisitos estabelecidos pelas normas referentes a incêndios, além de apresentar uma análise comparativa quanto ao emprego das lajes maciças e nervuradas (com cubetas) em edificações de diferentes alturas, considerando que na possibilidade de um eventual incêndio, esses elementos estruturais garantam segurança contra colapso (NBR 14432:2001).

2 OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GERAL

Verificar a interferência das determinações das normas relacionadas às condições de incêndio nos dimensionamentos de estruturas em concreto armado, com lajes maciças e nervuradas, de edificações habitacionais, utilizando o recurso de verificação de incêndio de um *software* de cálculo estrutural.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Analisar as modificações que precisaram ser feitas nas dimensões dos elementos pertencentes aos pórticos, com lajes maciças e nervuradas, adotados nesse estudo, oriundas das exigências normativas referentes às condições de incêndio;

Analisar a validade dos resultados gerados pelo programa AltoQi Eberick V10 para as condições de incêndio, nos dimensionamentos das estruturas em concreto armado utilizadas no presente estudo, a luz das especificações da NBR 15200:2012 e da NBR 14432:2001;

Efetuar um estudo comparativo, a partir dos resultados gerados nos dimensionamentos realizados pelo *software* AltoQi Eberick V10, para os pórticos modelo com lajes maciças e nervuradas, analisando também as alterações necessárias nessas estruturas em situação de incêndio;

Colaborar com a avaliação da eficiência do emprego de *softwares* na análise do atendimento das exigências relativas às condições de incêndio, quando do dimensionamento dos elementos estruturais em concreto armado.

3 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

3.1 ESTRUTURAS DE CONCRETO ARMADO

3.1.1 Concreto

As construções antigas utilizavam a pedra e a madeira como componentes estruturais, já que estes possuem características como durabilidade e resistência, além de serem de fácil acesso. Porém, com o passar dos anos e evolução da ciência, foram concebidos os materiais aglomerantes, que são aqueles que endurecem se misturados com a água. Foi a partir disso então que se originou o que conhecemos como concreto (TEATINI, 2016).

O concreto é uma mistura de agregados graúdos, agregados miúdos, água, aglomerantes, aditivos e adições. Ele pode ser considerado o principal elemento para a construção civil e isso se dá por conta das suas vantagens econômicas, execução simples, plasticidade, durabilidade, boa resistência e impermeabilidade. Entretanto, algumas desvantagens do seu uso são o peso próprio alto, pouco desempenho acústico e chance de fissuras na região tracionada (FERNANDES e PORTO, 2015).

3.1.1 Aço Para Concreto Armado

Quando o concreto começou a ser muito utilizado na construção civil, percebeu-se então que a sua resistência à compressão era boa, porém à tração deixava a desejar. A solução encontrada para isso foi combinar o concreto com um elemento com boa resistência à tração, originando então o concreto armado (TEATINI, 2016).

O concreto armado possui vantagens como grande durabilidade, boas trabalhabilidade e resistência, proporciona estruturas monolíticas, resiste a choques e vibrações, permite o uso de pré-moldagem, possui resistência a efeitos atmosféricos. As técnicas de execução de estruturas em concreto podem ser consideradas simples. Além disso, esse material, em geral, apresenta maior

resistência ao fogo que a madeira e o aço (CARVALHO e FIGUEIREDO FILHO, 2015).

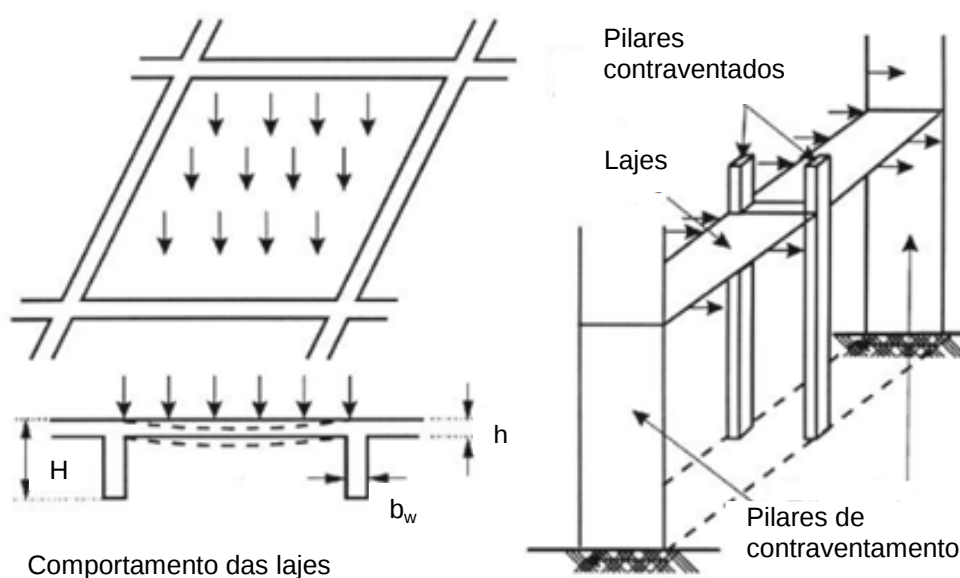
Entretanto, como todo material estrutural usado com um propósito específico, o concreto armado também possui desvantagens. Algumas delas são: as reformas, demolições e adaptações são caras e penosas, o peso próprio do concreto armado é elevado, e são muitas as exigências construtivas em relação ao posicionamento das armaduras (COUTO *et al.*, 2013).

3.2 ELEMENTOS ESTRUTURAIS EM CONCRETO ARMADO DE EDIFÍCIOS

3.2.1 Lajes

As lajes são elementos estruturais bidimensionais planos, solicitadas em geral por cargas perpendiculares ao seu plano médio, e são responsáveis pela transmissão de cargas de utilização, aplicadas nos pisos, para as vigas. Outras funcionalidades importantes das lajes são a distribuição das cargas horizontais entre as estruturas de contraventamento e a função de mesa de compressão das vigas T (ARAÚJO, 2014). Uma ilustração com algumas funções das lajes é apresentada na figura 01.

Figura 1 - Funções das lajes.

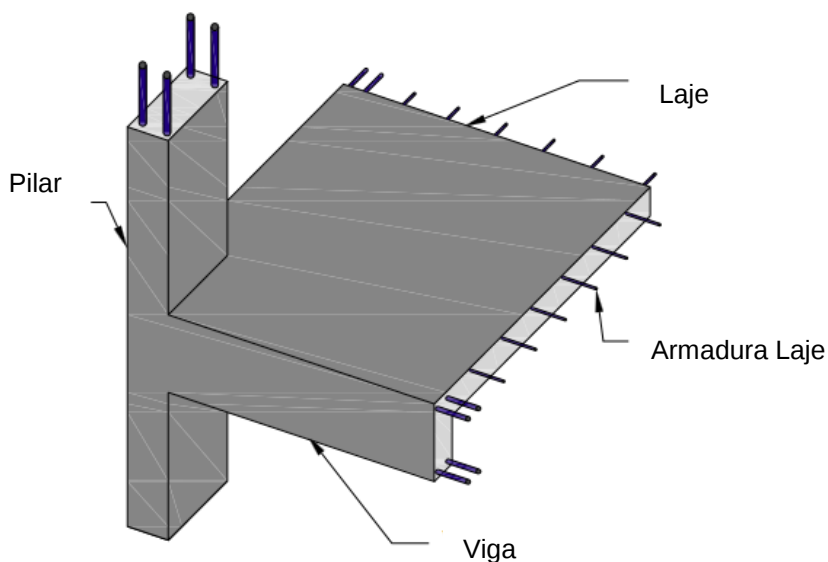


As lajes são apresentadas de diferentes maneiras nas edificações. O projetista define o tipo de laje que será empregado em uma construção, levando em consideração a segurança, a economia e os critérios estruturais do empreendimento (JÚNIOR *et al.*, 2019). As lajes podem ser classificadas de várias formas: de acordo com a sua natureza, de acordo com a sua forma e de acordo com o tipo de apoio. Quanto à natureza, as lajes podem ser maciças, nervuradas, pré-fabricadas e cogumelo (DORNELES, 2014).

3.2.1.1 Lajes maciças

As lajes maciças são as mais utilizadas em edificações residenciais de vãos pequenos. Elas são compostas por placas maciças de espessura constante e apoiadas ao longo do seu contorno. Os apoios podem ser formados por vigas ou por alvenarias (ARAÚJO, 2014). A figura 02 mostra um esboço de sistema construtivo convencional com laje maciça.

Figura 2 - Sistema construtivo convencional com laje maciça.



Fonte: SPOHR (2008).

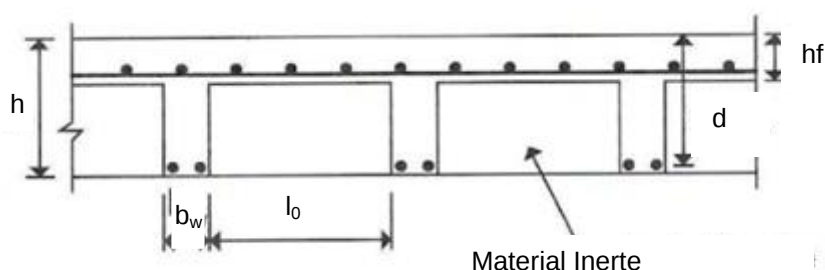
Como vantagem das lajes maciças tem-se o fato de que, em geral, não é necessária mão de obra muito especializada, já que a execução é relativamente simples. Entretanto, essas lajes possuem um peso próprio elevado e um grande consumo de escoras e fôrmas, o que pode aumentar os custos da obra (JÚNIOR e FILHO, 2019).

3.2.1.2 Lajes nervuradas

As lajes nervuradas têm como função vencer grandes vãos, que são normalmente maiores que 8,0 metros. Elas possuem a zona de tração composta por nervuras, onde são empregadas armaduras longitudinais. Assim, com a retirada do concreto que ficaria na zona tracionada caso essas lajes fossem maciças, o peso próprio das lajes nervuradas é reduzido (ARAÚJO, 2014).

Com o intuito de se obter um acabamento plano na superfície inferior da laje e, em alguns casos, se ter uma fôrma para as nervuras, colocam-se materiais inertes, com peso próprio inferior ao do concreto, no espaço entre as nervuras. Esses materiais podem ser EPS, placas de gesso, tijolos de argila, blocos de materiais diversos, entre outros. As lajes nervuradas podem ser utilizadas tanto em edificações residenciais quanto em comerciais, com ou sem o uso desses materiais inertes no fundo dos elementos (CUNHA; SOUZA, 1998). A figura 03 é uma representação de um corte transversal de laje nervurada com material inerte na zona de tração.

Figura 3 – Ilustração de Laje nervurada.



