

CENTRO PAULA SOUZA
FACULDADE DE TECNOLOGIA DE ITAQUERA
PROFESSOR MIGUEL REALE

ERICK ANDRADE VIEIRA DA SILVA
GUSTAVO ANDRE BASTOS DE ARRUDA

**Sistema de ventilação para pressurização de escada de emergência: Estudo de
caso de um edifício vertical residencial**

São Paulo
2026

CENTRO PAULA SOUZA
FACULDADE DE TECNOLOGIA DE ITAQUERA
PROFESSOR MIGUEL REALE

ERICK ANDRADE VIEIRA DA SILVA
GUSTAVO ANDRE BASTOS DE ARRUDA

Sistema de ventilação para pressurização de escada de emergência: Estudo de caso de um edifício vertical residencial

Projeto tecnológico elaborado como requisito parcial para a conclusão do Curso Superior de Refrigeração, Ventilação e Ar-condicionado.

Orientador(a): Dr. Fabio Pinto de Arruda

São Paulo
2026

FOLHA DE APROVAÇÃO

ERICK ANDRADE VIEIRA DA SILVA

GUSTAVO ANDRE BASTOS DE ARRUDA

Sistema de ventilação para pressurização de escada de emergência: Estudo de caso de um edifício vertical residencial

Projeto tecnológico elaborado como requisito parcial para a conclusão do Curso Superior de Refrigeração, Ventilação e Ar-condicionado.

Orientador(a): Dr. Fabio Pinto de Arruda

Aprovado em: ____/____/____

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Fabio Pinto de Arruda

Instituição: CPS - FATEC ITAQUERA

Assinatura: _____

Data ____/____/____

Prof. Me. Sandro Marcelo Martins

Instituição: CPS - FATEC ITAQUERA

Assinatura: _____

Data ____/____/____

Prof. Dr. Sergio Turano de Souza

Instituição: CPS - FATEC ITAQUERA

Assinatura: _____

Data ____/____/____

AGRADECIMENTOS

Agradecemos primeiramente a Deus, pela vida, pela força e pela sabedoria concedidas ao longo de toda a trajetória acadêmica, tornando possível a realização deste trabalho.

Às nossas famílias, expressamos nossa profunda gratidão pelo apoio incondicional, incentivo constante e compreensão nos momentos mais desafiadores desta jornada.

Aos professores do curso, pelos ensinamentos transmitidos e pela contribuição fundamental para nossa formação profissional. Em especial, ao nosso orientador, Prof. Dr. Fabio Pinto de Arruda, pela dedicação, paciência, orientação segura e valiosas contribuições, que foram essenciais para o desenvolvimento e conclusão deste projeto.

À empresa que viabilizou o acesso ao condomínio objeto deste estudo, agradecemos pela confiança, pela oportunidade de aprendizado prático e pela colaboração, que enriqueceram significativamente esta pesquisa.

Aos colegas e amigos, pelo companheirismo, e pelas trocas de conhecimento que tornaram esta caminhada mais leve e produtiva.

Por fim, a todos que, direta ou indiretamente, contribuíram para a concretização deste trabalho, registramos nosso sincero e profundo agradecimento.

RESUMO

Este trabalho tem como objetivo analisar o funcionamento do sistema de ventilação para pressurização de escadas de emergência instalado em um edifício residencial vertical. Estudos técnicos internacionais apontam que a inalação de fumaça constitui a principal causa de mortes em incêndios estruturais, superando os danos provocados diretamente pelas chamas. Nesse contexto, a pressurização de escadas consiste na introdução de ar sob pressão positiva em escadas enclausuradas, criando um diferencial de pressão capaz de impedir a infiltração de fumaça e gases tóxicos durante emergências. O trabalho aborda os fundamentos físicos relacionados ao comportamento dos gases aquecidos e aos critérios de diferencial de pressão empregados nesses sistemas, além de apresentar seus principais componentes, métodos de dimensionamento e critérios de seleção. São analisadas as exigências estabelecidas pelas normas técnicas aplicáveis, com destaque para a Instrução Técnica nº 13 do Corpo de Bombeiros da Polícia Militar do Estado de São Paulo. Adicionalmente, é realizado um estudo de caso comparativo entre diferentes soluções de instalação, visando avaliar a eficácia do sistema na proteção das rotas de fuga. Os resultados demonstram que o sistema instalado atende as exigências normativas, porém poderia sofrer alterações construtivas nos trechos dos dutos e, consequentemente, alteraria a seleção do ventilador a fim de otimizar custos de instalação e consumo energético. Conclui-se que a pressurização de escadas de emergência constitui uma medida complementar essencial para o controle de fumaça em edificações, contribuindo significativamente para a preservação da vida, a manutenção da integridade das rotas de escape e o atendimento às exigências normativas e legais vigentes.

Palavras-chave: Controle de fumaça; Edifício residencial vertical; Pressurização de escadas de emergência; Ventilação.

ABSTRACT

This work aims to analyze the operation of a ventilation system for pressurizing emergency stairwells installed in a vertical residential building. International technical studies indicate that smoke inhalation is the leading cause of death in structural fires, surpassing the damage directly caused by the flames. In this context, stairwell pressurization consists of introducing air under positive pressure into enclosed stairwells, creating a pressure differential capable of preventing the infiltration of smoke and toxic gases during emergencies. The work addresses the physical fundamentals related to the behavior of heated gases and the pressure differential criteria employed in these systems, in addition to presenting their main components, sizing methods, and selection criteria. The requirements established by applicable technical standards are analyzed, with emphasis on Technical Instruction n° 13 of the Fire Department of the Military Police of the State of São Paulo. Additionally, a comparative case study is conducted between different installation solutions, aiming to evaluate the system's effectiveness in protecting escape routes. The results demonstrate that the installed system meets regulatory requirements; however, constructive alterations could be made to the duct sections, consequently altering the fan selection in order to optimize installation costs and energy consumption. It is concluded that pressurization of emergency stairwells constitutes an essential complementary measure for smoke control in buildings, contributing significantly to the preservation of life, the maintenance of the integrity of escape routes, and compliance with current regulatory and legal requirements.

