

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
ESCOLA DE ENGENHARIA
COMISSÃO DE GRADUAÇÃO DO CURSO DE ENGENHARIA CIVIL**

GABRIEL RODUIT DE SOUZA

**ANÁLISE DE RISCO DE INCÊNDIO DE UMA EDIFICAÇÃO
DE USO MISTO PARA DEFINIÇÃO DE MEDIDAS DE
SEGURANÇA CONTRA INCÊNDIO**

Porto Alegre
Outubro de 2022

GABRIEL RODUIT DE SOUZA

**ANÁLISE DE RISCO DE INCÊNDIO DE UMA EDIFICAÇÃO
DE USO MISTO PARA DEFINIÇÃO DE MEDIDAS DE
SEGURANÇA CONTRA INCÊNDIO**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à Comissão de
Graduação do Curso de Engenharia Civil da Escola de Engenharia
da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, como parte dos
requisitos para obtenção do título de Engenheiro Civil

Orientadora: Prof^ª. Dr^ª. Ângela Gaio Graeff

Porto Alegre

Outubro de 2022

GABRIEL RODUIT DE SOUZA

**ANÁLISE DE RISCO DE INCÊNDIO DE UMA EDIFICAÇÃO
DE USO MISTO PARA DEFINIÇÃO DE MEDIDAS DE
SEGURANÇA CONTRA INCÊNDIO**

Este Trabalho de Diplomação foi julgado adequado como pré-requisito para a obtenção do título de ENGENHEIRO CIVIL e aprovado em sua forma final pela Banca Examinadora, pelo/a Professor/a Orientador/a e pela Comissão de Graduação do Curso de Engenharia Civil da Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

Porto Alegre, outubro de 2022

BANCA EXAMINADORA

Profa. Ângela Gaio Graeff (UFRGS)
PhD pela Universidade de Sheffield
Orientadora

Alessandro Simas Franchetto (UFRGS)
Eng.º Civil pela UFRGS

Ana Julia Smolinski (UFRGS)
Eng.ª Civil pela UFRGS

AGRADECIMENTOS

Aos meus pais Viviane e Francisco, por sempre acreditarem em mim, pelos ensinamentos, pelo incentivo e esforço deles para me proporcionar condições de me dedicar aos meus estudos e cursar o ensino superior em uma Universidade Federal.

Às minhas irmãs, acadêmicas da UFRGS, pelo apoio, companheirismo e amizade, e a quem tenho o prazer de servir como exemplo.

À minha namorada Beatriz, pela parceria, apoio, conselhos, companheirismo e amizade.

À Professora Ângela Graeff, orientadora deste trabalho, pela atenção, compreensão e conhecimentos transmitidos.

A todos os professores que tive na graduação, pelos ensinamentos passados e pelo esforço para que o curso de Engenharia Civil da UFRGS siga sendo referência nacional em excelência.

Às amigas que formei e que estiveram comigo durante toda minha vida e graduação.

RESUMO

O presente trabalho tem como objetivo determinar uma ou mais combinações de medidas compensatórias de segurança contra incêndio, exigidas pela legislação atual, que devem ser adotadas para que a edificação estudada seja considerada segura para seus usuários. A legislação vigente a respeito de Projeto de Prevenção e Proteção Contra Incêndios (PrPCI) usa como método, para determinar as medidas necessárias que a edificação deve adotar, a classificação da mesma com relação ao tipo de ocupação, área construída e altura. Tal método se mostra eficaz em tornar as edificações seguras em relação a risco de incêndio, mas falha em considerar particularidades existentes de cada edificação. Por tal motivo, nesse estudo, foi realizada uma análise de risco de incêndio usando o método FRAME (*Fire Risk Assessment Method for Engineering*), que pode ser traduzido como “Método para avaliação de risco de incêndio para engenharia”, o qual usa diversas equações, parâmetros e fatores para chegar a um resultado final mensurável, de forma numérica, que expressa o risco existente. Os resultados da pesquisa mostram que, utilizando a abordagem mais minuciosa do método FRAME, para a edificação em questão, é possível alcançar um nível de segurança satisfatório sem que seja necessária a adoção de todas as medidas de proteção impostas pela legislação.

Palavras-chave: PrPCI, segurança contra incêndio, FRAME, análise de risco de incêndio, medidas de proteção.

ABSTRACT

The present paper aims to determine one or more combinations of compensatory fire safety measures, required by current legislation, that must be adopted so that the building in question can be considered safe for its users. The current legislation regarding Fire Prevention and Protection Plan uses as method, to determine the necessary measures that must be adopted, the classification of the building in regards to its type of occupation, built area and height. Such method has been proven to be effective in making buildings safe in regards to fire risks, but fails to consider the existing particularities of each building. For this reason, in this study, a fire risk analysis was performed using the FRAME method (Fire Risk Assessment Method for Engineering), which uses several equations, parameters e factors to arrive at a final measurable result, in a numeric form, that expresses the existing risk. The results of the research show that, using the more detailed approach of the FRAME method, for the building in question, it is possible to reach a satisfactory level of safety without having to adopt all the safety measures imposed by legislation.

Key words: fire safety, FRAME, fire risk analysis, protection measures.

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Exigências para edificações e áreas de risco de incêndio.

Tabela 2: Fatores do risco potencial.

Tabela 3: Riscos potenciais.

Tabela 4: Fatores do risco aceitável.

Tabela 5: Riscos aceitáveis.

Tabela 6: Fatores do nível de proteção.

Tabela 7: Níveis de proteção.

Tabela 8: Fatores do nível de proteção recalculados para a primeira hipótese.

Tabela 9: Níveis de proteção recalculados para a primeira hipótese.

Tabela 10: Fatores do nível de proteção recalculados para a segunda hipótese.

Tabela 11: Níveis de proteção recalculados para a segunda hipótese.

Tabela 12: Fatores do nível de proteção recalculados para a terceira hipótese.

Tabela 13: Níveis de proteção recalculados para a terceira hipótese.

Tabela 14: Comparativo entre os níveis de segurança das três hipóteses.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Fachada do prédio estudado.

Figura 2: Planta baixa pavimento térreo.

Figura 3: Planta baixa pavimento tipo.

Figura 4: Riscos atuais.

Figura 5: Riscos recalculados para a primeira hipótese.

Figura 6: Riscos recalculados para a segunda hipótese.

Figura 7: Riscos recalculados para a terceira hipótese.

Figura 8: Comparativo entre os riscos das três hipóteses.

LISTA DE ABREVIATURAS

PrPCI – Projeto de Prevenção e Proteção Contra Incêndio

UFRGS – Universidade Federal do Rio Grande do Sul

RT – Resolução Técnica

CBMRS – Corpo de Bombeiros Militar do Rio Grande do Sul

FRAME – *Fire Risk Assessment Method for Engineering*

BFSEM – *Building Fire Safety Engineering Method*

CRISP – *Computation of Risk Indices by Simulation Procedures*

FIRECAM – Modelo de Avaliação de Custo de Risco

FRIM – *Fire Risk Index Method*

ERIC – *Évaluation du Risque Incendie Calculé*

UTI – *Union Technique Interprofessionnelle de la Fédération Nationale du Bâtiment*

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	12
1.1 CONTEXTUALIZAÇÃO	12
1.2 JUSTIFICATIVA.....	13
2. DIRETRIZES DA PESQUISA	14
2.1 QUESTÃO DA PESQUISA.....	14
2.2 OBJETIVOS DA PESQUISA	14
2.2.1 Objetivo Geral.....	14
2.2.2 Objetivos Específicos.....	14
2.3 DELIMITAÇÃO DA PESQUISA	14
2.4 DELINEAMENTO DA PESQUISA	15
3. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	16
3.1 LEGISLAÇÃO ATUAL	16
3.2 ANÁLISE DE RISCO DE INCÊNDIO	16
3.3 MÉTODOS PARA ANÁLISE DE RISCO DE INCÊNDIO	17
3.3.1 Métodos qualitativos	17
3.3.2 Métodos quantitativos	18
3.3.3 Métodos semi-quantitativos	18
3.4 MÉTODO FRAME	19
3.4.1 Descrição do método	19
3.4.2 Definições e fórmulas	20
4. MÉTODO DE PESQUISA – ESTUDO DE CASO	23
4.1 CARACTERIZAÇÃO DA EDIFICAÇÃO	23
4.2 CLASSIFICAÇÃO DA EDIFICAÇÃO	24
4.2.1 Classificação quanto à ocupação.....	24
4.2.2 Classificação quanto ao grau de risco de incêndio	25
4.2.3 Classificação quanto à altura	26
4.2.4 Isolamento de riscos	26
4.2.4.1 Requisitos mínimos para o isolamento de riscos	26
4.2.4.2 Análise de isolamento de risco.....	27

4.3 DEFINIÇÃO DAS MEDIDAS OBRIGATÓRIAS	29
4.4 APLICAÇÃO DO MÉTODO FRAME	31
4.4.1 Risco Potencial.....	31
4.4.2 Risco Aceitável.....	35
4.4.3 Nível de proteção	38
4.5 RESULTADOS.....	42
4.5.1 Riscos atuais	42
4.5.2 Hipótese 1	43
4.5.3 Hipótese 2	44
4.5.4 Hipótese 3	45
4.5.5 Comparação das hipóteses	47
5. CONCLUSÃO	49
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	50
ANEXO 1: PLANTAS BAIXAS DA EDIFICAÇÃO.....	52

1. INTRODUÇÃO

1.1 CONTEXTUALIZAÇÃO

Foi após uma tragédia gaúcha, o incêndio nas lojas Renner, em 1976, que Porto Alegre passou a contar com uma legislação específica para prevenção de incêndios. Assim, no ano seguinte, foram criadas as Leis Complementares Municipais n.º 30 e n.º 28, que obrigavam as edificações a possuírem extintores, saídas de emergência e hidrantes externos e internos. Previamente ao fato, nem a presença de extintores em edifícios era obrigatória na Capital. Nos dias atuais, especialmente após a famosa tragédia da Boate Kiss em Santa Maria, torna-se indispensável o estudo para realizar adaptações técnicas de proteção contra incêndios em edificações pré-existentes. Para Mitidieri (1998):

Nas últimas décadas, o desenvolvimento tecnológico trouxe profundas modificações nos sistemas construtivos. Trata-se da utilização de grandes áreas sem compartimentação, do emprego de fachadas envidraçadas e da incorporação acentuada de novos materiais combustíveis aos elementos construtivos. Tais modificações, aliadas ao número crescente de instalações e equipamentos de serviço, introduzem riscos de incêndio que anteriormente não existiam.

Como mencionado anteriormente, o incêndio da Boate Kiss (2013) serviu como marco para mudança do panorama da legislação referente a projeto de prevenção e proteção contra incêndio no Brasil, com a criação da Lei Kiss – Lei Complementar n.º 14.376/2013 (e suas atualizações), tornando-a mais exigente para novas construções e exigindo medidas compensatórias ou adaptações para construções pré-existentes. O Estado do Rio Grande do Sul também criou o Conselho Estadual de Segurança, Prevenção e Proteção Contra Incêndio, órgão consultivo que auxilia na discussão sobre procedimentos normativos e legislação.