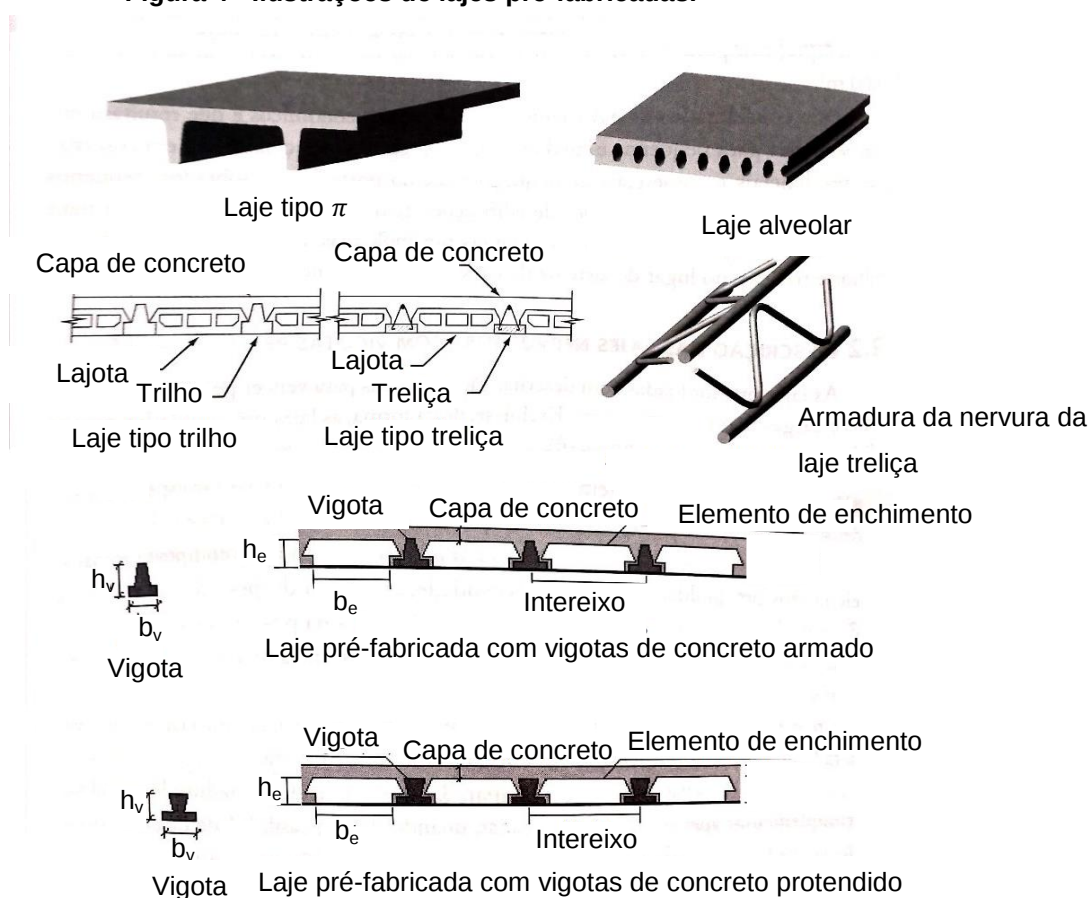
Fonte: ARAÚJO (2014), adaptado.

3.2.1.3 Outros tipos de lajes

a) Lajes pré-fabricadas

Como o próprio nome já sugere, as lajes pré-fabricadas ou pré-moldadas, são aquelas em que a maior parte dos seus componentes são produzidos em indústria. Isso é feito com o objetivo de se aumentar a eficiência, produzindo-os mais rapidamente e com um controle de materiais mais severo. Algumas vantagens das lajes pré-fabricadas são: economia de fôrmas, maior qualidade e praticidade na execução, economia na mão-de-obra, entre outras. Como desvantagem, tem-se o fato de que, caso a obra esteja distante da fábrica, o transporte torna-se muito caro. Além disso, em geral, há a necessidade de equipamentos especiais para manuseio das peças, que podem ser muito pesadas (CUNHA e SOUZA, 1998). A figura 4 contém ilustrações com alguns tipos de lajes pré-fabricadas, inclusive com alguns componentes delas.

Figura 4 - Ilustrações de lajes pré-fabricadas.



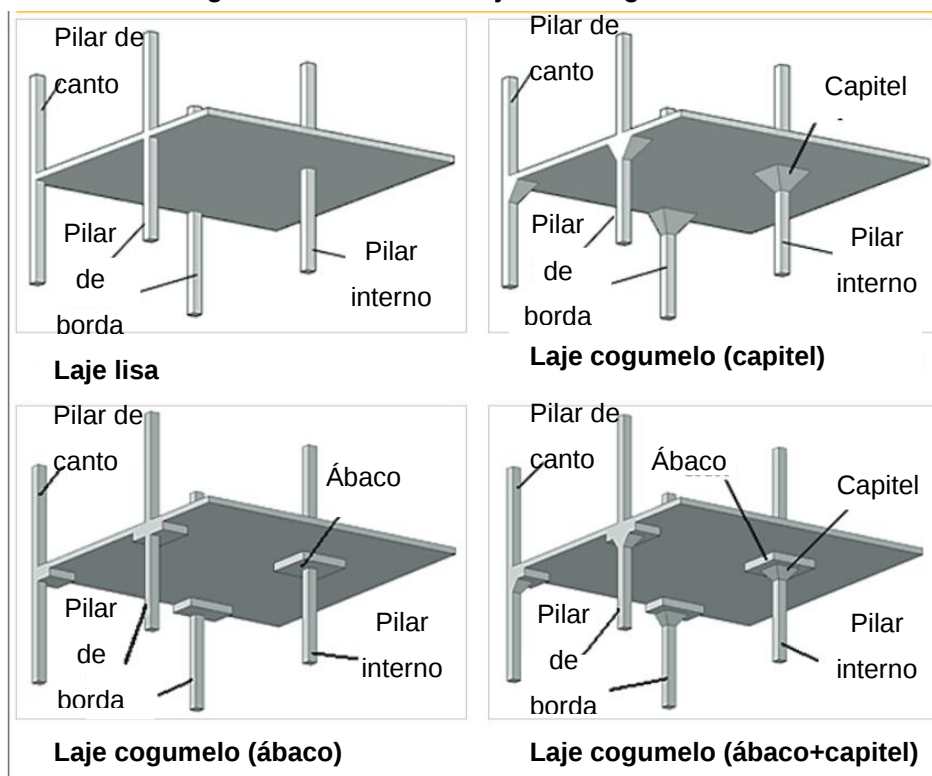
Fonte: CARVALHO e FIGUEIREDO FILHO (2015), adaptado.

b) Lajes cogumelo

As lajes cogumelo, também chamadas de lajes planas ou lajes apoiadas sobre pilares, são aquelas lajes que se apoiam sobre os pilares, sem a presença de vigas e nelas pode-se fazer uso de capitéis sobre os pilares (ARAÚJO, 2014). Algumas vantagens das lajes cogumelo são: fôrmas mais simples, execução mais rápida e simplificada, opção de se ter um pé-direito reduzido, o que permite um aumento no número de pavimentos (TRAUTWEIN, 2006).

Em geral, as lajes cogumelo são contínuas e são utilizadas para vãos relativamente grandes ou para resistir a carregamentos elevados. Porém, é necessário analisar bem as condições do projeto antes de se optar pelo emprego dessas lajes. Elas não são recomendadas para edifícios residenciais, pois a disposição irregular dos pilares pode deixar essa opção cara, nem em edifícios muito altos com grandes solicitações do vento, visto que, como essas lajes são apoiadas diretamente sobre os pilares, a eficiência do sistema estrutural laje-pilar em termos da estabilidade da estrutura é menor que a de um sistema aporticado (CUNHA e SOUZA, 1998). A figura 05 apresenta alguns sistemas de lajes sem vigas.

Figura 5 - Sistemas de lajes sem vigas.



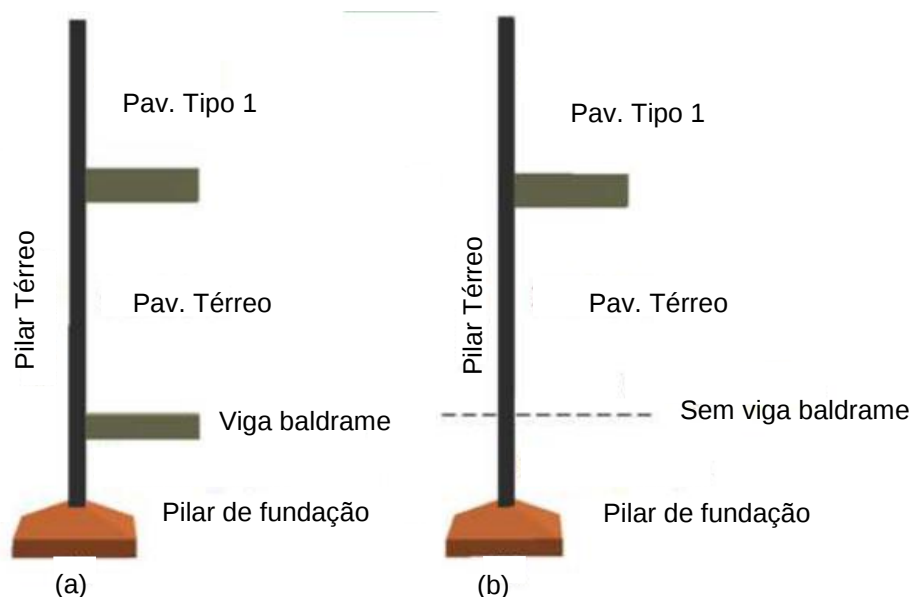
Fonte: LIMA NETO *et al.* (2013), adaptado.

3.2.2 Vigas

As vigas são “*Elementos lineares em que a flexão é preponderante*” (ABNT NBR 6118, 2014, p.83). O carregamento da viga é composto, predominante, pelo peso de paredes, reações de lajes, carga de outras vigas e o peso próprio.

Outra aplicação das vigas consiste na função de viga baldrame ou viga de fundação, que é um elemento de fundação que tem como função facilitar a distribuição dos esforços da construção, além de participar do travamento da estrutura (PIRES, 2011). As vigas baldrames podem ser constituídas de concreto armado, concreto simples ou blocos maciços e, se os esforços solicitantes da construção não forem muito elevados, elas podem ser usadas como fundação (ERTEL, 2016). A figura 6 apresenta um esquema de modelos estruturais com viga baldrame (a) e sem viga baldrame (b).

Figura 6 - Representação de edifícios com e sem vigas baldrames.



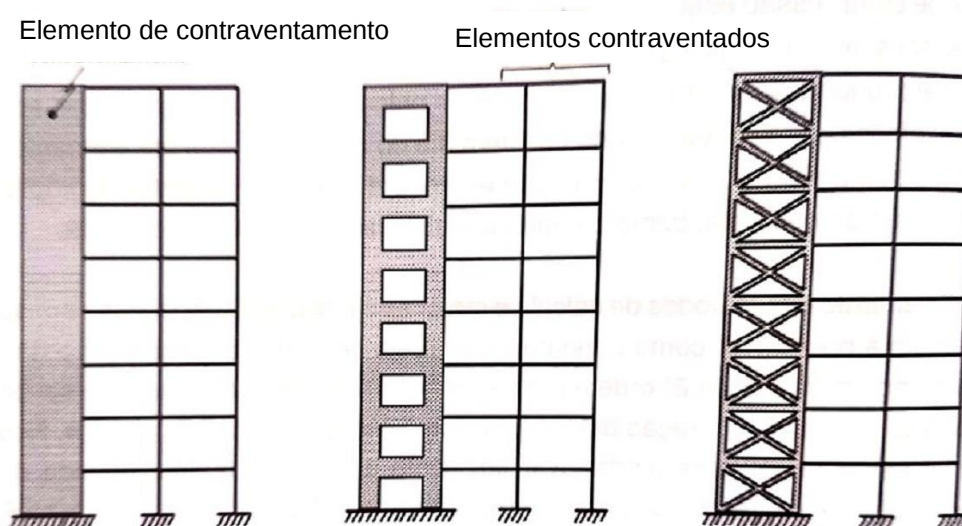
Fonte: ALVES (2019), adaptado.

3.2.3 Pilares

De acordo com a NBR 6118 (ABNT, 2014, p.84) os pilares são “Elementos lineares de eixo reto, usualmente dispostos na vertical, em que as forças normais de compressão são preponderantes”. Normalmente os pilares são prismáticos, não prismáticos ou cilíndricos, e o seu comprimento é muito maior que a sua largura e a sua altura. As seções transversais desses elementos geralmente são quadradas, circulares, retangulares, octogonais e elípticas (FERNANDES e PORTO, 2015).

Os pilares são encarregados de transferir as cargas para as fundações, além de terem um papel importante na estabilidade global das edificações e contraventamento da estrutura (COUTO *et al.*, 2019). Para os casos de pilares em que a menor dimensão da seção transversal é menor que 1/5 da maior, o pilar é chamado de pilar-parede. Esses elementos têm como função absorver parte dos esforços horizontais das estruturas, participando então do contraventamento dos edifícios (SALLABERRY, 2021). A figura 7 mostra um esboço das estruturas com elementos de contraventamento.

Figura 7 - Representação de edifícios com elementos de contraventamento.



Fonte: GUIMARÃES (2014) apud TEATINI (2016), adaptado.

Em geral, a força normal e o momento fletor são os esforços encontrados nos pilares em edifícios. O cálculo dessas solicitações é feito a partir do modelo considerado no projeto estrutural e podem ser classificados como: compressão centrada, axial ou simples, caso se leve em conta somente as forças normais na seção, e flexão composta, se for considerada tanto a força normal quanto o momento fletor na seção. Usualmente, tem-se a flexão composta nos pilares das edificações, já que as forças de compressão são aplicadas com excentricidades (TEATINI, 2016).