Keywords: Smoke control; Vertical residential building; Emergency stairwell pressurization; Ventilation.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 01 - Edifício Joelma.....	20
Figura 02 - Sistema de pressurização de escadas de emergência.....	22
Figura 03 - Distâncias mínimas da abertura à tomada de ar.....	25
Figura 04 - Simulação de incêndio.....	37
Figura 05 - Simulação de incêndio (acionamento).....	38
Figura 06 - Etapas do diagnóstico, análise e finalização.....	42
Figura 07 - Cronograma acadêmico.....	43
Figura 08 - Tomada de ar externo.....	45
Figura 09 - Filtro metálico lavável.....	46
Figura 10 - Ventilador.....	46
Figura 11 - Fluxostato.....	47
Figura 12 - Vista lateral da rede de dutos.....	48
Figura 13 - Saída de grelhas das escadas.....	48
Figura 14 - Vista interna do damper sobre pressão.....	49
Figura 15 - Vista externa da veneziana de escape.....	50
Figura 16 - Vista interna do Shaft.....	51
Figura 17 - Motor elétrico.....	52
Figura 18 - Identificação do motor elétrico.....	53
Figura 19 - Vista frontal e interna do quadro elétrico.....	54
Figura 20 - Projeto do quadro elétrico.....	55
Figura 21 - Planilha de cálculo das perdas de carga.....	58
Figura 22 - Ventilador centrífugo Limit Load.....	59
Figura 23 - Medições de velocidade.....	61

Figura 24 - Testes de pressão interna.....	62
Figura 25 - Vista de planta da rede de dutos.....	64
Figura 26 - Dutos saindo do ventilador.....	64
Figura 27 - Rede de dutos acoplada ao Shaft.....	65
Figura 28 - Planta da rede de dutos otimizada.....	66
Figura 29 - Vista lateral da rede de dutos otimizada e acoplada.....	66
Figura 30 - Características e curva do ventilador existente.....	67
Figura 31 - Características e curva do ventilador proposto.....	70

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	12
1.1 Justificativas	14
1.2 Objetivo Geral	15
1.2.1 Objetivos Específicos	15
1.3 Delimitações	15
1.4 Resumo dos Capítulos	16
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	17
2.1 Breve História Da Pressurização De Escadas	17
2.1.1 Edifício Joelma.....	18
2.2 Exigências normativas.....	20
2.3 Princípios básicos de pressurização em escadas de emergências	21
2.4 Tipos de sistemas de pressurização em escadas de emergência	22
2.4.1 Sistema de pressurização com um estágio	23
2.4.2 Sistema de pressurização com dois estágios	23
2.4.3 Sistema de pressurização com controle automatico de pressão.....	23
2.4.4 Sistema de pressurização com ventilador reserva.....	23
2.4.5 Sistema de pressurização com múltiplas escadas.....	24
2.4.6 Sistema de pressurização com captação de ar da cobertura	24
2.4.7 Captação de ar externo.....	24
2.5 Filtros.....	25
2.6 Dutos e especificidades	26
2.6.1 Parâmetros de dutos do sistema de pressurização	28
2.7 Sistema de distribuição de ar	29
2.7.1 <i>Dampers</i> de sobrepressão	29
2.7.2 Grelhas	30
2.7.3 Venezianas	30
2.7.3.2 Veneziana de tomada de ar externo.....	31
2.8 Motoventiladores	31
2.9 Cálculo da vazão	32

2.10 Testes de aprovação.....	33
2.11 Casa de máquinas.....	35
2.12 Painel elétrico.....	35
2.13 Normas e legislações	35
2.14 Premissas de vistoria, segurança, elétrica e automação	36
2.15 Simulação do funcionamento do sistema de pressurização	37
2.16 Fluxograma do funcionamento do sistema.....	38
2.17 Pesquisas e estudos semelhantes.....	39
3 METODOLOGIA.....	40
3.1 Definições.....	40
3.2 Materiais e recursos	40
4 DESENVOLVIMENTO	44
4.1 Diagnóstico do sistema	44
4.1.1 Tomada de ar externo	44
4.1.2 Filtro modelo colmeia	45
4.1.4 Chave de Fluxo	47
4.1.5 Dutos.....	47
4.1.6 Grelhas de Escadas	48
4.1.7 Damper de Sobrepressão	49
4.1.8 - Veneziana de Escape.....	49
4.1.9 – Shaft de Alvenaria.....	50
4.2 - Elétrica.....	51
4.2.1 - Motor Elétrico.....	52
4.2.2 - Quadro Elétrico de Comando.....	53
4.2.3 - Diagrama Elétrico	55
4.2.4 - Diagrama de Potência.....	55
4.3 Insumos	56
4.4 Sistema de pressurização de escadas de emergência	56
4.4.1 Determinação da Área de Vazamento das Portas.....	57
4.4.2 Cálculo da Vazão de Ar com Portas Fechadas.....	57
4.4.3 Cálculo da Vazão Considerando Portas Abertas	57

4.4.4 Aplicação do Fator de Segurança	58
4.4.5 Cálculo da perda de carga	58
4.5 Ventilador	59
4.6 Procedimentos de aprovação	59
5 RESULTADOS e DISCUSSÃO	63
5.1 Tomada de ar externo e filtro	63
5.2 Rede de dutos	63
5.3 Ventilador existente	67
5.4 Perda de carga	68
5.5 Ventilador proposto	69
5.6 Outras vantagens	70
6 CONCLUSÃO	72
REFERÊNCIAS	74
ANEXO A – Exigências para diversos tipos de edificações	76
ANEXO B – Níveis de pressurização	77
ANEXO C – Áreas típicas de escape	78
ANEXO D – Ábaco para chapas galvanizadas	79
ANEXO E – Características do ventilador existente	80
ANEXO F – Exemplo de relatório de inspeção	82
APÊNDICE A – Interligações entre comandos elétricos	83
APÊNDICE B – Diagrama comando de potência	84
APÊNDICE C – Insumos da instalação	85

1 INTRODUÇÃO

A segurança contra incêndio em edificações verticais constitui um dos principais desafios da engenharia contemporânea, especialmente no que se refere à preservação da vida humana durante emergências. Estudos consolidados na área de engenharia de proteção contra incêndio indicam que a fumaça proveniente da combustão é o principal agente causador de vítimas fatais em incêndios estruturais, superando os efeitos diretos das chamas e do calor. O controle do movimento da fumaça é fator determinante para garantir condições adequadas de evacuação e permitir a atuação segura das equipes de combate ao incêndio (Klote; Milke, 2002).

Nesse contexto, a escada de emergência é o principal meio de evacuação em edifícios verticais. Durante um incêndio, a propagação da fumaça pode comprometer as rotas de fuga, tornando-as inseguras. Para reduzir esse risco, utiliza-se o sistema de pressurização, que consiste na insuflação mecânica de ar no interior da escada, garantindo pressão positiva em relação às áreas adjacentes. Essa diferença de pressão impede a entrada de fumaça, assegurando condições seguras de evacuação, conforme estabelece a Instrução Técnica nº 13 do Corpo de Bombeiros, que define a pressurização como meio de manter as escadas livres de fumaça para permitir a saída dos ocupantes (São Paulo, 2025).

No Brasil, os critérios de projeto, dimensionamento e desempenho desses sistemas são estabelecidos por normas técnicas específicas. A NBR 14880 (ABNT, 2014) define os requisitos mínimos para sistemas de pressurização de escadas, incluindo parâmetros de vazão, diferencial de pressão e condições de operação com portas abertas. Complementarmente, a NBR 9077 (ABNT, 2025) estabelece critérios gerais para saídas de emergência em edifícios. No âmbito estadual, a Instrução Técnica IT-13 do Corpo de Bombeiros da Polícia Militar do Estado de São Paulo (São Paulo, 2025), regulamenta as exigências específicas para sistemas de pressurização, determinando parâmetros adicionais de segurança e desempenho.