O método usado pela legislação atual é baseado em três características da edificação, seu tipo de ocupação, que está atrelado à carga de incêndio, sua área construída total e sua altura, tais dados são usados para definir as medidas de segurança contra incêndio que serão implementadas através de tabelas. O método em questão tem se provado eficiente, além de ser simples e rápido de ser aplicado, porém, o ponto negativo do uso de métodos simplificados ou prescritivos na engenharia é que eles não são tão específicos e são mais conservadores, ou seja, usam grandes margens a favor da segurança. Na engenharia, dois fatores muito importantes para as decisões são a segurança e também o custo, e o uso de métodos muito conservadores levam, muitas vezes, à adoção de medidas em excesso.

Este trabalho, portanto, consistiu primeiramente em classificar a edificação em estudo de acordo com a legislação vigente no Estado do Rio Grande do Sul para definir as medidas necessárias para a edificação, com ênfase para aquelas que, devido a inviabilidade técnica, não puderem ser instaladas. Após a definição das medidas, foi feita uma análise de risco de incêndio através do método FRAME (*Fire Risk Assessment Method for Engineering*), testando diferentes hipóteses, para encontrar um ou mais conjuntos que contenham um número menor de medidas, do que o conjunto exigido pela legislação, que ofereçam um nível de segurança adequado para a edificação.

1.2 JUSTIFICATIVA

As medidas de proteção contra incêndio presentes em PrPCI de prédios novos e existentes no Estado do Rio Grande do Sul, são definidas a partir de tabelas do Decreto Estadual n.º 51.803/2014 (e suas atualizações) e da Resolução Técnica n.º 05 – Parte 07 do Corpo de Bombeiros Militar do Rio Grande do Sul. Mas, primeiramente, a edificação deve ser classificada pelo Decreto Estadual n.º 51.803 a partir de três características, seu tipo de ocupação, que está atrelado à carga de incêndio, sua área construída total e sua altura, o que torna o processo de definição das medidas um método prescritivo. As vantagens da utilização de um método prescritivo são a sua rapidez e simplicidade de aplicação. Porém, uma de suas desvantagens, comum em métodos prescritivos, é a falha em considerar aspectos mais particulares do objeto estudado, o que leva os mesmos a utilizarem maiores margens de segurança e atuarem de forma mais conservadora. O regulamento prescritivo é muito rígido e a burocracia que envolve a aprovação de uma lei acaba retardando o desenvolvimento de projetistas e fiscalizadores (SEITO, 2008).

No campo da Engenharia sempre é buscada a segurança, mas também a otimização de recursos. Portanto, o presente trabalho buscou avaliar a possibilidade de tornar uma edificação segura contra incêndios, sem a necessidade de implementação de todas as medidas demandadas pela legislação citada anteriormente. Essa análise foi feita através da utilização de um método semi-quantitativo que leva em consideração as características mais específicas da edificação e o comportamento de seus habitantes, o método FRAME.

2. DIRETRIZES DA PESQUISA

2.1 QUESTÃO DA PESQUISA

Para estudos de caso de segurança contra incêndio em edificações, é possível alcançar níveis de segurança satisfatórios sem que seja necessário a adoção de todas as medidas exigidas pela legislação, especialmente aquelas que devido a inviabilidade técnica, não puderem ser instaladas?

2.2 OBJETIVOS DA PESQUISA

2.2.1 Objetivo Geral

Utilizar o método semi-quantitativo para análise de risco de incêndio FRAME para averiguar a possibilidade, para Projetos de Prevenção e Proteção Contra Incêndios (PrPCI), da implementação de um número menor de medidas de proteção contra incêndio, do que as estabelecidas pela legislação vigente no Estado do Rio Grande do Sul, sem oferecer risco à edificação estudada.

2.2.2 Objetivos Específicos

- a) Classificar a edificação de acordo com a legislação vigente no Estado do Rio Grande do Sul para definir as medidas de proteção contra incêndio exigidas.
- b) Utilizar o método semi-quantitativo para análise de risco de incêndio FRAME para definir qual o pavimento da edificação apresenta o maior risco de incêndio e testar diferentes hipóteses de conjunto de medidas de proteção, com base no pavimento definido como de maior risco.

2.3 DELIMITAÇÃO DA PESQUISA

A pesquisa está delimitada pela avaliação da possibilidade de tornar uma edificação utilizada como exemplo para estudo de caso segura sem a necessidade da adoção de todas as

medidas exigidas pelo Decreto Estadual n.º 51.803/2014 (e suas atualizações) através do método de análise de risco de incêndio FRAME.

2.4 DELINEAMENTO DA PESQUISA

Este trabalho apresenta cinco capítulos e está organizado da seguinte forma: no primeiro capítulo é introduzido o contexto da pesquisa com uma breve descrição e a justificativa. No segundo capítulo são apresentadas as diretrizes da pesquisa, a questão e os objetivos, suas delimitações e a estrutura do trabalho. O terceiro capítulo apresenta a fundamentação teórica que serviu como base para a elaboração deste trabalho, onde foi apresentada a legislação vigente no Estado do Rio Grande do Sul para definição de medidas de proteção contra incêndio e onde foi apresentado o método quantitativo de análise de risco de incêndio FRAME utilizado na pesquisa. O quarto capítulo descreve o método de pesquisa para a elaboração do estudo e o estudo de caso, incluindo a caracterização da edificação estudada, sua classificação conforme a legislação atual, a definição das medidas de proteção exigidas, a aplicação do método FRAME e os resultados obtidos. O quinto e último capítulo apresenta a conclusão e ponderação dos resultados obtidos.

3. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

3.1 LEGISLAÇÃO ATUAL

A identificação das medidas de proteção contra incêndio presentes em PrPCI no Estado do Rio Grande do Sul é feita a partir de dois documentos relacionados à Lei Complementar n.º 14.376/2013 (e suas atualizações). Também conhecida como “Lei Kiss”, foi implementada em 26 de dezembro de 2013 após o trágico acidente da Boate Kiss, e, de acordo com a mesma: “Estabelece normas sobre Segurança, Prevenção e Proteção contra Incêndios nas edificações e áreas de risco de incêndio no Estado do Rio Grande do Sul e dá outras providências”.

Para o caso de edificações novas ou existentes não regularizadas, a identificação das medidas é feita a partir de tabelas do Decreto Estadual n.º 51.803, de 10 de setembro de 2014 (e suas atualizações), que, de acordo com o mesmo: “Regulamenta e Lei Complementar n.º 14.376, de 26 de dezembro de 2013, e alterações, que estabelece normas sobre segurança, prevenção e proteção contra incêndio nas edificações e áreas de risco de incêndio no estado do Rio Grande do Sul”.

Já para o caso de edificações existentes regularizadas, as medidas são definidas a partir de tabelas da Resolução Técnica n.º 05 – Parte 07 (2020) do Corpo de Bombeiros Militar do Rio Grande do Sul, que, de acordo com a mesma: “Estabelece o procedimento administrativo nas edificações e áreas de risco de incêndio enquadradas em existentes, conforme Lei Complementar n.º 14.376, de 26 de dezembro de 2013, e suas alterações, e Decreto Estadual n.º 51.803, de 10 de setembro de 2014, e suas alterações”.

Para definição das medidas, as edificações devem primeiro ser classificadas, com base em tabelas do Decreto Estadual n.º 51.803/2014 (e suas atualizações), de acordo com três principais características: seu tipo de ocupação, que está atrelado à carga de incêndio, sua área construída total e sua altura.

3.2 ANÁLISE DE RISCO DE INCÊNDIO

A segurança contra incêndio, ao passar das últimas décadas, se tornou um importante fator da construção civil, e consequentemente, do campo da engenharia. No Brasil, o cuidado com a segurança contra incêndio é um assunto restrito aos corpos de bombeiros, e a definição de medidas de proteção é feita de forma impositiva, através de legislações estaduais.

É importante frisar o avanço que as legislações atuais trouxeram para o campo de segurança contra incêndio em comparação com décadas passadas. Entretanto, o uso de métodos prescritivos falha em considerar os aspectos mais específicos das edificações, sendo um ponto negativo de grande relevância, visto que a construção civil é uma área em constante evolução e está sempre buscando a implementação de novas tecnologias e métodos construtivos. Devido aos problemas apresentados pelos códigos prescritivos, a aplicação de códigos baseados em desempenho é mais indicada (VENEZIA, 2012).

Os códigos baseados em desempenho trabalham com base na análise de risco de incêndio, que ainda é um assunto de abordagem subjetiva no país, visto que não é possível fazer aplicações práticas de métodos para definir medidas de proteção. Todavia, em outros países, já foram desenvolvidos métodos de análise de risco para proteção contra incêndios, com alguns já tendo sido inclusive abordados e aplicados em trabalhos acadêmicos da UFRGS, como o método FRAME, aplicado por Magnus (2019) e por Lopes (2020) e o método Gretener, aplicado por Gerlack (2018).

Existem ainda, diversos outros métodos para análise de risco de incêndio, a preferência de qual método usar pode caber ao próprio autor da análise, dependendo da quantidade de informações disponíveis a respeito do objeto estudado. Segundo Frantzich (1998), os métodos para análise de riscos podem ser divididos em três categorias, dependendo do grau de detalhamento da análise e dos recursos disponíveis:

- a) Métodos qualitativos
- b) Métodos quantitativos
- c) Métodos semi-quantitativos

3.3 MÉTODOS PARA ANÁLISE DE RISCO DE INCÊNDIO

3.3.1 Métodos qualitativos

Os métodos qualitativos são os mais básicos e de fácil aplicação. São usados para identificar os mais perigosos eventos, mas não os classificam de acordo com o grau de perigo, sendo mais indicados para uso como métodos de triagem em análises preliminares de risco (FRANTZICH, 1998). Ou seja, métodos qualitativos não quantificam a probabilidade de risco de incêndio e as consequências, apenas identificam o perigo de incêndio e as opções de controle

(CUNHA, 2010). Exemplos de métodos que se encontram nessa categoria são o método descritivo, “*check list*” e a árvore lógica.

3.3.2 Métodos quantitativos

Os métodos quantitativos são os mais complexos dos três tipos e os de mais difícil aplicação. É o método de análise mais extenso em termos de quantificação do risco e também o mais trabalhoso (FRANTZICH, 1998). De acordo com Cunha (2010), os métodos quantitativos são os mais informativos, produzindo valores diretamente mensuráveis gerados a partir de relações matemáticas para identificar a distribuição do risco e suas consequências. Porém, por serem bastante aprofundados, sua aplicação é cara e demorada, por isso são pouco utilizados em comparação com métodos semi-quantitativos. Como exemplos desse tipo de método podem ser citados *Building Fire Safety Engineering Method* (BFSEM), *Computation of Risk Indices by Simulation Procedures* (CRISP) e Modelo de Avaliação de Custo de Risco (FIRECAM).