3.3 ASPECTOS GERAIS SOBRE DURABILIDADE DAS ESTRUTURAS DE CONCRETO DA NBR 6118:2014

De acordo com a ABNT NBR 6118:2014, as estruturas de concreto precisam ser projetadas e construídas garantindo segurança e estabilidade, além de manter a eficiência durante o tempo de vida útil de projeto, caso as condições ambientais sejam as estabelecidas no projeto e se as estruturas estiverem atuando de acordo com o que foi determinado no projeto.

Um dos aspectos que influenciam diretamente na durabilidade das estruturas é a agressividade do local onde ela está construída. A ABNT NBR 6118:2014 afirma que essa agressividade está associada com as ações físicas e químicas que agem nas estruturas de concreto e classifica a agressividade ambiental, para os projetos de estruturas usuais, de acordo com o que é mostrado na tabela 01.

Tabela 1 - Classes de agressividade ambiental.

Classe de agressividade ambiental	Agressividade	Classificação geral do tipo de ambiente para efeito de projeto	Risco de deterioração da estrutura
I	Fraca	Rural Submersa	Insignificante
II	Moderada	Urbana ^{a, b}	Pequeno
III	Forte	Marinha ^a Industrial ^{a, b}	Grande
IV	Muito forte	Industrial ^{a, c} Respingos de Maré	Elevado

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

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

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

Fonte: NBR 6118 (ABNT, 2014).

Outros fatores que influenciam na durabilidade do concreto são as propriedades do mesmo e a espessura e qualidade do concreto do cobrimento da armadura. Os parâmetros mínimos considerados precisam ser instituídos a partir de ensaios que comprovem um bom desempenho da durabilidade da estrutura nas condições e agressividade estabelecidas no projeto. Porém, considerando a correlação entre a resistência à compressão e durabilidade do concreto, e a relação água/cimento, se não houver ensaios comprobatórios, pode-se considerar os parâmetros apresentados na tabela 02 (NBR 6118:2014).

Tabela 2 - Correspondência entre classe de agressividade e qualidade do concreto.

Concreto ^a	Tipo	Classe de agressividade			
		I	II	III	IV
Relação água/cimento em massa	Concreto armado	≤ 0,65	≤ 0,60	≤ 0,55	≤ 0,45
	Concreto protendido	≤ 0,60	≤ 0,55	≤ 0,50	≤ 0,45
Classe de concreto	Concreto armado	≥ C20	≥ C25	≥ C30	≥ C40
	Concreto protendido	≥ C25	≥ C30	≥ C35	≥ C40

^a O concreto empregado na execução das estruturas deve cumprir com os requisitos estabelecidos na ABNT NBR 12655.

Fonte: NBR 6118 (ABNT, 2014).

3.4 ESTRUTURAS DE CONCRETO EM SITUAÇÃO DE INCÊNDIO

3.4.1 Documentos Técnicos Normativos

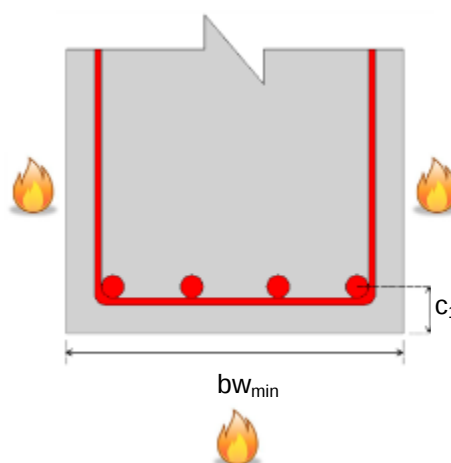
3.4.1.1 NBR 15200:2012

A ABNT NBR 15200: 2012 têm como função indicar os critérios de projetos de estruturas de concreto em situação de incêndio, para as edificações projetadas segundo a ABNT NBR 6118:2014. A norma também traz as propriedades dos materiais em situação de incêndio, já que nessas condições, há um aumento da temperatura dos elementos estruturais, causando uma diminuição da resistência e do módulo de elasticidade dos mesmos, além do surgimento de esforços solicitantes, consequente das limitações às deformações de origem térmica (SILVA, 2012). Assim, a ABNT NBR 15200:2012 traz métodos para os casos em que se é necessária a verificação das estruturas em situação de incêndio.

Cabe destacar que para o presente estudo foi utilizado o *software* AltoQi Eberick V10 que aplica o Método Tabular no dimensionamento de vigas e lajes e o Método Analítico no dimensionamento de pilares, métodos apresentados pela ABNT NBR 15200:2012. No primeiro método, os Tempos Requeridos de Resistência ao Fogo (TRRFs) são determinados de forma empírica, de acordo com

o uso e as dimensões da edificação. A definição e o significado de TRRF, de acordo com a NBR 14432:2001, estão no item 3.4.1.2. Para cada TRRF tem-se uma largura mínima da viga ($bw_{\min}$) e um cobrimento da face do concreto exposta ao fogo (c_1), que estão representados na figura 08, e para lajes, a largura da nervura das lajes nervuradas ($b_{\min}$) e a altura mínima da laje maciça que garante função corta fogo (h) (SILVA, 2012). Essas dimensões mínimas que precisam ser atendidas no método tabular podem ser observadas nas tabelas 3, 4 e 5.

Figura 8 - Ilustração da largura mínima da viga ($bw_{\min}$) e cobrimento da face do concreto exposta ao fogo (c_1).



Fonte: ALBUQUERQUE (2012), adaptado.

Tabela 3 - Dimensões mínimas para vigas contínuas ou vigas de pórticos.

TRRF (min)	Combinações de $bw_{\min}/c_1$ (mm/mm)				$bw_{\min}$ (mm)
	1	2	3	4	
30	80/15	160/12	-	-	80
60	120/25	190/12	-	-	100
90	140/37	250/25	-	-	100
120	190/45	300/35	450/35	500/30	120

Fonte: NBR 15200 (ABNT, 2012).

Tabela 4 - Dimensões mínimas para lajes contínuas.

TRRF (min)	$h_{\min}$ (mm)	c_1 (mm)
30	60	10
60	80	10
90	100	15
120	120	20

Fonte: NBR 15200 (ABNT, 2012).

Tabela 5 - Dimensões mínimas para lajes nervuradas simplesmente apoiadas.

TRRF (min)	Nervuras Combinações de $b_{\min}/c_1$ (mm/mm)			Capa h/c_1 (mm/mm)
	1	2	3	
30	80/15	-	-	60/10
60	100/35	120/25	190/15	80/10
90	120/45	160/40	250/30	100/15
120	160/60	190/55	300/40	120/20

Fonte: NBR 15200 (ABNT, 2012).

No Método Analítico, o tempo de resistência ao fogo do pilar é definido pela equação 1.

$$TRF = 120 \left(\frac{R\mu + Ra + RL + Rb + Rn}{120} \right)^{1,8} \quad (\text{Equação 1})$$

Onde:

$$R\mu = 83 * (1 - \mu_{fi});$$

$$Ra = 1,60 * (c_1 - 30), c_1 \text{ em mm};$$

$$RL = 9,60 * (5 - l_{ef,fi});$$

$$Rb = 0,09b' \text{ para } 190 \text{ mm} \leq b' \leq 450 \text{ mm};$$

$$Rb = 40,5 \text{ para } b' > 450;$$

$$Rn = 0 \text{ para } n = 4, \text{ sendo } n \text{ o número de barras longitudinais};$$

$$Rn = 12 \text{ para } n > 4;$$

$$b' = 2 * A_c / (b + h) \text{ para } h \leq 1,5b;$$

$$b' = 1,2 * b \text{ para } h > 1,5b;$$

A_c é a área da seção transversal do pilar em milímetro quadrado;

b é a menor dimensão da seção transversal do pilar em milímetro;

h é a maior dimensão da seção transversal do pilar em milímetro.

Para o uso da Equação 1, as seguintes limitações devem ser atendidas:

$$A_s/A_c \leq 0,04;$$

$$25 \text{ mm} \leq c_1 \leq 80 \text{ mm};$$

$$b' \geq 190 \text{ mm};$$

$$e \leq 0,15b;$$

$$l_{ef,fi} \leq 6\text{m}$$

Onde:

A_s é a área total das armaduras;

“e” é a excentricidade de primeira ordem da força normal atuante em situação de incêndio.

3.4.1.2 NBR 14432:2001

A ABNT NBR 14432:2001 apresenta exigências referentes a elementos estruturais e de compartimentação das edificações que devem ser levados em conta para se evitar colapso estrutural em caso de incêndio. Em se tratando dos elementos de compartimentação, essa norma informa que algumas condições de estanqueidade e isolamento devem ser seguidos para garantir tempo suficiente de fuga dos indivíduos que estejam na construção, além de proporcionar segurança nas operações de combate a incêndio.

De acordo com a NBR 14432:2001, o tempo requerido de resistência ao fogo (TRRF) é o tempo mínimo necessário para um elemento construtivo resistir ao fogo quando exposto a um incêndio-padrão. Segundo Silva (2012), O TRRF pode ser encontrado através do método tabular ou método do tempo equivalente. A NBR 14432:2001 e também as instruções técnicas dos corpos de bombeiros trazem uma tabela de TRRF em minutos, de acordo com a ocupação da edificação e dimensões. A tabela 06 apresenta os Tempos Requeridos de Resistência ao fogo em relação à altura da edificação e a ocupação.

Tabela 6 - Tempos requeridos de resistência ao fogo, em função da altura da edificação e do tipo de ocupação (min).

Ocupação/ Uso	Altura da edificação (h)					
	Classe P1 $h \leq 6m$	Classe P2 $6m < h \leq 12m$	Classe P3 $12m < h \leq 23m$	Classe P4 $23m < h \leq 30m$	Classe P5 $30m < h \leq 80m$	Classe P6 $80m < h \leq 120m$
Residencial	30	30	60	90	120	120
Serviços de hospedagem	30	60	60	90	120	150
Comercial varejista	60	60	60	90	120	150
	60	60	60	90	120	150
Serviços profissionais, pessoais e técnicos	30	60	60	90	120	150
Educacional e cultura física	30	30	60	90	120	120
Serviços de saúde e institucionais	30	60	60	90	120	150
	30	60	60	90	120	150

Fonte: IT8 (2011), adaptado.

3.4.1.3 Instruções Técnicas (IT's) dos corpos de bombeiros militar de São Paulo (SP) e Sergipe SE

O Corpo de Bombeiros Militar foi concebido com o objetivo de se tentar controlar grandes incêndios, mas atualmente ele exerce outras funções, como busca e resgate, prestação de atendimento pré-hospitalar e projetos sociais (MATEUS, 2012).

O Corpo de Bombeiros Militar, juntamente com a Polícia Militar, desenvolve instruções técnicas, conhecidas como IT's, com a intenção de promover a segurança contra incêndio, protegendo vidas e evitando que incêndios, caso ocorram, não se alastrem. O Decreto n.º 56.819 de 10 de março de 2011 de São Paulo é inspiração para vários estados brasileiros em se tratando de regulamentação de segurança contra incêndio. Ele aumentou o número de IT's para quarenta e quatro (SILVA, 2012). Já em Sergipe, são vinte e cinco as instruções técnicas em vigor adotadas, conforme pode ser observado no site oficial do corpo de bombeiros militar de Sergipe (CBMSE).

As instruções técnicas elaboradas pelo CBMSE tratam de temas tais como: requisitos que precisam ser atendidos pelos materiais de acabamento e revestimento que são utilizados nas edificações para evitar a propagação de fogo em caso de incêndio; determinação de quesitos que devem ser atendidos pelos elementos estruturais e de compartimentação nos edifícios, levando em consideração o TRRF, para que não haja colapso da estrutura em caso de incêndio; estabelecimento de condições para uso de extintores de incêndio em edificações e a definição de valores característicos de cargas de incêndio nos edifícios e áreas de risco.