O dimensionamento do sistema exige a aplicação de conceitos de ventilação. O projetista deve calcular a vazão necessária para manter a pressão correta, considerando a quantidade de pavimentos no edifício, quantidade de portas simultaneamente abertas, vazamento nas frestas e perdas de carga no sistema de dutos e *shaft*. Esses cálculos

permitem a seleção correta do ventilador, como vazão de ar, pressão estática total e potência do motor. O correto dimensionamento garante o funcionamento adequado do sistema sem gerar pressões excessivas, com isso, dificulta a abertura das portas corta-fogo.

Outro ponto importante no projeto de pressurização de escadas é a seleção correta dos componentes mecânicos, como exemplo, a escolha dos ventiladores com a potência adequada, pressão estática, tensão, carcaça do ventilador e entre outros. O tamanho correto da tomada de ar (TAE), filtro colmeia, grelhas da escada, *damper* e veneziana externa de escape é fundamental para atingirmos a vazão e pressão adequada para a segurança do sistema.

Existem diversos fabricantes especializados em equipamentos para sistemas de pressurização de escadas. Empresas como *Sicflux*, *Otam*, *Trox*, *Triar*, *IVtec* e *Engteck* fornecem ventiladores, bocas de ar, dutos e quadros elétricos usados em projetos e instalação do sistema em si. A escolha de cada equipamento deve considerar critérios técnicos como desempenho e conformidade com as normas.

A parte mecânica do projeto deve ser projetada a fim de ser compatível com as características de arquiteturas do edifício e à manutenção adequada ao longo da vida útil do sistema. Assim, torna-se relevante a realização de estudos de caso que permitam analisar a eficiência da pressurização em condições reais de operação, verificando sua conformidade com os requisitos normativos e sua efetividade na garantia de rotas de fuga seguras.

Diante desse cenário, o presente trabalho tem como proposta analisar o sistema de pressurização de escada de emergência de uma edificação vertical residencial, avaliando seus critérios de projeto, desempenho operacional e conformidade com as normas técnicas vigentes, contribuindo para o aprofundamento do conhecimento na área de segurança contra incêndio, controle de fumaça e de ventilação. Para isso, foi diagnosticado um sistema de pressurização localizado na Avenida do Cursino no bairro do Ipiranga, na cidade de São Paulo – SP e verificar se os padrões implantados correspondem às recomendações normativas técnicas e de segurança.

1.1 Justificativas

A segurança contra incêndios em edificações é regulamentada por um conjunto de normas técnicas que estabelecem critérios fundamentais para a proteção da vida e do patrimônio, especialmente em construções verticais onde a evacuação pode se tornar mais complexa. Nesse cenário, o controle da fumaça assume papel central, uma vez que ela é responsável pela maior parte das vítimas em incêndios, seja pela redução da visibilidade, seja pela presença de gases tóxicos que comprometem rapidamente a capacidade física dos ocupantes. Assim, garantir rotas de fuga seguras, livres da contaminação por fumaça, é um dos principais objetivos dos sistemas de segurança contra incêndio.

Dentre os dispositivos adotados para esse fim, os sistemas de pressurização de escadas de emergência destacam-se como uma das soluções mais eficazes, pois atuam diretamente na criação de uma diferença de pressão que impede a entrada de fumaça nesses espaços protegidos. No Brasil, esses sistemas são regulamentados por normas específicas que orientam desde a elaboração do projeto até a sua execução, operação e manutenção. Nesse contexto, destaca-se a Instrução Técnica nº 13 do Corpo de Bombeiros, que estabelece os requisitos mínimos para o dimensionamento e funcionamento dos sistemas de pressurização de escadas de emergência, abordando critérios como níveis de pressão diferencial, vazão de ar, acionamento automático e confiabilidade do sistema em situações de emergência (São Paulo, 2025).

Sendo assim, a NBR 14.880 (ABNT, 2020) apresenta diretrizes técnicas para o projeto e a avaliação desses sistemas, fornecendo parâmetros que garantem seu desempenho adequado em diferentes condições de uso. Essa norma trata de aspectos fundamentais como a estanqueidade dos ambientes, as perdas de carga, a abertura de portas durante a evacuação e o comportamento do sistema frente a diferentes cenários de incêndio. Além disso, orienta quanto à verificação e aos ensaios necessários para comprovar a eficiência do sistema, assegurando que a pressurização seja suficiente para impedir a infiltração de fumaça sem dificultar a abertura das portas pelos ocupantes.

A aplicação conjunta da Instrução Técnica nº 13 e da ABNT NBR 14.880 é essencial para garantir a eficácia dos sistemas de pressurização, uma vez que ambas se complementam ao estabelecer critérios práticos e teóricos para sua implementação.

Enquanto a normativa do Corpo de Bombeiros possui caráter mais prescritivo e voltado à aprovação de projetos e à segurança operacional, a norma da ABNT oferece um embasamento técnico mais aprofundado, permitindo maior precisão no dimensionamento e na análise de desempenho.

Dessa forma, o correto atendimento a essas normas não apenas assegura a conformidade legal das edificações, mas também contribui diretamente para a preservação da vida humana, proporcionando condições seguras de evacuação em situações críticas. A compreensão aprofundada desse tema, se torna indispensável para profissionais da área de engenharia, arquitetura e segurança do trabalho, possibilitando o desenvolvimento de soluções mais eficientes e confiáveis no âmbito da segurança contra incêndios.

1.2 Objetivo Geral

Analisar o funcionamento do sistema de pressurização de escadas de emergência instalado em um edifício residencial vertical.

1.2.1 Objetivos Específicos

Os objetivos específicos consistem em diagnosticar o sistema existente e arquitetura, apresentar cálculos de vazão necessários, realizar o dimensionamento dos componentes

(damper, grelhas etc.), desenvolver os cálculos de seleção do ventilador e, por fim, elaborar análise comparativa e conclusiva.

1.3 Delimitações

Este trabalho delimita-se à análise do sistema de pressurização de escadas de emergência em um edifício residencial, já implantado e em operação, com foco na verificação de seu desempenho e conformidade pelas normas, não abrangendo o desenvolvimento de projeto completo ou a análise de outros sistemas de segurança contra incêndio da edificação, como a central de alarmes.

Não contempla a realização de simulações computacionais por meio de softwares específicos para análise do funcionamento do sistema, nem o desenvolvimento de

cálculos detalhados relacionados às frestas de portas. Também não serão abordados aspectos construtivos e dimensionais das escadas de emergência, tais como dimensionamento de degraus, corrimãos e demais componentes, por serem tratados em normas específicas, como a ABNT NBR 9077.