3.3.3 Métodos semi-quantitativos

Os métodos semi-quantitativos são usados para determinar riscos relativos associados a eventos indesejados onde os perigos são classificados de acordo com um sistema de pontuação (FRANTZICH, 1998). São métodos de fácil implementação, de tempo e custos reduzidos, onde o autor da análise tem apenas a função de introduzir os dados solicitados, pois a relevância associada a cada parâmetro já se encontra definida pelo método (CUNHA, 2010).

O método escolhido para a análise de risco de incêndio da edificação estudada nesta pesquisa foi o método semi-quantitativo FRAME. O método analisa o risco de incêndio em edificações sob três perspectivas, do patrimônio, da atividade desenvolvida no local e dos ocupantes da edificação. Portanto, o método foi julgado o mais apropriado para a análise da edificação em questão, visto que a mesma possui ocupações residencial e comercial. E visto que o mesmo possui eficácia comprovada para uma série de edifícios que são considerados por “experts/especialistas” como bem protegidos e o valor calculado pelo método exprime este julgamento. Teve, também, para uma série de edifícios destruídos por incêndios que o valor calculado pelo método exprime e confirma os pontos fracos (SMET, 2008). Outros métodos semi-quantitativos ainda podem ser citados:

- a) **Método de Gretener:** Desenvolvido pelo engenheiro suíço Max Gretener, na época diretor da Associação de Proteção Contra Incêndio da Suíça, em 1960. Largamente utilizado por seguradoras para avaliação de seguros, foi primeiramente pensado para aplicação em indústrias. Posteriormente foi adaptado para uso em edifícios de uso coletivo e se tornou o método mais conhecido para análise de risco de incêndio. Conforme Silva e Coelho (2007), o Método de Gretener serviu como base de normas internacionais de procedimento de avaliação na Suíça, Áustria, Nova Zelândia e outros países.
- b) ***Fire Risk Index Method (FRIM)*:** Desenvolvido por Sven-Erik Magnusson e Tomas Rantalato na Suécia, no final da década de 90, é um método aplicado comumente em países nórdicos e de fácil aplicação (CUNHA, 2010). É baseado em uma escala de 0 a 5 onde um índice de risco elevado representa um nível elevado de proteção, enquanto que uma classificação baixa alude a um nível baixo de segurança.
- c) **Método de Purt:** Desenvolvido por Gustav Purt em 1971, é baseado no método de Gretener e tem como objetivo a escolha dos métodos de proteção. O método faz a distinção entre o risco relativo à edificação e o risco relativo ao conteúdo da mesma.
- d) ***Évaluation du Risque Incendie Calculé (ERIC)*:** Desenvolvido em 1977 pela *Union Technique Interprofessionnelle de la Fédération Nationale du Bâtiment* (UTI), assim como o método FRAME e o método de Purt, também é baseado no método de Gretener e faz a avaliação de dois riscos, um referente à edificação e aos bens contidos na mesma e outro referente à população.

3.4 MÉTODO FRAME

A descrição e definição do método e suas fórmulas foram baseadas no Manual do usuário e suas tabelas, publicados pelo próprio autor (De Smet, 2011).

3.4.1 Descrição do método

O método FRAME (*Fire Risk Assessment Method for Engineering*), que pode ser traduzido como “Método para avaliação de risco de incêndio para engenharia”, foi

desenvolvido pelo engenheiro belga Erik De Smet a partir do método de Gretener, proposto na década de 60 pelo engenheiro suíço Max Gretener. Tendo sua primeira versão datada de 1985, o método foi criado com o objetivo de auxiliar engenheiros a elaborarem planos de proteção contra incêndio que sejam seguros e econômicos, para edificações novas e existentes.

Conforme citado anteriormente, o método avalia o risco de incêndio a partir de três vieses: patrimonial (a edificação e seu conteúdo), para a população (ocupantes da edificação) e para a atividade desenvolvida no local. É realizada uma avaliação sistemática de todos os fatores que influenciam no risco de incêndio, dando resultados mensuráveis, valores expressos de forma numérica, dos aspectos positivos e negativos.

3.4.2 Definições e fórmulas

Os riscos para o patrimônio (R), para os ocupantes ($R1$) e para a atividade ($R2$), são todos calculados pela mesma equação base:

$$R = P / (A * D) \quad \text{(Equação 1)}$$

$$R1 = P1 / (A1 * D1) \quad \text{(Equação 2)}$$

$$R2 = P2 / (A2 * D2) \quad \text{(Equação 3)}$$

Sendo:

$P, P1$ e $P2$ = Risco Potencial;

$A, A1$ e $A2$ = Risco Aceitável;

$D, D1$ e $D2$ = Nível de proteção.

Apesar das equações para os riscos $R, R1$ e $R2$ serem iguais, os parâmetros são calculados de maneiras diferentes para cada um deles, os riscos potenciais são calculados de acordo com as Equações 4, 5 e 6:

$$P = q * i * g * e * v * z \quad \text{(Equação 4)}$$

$$P1 = q * i * e * v * z \quad \text{(Equação 5)}$$

$$P2 = i * g * e * v * z \quad \text{(Equação 6)}$$

Sendo:

q = carga de incêndio;

i = fator de propagação;
 g = fator de geometria horizontal;
 e = fator dos andares;
 v = fator de ventilação,
 z = fator de acessibilidade.

Os riscos aceitáveis são calculados de acordo com as Equações 7, 8 e 9:

$$A = 1,6 - a - t - c \quad (\text{Equação 7})$$

$$A1 = 1,6 - a - t - r \quad (\text{Equação 8})$$

$$A2 = 1,6 - a - c - d \quad (\text{Equação 9})$$

Sendo:

a = fator de ativação;
 t = fator de evacuação;
 c = fator de conteúdo;
 r = fator ambiental;
 d = fator de dependência.

Os níveis de proteção são calculados de acordo com as Equações 10, 11 e 12:

$$D = W*N*S*F \quad (\text{Equação 10})$$

$$D1 = N*U \quad (\text{Equação 11})$$

$$D2 = W*N*S*Y \quad (\text{Equação 12})$$

Sendo:

W = fator dos recursos de água;
 N = fator de proteção normal;
 S = fator de proteção especial;
 F = fator de resistência ao fogo;
 U = fator de fuga;
 Y = fator de salvaguarda.

Para que a edificação seja considerada segura, os valores de R , $R1$ e $R2$ precisam apresentar, concomitantemente, valores iguais ou menores do que 1.

4. MÉTODO DE PESQUISA – ESTUDO DE CASO

O método de pesquisa utilizado no desenvolvimento deste trabalho foi um estudo de caso de uma edificação de ocupação mista localizado em Porto Alegre, no Estado do Rio Grande do Sul. O trabalho tem o objetivo de verificar, através de uma análise de riscos feita pelo método FRAME, se é possível tornar a edificação em questão segura sem que seja necessário adotar todas as medidas de segurança apontadas pela legislação para o caso estudado.

Primeiramente, a edificação foi classificada de acordo com a legislação atual para definir o conjunto de medidas de proteção necessárias para o caso. As características da edificação foram levantadas a partir de visitas ao local e das plantas baixas, que podem ser encontradas no Anexo 1, que foram adquiridas, em forma física, com a administração do condomínio, e posteriormente digitalizadas e reproduzidas no software AutoCAD pelo próprio autor.

Posteriormente, através do método FRAME, foram calculados os riscos de incêndio para a edificação em seu estado existente, ou seja, sem adoção de medidas de proteção, e para mais três hipóteses. A primeira hipótese considerou a adoção de todas as medidas exigidas pela legislação para a edificação estudada. A segunda hipótese levou em consideração a adoção das medidas necessárias para uma edificação de ocupação residencial. E a terceira, e última, hipótese considerou a adoção das medidas demandadas para uma edificação de ocupação residencial acrescidas da implementação de sistema de detecção automática de incêndio, caso a segunda hipótese não se mostrasse satisfatória.

4.1 CARACTERIZAÇÃO DA EDIFICAÇÃO

A edificação estudada trata-se de um prédio existente não regularizado, não possui carta de habitação, de uso misto construído na década de 60 que faz parte de um condomínio com diversos outros prédios similares. A edificação fica localizada na rua Orfanotrófio n.º 1077, no bairro Santa Tereza em Porto Alegre/RS. A Figura 1 mostra a fachada da edificação estudada.

O prédio não possui elevador, apenas uma escada central aberta, é constituído de quatro andares, o térreo, composto por duas lojas comerciais e dois apartamentos, mais três pavimentos tipo compostos por quatro apartamentos cada. No total são 14 apartamentos com área interna de 73,66m² cada e duas lojas comerciais com área interna de 66,42m² cada, sendo uma ocupada por uma farmácia e a outra ocupada por um consultório odontológico. O pavimento térreo

possui área construída total de 338m² e os pavimentos tipo possuem área construída total de 353m², somando uma área total construída de 1.397m²

Figura 1: Fachada do prédio estudado



Fonte: Google Maps, captura da imagem em abril de 2022

4.2 CLASSIFICAÇÃO DA EDIFICAÇÃO

Para determinar as medidas de proteção exigidas pela legislação, primeiramente é necessário classificar a edificação em relação à sua ocupação, sua altura e sua área total construída de acordo com tabelas do Decreto Estadual n.º 51.803/2014 (e suas atualizações).

4.2.1 Classificação quanto à ocupação

De acordo com a tabela 1 do anexo único do Decreto Estadual n.º 51.803/2014 (e suas atualizações), é possível classificar as edificações em 12 grandes grupos, todos eles possuindo subgrupos, são eles:

- A – Residencial
- B – Serviço de Hospedagem

- C – Comercial
- D – Serviços profissionais, pessoais e técnicos
- E – Educacional e cultura física
- F – Locais de reunião de público
- G – Serviços automotivos e assemelhados
- H – Serviços de saúde e institucionais
- I – Industrial
- J – Depósito
- L – Explosivo
- M – Especial

A edificação em estudo possui três ocupações diferentes: apartamentos residenciais, uma farmácia e um consultório odontológico; cujas classificações, de acordo com a tabela 1 do Decreto Estadual n.º 51.803/2014 (e suas atualizações), são, respectivamente: grupo A-2 (habitação multifamiliar), grupo C-2 (comércio com média e alta carga de incêndio) e grupo H-6 (clínica e consultório médico e odontológico).

4.2.2 Classificação quanto ao grau de risco de incêndio

Conforme o Decreto Estadual n.º 51.803/2014 (e suas atualizações), é possível classificar uma edificação quanto ao seu grau de risco de incêndio em três níveis de acordo com a tabela 3 do seu anexo único: baixo (carga de incêndio até 300 MJ/m²), médio (carga de incêndio acima de 300 até 1.200 MJ/m²) e alto (carga de incêndio acima de 1.200 MJ/m²).

Já determinadas as ocupações existentes no prédio, através da tabela 3.1 do anexo único do Decreto Estadual n.º 51.803/2014 (e suas atualizações), que diz respeito à classificação das edificações e áreas de risco de incêndio quanto à carga de incêndio específica por classificação nacional de atividades econômicas, foi determinada a carga de incêndio de cada ocupação e, conseqüentemente, seu grau de risco de incêndio.