As instruções técnicas do Corpo de Bombeiros determinam as condições de resistência ao fogo das estruturas compostas por diversos materiais. Já as Normas Brasileiras relacionadas a incêndios em edificações informam como dimensionar as estruturas de acordo com o imposto pelas IT's. Assim, pode-se afirmar que existe um equilíbrio entre essas Normas Brasileiras e as IT's, sem conflitos entre essas instâncias normativas, porém com muita semelhança de escopo em alguns casos. A NBR 14432:2001 e a IT8:2011(SP), por exemplo, já foram muito parecidas. Entretanto, atualmente a IT8 é mais moderna do que a norma (SILVA, 2018).

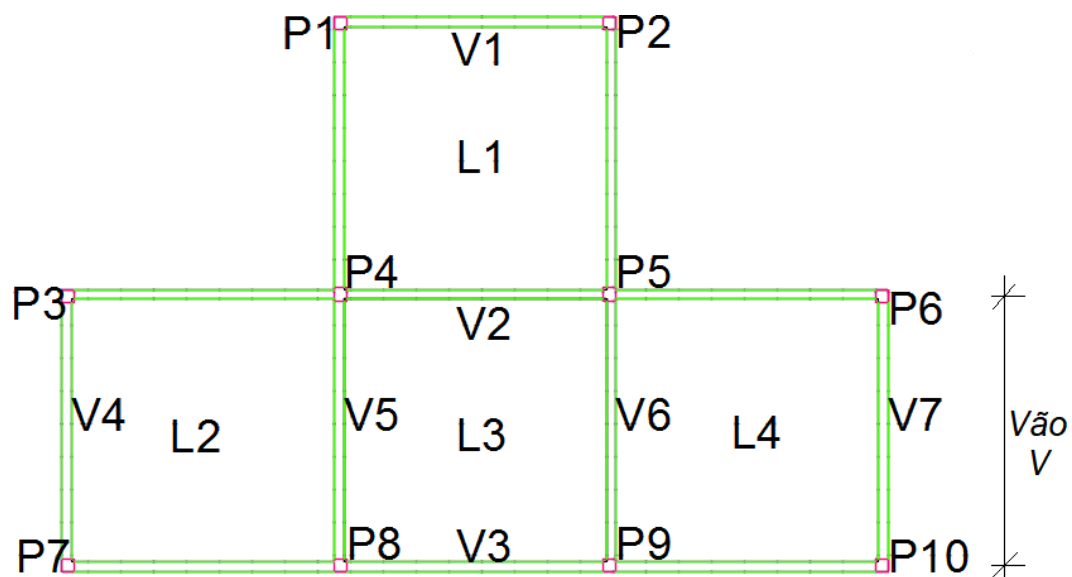
4 METODOLOGIA

4.1 MODELOS ESTRUTURAIS

O *software* AltoQi Eberick V10 foi utilizado para fazer os dimensionamentos dos elementos estruturais, considerando, ou não, a situação de incêndio e daí realizar o estudo comparativo. A estrutura adotada foi um modelo de pórtico espacial que contém sete vigas (V1 a V7), dez pilares (P1 a P10) e quatro lajes (L1 a L4), utilizado nos trabalhos de Aguiar *et al.* (2020) e Campos *et al.* (2019). A Figura 9 retrata o pórtico estudado em planta e a figura 10 mostra o modelo tridimensional do pórtico.

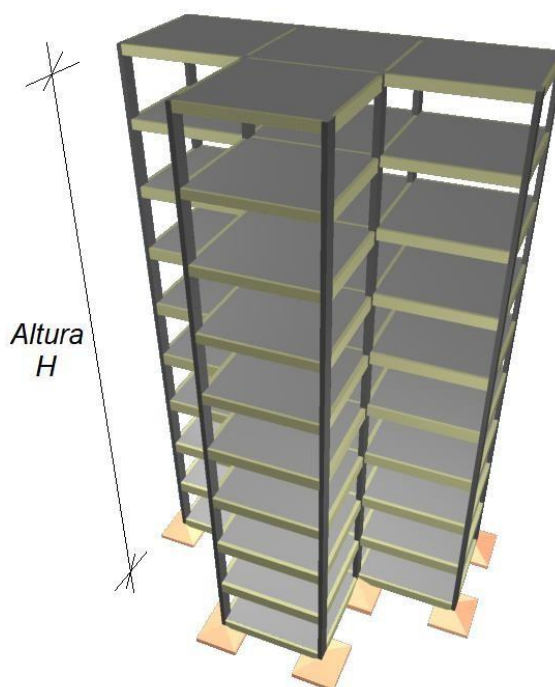
Os vãos teóricos adotados foram de 5,0 m, 6,0 m, 8,0 m e 10 m. Em relação às alturas, a estrutura foi analisada com dois pavimentos (5,6 m de altura), cinco pavimentos (14,0 m de altura), oito pavimentos (22,4 m de altura) e dez pavimentos (28,0 m de altura). Assim, esses pórticos podem ser classificados, de acordo com a ABNT NBR 14432:2001, como dentro das classes P1, P3 e P4 (ver tabela 06 do item do 3.4.1.2). Vale salientar que todos os pavimentos possuem a mesma planta baixa. A tabela 7 apresenta a quantidade total de elementos estruturais que constitui cada edificação analisada, definida em função da altura.

Figura 9 - Planta baixa do pórtico modelo.



Fonte: Campos *et al.* (2019).

Figura 10 - Pórtico modelo típico.



Fonte: Campos *et al.* (2019).

Tabela 7 - Quantidade total de elementos estruturais em função da altura adotada para cada edificação.

Pavimentos	Altura (m)	Número de Pilares	Número de Vigas	Número de Lajes
2	5,6	10	14	8
5	14,0	10	35	20
8	22,4	10	56	32
10	28,0	10	70	40

Fonte: O autor (2023).

Nesse estudo, admite-se que o pórtico faz parte da divisão A-2, habitações multifamiliares, segundo a NBR 14432:2001. No que concerne aos carregamentos, atendendo as recomendações da ABNT NBR 6120:2019, a carga considerada nas lajes foi de 2,0 kN/m². Para o revestimento a carga atribuída foi de 1,105 kN/m², que se refere as camadas de contrapiso, assentamento e de material granítico, com pesos específicos e espessuras de, respectivamente, 21 kN/m³ e 3,0 cm, 19kN/m³ e 1,0 cm, e 28 kN/m³ e 1,0 cm. Em relação às vigas, a carga distribuída considerada foi de 5,46 kN/m, correspondente às paredes, para as quais se considerou as seguintes condições: o peso específico de tijolos furados, de 13 kN/m³, a altura de 2,8m e a espessura de 15 cm. Levando-se em conta as condições de projeto frequentemente adotadas na cidade de Aracaju/SE, optou-se por utilizar concreto da classe C30 e classe de agressividade ambiental III, de acordo com a ABNT NBR 6118:2014.

As classes definidas pela ABNT NBR 14432:2001 tem o objetivo de categorizar as estruturas em função do Tempo Requerido de Resistência ao Fogo, de acordo com a altura total da estrutura. Nesse estudo, a altura total considerada é a altura real da edificação, que já foi citada na Tabela 7. A tabela 8 apresenta os valores do tempo requerido de resistência ao fogo (TRRF) aplicados neste estudo, segundo a ABNT NBR 14432:2001.

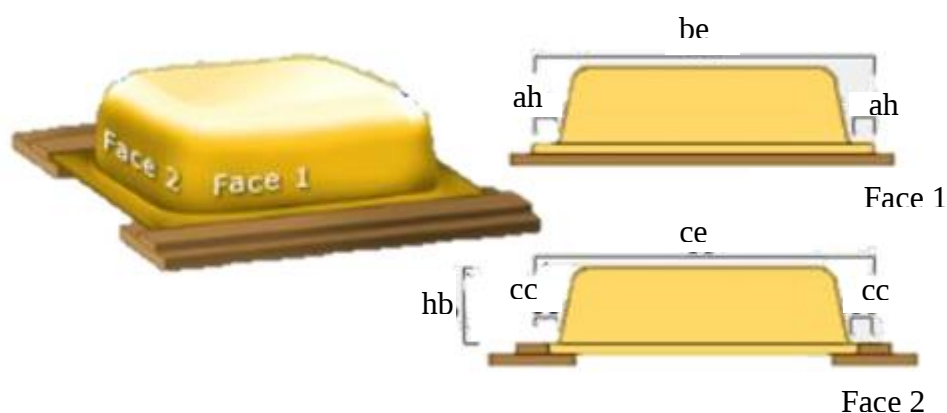
Tabela 8 - TRRFs das edificações de acordo com a NBR 14432:2001.

Classes	TRRF (min)	Faixas de altura (m)	Vãos (m)
P1	30	0 a 6	5, 6, 8 e 10
P2		6 a 12	
P3	60	12 a 23	
P4	90	23 a 30	

Fonte: O autor (2023).

O pórtico desse estudo foi lançado para os vãos e alturas citados anteriormente e, inicialmente, sem considerar a situação de incêndio. Para esse caso, as dimensões iniciais das vigas foram 15 cm de largura e 30 cm de altura. Os incrementos foram feitos gradativamente a cada 5 cm, de acordo com a variação da altura total e o vão da edificação, e ocorreram se para as dimensões adotadas a estrutura não atendia aos esforços solicitantes e a outros requisitos técnicos de protejo. Os pilares possuíam largura e altura iniciais da seção de 25 cm e, assim como as vigas, os incrementos foram de 5 cm em 5 cm, e ocorreram se para as dimensões adotadas a estrutura não atendia aos esforços solicitantes e a outros requisitos técnicos de protejo. Para as lajes maciças, a espessura inicial foi de 9 cm e os incrementos ocorreram a cada um centímetro, seguindo procedimento análogo ao descrito anteriormente para vigas e pilares. A tabela 9 mostra como ocorreu a variação das dimensões das vigas, pilares e lajes maciças. No caso das lajes nervuradas, a capa da laje possuiu as espessuras de 5 cm e 6 cm e foram adotadas as larguras das nervuras de 12,5 cm, correspondente às medidas da largura usada no trabalho de Aguiar *et al.* (2020), além de ser a medida inicial de largura das nervuras do programa utilizado para realizar esse estudo. A tabela 10 apresenta as dimensões das lajes nervuradas e os incrementos utilizados. O l_0+b , contido na tabela 4, corresponde à distância entre os eixos das nervuras. A figura 11 mostra o tipo de cubeta usada nas lajes nervuradas.

Figura 11 - Esboço da cubeta da laje nervurada.



Fonte: AGUIAR (2020), adaptado.

Onde:

ah – Representa a metade da largura da nervura transversal a face 1;

be – Distância entre os eixos centrais das nervuras da face 1;

ce – Distância entre os eixos centrais das nervuras da face 2;

cc – Representa a metade da largura da nervura transversal a face 2;

hb – Altura da nervura.

Tabela 9 - Dimensões finais e incrementos, em centímetros, dos elementos estruturais das edificações e dimensões das lajes maciças.

Dimensões	Vigas		Pilares		Lajes Maciças
	Largura da seção	Altura da seção	Largura	Altura	Espessura
Mínima	15	30	25	25	9
Máxima	30	75	50	50	21
Incremento	5	5	5	5	1

Fonte: O autor (2023).

Tabela 10 - Dimensões e incrementos das lajes nervuradas em centímetros.

Dimensões	Altura da Nervura (hb)	Largura da Nervura (b)	Capa	Altura Total	Cubeta (l_0)	l_0+b
Mínima	20	12,5	5	25	80	92,5
Máxima	40	12,5	6	46	80	92,5
Incremento	5	-	1	1 ou 5	-	-

Fonte: O autor (2023).

4.2 MÉTODOS DE DIMENSIONAMENTO

O *software* comercial AltoQi Eberick V10, foi o escolhido para fazer a análise estrutural da edificação neste estudo. Além de ser disponibilizado pelo Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Sergipe – Campus Aracaju, esse *software* é muito utilizado no Brasil para projetar estruturas de concreto armado.

No primeiro momento, foram criados no *software* os pavimentos com as suas respectivas alturas. Em seguida, os arquivos com as plantas arquitetônicas foram importados para os croquis de cada pavimento e então se inicia o lançamento dos elementos estruturais (pilares, vigas e lajes) em um dos pavimentos e a repetição dos mesmos nos pavimentos seguintes. Esse processo foi feito considerando as cargas dos elementos citadas anteriormente.