1.4 Resumo dos Capítulos

Nos capítulos a seguir serão apresentados os conceitos fundamentais relacionados à segurança contra incêndios, com ênfase no funcionamento do sistema de pressurização de escadas de emergência. O capítulo 2 aborda as normas técnicas aplicáveis, destacando os principais requisitos para projeto, execução e funcionamento desses sistemas. O capítulo 3 descreve o estudo de caso, apresentando as características do planejamento. No capítulo 4 é apresentado o diagnóstico do sistema de ventilação para pressurização de escadas de emergência. No capítulo 5 é realizada uma análise dos dados obtidos e sugerido algumas alterações do projeto existente. Por último, no capítulo 6 é apresentada a conclusão do trabalho, destacando os resultados obtidos, as limitações do estudo e as considerações finais sobre o desempenho do sistema analisado.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Este capítulo apresenta uma revisão dos principais conceitos e requisitos técnicos relacionados à pressurização de escadas de emergência em edifícios residenciais, com foco na proteção contra a propagação de fumaça em situações de incêndio. Serão abordadas as exigências normativas aplicáveis, bem como os critérios de projeto adotados para garantir a segurança dos ocupantes durante a evacuação. Além disso, serão apresentadas fontes de parâmetros técnicos, fundamentos de ventilação e controle de fumaça, com base em normas brasileiras e livros especializados da área.

2.1 Breve História Da Pressurização De Escadas em Caso de Incêndio

Antes da criação desse sistema, a fumaça se espalhava rapidamente pelas escadas e corredores, causando intoxicação, pânico e dificultando a evacuação das pessoas. Estudos de segurança contra incêndio mostraram que a fumaça era responsável pela maior parte das mortes em incêndios, muito mais do que as próprias chamas.

O conceito de controle de fumaça por pressurização começou a ser desenvolvido entre as décadas de 1950 e 1960, principalmente nos Estados Unidos e no Reino Unido, durante o crescimento dos edifícios altos (*“high-rise buildings”*). Não existe um único inventor oficialmente reconhecido pela criação da pressurização de escadas, pois o sistema foi resultado de pesquisas desenvolvidas por engenheiros de segurança contra incêndio, universidades e órgãos de normalização. Segundo estudos técnicos modernos, os primeiros sistemas de pressurização já eram utilizados há mais de seis décadas.

Os primeiros modelos funcionavam com um único ponto de insuflação de ar no topo do edifício. O objetivo era criar uma pressão positiva dentro da escada para impedir a entrada da fumaça. Com o passar do tempo, percebeu-se que esse sistema dificultava a abertura das portas devido ao excesso de pressão, levando ao desenvolvimento de sistemas mais modernos com múltiplos pontos de insuflação e controle automático de pressão. (MDPI)

A utilização da pressurização de escadas se expandiu rapidamente após grandes incêndios ocorridos em edifícios altos nas décadas de 1960 e 1970, período em que diversos países passaram a criar normas específicas de controle de fumaça. A partir daí,

a pressurização tornou-se obrigatória em muitos tipos de edificações comerciais, residenciais e hospitalares.

No Brasil, os sistemas de pressurização começaram a ganhar espaço principalmente a partir da década de 1980, acompanhando o crescimento das construções verticais nas grandes cidades como São Paulo e Rio de Janeiro. Entretanto, a regulamentação técnica mais consolidada surgiu somente nos anos 1990 e início dos anos 2000, com normas da ABNT e instruções técnicas dos Corpos de Bombeiros. Uma das principais normas brasileiras é a NBR 14880, publicada inicialmente em 2002, responsável por estabelecer critérios para projetos de pressurização de escadas de segurança.

2.1.1 Edifício Joelma

O incêndio no Edifício Joelma foi uma das maiores tragédias urbanas da história do Brasil e tornou-se um marco para a evolução das normas de segurança contra incêndio no país. O desastre ocorreu no dia 1º de fevereiro de 1974, na cidade de São Paulo, no edifício comercial Joelma, localizado na Avenida Nove de Julho, região central da capital paulista. O prédio havia sido inaugurado em 1971 e possuía 25 andares, sendo ocupado principalmente por escritórios e pelo Banco Crefisul. Na manhã do incêndio, aproximadamente 750 pessoas encontravam-se no interior da edificação (GLOBO, 2021).

Segundo registros históricos, o incêndio teve início por volta das 8 h 50 min. da manhã, no 12º pavimento do edifício, causado por um curto-circuito em um aparelho de ar-condicionado. As chamas se espalharam rapidamente devido à grande quantidade de materiais inflamáveis existentes no local, como carpetes, divisórias de madeira, móveis e revestimentos combustíveis (GLOBO, 2021).

Na época, o edifício não possuía diversos sistemas de segurança que atualmente são obrigatórios em edificações altas, tais como:

- Escadas de emergência protegidas;
- Portas corta-fogo;
- Sistema de sprinklers;
- Detectores automáticos de fumaça;

- Iluminação de emergência;
- Sistemas de controle de fumaça e pressurização de escadas

A primeira chamada ao Corpo de Bombeiros foi registrada às 9 h 03 min., e as primeiras equipes chegaram ao local aproximadamente às 9 h 10 min. Entretanto, quando os bombeiros iniciaram o combate às chamas, o fogo já havia atingido diversos pavimentos do edifício, dificultando o resgate das vítimas. As escadas Magirus e os equipamentos disponíveis na época não alcançavam os últimos andares da edificação. Devido à intensa fumaça e ao calor excessivo, muitas pessoas ficaram presas nos pavimentos superiores. Algumas tentaram escapar pela cobertura do prédio, enquanto outras, em desespero, saltaram pelas janelas. O combate ao incêndio mobilizou aproximadamente 1.500 profissionais, entre bombeiros, policiais, médicos e voluntários, além da utilização de dezenas de viaturas, ambulâncias, helicópteros e caminhões-pipa. O fogo foi controlado por volta das 10 h 30 min., porém os trabalhos de resgate permaneceram até o período da tarde (GLOBO, 2021).

O incêndio deixou mais de 300 feridos e aproximadamente 187 vítimas fatais, sendo considerado um dos maiores incêndios em edifícios altos já registrados no Brasil. Treze corpos nunca foram identificados, ficando conhecidos popularmente como “As 13 Almas do Joelma”. A tragédia do Edifício Joelma provocou profundas mudanças nas legislações brasileiras relacionadas à segurança contra incêndio em edificações. Após o desastre, os órgãos públicos passaram a exigir sistemas de proteção mais eficientes, especialmente em edifícios verticais (GLOBO, 2021).

Entre os principais sistemas que passaram a ser amplamente exigidos destacam-se:

- Hidrantes;
- Portas corta-fogo;
- Iluminação e sinalização de emergência;
- Detectores automáticos;
- Sistemas de controle de fumaça;
- Sistemas de pressurização de escadas.

A partir desse evento, a pressurização de escadas passou a ser considerada fundamental para garantir rotas seguras de fuga durante incêndios, evitando a entrada de fumaça nas escadas de emergência e aumentando significativamente a segurança dos ocupantes da edificação. A Figura 1 ilustra o momento do incêndio.

Figura 1 - Edifício Joelma no momento do incêndio em 1974



Fonte: Piva (2024)

2.2 Exigências normativas

Os projetos de pressurização de escadas de emergência devem atender a uma série de requisitos normativos que visam impedir a entrada de fumaça nas rotas de fuga, garantindo condições seguras de evacuação. A NBR 9077 (ABNT, 2025) estabelece critérios gerais para saídas de emergência, definindo aspectos como dimensionamento, acessibilidade e proteção das escadas.