As ocupações dos apartamentos residenciais e do consultório odontológico ficam classificadas como grau de risco de incêndio baixo, com carga de incêndio igual a 300 MJ/m², enquanto que a ocupação da farmácia fica classificada como grau de risco de incêndio médio, com carga de incêndio igual a 1.000 MJ/m².

4.2.3 Classificação quanto à altura

De acordo com o Decreto Estadual n.º 51.803/2014 (e suas atualizações), a altura da edificação pode ser classificada em seis tipos, conforme a tabela 2 do seu anexo único, devendo considerar como altura a distância entre o piso do primeiro pavimento e o piso do último pavimento.

Para o caso de ocupação mista, a edificação, com suas três ocupações, terá uma classificação única. Sendo considerada uma altura de aproximadamente 3,5 m de altura do topo de uma laje até a outra, soma-se uma altura de 10,5 m do piso do térreo até o piso do quarto pavimento. Sendo assim, a edificação fica classificada como do tipo III, maior do que 6 metros e menor ou igual a 12 metros.

4.2.4 Isolamento de riscos

Como constatado anteriormente, a edificação estudada apresenta mais de um uso, em função disso, é necessário analisar se as áreas das diferentes ocupações possuem risco de incêndio isolado, podendo assim serem tratadas como três ocupações separadas. Caso não seja possível isolar os riscos, a edificação será então classificada como de ocupação mista.

Para realizar a análise de isolamento de risco da edificação, deve ser consultada a Resolução Técnica n.º 4 do Corpo de Bombeiros Militar do Rio Grande do Sul (2022), que, de acordo com a mesma: “Estabelece as condições mínimas necessárias para o dimensionamento e execução do isolamento de riscos nas edificações e áreas de risco de incêndio, atendendo ao previsto na Lei Complementar n.º 14.376, de 26 de dezembro de 2013, e suas alterações e Decreto Estadual n.º 51.803, de 10 de setembro de 2014, e suas alterações”. Como todas as ocupações se encontram dentro da mesma edificação, é necessário fazer uma análise de isolamento de riscos através de separação de áreas com base nas plantas do prédio.

4.2.4.1 Requisitos mínimos para o isolamento de riscos

- a) **Isolamento horizontal de áreas:** de acordo com a RT n.º 4 do CBMRS (2022), para os riscos poderem ser considerados isolados, as áreas precisam ser separadas por parede corta-fogo que vão do piso ao teto, que para o caso da edificação estudada pode consistir de uma parede de alvenaria revestida com reboco dos dois lados. E

para o caso de áreas com aberturas na mesma face, para áreas de grau de risco de incêndio baixo ou médio, as aberturas precisam estar afastadas no mínimo 1,2 m.

- b) **Isolamento vertical de áreas:** de maneira similar ao isolamento horizontal, para que os riscos possam ser considerados isolados, as áreas precisam ser separadas por laje corta-fogo, podendo ser usada laje de concreto, ou laje cerâmica, constituída de vigotas, tabelas e revestida com reboco dos dois lados. Para áreas com aberturas na mesma face, as aberturas precisam estar afastadas no mínimo 3 m entre si, ou no mínimo 1,2 m entre si desde que haja uma aba ou marquise corta-fogo, podendo ser usado os mesmos materiais considerados para a laje, de mínimo 90 cm entre as duas aberturas. Ao invés de uma marquise ou aba, também pode ser considerado um recuo ou uma projeção do pavimento superior em relação ao pavimento inferior de no mínimo 90 cm.
- c) **Instalações e acessos:** além do isolamento horizontal e vertical de áreas, para que as ocupações possam ser consideradas como riscos isolados, as mesmas necessitam possuir acessos independentes, não sendo permitida nenhuma comunicação interna através de aberturas, assim como também suas instalações elétricas, hidrossanitárias, de ventilação, rede lógica, telefonia e demais sistemas devem ser independentes para cada área isolada.

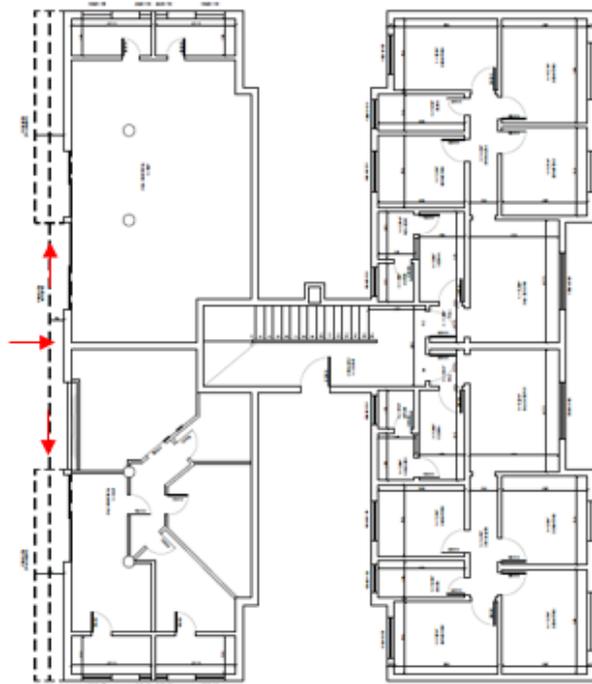
4.2.4.2 Análise de isolamento de risco

Analisadas as exigências acima, as plantas da edificação e com assistência de medições e visitas ao local, é possível constatar que o prédio atende aos requisitos de isolamento horizontal, visto que as entradas das lojas comerciais na fachada do edifício possuem mais do que 1,2 m de afastamento entre si e que as lojas são separadas por paredes corta-fogo que vão do piso ao teto sem aberturas, e o mesmo pode ser dito para a parte residencial em relação às lojas.

Em relação ao isolamento vertical, a edificação não atende os parâmetros exigidos, visto que as aberturas das portas das lojas possuem afastamento menor do que 3 m em relação às janelas dos apartamentos do segundo pavimento. Porém, esse afastamento é maior do que 1,2 m, aproximadamente 1,5 m, e conforme visto nas plantas, representadas nas Figuras 2 e 3, o segundo pavimento apresenta um avanço em balanço de 1m em relação ao pavimento térreo na

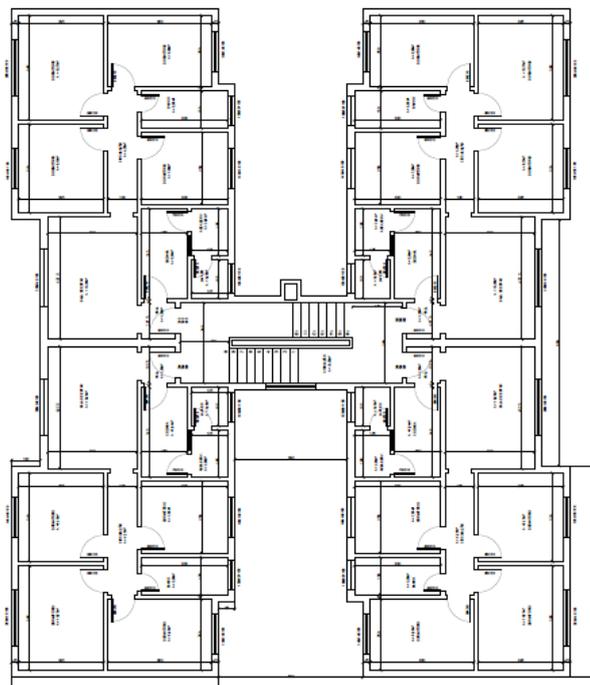
parte das lojas, mas esse avanço só é presente em partes da fachada, não em sua totalidade, também existe uma marquise entre as lojas e o segundo pavimento, mas a mesma apresenta apenas 50 cm de profundidade, sendo 90 cm o mínimo exigido.

Figura 2: Planta baixa pavimento térreo



Fonte: Autor

Figura 3: Planta baixa pavimento tipo



Fonte: Autor

Todas as ocupações apresentam acessos independentes, porém não foi possível acesso às plantas de instalações da edificação, não se tornando possível verificar se as instalações são independentes ou não.

Chega-se então à conclusão de que os critérios para isolamento horizontal de áreas são atendidos, enquanto que os critérios para isolamento vertical não são. Propondo a modificação na fachada da extensão da marquise de 50cm para 90cm, os critérios para isolamento vertical passariam a ser atendidos, e como as três ocupações possuem acessos independentes, o único critério que impediria com que os riscos fossem isolados, seria o critério das instalações. Na prática, a dúvida em relação às instalações, seria relativamente fácil de ser esclarecida, mas acaba sendo inviável no contexto da elaboração deste trabalho. E, sabendo-se da época de construção da edificação, onde critérios de isolamento de riscos não eram aplicados, possivelmente não há a separação das instalações no prédio.

Portanto, visto que atualmente a fachada do prédio não atende aos requisitos de isolamento vertical e que não é possível constatar que as instalações das três ocupações são independentes umas das outras, não será considerado o isolamento de riscos e a edificação será considerada como de ocupação mista.

4.3 DEFINIÇÃO DAS MEDIDAS OBRIGATÓRIAS

Com a edificação devidamente classificada em relação a suas ocupações e altura, é possível definir as medidas obrigatórias exigidas. Para a definição das mesmas, é necessário primeiramente consultar a tabela 4 do anexo B do Decreto Estadual n.º 51.803/2014 (e suas atualizações), transcrita na Tabela 1.

Tabela 1: Exigências para edificações e áreas de risco de incêndio

PERÍODO DE EXISTÊNCIA DA EDIFICAÇÃO E ÁREA DE RISCO DE INCÊNDIO	ÁREA CONSTRUÍDA $\leq 750\text{m}^2$ e ALTURA $\leq 12\text{m}$	ÁREA CONSTRUÍDA $> 750\text{m}^2$ e/ou ALTURA $> 12\text{m}$
EDIFICAÇÕES A CONSTRUIR	Conforme Tabela 5	Conforme Tabelas 6
EDIFICAÇÕES EXISTENTES	Conforme RTCBMRS	

Fonte: Decreto Estadual n.º 51.803 (2014) e atualizações

Como a edificação estudada é existente, mas não é regularizada, as medidas obrigatórias deverão ser definidas pelas tabelas do anexo B do próprio Decreto Estadual n.º 51.803/2014 (e suas atualizações). Para o caso de ocupação mista, a legislação dita que toda a edificação deve adotar as medidas exigidas para a ocupação de maior risco, que no caso da edificação em questão, é a farmácia, área de ocupação comercial com grau de risco de incêndio médio. Portanto, de acordo com a tabela 1 acima, considerando a área total construída da edificação de 1.397m² e classificação de altura do tipo III (entre 6 e 12m), as medidas obrigatórias deverão ser definidas pelas tabelas de número 6 do Decreto Estadual n.º 51.803/2014 (e suas atualizações). Como a farmácia é classificada como ocupação do tipo C-2, deve ser consultada a tabela 6C, portanto, de acordo com a mesma, as medidas a serem adotadas são:

- Acesso de viatura na edificação
- Segurança estrutural em incêndio
- Compartimentação horizontal de áreas (podendo ser substituída por sistema de detecção de incêndio e chuveiros automáticos em todas as áreas)
- Controle de materiais de acabamento e revestimento
- Saídas de emergência
- Brigada de incêndio
- Iluminação de emergência
- Alarme de incêndio
- Sinalização de emergência
- Extintores
- Hidrantes e mangotinhos

Para efeito de comparação, uma edificação que fosse inteiramente residencial, tendo apenas a ocupação do tipo A-2, as medidas seriam definidas pela tabela 6A do anexo B do Decreto Estadual n.º 51.803/2014 (e suas atualizações), seriam elas:

- Acesso de viaturas na edificação
- Saídas de emergência
- Brigada de incêndio
- Iluminação de emergência
- Sinalização de emergência
- Extintores

Como é possível constatar, a lista de medidas compensatórias a serem adotadas é extensa, com algumas medidas, como a de hidrantes e mangotinhos, que requer reservatório próprio para o sistema, sendo de difícil implementação e de custo elevado. Portanto, através do uso do método FRAME, foi avaliada a possibilidade de alcançar níveis de segurança satisfatórios através da implementação de conjuntos de medidas que não abrangem a totalidade das mesmas.