A posteriori, levando-se em conta a ABNT NBR 6118:2014, foram estabelecidos os parâmetros referentes à classe de agressividade ambiental e classe de resistência do concreto. Nos casos de análises para situação de incêndio, foram definidos, para cada elemento da estrutura, os parâmetros do tipo de ocupação da edificação, as camadas de revestimento e os TRRFs, que foram inseridos de acordo com a altura total da edificação e conservando a configuração automática do AltoQi Eberick V10. Nesse estudo, o revestimento foi zero, considerando assim que a estrutura está na pior condição. A janela de configurações para situação de incêndio utilizada pelo AltoQi Eberick V10 é apresentada na figura 12. Por fim, foram feitos os processamentos das estruturas e a comparação da edificação com lajes maciças à temperatura ambiente e em situação de incêndio e também a estrutura com lajes nervuradas nessas mesmas condições.

Figura 12 - Menu de configurações das verificações de incêndio do AltoQi Eberick V10.

Incêndio

Requisitos

☒ Definir TRRF automaticamente

Ocupação: **A - Residencial**

☒ Definir alturas automaticamente

Altura acima do solo: **460** cm

Profundidade do subsolo: **100** cm

☐ Permitir redução de TRRF utilizando MTE

Método do tempo equivalente...

Avançado...

Elementos	TRRF
Vigas	30 min
Pilares	30 min
Lajes	30 min
Paredes	30 min

Revestimento

☒ Projeto inteiro

☐ Por pavimento

Elementos	Físico	Eficiência	Efetivo
Vigas	0 cm	100 %	0 cm
Pilares	0 cm	100 %	0 cm
Lajes (superior)	0 cm	100 %	0 cm
Lajes (inferior)	0 cm	100 %	0 cm
Paredes	0 cm	100 %	0 cm
Vigas PM	0 cm	100 %	0 cm
Pilares PM	0 cm	100 %	0 cm

OK Cancelar Ajuda

Fonte: O autor (2023).

5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Serão apresentadas, nesse estágio do trabalho, as análises das estruturas dimensionadas no *software* AltoQi Eberick V10, para o pórtico adotado, descrito em 4.1. Para isso, essa etapa de análises foi dividida em alguns tópicos. As duas primeiras partes tratam das análises dos pórticos modelo com lajes maciças e nervuradas sem considerar as condições de incêndio. Já as duas últimas partes são análises das estruturas com lajes maciças e nervuradas, considerando a situação de incêndio prevista na NBR 15200:2012 e na NBR 14432:2001.

5.1 ANÁLISE DAS ESTRUTURAS COM LAJES MACIÇAS EM TEMPERATURA AMBIENTE

É importante ressaltar que os valores das dimensões dos elementos que serão mostrados nas tabelas a seguir são as dimensões mínimas possíveis, obtidas conforme os procedimentos de cálculo prescritos na ABNT NBR 6118:2014 perante os esforços solicitantes, e considerando a temperatura ambiente, ou seja, sem considerar as condições de incêndio.

A tabela 11 mostra, para as edificações com as alturas analisadas nesse estudo, as dimensões mínimas das vigas e pilares, as espessuras das lajes maciças adotadas para o vão igual a 5,0 m, e considerando a temperatura ambiente.

Tabela 11 - Dimensões das vigas, pilares e lajes maciças, em temperatura ambiente, para o vão de 5,0 m.

Altura Total do edifício (m)	Viga		Pilar		Laje Maciça
	Largura (cm)	Altura (cm)	Largura (cm)	Altura (cm)	Espessura (cm)
5,6 (2 pavimentos)	15	30, 35 e 40	25	25	9 e 10
14,0 (5 pavimentos)	15	30, 35 e 40	30	30	
22,4 (8 pavimentos)	15	Entre 30 e 55	40	40	
28,0 (10 pavimentos)	15	Entre 30 e 65	45	45	

Fonte: O autor (2023).

A tabela 12 apresenta as dimensões das vigas e pilares, e as espessuras das lajes maciças para as estruturas analisadas, considerando a temperatura ambiente, para o vão igual a 6,0 m.

Tabela 12 - Dimensões das vigas, pilares e lajes maciças, em temperatura ambiente, para o vão de 6,0 m.

Altura Total do edifício (m)	Viga		Pilar		Laje Maciça
	Largura (cm)	Altura (cm)	Largura (cm)	Altura (cm)	Espessura (cm)
5,6 (2 pavimentos)	15	30, 35, 40 e 50	30	30	10 e 11
14,0 (5 pavimentos)	15	Entre 30 e 50	35	35	
22,4 (8 pavimentos)	15	Entre 30 e 65	40	40	
28,0 (10 pavimentos)	15 e 20	Entre 30 e 65	45	45	

Fonte: O autor (2023).

Assim como as tabelas 11 e 12, a tabela 13 contém as dimensões das vigas e pilares, e as espessuras das lajes maciças para os pórticos estudados, porém com o vão igual a 8,0 m, também para a temperatura ambiente.

Tabela 13 - Dimensões das vigas, pilares e lajes maciças, em temperatura ambiente, para o vão de 8,0 m.

Altura Total do edifício (m)	Viga		Pilar		Laje Maciça
	Largura (cm)	Altura (cm)	Largura (cm)	Altura (cm)	Espessura (cm)
5,6 (2 pavimentos)	20	40, 45 e 50	40	40	12
14,0 (5 pavimentos)	20	entre 35 e 55	40	40	
22,4 (8 pavimentos)	20	entre 40 e 65	50	50	
28,0 (10 pavimentos)	20 e 25	entre 40 e 70	55	55	12 e 13

Fonte: O autor (2023).

Por fim, para o caso do vão igual a 10,0 m, à temperatura ambiente, a tabela 14 apresenta as dimensões das vigas e pilares e as espessuras das lajes maciças para a estrutura analisada.

Tabela 14 - Dimensões das vigas, pilares e lajes maciças, em temperatura ambiente, para o vão de 10,0 m.

Altura Total do edifício (m)	Viga		Pilar		Laje Maciça
	Largura (cm)	Altura (cm)	Largura (cm)	Altura (cm)	Espessura (cm)
5,6 (2 pavimentos)	20 e 25	45, 50, 65 e 70	50	50	14
14,0 (5 pavimentos)	20 e 25	50, 60, 65, 70	50	50	14
22,4 (8 pavimentos)	20 e 25	Entre 50 e 70	70	70	Entre 13 e 18
28,0 (10 pavimentos)	20, 25 e 30	Entre 50 e 75	70	70	Entre 15 e 21

Fonte: O autor (2023).

5.2 ANÁLISE DAS ESTRUTURAS COM LAJES NERVURADAS EM TEMPERATURA AMBIENTE

As dimensões dos elementos apresentados nas tabelas a seguir são as mínimas possíveis de acordo com os procedimentos de cálculo estabelecidos pela ABNT NBR 6118:2014, diante dos esforços solicitantes e sem considerar a situação de incêndio.

A tabela 15 mostra as espessuras das nervuras e capas (ou mesas) das lajes nervuradas, além das dimensões das vigas e pilares, para as estruturas de edificações analisadas neste estudo, cujas alturas também variaram conforme descrito no item 4.1, considerando a temperatura ambiente e o vão de 5,0 m.

Tabela 15 - Dimensões das vigas, pilares e lajes nervuradas, em temperatura ambiente, para o vão de 5,0 m.

Altura Total do edifício (m)	Viga		Pilar		Laje Nervurada	
	Largura (cm)	Altura (cm)	Largura (cm)	Altura (cm)	Nervuras (cm)	Capa (cm)
5,6 (2 pavimentos)	15	30, 35 e 40	25	25		
14,0 (5 pavimentos)	15	30, 35 e 40	30	30		
22,4 (8 pavimentos)	15	Entre 30 e 55	40	40	12,5	5
28,0 (10 pavimentos)	15	Entre 30 e 65	45	45		

Fonte: O autor (2023).

A tabela 16 apresenta as dimensões das vigas e pilares, e as espessuras das nervuras e capas das lajes nervuradas para os pórticos desse estudo, não considerando a situação de incêndio (ou seja, na temperatura ambiente), e para o vão de 6,0 m.

Tabela 16 - Dimensões das vigas, pilares e lajes nervuradas, em temperatura ambiente, para o vão de 6,0 m.

Altura Total do edifício (m)	Viga		Pilar		Laje Nervurada	
	Largura (cm)	Altura (cm)	Largura (cm)	Altura (cm)	Nervuras (cm)	Capa (cm)
5,6 (2 pavimentos)	15	30, 35 e 40	25	25		
14,0 (5 pavimentos)	15	Entre 30 e 50	30	30		
22,4 (8 pavimentos)	15	Entre 30 e 65	40	40	12,5	5
28,0 (10 pavimentos)	15 e 20	Entre 30 e 65	45	45		

Fonte: O autor (2023).

A tabela 17 contém as dimensões das vigas e pilares, e as espessuras das nervuras e capas das lajes nervuradas para as estruturas analisadas, considerando a temperatura ambiente e o vão de 8,0 m.

Tabela 17 - Dimensões das vigas, pilares e lajes nervuradas, em temperatura ambiente, para o vão de 8,0 m.

Altura Total do edifício (m)	Viga		Pilar		Laje Nervurada	
	Largura (cm)	Altura (cm)	Largura (cm)	Altura (cm)	Nervuras (cm)	Capa (cm)
5,6 (2 pavimentos)	20	40 e 50	35	35	12,5	5
14,0 (5 pavimentos)	20	Entre 35 e 50	35	35		
22,4 (8 pavimentos)	20	Entre 40 e 65	50	50		
28,0 (10 pavimentos)	20 e 25	Entre 40 e 60	55	55		5 e 6

Fonte: O autor (2023).

Assim como as tabelas anteriores, a tabela 18 apresenta as dimensões das vigas e pilares, e as espessuras das nervuras e capas das lajes nervuradas para as estruturas desse estudo, considerando a temperatura ambiente e o vão de 10,0 m.

Tabela 18 - Dimensões das vigas, pilares e lajes nervuradas, em temperatura ambiente, para o vão de 10,0 m.

Altura Total do edifício (m)	Viga		Pilar		Laje Nervurada	
	Largura (cm)	Altura (cm)	Largura (cm)	Altura (cm)	Nervuras (cm)	Capa (cm)
5,6 (2 pavimentos)	15 e 20	Entre 50 e 70	40	40	12,5	5
14,0 (5 pavimentos)	20 e 25	Entre 50 e 70	50	50		
22,4 (8 pavimentos)	20 e 25	Entre 55 e 70	60	60		
28,0 (10 pavimentos)	20, 25 e 30	Entre 50 e 70	65	65		5 e 6

Fonte: O autor (2023).

5.3 ANÁLISE DAS ESTRUTURAS COM LAJES MACIÇAS EM SITUAÇÃO DE INCÊNDIO

Em relação às edificações com lajes maciças abordadas no item 5.1, e mediante a situação de incêndio, as dimensões mínimas dos elementos estruturais, de acordo com a ABNT NBR 15200:2012 e ABNT NBR 14432:2001, são mostradas nas tabelas 19 e 20. A tabela 19 apresenta os valores dos acréscimos necessários feitos nas dimensões dos elementos estruturais diante da situação de incêndio.

A partir da tabela 19 é possível observar que somente a estrutura com vão de 5,0 m e altura total da edificação com o valor de 28,0 m precisou de um incremento na espessura das lajes. Assim, pode-se concluir que o dimensionamento dos demais elementos estruturais à temperatura ambiente, isso inclui as outras edificações com lajes maciças descritas no item 4.1, já atende as exigências das condições de incêndio.

Com relação aos pilares desses pórticos, não foi necessário fazer alterações nas dimensões desses elementos para atendimento das normas, porém, o programa apontou, para vários pilares em diversos pavimentos e vãos variados, uma excentricidade excessiva, conforme foi também apontado nos trabalhos de Aguiar *et al.* (2020) e Campos *et al.* (2019). Apesar da ABNT NBR 15200:2012 limitar as excentricidades em $0,15b$, (b = menor dimensão da seção transversal do pilar), o programa ainda considerou que esses elementos atendem as exigências das condições de incêndio.