Já a NBR 14880 (ABNT, 2014) especifica os requisitos para sistemas de pressurização, incluindo a necessidade de manutenção de diferenciais de pressão entre a escada e as áreas comuns, com valores mínimos que assegurem o fluxo de ar no sentido da escada para os ambientes contaminado pela fumaça.

A Instrução Técnica nº 13 do Corpo de Bombeiros do Estado de São Paulo (São

Paulo, 2025) detalha critérios quantitativos e qualitativos, como faixas de pressão recomendadas, velocidades do ar através de portas abertas, redundância de sistemas, acionamento automático e requisitos de confiabilidade operacional. Em conjunto, essas normas estabelecem diretrizes fundamentais para o correto dimensionamento e funcionamento dos sistemas de pressurização, contribuindo para o controle de fumaça e segurança as pessoas que estão dentro do edifício.

2.3 Princípios básicos de pressurização em escadas de emergências

A Figura 2 apresenta um exemplo esquemático de um sistema de pressurização de escada de segurança, conforme os conceitos estabelecidos na Instrução Técnica nº 13 do Corpo de Bombeiros Militar do Estado de São Paulo (São Paulo, 2025). O sistema tem como objetivo impedir a entrada de fumaça na caixa de escada durante um incêndio, garantindo uma rota de fuga segura para os ocupantes da edificação.

Observa-se que o sistema é composto por uma tomada de ar externo, responsável pela captação de ar limpo, e por um ventilador instalado na casa de máquinas de pressurização. O ar captado é conduzido por meio de dutos metálicos até a escada de emergência, sendo distribuído através de grelhas de insuflamento localizadas nas paredes das escadas enclausuradas.

A captação do ar externo deve ser realizada por duto metálico ou duto de concreto. Porém, em caso da utilização de duto de concreto deverá permitir a manutenção. A Tomada de Ar Externo (TAE) deve permitir a entrada de ar suficiente para operação do sistema em conjunto com o motoventilador selecionado. A colocação de um filtro metálico, conforme NBR 16401 (ABNT, 2024), e de fácil limpeza deve ser colocado na TAE, a fim de garantir a entrada de ar limpo para operação adequada do sistema de pressurização. O sistema de pressurização de escadas de emergência deve garantir o diferencial de pressão entre as escadas e o ambiente adjacente não pressurizado.

escadas atendidas e o nível de proteção exigido pela edificação (São Paulo, 2025). Para mais detalhes ver **ANEXOS A e B**.

2.4.1 Sistema de pressurização com um estágio

É o modelo mais comum em edifícios residenciais e comerciais. Um ventilador insufla ar diretamente no *shaft* da escada de emergência, criando uma pressão positiva em relação aos demais ambientes adjacentes. Dessa forma, a fumaça tende a não ingressar na escada durante uma situação de incêndio. Principais características: Um único ventilador de insuflação; Controle básico de pressão; Aplicação em edifícios de menor complexidade (São Paulo, 2025).

2.4.2 Sistema de pressurização com dois estágios

Na IT-13 São Paulo (2025), o sistema de pressurização com dois estágios opera com dois níveis de vazão de ar:

- Modo de espera (*standby*): mantém uma pressão reduzida durante a operação normal da edificação.
- Modo emergência: ao detectar um incêndio, aumenta a vazão para atingir a pressão necessária para impedir a entrada de fumaça.

2.4.3 Sistema de pressurização com controle automático de pressão

Na IT-13 São Paulo (2025), o sistema de pressurização com controle automático utiliza sensores de pressão e inversores de frequência para ajustar automaticamente a velocidade dos ventiladores. Possui as seguintes características:

- Mantém a pressão dentro dos limites exigidos pelas normas;
- Compensa a abertura e fechamento de portas;
- Evita pressões excessivas que dificultem a abertura das portas de emergência.

2.4.4 Sistema de pressurização com ventilador reserva

Também, segundo a IT-13 São Paulo (2025), o sistema pode empregar ventiladores reserva (*backup*) para garantir a operação em caso de falha do equipamento principal. As principais aplicações são:

- Edificações de grande altura;
- Hospitais;
- Centros comerciais;
- Edifícios com elevada ocupação.

Tal especificidade gera o benefício da maior confiabilidade (São Paulo, 2025).

2.4.5 Sistema de pressurização com múltiplas escadas

A IT-13 São Paulo (2025) regulamenta que o sistema de pressurização com múltiplas escadas contempla um mesmo conjunto de ventilação para atender duas ou mais escadas, desde que o projeto assegure a pressão mínima em todas elas. Suas principais características são:

- Otimização de espaço;
- Redução de custos de instalação;
- Exige balanceamento cuidadoso da rede de dutos.

2.4.6 Sistema de pressurização com captação de ar da cobertura

Segundo a IT-13 São Paulo (2025), trata-se de uma configuração em que o ar utilizado para pressurizar a escada é captado diretamente na cobertura (telhado ou último pavimento) da edificação, onde há menor probabilidade de contaminação por fumaça durante um incêndio (**ANEXO C**).

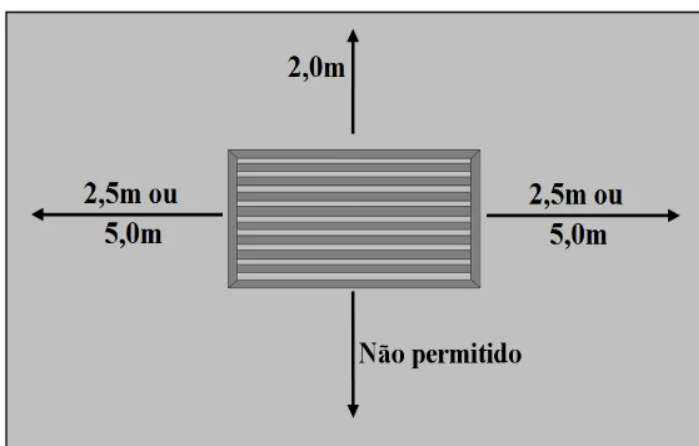
2.4.7 Captação de ar externo

A captação de ar externo é o componente responsável por fornecer ar limpo ao sistema de pressurização da escada de emergência. Sua localização deve ser cuidadosamente definida para evitar a aspiração de fumaça durante um incêndio, garantindo que a escada permaneça como uma rota segura de abandono da edificação. O correto posicionamento da tomada de ar contribui diretamente para a eficiência e confiabilidade do sistema de pressurização (São Paulo, 2025).

A IT-13 São Paulo (2025) regulamenta que as distâncias mínimas devem ser adotadas, em relação às aberturas próximas à tomada de ar (Figura 3) da pressurização são:

2,5 m das aberturas nas laterais e à frente, medidos horizontalmente.
Quando a tomada de ar for feita abaixo do nível do piso de descarga da edificação, a distância deverá, então, ser de 5 m
2 m das aberturas acima da tomada de ar
Abaixo da veneziana de tomada de ar não serão permitidas aberturas, exceto quando, comprovadamente, esta abertura não prejudicar a tomada de ar, devido à posição, à existência de proteções etc.

Figura 3 - Distâncias mínimas de aberturas à tomada de ar



Fonte: IT-13 São Paulo (2025)

O fato das distâncias regulamentadas para aberturas próximas a tomada de ar a fim de minimizar o risco de contaminação pela fumaça oriunda do incêndio no edifício.