4.4 APLICAÇÃO DO MÉTODO FRAME

A aplicação do método e suas fórmulas foram baseadas no Manual do usuário e suas tabelas, publicados pelo próprio autor (De Smet, 2011).

Para a aplicação do método e definição do nível de segurança da edificação, a análise deve ser feita considerando o pavimento que apresenta maior risco. Sendo assim, foi calculado o risco para o pavimento térreo, pois é o pavimento em que se encontram as ocupações comerciais, e para o quarto pavimento, pois é o pavimento tipo que apresenta a maior distância a ser percorrida em caso de incêndio.

4.4.1 Risco Potencial

Para o cálculo dos riscos potenciais P , $P1$ e $P2$, é necessário primeiramente calcular os fatores q , i , g , e , v e z . Todos os parâmetros necessários para os cálculos dos fatores foram considerados de acordo com as fórmulas e tabelas do Manual do usuário (De Smet, 2011).

- **Fator q (carga calorífica)**

O fator de carga calorífica é calculado de acordo com a Equação 13:

$$q = \frac{2}{3} * \log(Q_m + Q_i) - 0,55 \quad (\text{Equação 13})$$

Sendo:

Q_m = carga de incêndio mobiliária;

Q_i = carga de incêndio imobiliária.

Para o quarto pavimento, foi considerado Q_m como 500 MJ/m² e Q_i como 100 MJ/m². Para o térreo, q será calculado a partir de uma média ponderada pelas áreas dos valores de q

para a área comercial e para a área residencial. Foi considerado a soma de Q_m e Q_i como 1000 MJ/m² para a área comercial, para a área residencial foram considerados os mesmos valores do quarto pavimento.

- **Fator i (propagação)**

O fator de propagação é calculado de acordo com a Equação 14:

$$i = 1 - 0,1 * \log m + \frac{M}{10} - \frac{T}{1000} \quad (\text{Equação 14})$$

Sendo:

m = dimensão média do conteúdo do cômodo analisado;

M = classe de reação ao fogo das superfícies estruturais ou dos materiais de construção do cômodo, dos materiais de embalagem e decoração;

T = temperatura mínima necessária para inflamar ou danificar os materiais.

Para o quarto pavimento, foi considerado o valor de 0,3 para m , 1 para M e 100°C para T , visto que essa é a temperatura máxima definida pelo método para ambientes que possuam presença humana constante. Para o térreo, foram considerados os mesmos valores para m e T e o valor de 2 para M .

- **Fator g (geometria horizontal)**

O fator de geometria horizontal é calculado de acordo com a Equação 15:

$$g = \frac{[b + 5 * (l * b^2)^{1/3}]}{200} \quad (\text{Equação 15})$$

Sendo:

b = largura equivalente;

l = comprimento teórico.

Através das plantas baixas da edificação, foi medido para o quarto pavimento um valor de 28,56 m para l e de 11,22 m para b . Para o térreo, chegou-se nos valores de 28,44 m para l e de 10,78 m para b .

- **Fator e (andares)**

O fator dos andares é calculado de acordo com a Equação 16:

$$e = \left[\frac{|E|+3}{|E|+2} \right]^{(0,7*|E|)} \quad (\text{Equação 16})$$

Sendo:

E = andar do cômodo analisado.

Para o quarto pavimento foi considerado $E = 4$ e para o térreo foi considerado $E = 0$.

- **Fator v (ventilação)**

O fator de ventilação é calculado de acordo com as Equações 17 e 18:

$$k = \frac{\text{área de janelas das paredes do ambiente}}{\text{área total da superfície do ambiente}} \quad (\text{Equação 17})$$

$$v = 0,84 + 0,1 * \log Qm - [k * h^{0,5}]^{0,5} \quad (\text{Equação 18})$$

Sendo:

k = coeficiente de ventilação;

Qm = carga de incêndio mobiliária;

h = altura do pé-direito.

Para o quarto pavimento, foi calculado um valor de $k = 0,056$, o pé-direito h foi considerado como 2,6 m conforme medido no local e o valor de Qm foi considerado como 500 MJ/m². Para o térreo, foi calculado um valor de $k = 0,049$ para a área residencial e de $k = 0,0092$ para a área comercial, o pé-direito foi considerado como 3,5 m conforme medido no local e o valor de Qm foi considerado como 500 MJ/m² para a área residencial e como 900 MJ/m² para a área comercial. Assim, para o térreo, v foi calculado como uma média ponderada pelas áreas das superfícies dos valores de v para a área residencial e comercial.

- **Fator z (acessibilidade)**

O fator de acessibilidade é calculado de acordo com a Equação 19:

$$z = 1 + 0,05 * \text{Inteiro} \left[\left(\frac{b}{20 * Z} \right) + \left(\frac{H}{25} \right) \right] \quad (\text{Equação 19})$$

Sendo:

b = largura equivalente;

Z = número de direções com acesso livre ao cômodo;

H = altura em que o cômodo se encontra.

Para o quarto pavimento, b foi medido como sendo 11,22m, Z foi considerado como 1 e H foi considerado como 10,5 m. Para o térreo, b foi medido como sendo 10,78 m, Z foi considerado como 1 e H foi considerado como 0.

Por fim, calculando todos os fatores, chegou-se nos seguintes valores, mostrados na Tabela 2:

Tabela 2: Fatores do risco potencial

	Térreo	Quarto pavimento
q	1,37	1,30
i	1,15	1,14
g	0,66	0,67
e	1,00	1,54
v	0,91	0,81
z	1,05	1,05

Fonte: Autor

Com todos os fatores calculados, é possível determinar os valores dos riscos potenciais P , $P1$ e $P2$ para o térreo e para o quarto pavimento, conforme mostra a Tabela 3:

Tabela 3: Riscos potenciais

	Térreo	Quarto pavimento
P	0,99	1,30
$P1$	1,50	1,94
$P2$	0,73	1,00

Fonte: Autor

4.4.2 Risco Aceitável

Para o cálculo dos riscos aceitáveis A , $A1$ e $A2$, é necessário primeiramente calcular os fatores a , t , c , d , e r . Todos os parâmetros necessários para os cálculos dos fatores foram considerados de acordo com as fórmulas e tabelas do Manual do usuário (De Smet, 2011).

- **Fator a (ativação)**

O fator de ativação é calculado de acordo com a Equação 20:

$$a = \sum a_i \quad (\text{Equação 20})$$

Sendo:

a_1 = atividades principais;

a_2 = instalações de aquecimento;

a_3 = instalações elétricas;

a_4 = risco de explosão;

a_5 = atividades secundárias.

Para o quarto pavimento a_1 foi considerado como zero pois o pavimento possui baixa carga de incêndio e baixo número de fontes de ignição, é o que dita o método para áreas de atividade residencial, a_2 foi considerado como zero pois a edificação não possui sistema de aquecimento, a_3 foi considerado como 0,1 pois as instalações elétricas do edifício foram consideradas em conformidade com regulamentos mas não passam por controle periódico, a_4 foi considerado como zero pois a edificação não possui risco de explosão e as superfícies não são tratadas com produtos inflamáveis e a_5 foi considerado como zero pois não são desenvolvidas atividades secundárias no pavimento. Para o térreo, para a área residencial e para a área do consultório odontológico, os parâmetros foram considerados iguais aos do quarto pavimento, para a área da farmácia, a_1 foi considerado como 0,2 pois a área possui carga de incêndio moderada e número moderado de fontes de ignição, é o que dita o método para áreas de atividade de lojas de varejo, a_3 como 0,1 pelo mesmo motivo do quarto pavimento e a_2 , a_4 e a_5 foram considerados como zero pelos mesmos motivos do quarto pavimento. Para o térreo, o valor de a será calculado como uma média ponderada pelas áreas da farmácia, do consultório odontológico e da parte residencial.

- **Fator t (tempo de evacuação)**

O fator de tempo de evacuação é calculado de acordo com as Equações 21, 22 e 23:

$$X = \text{número de pessoas a evacuar} * \text{área total do cômodo} \quad (\text{Equação 21})$$

$$x = \sum \left(\frac{\text{largura da saída} - 0,2}{0,6} \right) \quad (\text{Equação 22})$$

$$t = \frac{p * x * [(b+l) + (X/x) + (1,25 * H)] * (b+l)}{800 * K * [1,4 * x * (b+l) - (0,44 * X)]} \quad (\text{Equação 23})$$

Sendo:

X = densidade populacional;

x = unidades de passagem no caminho da evacuação;

p = condições especiais de mobilidade e percepção das pessoas;

K = número de caminhos de evacuação disponíveis;

b = largura equivalente;

l = comprimento teórico;

H = altura em que o cômodo se encontra.

Para o quarto pavimento, foram calculados os valores de 17,65 para X , 1,33 para x , 11,22 m para b e 28,5 6m para l , e foram considerados os valores de 2 para p , 1 para K e 10,5 m para H . Para o térreo, foram calculados os valores de 48,75 para X , 7,25 para x , 10,78 m para b e 28,44 m para l , e foram considerados os valores de 2 para p , 3 para K e 0 para H .

- **Fator c (recheio)**

O fator de recheio é calculado de acordo com as Equações 24 e 25:

$$c_2 = 0,25 * \log \left(\frac{\text{valor monetário do recheio}}{7 * 10^6} \right) \quad (\text{Equação 24})$$

$$c = c_1 + c_2 \quad (\text{Equação 25})$$

Sendo:

c_1 = possibilidade de substituição dos bens armazenados;

c_2 = valor monetário dos bens armazenados (em Euros).

Tanto para o quarto pavimento quanto para o térreo, o valor de c_2 foi considerado como zero, visto que para o \log dar um valor positivo o valor monetário do recheio deve ser maior do que sete milhões de Euros, hipótese que não condiz com a realidade da edificação. Em relação aos valores de c_1 , foi considerado como 0,1 para o quarto pavimento, para o térreo foi feita uma média ponderada pelas áreas considerando como 0,1 para a parte residencial e como zero para a parte comercial.