A tabela 20 mostra os acréscimos nos cobrimentos das vigas que não atenderam os valores mínimos de distância do centro das armaduras à face externa dos elementos. Os demais elementos dessa edificação, bem como das demais edificações descritas no item 4.1, que não foram citados nessa tabela, não precisaram de modificações, pois já cumprem as exigências da situação de incêndio.

Tabela 19 - Incrementos feitos nas espessuras das lajes maciças submetidas à condição de incêndio.

Altura da Edificação (m)	Espessura da Laje (cm)			
	Vão de 5,0 m	Vão de 6,0 m	Vão de 8,0 m	Vão de 10,0 m
28,0 (10 pavimentos)	9+1 (todos os pavimentos)	-	-	-

**Padronização: h +incremento;
 h =espessura na temperatura ambiente.**

Fonte: O autor (2023).

Tabela 20 - Incrementos feitos nos cobrimentos das vigas submetidas à condição de incêndio.

Altura da Edificação (m)		
28,0 (10 pavimentos)		
Vão de 6,0 m	Incremento nos cobrimentos (cm)	0,5 e 1
	Vigas Alteradas	V2 (pavimentos 7 e 8); V5 e V6 (pavimento 8).
Vão de 8,0 m	Incremento nos cobrimentos (cm)	0,5
	Vigas Alteradas	V1 (pavimento 8); V3, V4 e V7 (pavimento 7); V1, V3, V4 e V7 (pavimento 6); V1 e V3 (pavimentos 1, 2, 3, 4 e 5); V1, V4 e V7 (pavimento térreo).
Vão de 10,0 m	Incremento nos cobrimentos (cm)	0,5
	Vigas Alteradas	V5 e V6 (pavimento 8); V3 (pavimentos 1 e 3).

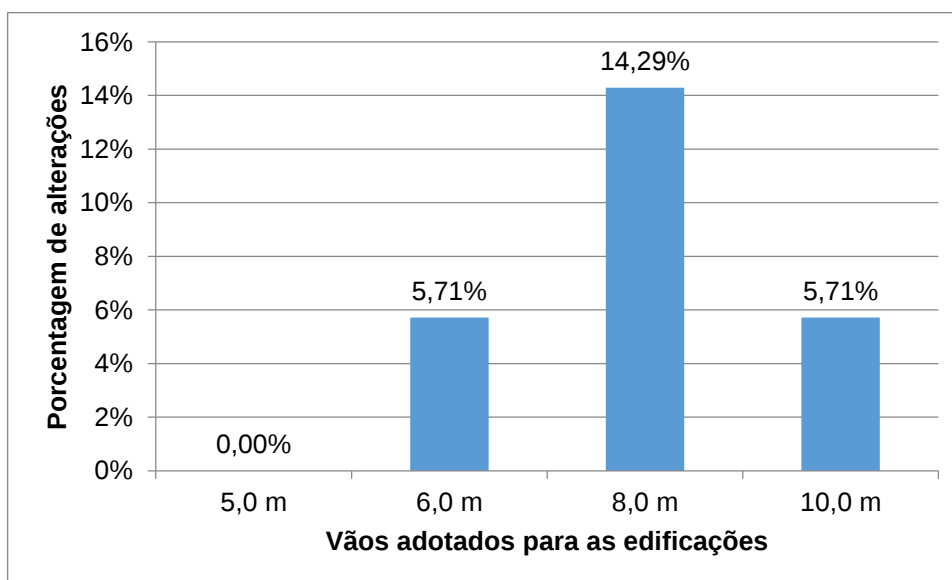
Fonte: O autor (2023).

É possível notar observando na tabela 20 que para os vãos de 6,0 m, 8,0 m e 10,0 m e alturas totais iguais a 5,6 m, 14,0 m e 22,4 m, também não foi necessário fazer incrementos nos cobrimentos de concreto das armaduras. Entretanto, nos pórticos com altura total de 28,0 m e vãos com valores iguais a 6,0 m, 8,0 m e 10,0 m, foi demandado um acréscimo nesses cobrimentos. Para o vão de 5,0 m, em todas as vigas e todas as alturas consideradas nesse estudo, os dimensionamentos

à temperatura ambiente satisfazem as premissas da situação de incêndio. É importante ressaltar que, para a edificação com vão igual a 10,0 m e altura total de 28,0 m (10 pavimentos) houve menor necessidade de alterações nas vigas em relação à estrutura com a mesma altura e vão de 8,0 m. Isso se deve, provavelmente, ao fato de que o primeiro pórtico, mesmo em temperatura ambiente, possui elementos já com elevadas dimensões devido ao seu vão ser relativamente grande.

O gráfico da figura 13 apresenta as porcentagens de vigas que precisaram de acréscimos nos cobrimentos de concreto das armaduras, para atender as exigências da situação de incêndio nas edificações com altura total de 28,0 m. Para o vão de 6,0 m, 4 (quatro) das 70 (setenta) vigas demandaram um incremento, o que corresponde a 5,71% de vigas. Já para o vão de 8,0 m, 10 (dez) das 70 (setenta) vigas necessitaram de um acréscimo no cobrimento, ou seja, 14,29% das vigas requereram alguma alteração nas suas dimensões. Por fim, para o vão igual a 10,0 m, 4 (quatro) das 70 (setenta) vigas, ou seja 5,71% das vigas precisaram de um incremento no cobrimento de concreto das armaduras.

Figura 13 - Percentuais das vigas que necessitaram de acréscimo no cobrimento de concreto das armaduras para os pórticos com lajes maciças, e com 28,0 m de altura, em condição de incêndio.



Fonte: O autor (2023).

5.4 ANÁLISE DAS ESTRUTURAS COM LAJES NERVURADAS EM SITUAÇÃO DE INCÊNDIO

Em se tratando do pórtico em condições de incêndio, as tabelas 21, 22 e 23 apresentam as mínimas dimensões dos elementos da estrutura, segundo a ABNT NBR 15200:2012 e a ABNT NBR 14432:2001. A tabela 21 mostra o valor dos incrementos necessários nas dimensões dos elementos estruturais submetidos à condição de incêndio para as estruturas com lajes nervuradas abordadas no item 5.2, e considerando os vãos avaliados neste estudo.

As análises dos pórticos em situação de incêndio mostraram que foi necessário um incremento na espessura das capas de todas as lajes nervuradas e em todos os modelos de estruturas, como apresentado na tabela 21. Ademais, os gráficos das figuras 14 e 15 mostram as espessuras finais das capas de lajes nervuradas das estruturas em temperatura ambiente e em situação de incêndio, respectivamente. Cabe salientar que as espessuras de capas das lajes informadas nos gráficos 14 e 15 são as das lajes de maiores valores dessa dimensão (espessura de capa da laje nervurada) da edificação em análise.

Em relação às vigas e pilares nas estruturas com lajes nervuradas em temperatura ambiente, foi verificado que só houve a necessidade de incrementos nas dimensões das vigas nos pórticos com dez pavimentos e vãos iguais a 6,0 m, 8,0 m e 10,0 m, como apresentado na tabela 22. Assim como para o caso das estruturas com lajes maciças, para os pilares, não houve necessidade de modificação nas suas dimensões para atendimento das normas. Entretanto, em diversos pilares de diversos pavimentos e variações de altura e vão, o *software* indicou excentricidade excessiva desses elementos nas condições de incêndio.

Tabela 21 - Incrementos feitos nas capas das lajes nervuradas submetidas à condição de incêndio (cm).

Altura da Edificação (m)	Capa da Laje (cm)			
	Vão de 5,0 m	Vão de 6,0 m	Vão de 8,0 m	Vão de 10,0 m
5,6 (2 pavimentos)	5+1	5+1	5+1	5+1
14,0 (5 pavimentos)	5+3	5+3	5+3	5+3
22,4 (8 pavimentos)	5+3	5+3	5+3	6+2
28,0 (10 pavimentos)	5+5	5+5	6+2	6+2
			5+5	5+5
			6+4	6+4

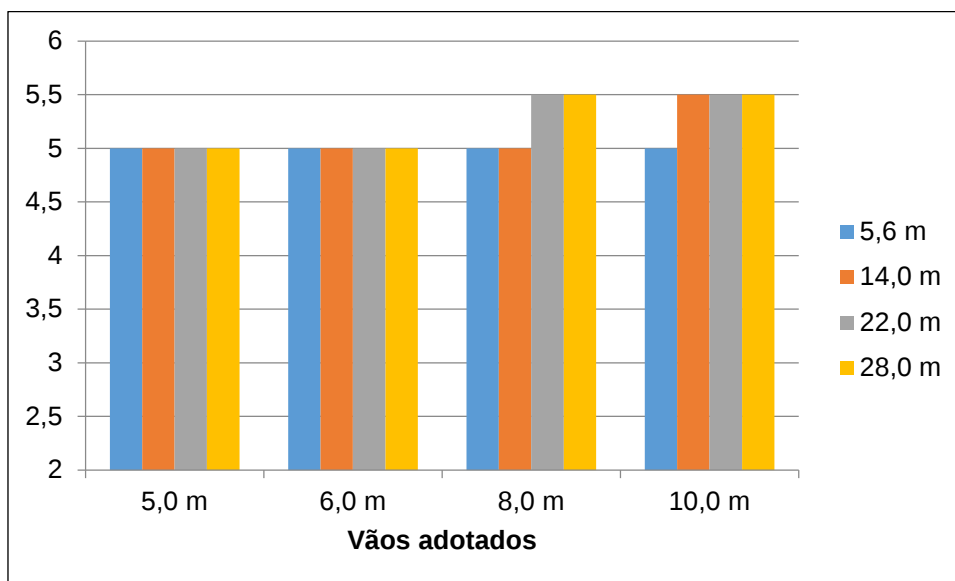
**Padronização: h+incremento;
h=espessura na temperatura ambiente.**

Fonte: O autor (2023).

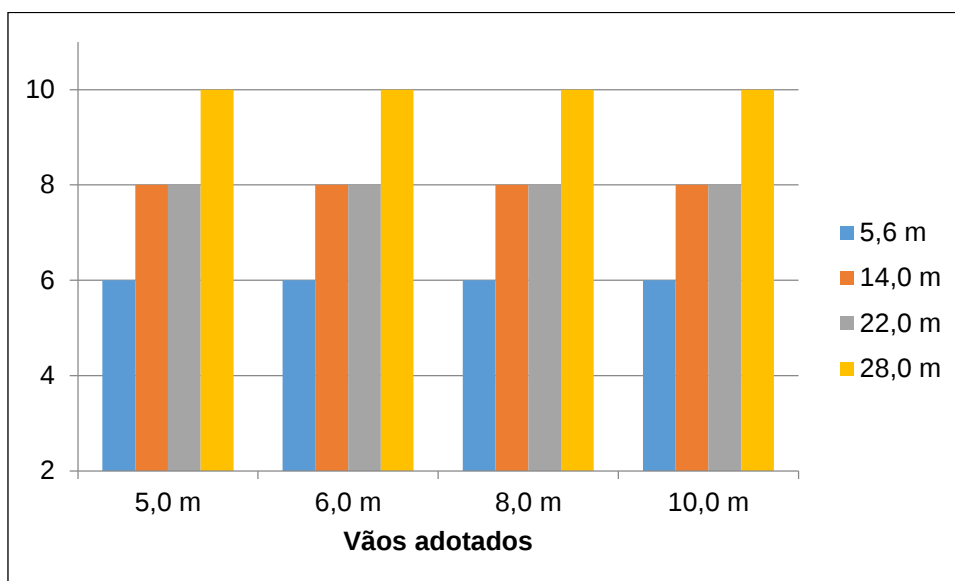
Tabela 22 - Incrementos feitos nos cobrimentos das vigas submetidas à condição de incêndio.

Altura da Edificação (m)		
28,0 (10 pavimentos)		
Vão de 6,0 m	Incremento nos cobrimentos (cm)	0,5 e 1
	Vigas Alteradas	V2 (pavimentos 7 e 8); V3 (8 pavimentos).
	Incremento nos cobrimentos (cm)	0,5
Vão de 8,0 m	Vigas Alteradas	V1, V4, V5 e V7 (pavimento 8); V1 e V4 (pavimento 7); V1, V3 e V7 (pavimento 6); V3 (pavimentos térreo, 1, 3, 4 e 5).
	Incremento nos cobrimentos (cm)	0,5
Vão de 10,0 m	Vigas Alteradas	V3 (pavimento 8); V7 (pavimentos térreo, 4, 5, 6 e 7).