2.5 Filtros

O filtro instalado na tomada de ar do sistema de pressurização tem a função de reter partículas sólidas presentes no ar externo, como poeira, fuligem, insetos e outros contaminantes que possam ser transportados para o interior da escada ou para os componentes do sistema. Além de contribuir para a qualidade do ar insuflado, o filtro protege ventiladores, dutos e dispositivos de controle contra o acúmulo de sujeira, auxiliando na manutenção da eficiência operacional do sistema. Conforme São Paulo (2025) e a NBR 16401 (ABNT, 2024), recomenda-se a utilização de filtros metálicos

laváveis, que permitem limpeza periódica e maior durabilidade em comparação com elementos descartáveis.

2.6 Dutos e especificidades

Os dutos de pressurização são componentes responsáveis por conduzir o ar insuflado pelo grupo motoventilador desde a captação de ar externo até os pontos de distribuição localizados na escada de emergência. Sua função principal é garantir o transporte adequado do ar, permitindo a manutenção do diferencial de pressão necessário para impedir a entrada de fumaça na rota de fuga durante uma situação de incêndio. Devem ser de material laminado, vedação adequada e sua costura lacrada à máquina. Quando confeccionados em outro material, com exceção ao de alvenaria e gesso acartonado, devem atender as especificações relativas aos do metálico (São Paulo, 2025).

O desempenho do sistema está diretamente relacionado ao correto dimensionamento dos dutos, uma vez que perdas excessivas de carga podem comprometer a vazão de ar e a pressão requerida para a proteção da escada. Por isso, o dimensionamento adequado, seja em sistemas de climatização, ventilação ou exaustão, requer uma análise cuidadosa, sendo necessário levar em conta vários fatores como vazão, velocidade do fluido, perdas de carga e o tipo de material transportado (Creder, 2004). O dimensionamento do duto em sistemas de ventilação leva em consideração a Equação (1) da continuidade extraída de Macintyre (2014, p. 117):

$$Q = A \cdot V \quad (1)$$

Sendo:

Q – Vazão de ar (m³/s)

A – Área interna (m²)

V – Velocidade recomendada (m/s)

A área da Equação (1) leva em consideração a seção circular e o diâmetro interno. Assim, sua reorganização é apresentada pela Equação (2):

$$D = \sqrt{\frac{4 \cdot Q}{\pi \cdot V}} \quad (2)$$

Sendo:

D – diâmetro (m)

Q – Vazão de ar (m³/s)

π – 3,1416 (admissional)

V – Velocidade recomendada (m/s)

Para cálculo de diâmetro equivalente de dutos retangulares (dimensões a e b) é possível adequar os parâmetros dimensionais conforme Equação (3) dada por Macintyre (2014, p. 129):

$$D_{equivalente} = 1,3 \cdot \frac{(a \cdot b)^{0,625}}{(a + b)^{0,25}} \quad (3)$$

Para cálculo da diferença de pressão (Δ_p) em dutos lineares galvanizados utiliza-se o ábaco do **ANEXO D** ou a Equação (4) adaptada de Costa (2005, p. 102):

$$\Delta_p = 0,001026 \cdot L \cdot \frac{V^{2,51}}{Q^{0,61}} \cdot \gamma \quad (4)$$

Sendo:

Δ_p – Perda de carga (kg/m² ou mm CA)

L – Comprimento da canalização (m)

V – Velocidade de escoamento do ar (m/s)

Q – Vazão volumétrica (m³/s)

γ – Peso específico do ar (kg/m³)

Para cálculo da perda de carga (Δ_p) das singularidades utilizar a Equação (5)

adaptada de Costa (2005, p. 88):

$$\Delta_p = K \cdot \frac{V^2}{2g} \gamma \quad (5)$$

Sendo:

Δ_p – Perda de carga (kg/m² ou mm CA)

K – Coeficiente de atrito (admissional e tabelado)

V – Velocidade (m/s)

g – Aceleração da gravidade (m/s²)

γ – Peso específico do ar (kg/m³)

A perda de carga (Δ_p) de componentes e acessórios deve-se seguir as recomendações dos fabricantes.

2.6.1 Parâmetros de dutos do sistema de pressurização

O dimensionamento dos dutos em sistemas de pressurização de escadas tem como objetivo garantir que a vazão de ar necessária seja distribuída adequadamente ao longo da edificação, mantendo os diferenciais de pressão exigidos para impedir a entrada de fumaça durante um incêndio. Deve-se considerar a velocidade do fluxo de ar, na captação, de no máximo 8 m/s. Em dutos metálicos, na distribuição, adota-se o máximo de 15 m/s, e quando o duto for de alvenaria ou de gesso acartonado, de 10 m/s (São Paulo, 2025).

Os métodos de cálculo baseiam-se nos princípios da mecânica dos fluidos, já descritos anteriormente, considerando parâmetros como vazão de ar, velocidade de escoamento, perdas de carga distribuídas e localizadas, além das características geométricas da rede de dutos. O processo de dimensionamento deve assegurar que o ventilador seja capaz de vencer todas as resistências do sistema e fornecer a vazão necessária nos pontos de insuflamento (Creder, 2004; ABNT, 2024).

Entre os métodos mais utilizados para dimensionamento destacam-se o método da velocidade constante, o método da perda de carga constante e o método da

recuperação estática. Em sistemas de pressurização de escadas, o método da perda de carga constante é amplamente empregado por proporcionar uma distribuição mais equilibrada do ar ao longo da rede (Creder, 2004; Macintyre, 2014).

As perdas de carga são influenciadas pelo comprimento dos dutos, rugosidade interna, mudanças de direção, derivações, registros, grelhas e demais acessórios instalados no sistema. Dessa forma, o projeto deve buscar trajetos com o menor número possível de singularidades, reduzindo a resistência ao escoamento e aumentando a eficiência energética do conjunto motoventilador (Creder, 2004; Macintyre, 2014).

O dimensionamento adequado dos dutos é fundamental para garantir o desempenho do sistema de pressurização, uma vez que perdas excessivas podem comprometer a vazão de ar insuflada e, conseqüentemente, o diferencial de pressão necessário para a proteção da escada de emergência (São Paulo, 2025).

2.7 Sistema de distribuição de ar

O sistema de distribuição de ar é um duto vertical posicionado de maneira adjacente aos espaços pressurizados. É composto de componentes localizados na extremidade da rede de dutos responsáveis pela distribuição do ar insuflado no ambiente pressurizado. Em sistemas de pressurização de escadas de emergência, a distribuição é geralmente constituída por grelhas, difusores ou venezianas, instalados em pontos estratégicos da caixa de escada para promover uma distribuição uniforme do ar.

O correto dimensionamento e posicionamento dos terminais de ar são fatores importantes para o desempenho da pressurização, uma vez que influenciam diretamente a distribuição da pressão ao longo da escada e a capacidade do sistema em atender aos requisitos estabelecidos pelas normas de segurança contra incêndio.