- **Fator d (dependência)**

O fator de dependência faz a alusão aos custos envolvidos com as consequências de um incêndio na área estudada, seu valor foi considerado como 0,1 de acordo com tabela específica.

- **Fator r (ambiente)**

O fator de ambiente é calculado de acordo com a Equação 26:

$$r = 0,1 * \log(Q_{i+1}) + \frac{M}{10} \quad (\text{Equação 26})$$

Sendo:

Q_i = carga de incêndio imobiliária;

M = classe de reação ao fogo das superfícies estruturais ou dos materiais de construção do cômodo, dos materiais de embalagem e decoração.

O valor de Q_i foi considerado como 100 MJ/m² para toda a edificação. O valor de M foi considerado como 1 para o quarto pavimento e para a área residencial do térreo e como 2 para a área comercial do térreo. Para o térreo o valor de r será calculado separadamente para a área residencial e para a área comercial e depois será feita uma média ponderada pelas áreas.

Agora calculando todos os fatores, chegou-se nos valores mostrados na Tabela 4:

Tabela 4: Fatores do risco aceitável

	Térreo	Quarto pavimento
a	0,14	0,10
t	0,03	0,13
c	0,06	0,10
d	0,10	0,10
r	0,34	0,30

Fonte: Autor

Com todos os fatores calculados, é possível determinar os valores dos riscos aceitáveis A , $A1$ e $A2$ para o térreo e para o quarto pavimento, conforme apresentado na Tabela 5:

Tabela 5: Riscos aceitáveis

	Térreo	Quarto pavimento
A	1,37	1,27
$A1$	1,09	1,07
$A2$	1,30	1,30

Fonte: Autor

4.4.3 Nível de proteção

Para o cálculo dos níveis de proteção D , $D1$ e $D2$, é necessário primeiramente calcular os fatores W , N , S , U , F , e Y . Diferentemente dos riscos potenciais e aceitáveis, os níveis de proteção são as variáveis que levam em conta as medidas de proteção contra incêndio adotadas na edificação para o cálculo de seus fatores. Portanto, ao serem testadas as diferentes hipóteses de adoção de medidas de proteção, os níveis de segurança são recalculados, enquanto que os riscos potenciais e aceitáveis, que levam em conta as características geométricas e construtivas da edificação e as atividades desenvolvidas permanecem os mesmos. Todos os parâmetros necessários para os cálculos dos fatores foram considerados de acordo com as fórmulas e tabelas do Manual do usuário (De Smet, 2011).

- **Fator W (recursos de água)**

O fator de recursos de água é calculado de acordo com a Equação 27:

$$W = 0,95^{\sum w_i} \quad (\text{Equação 27})$$

Sendo:

w_1 = tipo de reserva de água;

w_2 = capacidade de armazenamento do reservatório de água;

w_3 = rede de distribuição hidráulica;

w_4 = pressão da rede de distribuição;

w_5 = quantidade e distribuição dos hidrantes na edificação.

Para o quarto pavimento foi considerado $w_1 = 0$, $w_2 = 0$, $w_3 = 0$, $w_4 = 3$ e $w_5 = 3$. Para o térreo foi considerado $w_1 = 0$, $w_2 = 3$, $w_3 = 0$, $w_4 = 3$ e $w_5 = 3$.

- **Fator N (recursos de proteção normal)**

O fator de recursos de proteção normal é calculado de acordo com a Equação 28:

$$N = 0,95^{\sum n_i} \quad (\text{Equação 28})$$

Sendo:

n_1 = sistema de alarme da edificação;

n_2 = extintores e hidrantes disponíveis;

n_3 = tempo de chegada dos bombeiros;

n_4 = treinamento das pessoas que utilizam a edificação.

Tanto para o quarto pavimento quanto para o térreo foi considerado $n_1 = 6$ pois a edificação não possui sistema de alarme, $n_2 = 2$ pois a edificação possui extintores inadequados, visto que os mesmos não passam por revisões, $n_3 = 0$ pois os bombeiros chegariam em menos de 10 minutos ao edifício e $n_4 = 4$ pois os ocupantes não possuem treinamento para usar os extintores.

- **Fator S (recursos de proteção especial)**

O fator de recursos de proteção especial é calculado de acordo com a Equação 29:

$$S = 1,05^{\sum s_i} \quad (\text{Equação 29})$$

Sendo:

s_1 = sistema de detecção automática de incêndio;

s_2 = confiabilidade do sistema de abastecimento dos hidrantes;

s_3 = proteção automática do compartimento;

s_4 = capacidade de resposta do corpo de bombeiros.

Tanto para o quarto pavimento quanto para o térreo, s_1 , s_2 , s_3 e s_4 foram todos considerados como zero.

- **Fator U (fuga ou evacuação)**

O fator de fuga ou evacuação é calculado de acordo com a Equação 30:

$$U = 1,05^{\sum u_i} \quad (\text{Equação 30})$$

Sendo:

u_1 = sistema de detecção automática de incêndio;

u_2 = meios disponíveis para evacuação;

u_3 = compartimentação do ambiente de incêndio;

u_4 = proteção do ambiente pelo sistema de chuveiros automáticos;

u_5 = presença de bombeiros particulares (brigadistas ou bombeiros civis).

Tanto para o quarto pavimento quanto para o térreo, u_1 , u_2 , u_3 , u_4 e u_5 foram todos considerados como zero.

- **Fator F (resistência ao fogo)**

O fator de fuga ou evacuação é calculado de acordo com as Equações 31 e 32:

$$f = (f_s/2) + (f_f/4) + (f_d/8) + (f_w/8) \quad (\text{Equação 31})$$

$$F = [1 + (f/100) - (f^{2,5}/10^6)] * [1 - 0,025 * (S - 1)] \quad (\text{Equação 32})$$

Sendo:

f_s = tempo de resistência ao fogo dos elementos estruturais;

f_f = tempo de resistência ao fogo dos elementos das fachadas;

f_d = tempo de resistência ao fogo dos elementos dos tetos;

f_w = tempo de resistência ao fogo das paredes internas;

S = fator de recursos de proteção especial.

Tanto para o quarto pavimento quanto para o térreo, f_s , f_f , f_d e f_w foram considerados como 60min pois todos os elementos construtivos da edificação, tanto estruturais quanto de fechamento, são em concreto, alvenaria e materiais cimentícios, e o valor do fator S foi calculado anteriormente como sendo igual a 1.

- **Fator Y (salvamento)**

O fator de salvamento é calculado de acordo com a Equação 33:

$$Y = 1,05^{\sum y_i} \quad (\text{Equação 33})$$

Sendo:

y_1 = proteção física do ambiente;

y_2 = proteções organizacionais.

Tanto para o quarto pavimento quanto para o térreo, y_1 e y_2 foram considerados como zero.

Por fim, calculando todos os fatores, chegou-se nos valores apresentados na Tabela 6:

Tabela 6: Fatores do nível de proteção

	Térreo	Quarto pavimento
<i>W</i>	0,63	0,74
<i>N</i>	0,54	0,54
<i>S</i>	1,00	1,00
<i>U</i>	1,00	1,00
<i>F</i>	1,57	1,57
<i>Y</i>	1,00	1,00

Fonte: Autor

Com todos os fatores calculados, é possível determinar os valores dos níveis de proteção D , $D1$ e $D2$ para o térreo e para o quarto pavimento, conforme mostra a Tabela 7:

Tabela 7: Níveis de proteção

	Térreo	Quarto pavimento
<i>D</i>	0,53	0,63
<i>D1</i>	0,54	0,54
<i>D2</i>	0,34	0,40

Fonte: Autor

Com os riscos potenciais e aceitáveis e níveis de proteção definidos, finalmente é possível calcular os riscos R , $R1$ e $R2$ e definir qual pavimento apresenta o maior risco de incêndio. Depois de definido o pavimento que apresenta maior risco, os níveis de proteção para o pavimento definido são recalculados considerando as três hipóteses diferentes: uma primeira considerando a aplicação das medidas exigidas pela tabela 6C do anexo B do Decreto Estadual n.º 51.803/2014 (e suas atualizações), que são as medidas exigidas pela legislação para a

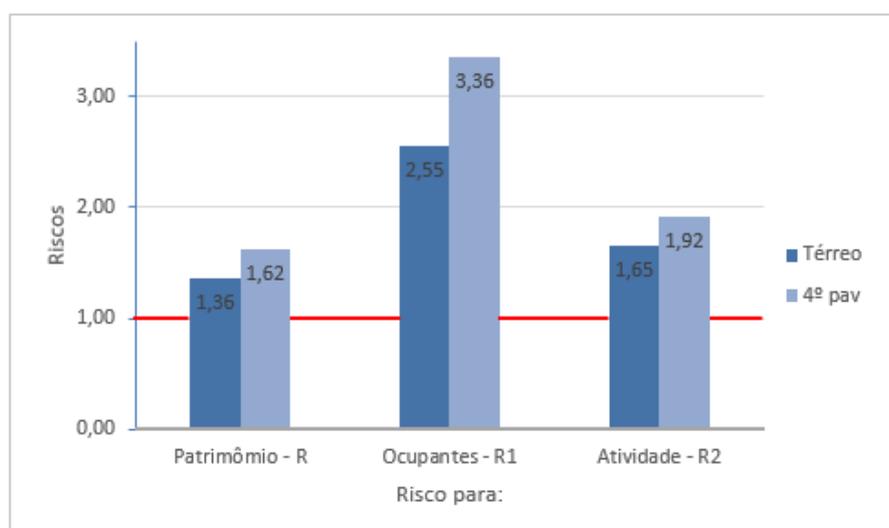
edificação estudada; uma segunda hipótese considerando a aplicação das medidas exigidas pela tabela 6A do anexo B do Decreto Estadual n.º 51.803/2014 (e suas atualizações), que são as medidas exigidas pela legislação caso a edificações residenciais; e uma terceira e última hipótese, caso a segunda não fosse satisfatória, considerando a aplicação das medidas exigidas pela tabela 6A somadas da implementação de sistema de detecção automática de incêndio.

4.5 RESULTADOS

4.5.1 Riscos atuais

Calculando os riscos atuais R , $R1$ e $R2$ para o térreo e para o quarto pavimento chegou-se nos resultados apresentados na Figura 4:

Figura 4: Riscos atuais



Fonte: Autor

Como é possível ver pelos resultados acima, a edificação não é segura sob nenhuma ótica do método, com atenção especial para seus ocupantes, apresentando riscos de incêndio bastante altos. É possível então definir que, pelos valores apresentados, o pavimento que apresenta maior risco na edificação é o quarto, portanto, todas as hipóteses a seguir foram testadas em cima do quarto pavimento.