Fonte: O autor (2023).

Figura 14 - Valores das capas das lajes nervuradas em temperatura ambiente.

Fonte: O autor (2023).

Figura 15 - Valores das capas das lajes nervuradas em condições de incêndio.

Fonte: O autor (2023).

Tabela 23 - Incrementos feitos nos cobrimentos das nervuradas nas lajes nervuradas submetidas à condição de incêndio.

Altura da Edificação (m)		
28,0 (10 pavimentos)		
Vão de 6,0 m	Incremento nos cobrimentos (cm)	0,5
	Lajes Alteradas	L1, L2 e L4 (todos os pavimentos)
Vão de 8,0 m	Incremento nos cobrimentos (cm)	0,5
	Lajes Alteradas	L1, L2, L3 e L4 (todos os pavimentos)
Vão de 10,0 m	Incremento nos cobrimentos (cm)	0,5
	Lajes Alteradas	L1, L2, L3 e L4 (todos os pavimentos)

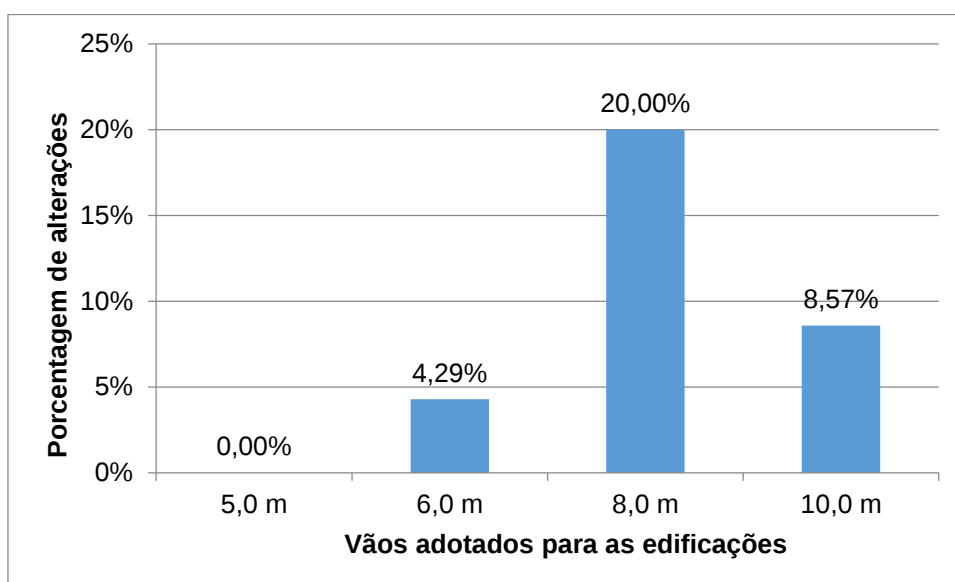
Fonte: O autor (2023).

Observando a tabela 23, é possível perceber que não houve ajustes nas dimensões dos cobrimentos das nervuras, com a variação do número de pavimentos, para as edificações de vãos de 5,0 m. Nota-se também que só foi necessário fazer esses acréscimos nos cobrimentos nas edificações com altura total igual a 28,0 m, ou seja, o aumento do número de elementos com necessidade de incrementos nos cobrimentos não ocorreu com o aumento no comprimento dos vãos.

De acordo com as tabelas citadas anteriormente, percebe-se que, para todas as estruturas desse estudo com o vão de 5,0 m, os dimensionamentos para as vigas à temperatura ambiente já atendem as condições de incêndio. O mesmo acontece com as vigas dos pórticos com vão de 6,0 m, 8,0 m e 10,0 m e com alturas totais de 5,6 m, 14,0 m e 22,4. Todavia, para as edificações de altura total correspondente a 28,0 m e vãos de 6,0 m, 8,0 m e 10,0 m, foi necessário fazer acréscimos nos cobrimentos de concreto das armaduras. Vale salientar que, assim como no caso das lajes maciças, para a estrutura com vão de 10,0 m e dez pavimentos houve menor necessidade de alteração das vigas do que a estrutura com vão de 8,0 m e 10 pavimentos, pelo mesmo motivo já descrito no item 5.3.

O gráfico da figura 16 mostra a porcentagem de vigas que, para atender as condições de incêndio, precisaram de acréscimos nos cobrimentos de concreto das armaduras nos pórticos com altura total de 28,0 m. Para o vão de 6,0 m, 3 (três) das 70 (setenta) vigas necessitaram de um incremento, o que corresponde a 4,29% de vigas. Já para o vão de 8,0 m, 14 (catorze) das 70 (setenta) vigas precisaram de um acréscimo no cobrimento, ou seja, 20,00% das vigas requereram uma alteração. Por fim, para o vão igual a 10,0 m, 6 (seis) das 70 (setenta) vigas, ou seja, 8,57% das vigas necessitaram de um incremento no cobrimento de concreto das armaduras.

Figura 16 - Percentuais das vigas que necessitaram de acréscimo no cobrimento de concreto das armaduras para os pórticos com lajes nervuradas e com 28,0 m de altura em condição de incêndio.

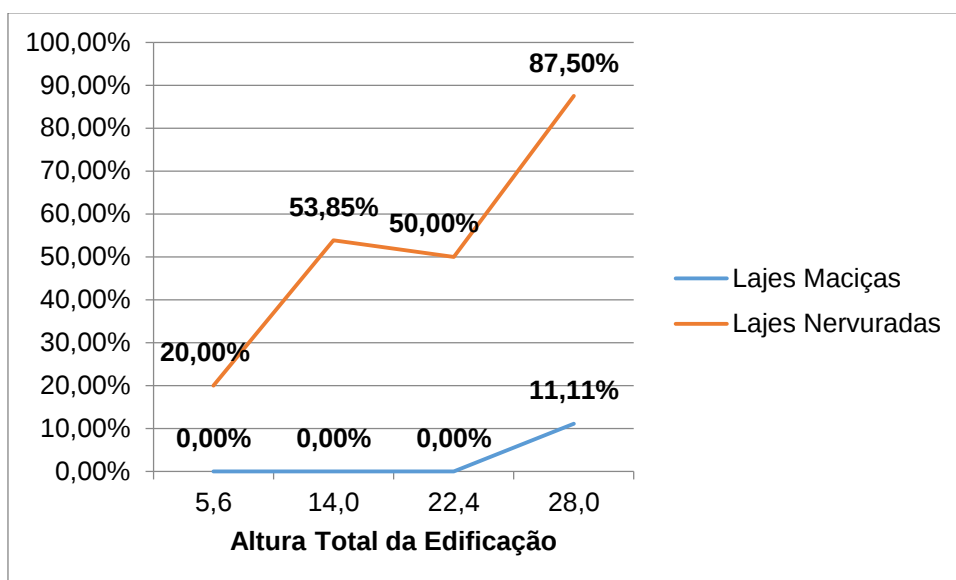


Fonte: O autor (2023).

O gráfico da figura 17 apresenta um comparativo em relação à evolução dos acréscimos feitos nas espessuras das lajes maciças e nas capas das lajes nervuradas depois de submetidas às condições de incêndio, isso considerando as lajes que precisaram ter esses incrementos a cada altura de pórtico analisada. É possível perceber que, em geral, os dimensionamentos das lajes maciças a temperatura ambiente já atenderam às exigências das condições de incêndio. Entretanto, o mesmo não pode ser afirmado em relação às lajes nervuradas. Para as edificações com altura total de 5,6 m, houve um acréscimo médio nas capas das lajes nervuradas de 20%. Já para os pórticos com alturas totais de 14,0 m (cinco pavimentos) e 22,4 m (oito pavimentos), os incrementos médios foram de,

respectivamente, 53,85% e 50,0%. Observa-se ter ocorrido praticamente o mesmo acréscimo percentual de incrementos nas duas últimas edificações citadas. Isso ocorreu pelo fato de que, nas edificações de oito pavimentos, os elementos das lajes, além de vigas e pilares, já possuírem dimensões iniciais (na temperatura ambiente) bem maiores que as observadas nesses mesmos elementos estruturais do pórtico de cinco pavimentos. Por fim, as capas das lajes nervuradas que necessitaram de incrementos, nas estruturas com altura total de 28,0 m (maior altura adotada para este estudo), tiveram um acréscimo médio de 87,50%.

Figura 17 - Evolução, em porcentagem, dos acréscimos necessários nas espessuras das lajes maciças e nas capas das lajes nervuradas quando submetidas às condições de incêndio.



Fonte: O autor (2023).

6 CONCLUSÃO

Para esse estudo, através do uso do *software* AltoQi Eberick, foram analisados 32 (trinta e dois) pórticos modelo, com vãos e alturas definidos previamente. Metade deles eram estruturas com lajes maciças e a outra metade com lajes nervuradas. A princípio, esses pórticos foram dimensionados à temperatura ambiente e, em seguida, a situação de incêndio foi considerada. Assim, analisou-se o efeito das condições de incêndio no dimensionamento dos elementos estruturais (pilares, vigas e lajes) das edificações de concreto armado, e feito o comparativo entre os pórticos com lajes maciças e com lajes nervuradas.

A partir dos resultados obtidos para os pórticos considerados nesse estudo, é possível afirmar que, tanto para os casos com lajes maciças quanto para os casos com lajes nervuradas, somente nas estruturas de maiores alturas, ou seja, altura total igual a 28,0 m, e vãos iguais a 6,0 m, 8,0 m e 10,0 m, foi necessário fazer acréscimos nos cobrimentos de concreto das vigas para atender a distância mínima entre o centro da armadura e a face exposta das vigas.

Em se tratando das lajes maciças, verificou-se que dos 16 (dezesesseis) pórticos com lajes maciças estudados, apenas 1 (um) precisou de incremento na espessura das lajes maciças e em todos os seus pavimentos, após a análise considerando a situação de incêndio, o que corresponde a 6,25% de edificações com lajes maciças modificadas. Assim, de um total de 400 lajes maciças analisadas, apenas 40 lajes, correspondente às lajes do pórtico com 10 (dez) pavimentos e vão igual a 5,0 m, precisaram de alterações na espessura da laje, o que representa 10% das lajes maciças. Já para os pórticos com lajes nervuradas, todas as edificações estudadas precisaram de incrementos na capa de concreto das suas lajes. Esses incrementos foram de no máximo 5 cm.

Em relação aos acréscimos referentes aos cobrimentos de concreto nas lajes, foi constatado que, para as lajes maciças, não foi preciso fazer nenhum incremento de cobrimento de concreto para atender ao valor mínimo de c_1 . Ou seja, o dimensionamento para lajes maciças executados nessas estruturas, de acordo com a ABNT 6118:2014 (ou seja, sem levar em conta a condição de incêndio), já atende as condições de incêndio descritas pela ABNT 15200:2012. Porém, para as edificações com lajes nervuradas, não aconteceu o mesmo. Foi constatado que,

para as lajes nervuradas dos pórticos com altura total de 28,0 m, ou seja, a maior altura da edificação considerada nesse estudo, nos vãos de 6,0 m, 8,0 m e 10,0 m foi necessário realizar acréscimos nos cobrimentos de concreto das nervuras para garantir o valor mínimo de c_1 .

No que diz respeito aos pilares das estruturas consideradas, foi possível notar que, apesar do *software* considerar que esses elementos estavam de acordo com as exigências das condições de incêndio, em vários pilares de diversas estruturas e em vários pavimentos e vãos diferentes, o programa avisou uma excentricidade excessiva, o que, segundo a ABNT 15200:2012 não atenderia as condições de incêndio para esses pilares. Conforme já apontado nos trabalhos de Aguiar *et al.* (2020) e Campos *et al.* (2019), o número de pilares com excentricidade excessiva aumenta ao passo que aumenta-se o número de pavimentos.