2.7.1 *Dampers* de sobrepressão

Os *dampers* de sobrepressão são dispositivos de alívio instalados nos sistemas de pressurização de escadas com a finalidade de controlar e limitar o diferencial de pressão no interior da caixa de escada. Seu funcionamento ocorre de forma automática, abrindo-se quando a pressão interna ultrapassa os valores de projeto estabelecidos pelas normas de segurança contra incêndio.

A principal função desses dispositivos é evitar que pressões excessivas dificultem a abertura das portas corta-fogo durante uma situação de emergência. Dessa forma, os *dampers* contribuem para a manutenção de condições seguras de evacuação, garantindo que os ocupantes possam acessar a escada sem a necessidade de aplicar esforços excessivos para abrir as portas.

2.7.2 Grelhas

As grelhas de insuflamento são dispositivos terminais instalados na saída dos dutos de pressurização, responsáveis pela introdução e distribuição do ar no interior da escada de emergência. Sua principal função é promover uma distribuição uniforme do fluxo de ar, contribuindo para a manutenção da pressão positiva necessária para impedir a entrada de fumaça durante uma situação de incêndio.

Além de direcionar o fluxo de ar, as grelhas auxiliam no controle da velocidade de insuflamento, evitando correntes excessivas e favorecendo uma distribuição homogênea da pressão ao longo da escada. O correto dimensionamento e posicionamento desses componentes são fundamentais para garantir o desempenho do sistema, uma vez que influenciam diretamente a eficiência da pressurização e a manutenção dos diferenciais de pressão exigidos pelas normas de segurança contra incêndio.

2.7.3 Venezianas

As venezianas são elementos construtivos destinados a permitir a circulação de ar entre ambientes ou entre o ambiente externo e o sistema de ventilação, ao mesmo tempo em que oferecem proteção contra intempéries e materiais indesejados. Em sistemas de pressurização de escadas de emergência, são utilizadas principalmente na tomada de ar externo e nos pontos de alívio de pressão, contribuindo para o correto funcionamento do sistema e para a manutenção das condições de segurança exigidas pelas normas de proteção contra incêndio.

2.7.3.1 Veneziana de alívio associada ao damper de sobrepressão

A veneziana de alívio é um dispositivo normalmente instalado em conjunto com o damper de sobrepressão, tendo a função de permitir a descarga controlada do excesso

de ar da escada pressurizada para o ambiente externo. Quando a pressão interna ultrapassa o valor estabelecido em projeto, o damper é acionado automaticamente, abrindo a passagem para que o ar seja liberado através da veneziana.

Esse conjunto é fundamental para evitar níveis excessivos de pressão que possam dificultar a abertura das portas corta-fogo durante uma emergência. Dessa forma, a veneziana de alívio e o damper de sobrepressão atuam em conjunto para manter o diferencial de pressão dentro dos limites normativos, assegurando tanto a proteção contra a entrada de fumaça quanto a acessibilidade das rotas de fuga.

2.7.3.2 Veneziana de tomada de ar externo

A veneziana de tomada de ar externo é o componente instalado no ponto de captação do sistema de pressurização, permitindo a entrada de ar atmosférico para alimentação do ventilador. Sua principal função é possibilitar a admissão de ar limpo, protegendo simultaneamente a abertura contra a entrada de chuva, folhas, insetos e outros materiais que possam comprometer o funcionamento do sistema.

Além da proteção física, a veneziana deve apresentar baixa resistência ao escoamento do ar, minimizando perdas de carga na captação e contribuindo para a eficiência do sistema. Sua localização deve ser cuidadosamente definida, de modo a evitar a captação de fumaça proveniente de um eventual incêndio, garantindo que o ar insuflado na escada permaneça livre de contaminantes.

2.8 Motoventiladores

Para seleção dos ventiladores devem ser consideradas as perdas de cargas do sistema de distribuição de ar e seus respectivos componentes. Quando o conjunto motoventilador for acionado por correias deve-se providenciar a proteção adequada para evitar acidentes. Em todos os sistema de pressurização de escadas de emergência é recomendado o uso de dois motoventiladores. Porém, em alguns grupos de edificações e de características específicas é permitido o uso de um motoventilador como, em edifícios residenciais (até 80 m de altura), edifícios de escritórios (até 60 m de altura) e edifícios escolares (até 30 metros de altura). Podem ser utilizados dois grupos de motoventiladores operando a 50% da vazão total, mas em 100% quando em situação de

emergência. O conjunto motoventilador e seus demais acessórios e tubulação devem ser protegidos com uma porta de acesso estanque PCF P-90. A IT-13 São Paulo (2025) não indica nenhum modelo específico de motoventilador.

Porém, os modelos mais utilizados em sistemas de ventilação e exaustão são os modelos *Limit Load* e Sirocco. Segundo o fabricante OTAM (2026), para sistemas de pressurização recomenda-se os ventiladores centrífugos *Limit Load*, modelos RLQ e RLS (ver **ANEXO E**), pois a forma do rotor e o número das pás foram projetadas para assegurar um alto rendimento. Para seleção do ventilador adequado é necessário ter os valores de vazão do projeto e da perda de carga estática gerada pelo sistema de distribuição de ar.

2.9 Cálculo da vazão

O cálculo da vazão ou suprimento de ar necessário deve ser realizado com todas as portas fechadas e, também, abertas, porém, nesse caso, utilizando a equação da continuidade da mecânica dos fluidos e conforme recomendações do respectivo grupo e ocupação (**ANEXO A**). Deve-se considerar a densidade do ar de $1,2 \text{ kg/m}^3$, além do valor de $N = 2$, para frestas de PCF, e $N = 1,6$, no caso de frestas em torno de janelas. Para exemplificar o cálculo da vazão necessária é apresentado a seguinte situação problema extraída de São Paulo (2025):

Uma ocupação de um edifício profissional, do grupo D, possui 18 pavimentos com Portas Corta Fogo (PCF) simples, sendo 17 portas de entrada (Pe) e 01 porta de saída (Ps). Em situação de incêndio serão 02 PCF abertas (**NPA = 2 – ANEXO A**), sendo 01 PCF_{entrada} e 01 PCF_{saída}. Conforme **ANEXO B**, as PCF simples e batente rebaixado, conforme Tabela 2, medem $2,10 \times 0,89$ ($A = 1,64 \text{ m}^2$), sendo a PCF_{entrada} fechada com frestas de **$0,03 \text{ m}^2$** e a PCF_{saída} fechada com frestas de **$0,04 \text{ m}^2$** . Fatores de segurança adotados são: **15%** para vazamentos em dutos metálicos e **25 %** aos não identificados (fator total de 1,4 para dutos metálicos). A velocidade mínima de ar pressurizado escapando pela porta aberta é de **1 m/s** . A diferença de pressão entre o espaço pressurizado e os ambientes contíguos será **de 50 Pa. Qual a vazão (m^3/h) necessária?**

Segundo a IT-13 São Paulo (2025) a Equação (6) para o cálculo da vazão com portas fechadas é:

$$Q = 0,827 \times A \times (P)^{1/N} \quad (6)$$

Sendo:

Q – Vazão total com as portas fechadas (m³/h)

A – Área de escape por frestas (m²)

P – Diferencial de pressão (Pa)

N – Índice numérico que varia de 1 a 2

Para o cálculo da vazão com específicas portas abertas usa-se a Equação (6) já detalhada anteriormente. Para fins de escolha, adota-se a vazão resultante de maior valor.