4.5.2 Hipótese 1

Testando a primeira hipótese e recalculando os níveis de proteção e seus fatores considerando a adoção das medidas exigidas pela tabela 6C do Decreto Estadual n.º 51.803/2014 (e suas atualizações), chegou-se nos valores mostrados nas Tabelas 8 e 9:

Tabela 8: Fatores do nível de proteção recalculados para a primeira hipótese

	Quarto pavimento
<i>W</i>	1,00
<i>N</i>	1,00
<i>S</i>	4,12
<i>U</i>	3,73
<i>F</i>	1,45
<i>Y</i>	1,63

Fonte: Autor

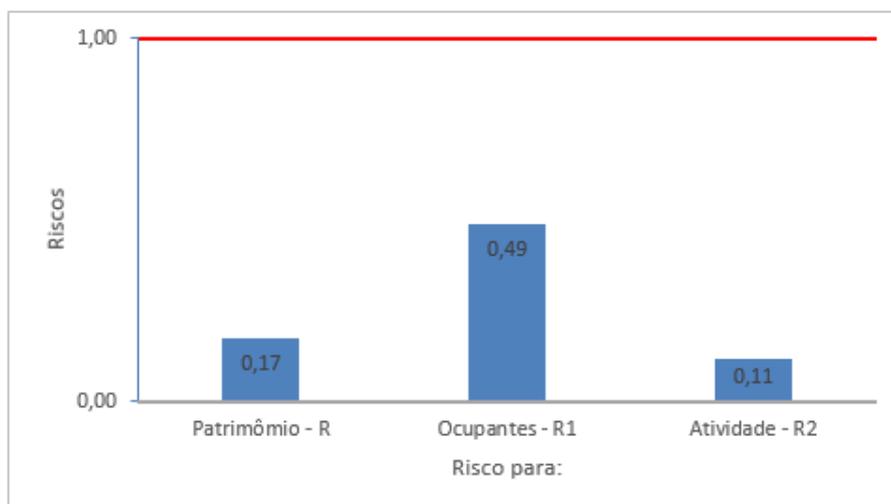
Tabela 9: Níveis de proteção recalculados para a primeira hipótese

	Quarto pavimento
<i>D</i>	5,97
<i>D1</i>	3,73
<i>D2</i>	6,72

Fonte: Autor

Com os níveis de segurança recalculados, determinaram-se os níveis de risco considerando a adoção das medidas exigidas pela tabela 6C, conforme mostra a Figura 5:

Figura 5: Riscos recalculados para a primeira hipótese



Fonte: Autor

Pode-se perceber que, a implementação das medidas exigidas pela legislação para o caso da edificação estudada, que é classificada como do tipo de ocupação mista, elevou significativamente os valores dos níveis de proteção, consequentemente, níveis de segurança aceitáveis são alcançados e todos os riscos caem para menos da metade do valor máximo aceito pelo método FRAME.

4.5.3 Hipótese 2

Testando agora a segunda hipótese e recalculando os níveis de proteção e seus fatores considerando a adoção das medidas exigidas pela tabela 6A do Decreto Estadual n.º 51.803/2014 (e suas atualizações), medidas exigidas para edificações residenciais, chegou-se nos valores mostrados nas Tabelas 10 e 11:

Tabela 10: Fatores do nível de proteção recalculados para a segunda hipótese

	Quarto pavimento
<i>W</i>	1,00
<i>N</i>	0,81
<i>S</i>	1,22
<i>U</i>	1,48
<i>F</i>	1,56
<i>Y</i>	1,10

Fonte: Autor

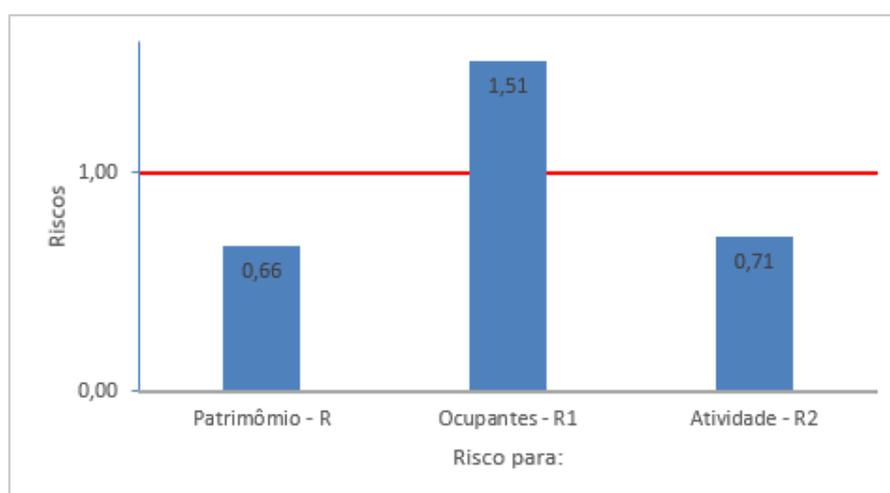
Tabela 11: Níveis de proteção recalculados para a segunda hipótese

	Quarto pavimento
<i>D</i>	1,54
<i>D1</i>	1,20
<i>D2</i>	1,09

Fonte: Autor

Com os níveis de segurança recalculados, definiram-se os níveis de risco considerando a adoção das medidas exigidas pela tabela 6A do Decreto, e apresentados na Figura 6:

Figura 6: Riscos recalculados para a segunda hipótese



Fonte: Autor

Na segunda hipótese percebe-se que os valores dos níveis de segurança caíram consideravelmente em comparação à primeira hipótese, o que já era esperado visto que a segunda hipótese conta com a adoção de um número menor de medidas compensatórias. Sendo assim, foram alcançados valores satisfatórios para os riscos para o patrimônio e para a atividade, porém, para os ocupantes, o risco ficou 51% acima do valor máximo estabelecido pelo método.

4.5.4 Hipótese 3

Para o teste da terceira hipótese foram consideradas todas as medidas exigidas pela tabela 6A do Decreto Estadual n.º 51.803/2014 (e suas atualizações) mais a adoção de um sistema de detecção automática de incêndio, sendo assim, chegou-se nos valores mostrados nas Tabelas 12 e 13:

Tabela 12: Fatores do nível de proteção recalculados para a terceira hipótese

	Quarto pavimento
<i>W</i>	1,00
<i>N</i>	1,00
<i>S</i>	1,55
<i>U</i>	1,89
<i>F</i>	1,55
<i>Y</i>	1,10

Fonte: Autor

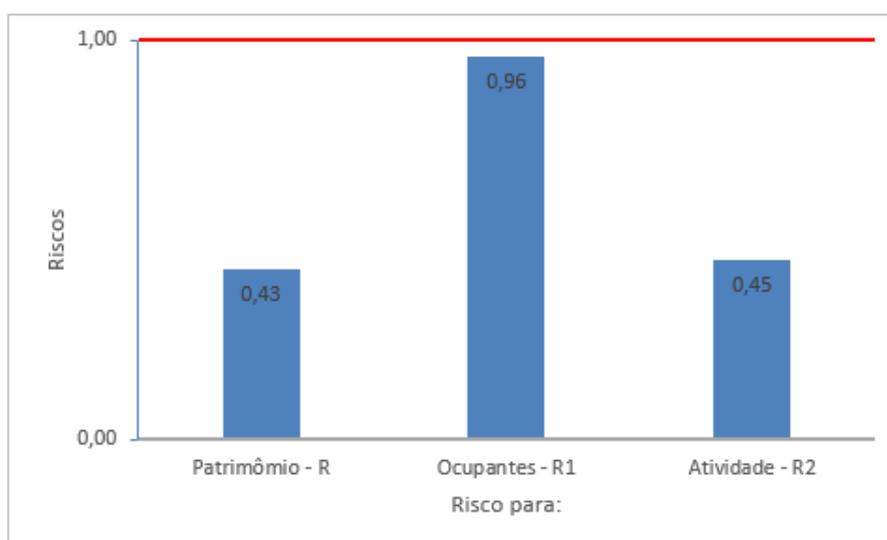
Tabela 13: Níveis de proteção recalculados para a terceira hipótese

	Quarto pavimento
<i>D</i>	2,40
<i>D1</i>	1,89
<i>D2</i>	1,71

Fonte: Autor

Com os níveis de segurança recalculados, foram determinados os níveis de risco considerando a adoção das medidas exigidas pela tabela 6A do Decreto acrescido da adoção de sistema de detecção automática de incêndio (Figura 7):

Figura 7: Riscos recalculados para a terceira hipótese



Fonte: Autor

Na terceira e última hipótese, é possível ver que, sem ser preciso a adoção de todas as medidas ditas necessárias pela tabela 6C do Decreto Estadual n.º 51.803/2014 (e suas atualizações), foi possível alcançar níveis de segurança satisfatórios para todos os três riscos.

4.5.5 Comparação das hipóteses

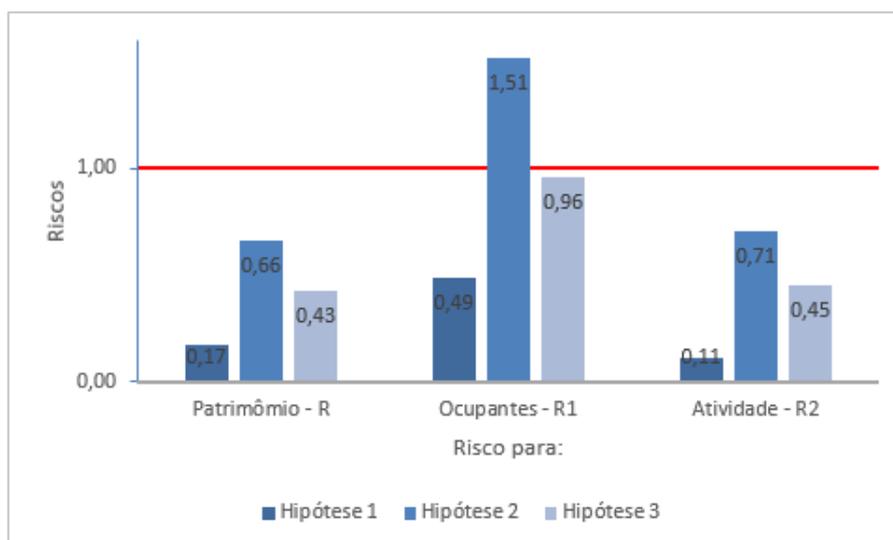
Para melhor visualização, apresenta-se um comparativo entre os níveis de segurança e os riscos das três hipóteses na Tabela 14 e na Figura 8:

Tabela 14: Comparativo entre os níveis de segurança das três hipóteses

	Hipótese 1	Hipótese 2	Hipótese 3
<i>D</i>	5,97	1,54	2,40
<i>DI</i>	3,73	1,20	1,89
<i>D2</i>	6,72	1,09	1,71

Fonte: Autor

Figura 8: Comparativo entre os riscos das três hipóteses



Fonte: Autor

De acordo com o método aplicado, pelos resultados obtidos anteriormente, nota-se que a primeira hipótese funciona, mas que os valores dos riscos encontrados foram demasiadamente baixos, ou seja, foram adotadas medidas em excesso. Em contrapartida, a segunda hipótese conta com a adoção de um número menor de medidas, mas não entrega resultados adequados para todos os riscos. Dito isso, através da Tabela 14 e da Figura 8 acima, é possível perceber

que a terceira hipótese atuou como um meio termo, com seus valores se encontrando entre os da primeira e segunda hipótese, oferecendo níveis de segurança adequados sem apresentar valores excessivamente baixos. Portanto, pode-se inferir que é possível tornar a edificação segura sem que seja necessário a adoção de todas as medidas propostas pelo Decreto Estadual n.º 51.803/2014 (e suas atualizações).