Foi possível perceber, ratificando o observado nos trabalhos de Aguiar *et al.* (2020) e Campos *et al.* (2019), que para as edificações de concreto armado com lajes maciças e nervuradas consideradas nesse estudo, quanto maior a altura total, maior a necessidade de alterações nos elementos estruturais. Além disso, as lajes nervuradas precisaram de mais modificações, após o dimensionamento considerando a situação de incêndio, do que as lajes maciças. A possível causa disso é que, em geral, as lajes maciças, dimensionados apenas de acordo com a ABNT 6118:2014, já atendiam as exigências das condições de incêndio.

Analisando os fatos citados anteriormente, pode-se destacar que é importante que as estruturas de concreto armado com maiores alturas totais sejam mais dignas de atenção no que toca a necessidade de serem submetidas a análises em relação às exigências da ABNT NBR 15200:2012. Além disso, foi possível notar que, as lajes nervuradas são mais convenientes que as lajes maciças em estruturas com maiores alturas e maiores vãos, mesmo sujeitas às exigências das condições de incêndio, já que as lajes maciças apresentaram grandes espessuras nessas condições. Em relação ao *software* utilizado nesse estudo, apesar do mesmo não considerar incorreto o dimensionamento dos pilares com excentricidade excessiva, os resultados obtidos corresponderam às expectativas.

Para trabalhos futuros, sugere-se:

- a comparação de estruturas de concreto armado com os outros diferentes tipos de lajes, considerando também às condições de incêndio.

- dimensionamentos de estruturas semelhantes à desse estudo com o uso de diferentes *softwares* para então efetuar uma análise comparativa dos resultados.
- dimensionamentos de estruturas semelhantes à desse estudo com catorze e dezesseis pavimentos, em função do que é estabelecido no plano diretor atual de Aracaju sobre número de pavimento tipo e *playground* em edifícios.

REFERÊNCIAS

AGUIAR, Lucas Alves de. **Análise do dimensionamento de estruturas de concreto armado com lajes nervuradas em situação de incêndio**: pórtico modelo teórico e estudo de caso na cidade de Aracaju/SE. 2020. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Civil) – Instituto Federal de Sergipe, Aracaju, 2020. Disponível em: <https://repositorio.ifs.edu.br/biblioteca/handle/123456789/1470>. Acesso em: 6 jan. 2023.

AGUIAR, Lucas Alves de; SOUZA, Denisson dos Santos; SANTOS, Euler Wagner Freitas; SANTOS, Igor Silva. **Verificação dos requisitos da NBR 15200:2012 e NBR 14432:2001 no dimensionamento de estruturas de concreto com lajes nervuradas em situação de incêndio**. In: IBRACON, 2020, Florianópolis. Anais do 62º Congresso Brasileiro de Concreto.

ALBUQUERQUE, Gabriela Bandeira de Melo Lins. **Dimensionamento de vigas de concreto armado em situação de incêndio**. 2012. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade de São Paulo, São Paulo, 2012. Disponível em: <https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/3/3144/tde-09022013-135226/en.php>. Acesso em: 11 abr. 2023.

ALVES, Arthur de Oliveira. **Análise estrutural de um edifício em concreto armado considerando a influência das vigas baldrame e da esbeltez dos pilares**. 2019. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil) - Universidade Federal do Ceará, Campus de Russas, Russas, 2019. Disponível em: <https://repositorio.ufc.br/handle/riufc/49471>. Acesso em: 30 abr. 2023.

ARAÚJO, José Milton de. **Curso de concreto armado**. 4. ed. Rio Grande: Dunas, 2014, v. 4.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, ABNT. **NBR 14432**: Exigências de Resistência ao Fogo de Elementos Construtivos de Edificações – Procedimento. Rio de Janeiro, 2001.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, ABNT. **NBR 15200**: Projeto de Estruturas de Concreto em Situação de Incêndio. Rio de Janeiro, 2012.

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

BEZERRA, Jones Araújo. **Análise comparativa entre lajes bubbledeck e lajes lisas maciças**. 2018. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil) - Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2018. Disponível em: <https://repositorio.ufc.br/handle/riufc/35651>. Acesso em: 30 abr. 2023.

CAMPOS, Jhon Deivison Santos; SANTOS, Euler Wagner Freitas; CONCEIÇÃO, Rodolfo Santos da. **Análise dos recursos de uma ferramenta computacional quanto ao atendimento às prescrições normativas no projeto de estruturas de concreto armado em situação de incêndio**. In: IBRACON, 2019, Fortaleza. Anais do 61º Congresso Brasileiro de Concreto.

CARVALHO, Roberto Chust; FIGUEIREDO FILHO, Jasson Rodrigues de. **Cálculo e detalhamento de estruturas usuais de concreto armado: segundo a NBR 6118: 2014**. 4. ed. São Carlos: EdUFSCar. São Paulo, 2015.

COUTO, J. A. S.; CARMINATTI, R. L.; NUNES, R. R. A.; MOURA, R. C. A. O concreto como material de construção. **Caderno de Graduação - Ciências Exatas e Tecnológicas** - UNIT - SERGIPE, v. 1, n. 3, p. 49–58, 2013. Disponível em: <https://periodicos.set.edu.br/cadernoexatas/article/view/552>. Acesso em: 8 abr. 2023.

CUNHA, Albino Joaquim Pimenta da; SOUZA, Vicente Custódio Moreira de. **Lajes em concreto armado e protendido**. 2 ed. Niterói: Editora da Universidade Federal Fluminense–EDUFF. Rio de Janeiro, 1998.

DORNELES, Douglas Medeiros. **Lajes na construção civil brasileira: estudo de caso em edifício residencial em Santa Maria–RS**. 2014. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2014. Disponível em: <https://www.passeidireto.com/arquivo/65955324/tcc-douglas-medeiros-dorneles>. Acesso em: 02 jul. 2023

ERTEL, Thiago. **Análise do comportamento estrutural de edifícios em concreto armado considerando a influência do travamento das vigas baldrame**. 2016. Trabalho de conclusão de curso (Graduação em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2016. Disponível em: <https://docplayer.com.br/68345700-Tiago-ertel-analise-do-comportamento-estrutural-de-edificios-em-concreto-armado-considerando-a-influencia-do-travamento-das-vigas-baldrame.html>. Acesso em: 16 abr. 2023.

FERNANDES, Stefane Gualberto; PORTO, Thiago Bomjardim. **Curso básico de concreto armado: conforme nbr 6118/2014**. 1. ed. São Paulo: Oficina de textos, 2015.

INSTRUÇÃO TÉCNICA Nº08/2011. **Resistência ao fogo de elementos de construção**. Corpo de Bombeiros da Polícia Militar do Estado de São Paulo. Secretaria de estado dos negócios da segurança pública, 2018.

INSTRUÇÃO TÉCNICA Nº08/2022. **Segurança estrutural contra incêndio**. Corpo de Bombeiros da Polícia Militar do Estado de Sergipe. Secretaria de estado da segurança pública, 2022.

INSTRUÇÃO TÉCNICA Nº10/2021. **Controle de materiais de acabamento e de revestimento**. Corpo de Bombeiros da Polícia Militar do Estado de Sergipe. Secretaria de estado da segurança pública, 2021.

INSTRUÇÃO TÉCNICA Nº14/2021. **Carga de incêndio nas edificações e áreas de risco.** Corpo de Bombeiros da Polícia Militar do Estado de Sergipe. Secretaria de estado da segurança pública, 2021.

INSTRUÇÃO TÉCNICA Nº21/2021. **Sistema de proteção por extintores de incêndio.** Corpo de Bombeiros da Polícia Militar do Estado de Sergipe. Secretaria de estado da segurança pública, 2021.

JÚNIOR, Laércio Guesser; FILHO, Marcelo Debortoli. **Análise comparativa entre diferentes tipos de lajes quanto as cargas geradas e consumo de materiais.** Trabalho de conclusão de curso (Graduação em Engenharia Civil) - Palhoça, 2019. Disponível em: <https://repositorio.animaeducacao.com.br/handle/ANIMA/4682>. Acesso em: 11 abr. 2023.

LIMA NETO, Aarão Ferreira *et al.* Análise experimental e numérica de lajes cogumelo de concreto armado. **Revista IBRACON de Estruturas e Materiais**, v. 6, p. 270-306, 2013. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/riem/a/rPSTjjfD8GcfD7X4TDpLqpf/abstract/?lang=pt>. Acesso em: 11 abr. 2023.

MARQUES, Eduardo Dias. **Análise comparativa de um edifício de múltiplos pavimentos, com adoção de três diferentes tipos de lajes em concreto armado (maciça, nervurada e treliçada).** 2017. Trabalho de conclusão de curso (Bacharelado em Engenharia Civil) – Centro Universitário Luterano de Palmas, Palmas, 2017. Disponível em: <https://ulbrato.br/bibliotecadigital/publico/home/documento/704>. Acesso em: 11 abr. 2023.

MATEUS, Dewilson Adelino. **Implantação do grupo de pronto emprego do CBMGO.** 2012. Artigo Monográfico (Curso Superior de Bombeiro) – Academia Bombeiro Militar, Goiânia, 2012. Disponível em: <https://www.bombeiros.go.gov.br/gestao-do-conhecimento/trabalhos-cientificos/implantacao-do-grupo-de-pronto-emprego-do-cbmgo.html>. Acesso em: 22 abr. 2023.

OLIVEIRA, Guilherme Riquena de. **Estudo comparativo sobre o projeto estrutural de lajes nervuradas e maciças em concreto armado na situação de incêndio.** 2020. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil) - Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2020. Disponível em: <https://repositorio.ufscar.br/handle/ufscar/13506>. Acesso em: 11 abr. 2023.

PIRES, Miguel Ângelo Silva. **Interacção estrutura/fundação/terreno: influência das vigas de fundação no comportamento de edifícios fundados em estacas.** 2011. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Faculdade de Ciências e Tecnologia, Lisboa, 2011. Disponível em: <https://run.unl.pt/handle/10362/6107>. Acesso em: 18 abr. 2023.

SACRAMENTO, P. V. P.; PICANÇO, M. S.; OLIVEIRA, D. R. C. Lajes nervuradas de concreto armado com viga-faixa. **Revista IBRACON de Estruturas e Materiais**, v. 11, p. 966-996, 2018. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/riem/a/k8F9bRCWQz5JHpxbGxNZqBC/?lang=pt>. Acesso em: 11 abr. 2023.

SALLABERRY, Andréia Nogueira. **Projeto de pilares-parede de concreto de acordo com as normas NBR 6118: 2014, ACI 318-19, CSA A23. 3-14 e EN 1992-1-1: 2004**. 2021. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Civil) - Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2021. Disponível em: <https://repositorio.ufrn.br/handle/123456789/37942>. Acesso em: 18 mai. 2023.

SILVA, Lucas Pergher. **Estudo comparativo entre lajes nervuradas e maciças em função dos vãos entre apoios**. 2010. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil) - Departamento de Engenharia Civil da Escola de Engenharia da Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 2010. Disponível em: <https://www.lume.ufrgs.br/handle/10183/28581>. Acesso em: 20 mai. 2023.

SILVA, Valdir Pignatta. **Projeto de estruturas de concreto em situação de incêndio: conforme ABNT NBR 15200: 2012**. São Paulo: Blucher, 2012.

SILVA, Valdir Pignatta. Entrevista concedida à IBRACON. **CONCRETO & CONSTRUÇÕES**, São Paulo, v. 89, p. 16-21, jan-mar, 2018.

SPOHR, Valdi Henrique. **Análise Comparativa: sistemas estruturais convencionais e estruturas de lajes nervuradas**. 2008. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2008. Disponível em <https://repositorio.ufsm.br/handle/1/7700>. Acesso em: 11 abr. 2023.

TEATINI, João Carlos. **Estruturas de Concreto Armado**. 3. ed. Brasília: Universidade de Brasília, 2016.

TRAUTWEIN, Leandro Mouta. **Punção em lajes cogumelo de concreto armado: análise experimental e numérica**. 2006. Tese (Doutorado) – Universidade de São Paulo. São Paulo, São Paulo, 2006. Disponível em: <https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/3/3144/tde-22042007-214959/en.php>. Acesso em: 02 mai. 2023.

LIRA, Vitor A. S.; TEIXEIRA, Roberto H. G. Análise comparativa entre lajes maciças e nervuradas: estudo de caso no estacionamento do TCE-MA. **Revista IBRACON de Estruturas e Materiais**, v. 106, p. 76-80, 2022.