5. CONCLUSÃO

Através da pesquisa realizada e dos resultados obtidos, foi possível constatar que a primeira hipótese testada, que contava com a adoção das medidas de proteção exigidas pela legislação para o caso estudado, apesar de se mostrar eficaz, gerou valores de riscos muito abaixo do máximo estabelecido pelo método. O teste da segunda hipótese, que leva em conta adoção de medidas de proteção exigidas para edificações residenciais, conseguiu reduzir o grau de risco de incêndio para o patrimônio e para a atividade exercida, mas fracassou em tornar a edificação segura para os ocupantes. Já o teste da terceira hipótese, que leva em conta a adoção das mesmas medidas da segunda hipótese mais a implementação de sistema de detecção automática de incêndio, entregou níveis de segurança satisfatórios para todos os riscos, com a adoção de cinco medidas a menos do que a primeira hipótese. Conclui-se então, que existe a possibilidade de tornar a edificação segura sem a implementação de todas as medidas exigidas pelo Decreto Estadual n.º 51.803/2014 (e suas atualizações), frisando que a conclusão só é válida para o caso em estudo analisado, e com as considerações adotadas nesta pesquisa.

Portanto, é possível estabelecer a partir do presente estudo, que os métodos prescritivos atuais usados para definição das medidas de segurança, apesar de efetivos, falham em levar em consideração aspectos mais particulares da edificação. Sendo assim, esses métodos mais conservadores podem levar à implementação de projetos de segurança contra incêndio mais caros do que o necessário. Embora seja necessário salientar que a legislação atual oferece um grande avanço no campo de segurança contra incêndio em comparação a décadas passadas, profissionais de engenharia devem sempre buscar melhores alternativas.

Ainda é importante ressaltar que o método FRAME possui suas limitações, por ser um método empírico desenvolvido em outro país. Sugere-se então, futuros estudos e testes para comprovar sua eficácia e viabilizar a sua utilização no Brasil, assim como estudos e aprimoramento de outros métodos mais aprofundados para análise de risco de incêndio, que levem em consideração as variadas particularidades da edificação estudada, para assim, tornar a mesma segura sem a necessidade da implementação de medidas de proteção contra incêndio em excesso.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

CBMRS. **RT CBMRS nº 04. Isolamento de Riscos.** 2022. Disponível em: <<https://admin.bombeiros.rs.gov.br/upload/arquivos/202205/03151754-resolucao-tecnica-cbmrs-n-04-2022.pdf>>. Acesso em 22 ago. 2022.

CBMRS. **RT CBMRS nº 05, Parte 07. Processo de segurança contra incêndio: edificações e áreas de risco de incêndio existentes.** 2016. Disponível em: <<http://www.cbm.rs.gov.br/upload/arquivos/201706/01145642-rtcbmrs-n-05-parte-07-2016-existent-versao-corrigida.pdf>>. Acesso em 20 ago. 2022.

CBMRS. **RT CBMRS nº 11 Parte, 01. Saídas de emergência.** 2016. Disponível em: <<https://www.bombeiros.rs.gov.br/upload/arquivos/201706/01155612-rtcbmrs-n-11-parte-01-2016-saidas-de-emergencia-versao-corrigida.pdf>>. Acesso em 20 ago. 2022.

CUNHA, Diogo Vaz da Fonseca. **Análise de Risco de Incêndio de um Quarteirão do Centro Histórico da Cidade do Porto: Quarteirão 14052 – Aldas, Sé do Porto.** Tese de Mestrado, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Portugal, 2010.

FRANTZICH, H. **Uncertainty and Risk Analysis in Fire Safety Engineering.** Lund University, 1998.

GERLACK, Mariana de Oliveira. **Análise de Risco de Incêndio: Estudo aplicado a escolas de Porto Alegre.** Monografia (Escola de Engenharia) Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2018.

LOPES, Reginaldo dos Santos. **Análise Crítica da Aplicação do Método FRAME para Edificação de Uso Educacional: Prédio 21107 – Instituto de Psicologia da UFRGS.** Especialização em Engenharia de Segurança Contra Incêndios, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2020.

LUCENA, Renata Batista. **Aplicação Comparativa de Métodos de Mapeamento de Riscos de Incêndio nos Centros Urbanos das Cidades de Coimbra e Porto Alegre.** Tese de Mestrado, PPGEC/UFRGS. 2014.

MAGNUS, Marcel Busin. **Análise de Risco de Incêndio: Aplicação e Verificação do Método Frame e possíveis medidas compensatórias em um ambiente escolar.** Monografia (Escola de Engenharia) Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2019.

MITIDIARI, Marcelo Luis. **Proposta de classificação de materiais e componentes construtivos com relação ao comportamento frente ao fogo: reação ao fogo.** Dissertação de Mestrado, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1998.

RIO GRANDE DO SUL. **Decreto nº 51.803, de 10 de setembro de 2014, alterado até o Decreto nº 55.332, de 25 de junho de 2020.** Disponível em: <<https://www.bombeiros-admin.rs.gov.br/upload/arquivos/202006/30224052-dec-51803-14-ate-55332-20.pdf>>. Acesso em: 13 de junho de 2022.

RIO GRANDE DO SUL. **Lei Complementar nº 14.376, de 26 de dezembro de 2013, atualizada até a Lei Complementar n.º 14.924, de 22 de setembro de 2016.** Disponível em: <<http://www.al.rs.gov.br/FileRepository/repLegisComp/Lec%20n%C2%BA%2014.376.pdf>>. Acesso em: 07 de julho de 2022.

SEITO, A. I. et al. **A segurança contra incêndio no Brasil.** São Paulo: Projeto Editora, 2008.

SILVA, Valdir Pignatta. **Método de Avaliação de Risco de Incêndio em Edificações – Método de Gretener.** Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 2018.

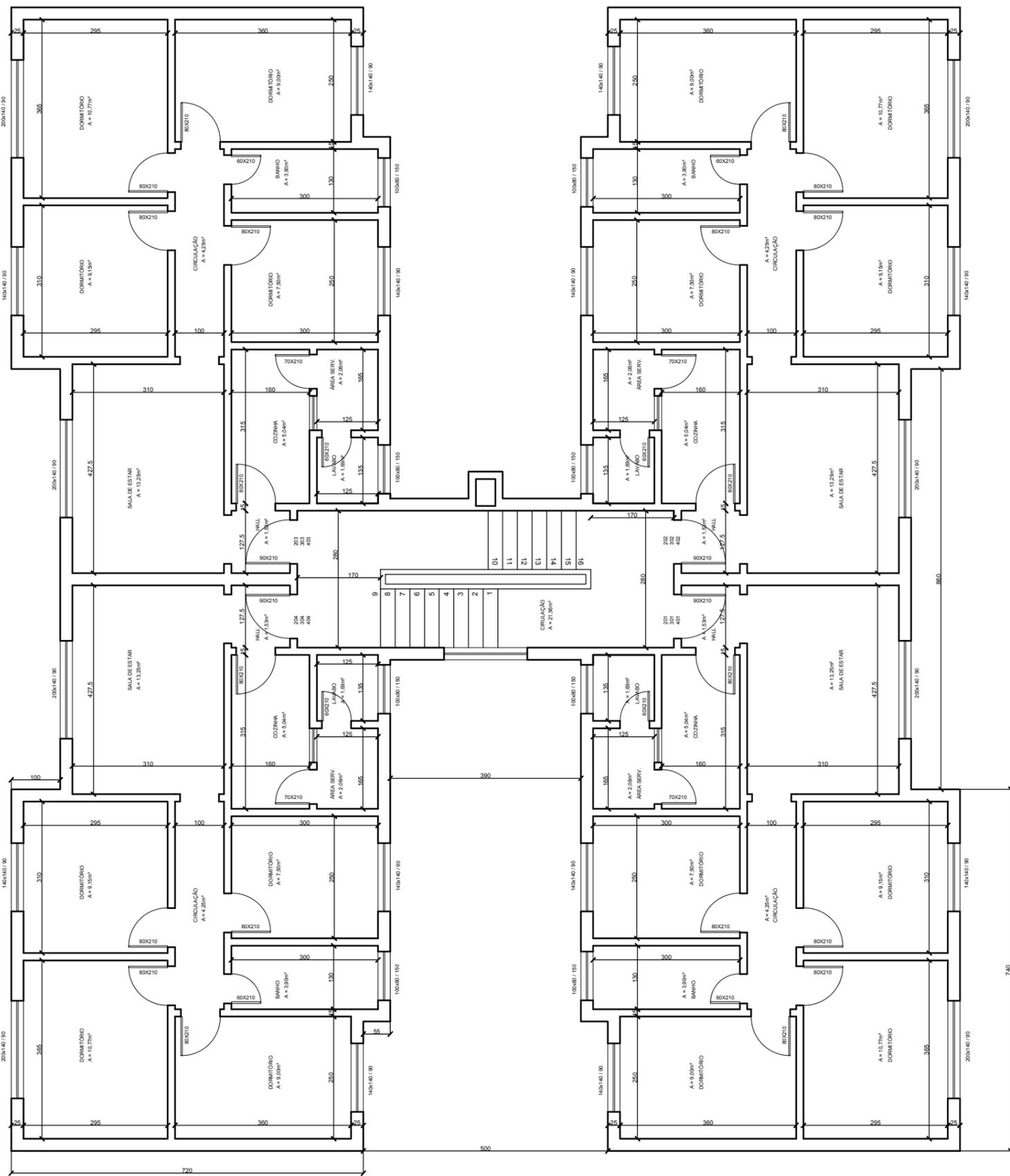
SILVA, Valdir Pignatta; COELHO, Hamilton da Silva. **Índice de segurança contra incêndio para edificações.** Dissertação de Mestrado, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. 2007.

SMET, Erik de. **FRAME - Theoretical basis and technical reference guide.** 2008. Disponível em: <http://www.framemethod.net/indexen_html_files/FRAME2008TRG.pdf>. Acesso em: 28 de julho de 2022.

SMET, Erik de. **FRAME 2011- Manual para o usuário.** 2011. Disponível em: <http://www.framemethod.net/index_html_files/FRAME%202011%20Manual%20PT.pdf>. Acesso em: 28 de julho de 2022.

VENEZIA, Adriana Portella Prado Galhano. **Avaliação de Risco de Incêndio para Edificações Hospitalares de Grande Porte: Uma Proposta de Método Qualitativo para Análise de Projeto.** Tese de Doutorado, FAU/USP, São Paulo, 2011.

ANEXO 1: PLANTAS BAIXAS DA EDIFICAÇÃO



Planta baixa pavimento tipo
Escala 1:100