A área de escape por frestas é calculada considerando a quantidade de PCF fechadas de entrada, que são dezessete (17) no exemplo, além de uma (1) PCF de saída. Então, por meio de valores de áreas de escape obtidos no **ANEXO C**, a área de escape por frestas (A), a ser considerada no exemplo é de $17 \times 0,03 \text{ m}^2 + 1 \times 0,04 \text{ m}^2 = \mathbf{0,55 \text{ m}^2}$. Para o sistema de pressurização de escadas do exemplo, de um estágio, o valor de pressão diferencial (P) a ser adotado, conforme **ANEXO B**, é de **50 Pa**. O índice numérico (N) adotado será de dois (2), conforme ocupação do grupo D, serviço profissional, descrito no **ANEXO A**. Portanto, utilizando-se da Equação (6) se obtém a vazão de **3,22 m³/s**. No caso da Equação (1) utiliza-se a área (A) de 1,64 m² para duas portas abertas ($1,64 \text{ m}^2 \times 2$) somada a área de frestas das 16 portas fechadas ($0,03 \text{ m}^2 \times 16$), totalizando **3,76 m²**. A respectiva área é multiplicada pela velocidade de 1 m/s, portanto, a resultante é de **3,76 m³/s**. Adota-se a maior vazão, isto é, de **3,76 m³/s**.

Considerando os percentuais de 15% para vazamento em dutos metálicos e 25% de vazamentos não identificados, como um fator de segurança, acrescenta-se no valor da vazão de **3,76 m³/s**, 40%, ou seja, multiplica-se por 1,4. O resultado final da vazão do projeto para tais condições determinadas na situação problema é de **5,26 m³/s** ou de **18936 m³/h**.

2.10 Testes de aprovação

Para aprovação do projeto de pressurização de escadas de emergência são

necessários a verificação de diversos fatores de projeto. A medição da pressão diferencial (50 Pa) deve ser feita por um manômetro calibrado. Duas sondas são inseridas em cada espaço (antes e depois da PCF) e ligadas ao manômetro por tubos flexíveis. A medição da pressão se refere aos espaços não pressurizados que estão adjacentes e a escada. As PCF devem permanecer fechadas durante a medição. Também é necessário a medição da velocidade do ar vinda do conjunto representativo com as PCF abertas. Esta velocidade é estipulada nos cálculos do projeto. Em sistemas com dois estágios a medição ocorre apenas com o segundo estágio em operação emergencial. O sistema de detecção de dois estágios também deve ser submetido a testes, considerando as interferências da pressurização (São Paulo, 2025).

As divergências entre valores medidos e especificados devem ser tratadas para a respectiva aprovação. Geralmente, se presencia três razões para o não atendimento da pressão diferencial: Vazão de ar insuficiente; Excesso de vazamento em áreas fora do espaço pressurizado; e quando as áreas de escape de ar para parte externa do edifício são insuficientes. Recomenda-se medir a vazão de ar do insuflamento e de suas respectivas grelhas, cujo objetivo é avaliar a quantidade de ar que chega até as escadas. Caso esteja conforme o projeto, é necessário avaliar as frestas das PCFs, inclusive na parte inferior e vazamentos adicionais não previstos. A vazão de ar pode ser alterada para atender os requisitos de projeto, porém a pressão diferencial não poderá ultrapassar o valor de 60 Pascal e também não ser inferior a 90% do estipulado no projeto (São Paulo, 2025).

Uma outra medição a ser efetuada é da velocidade média (m/s) do ar passando por uma PCF aberta. A medição deve ser efetuada com anemômetro de fio quente devidamente calibrado ou outro instrumento de exatidão e resolução adequado. A velocidade média deve ser obtida por meio da média aritmética de doze pontos escolhidos e distribuídos uniformemente no vão. Deve-se observar as condições do vento e realizar o teste com o edifício vazio. A quantidade de PCF abertas deve seguir os parâmetros estipulados no **ANEXO A**. Além disso, após a aprovação, o responsável técnico da instalação e manutenção deverá anexar o comprovante de responsabilidade técnica na documentação pertinente (São Paulo, 2025).

2.11 Casa de máquinas

A casa de máquinas é o compartimento técnico destinado à instalação dos equipamentos responsáveis pelo funcionamento do sistema de pressurização de escadas de emergência. Nesse ambiente são normalmente instalados os grupos motoventiladores, painéis elétricos de comando, sensores e demais dispositivos necessários para a operação e monitoramento do sistema.

Além de abrigar os equipamentos, a casa de máquinas tem a função de protegê-los contra intempéries, acessos não autorizados e danos que possam comprometer o desempenho do sistema em situações de emergência. Sua localização deve permitir fácil acesso para inspeção, manutenção e testes periódicos, garantindo a confiabilidade operacional do conjunto.

2.12 Painel elétrico

O painel elétrico é o conjunto responsável pelo comando, controle, proteção e monitoramento dos equipamentos que compõem o sistema de pressurização de escadas de emergência. Por meio dele são realizados o acionamento dos ventiladores, a supervisão das condições de funcionamento e a proteção dos circuitos elétricos contra sobrecargas, curtos-circuitos e outras falhas operacionais.

Em situações de incêndio, o painel elétrico recebe sinais provenientes do sistema de detecção e alarme, acionando automaticamente os ventiladores de pressurização para garantir a manutenção da pressão positiva na escada de emergência. Dependendo da configuração do sistema, o painel também pode monitorar e emitir alarmes em caso de falhas ou anormalidades.

2.13 Normas e legislações

Para o desenvolvimento de projetos e análises de sistemas de pressurização de escadas de emergência, é fundamental observar as normas técnicas e legislações aplicáveis, as quais estabelecem critérios de projeto, instalação, operação e manutenção, visando garantir a segurança dos ocupantes em situações de incêndio.

As principais normas e regulamentações relacionadas aos sistemas de pressurização de escadas são apresentadas a seguir:

A norma brasileira ABNT NBR 14880 (ABNT, 2014) estabelece os requisitos para o controle de fumaça por meio da pressurização de escadas de segurança em edificações, abordando critérios de desempenho, diferenciais de pressão, vazões de ar, ensaios e procedimentos de comissionamento.

Complementando os requisitos da NBR 14880, a Instrução Técnica nº 13 (CBPMESP, 2025) define os critérios adotados pelo Corpo de Bombeiros para projeto, instalação e aprovação dos sistemas de pressurização de escadas de segurança.

Além dessas normas específicas, outras normas técnicas contribuem para o correto funcionamento do sistema:

- ABNT NBR 9077 – estabelece os requisitos para saídas de emergência em edificações
- ABNT NBR 16401 – apresenta critérios relacionados à captação, filtragem e distribuição do ar em sistemas de ventilação e condicionamento de ar;
- NFPA 92 – norma internacional que estabelece diretrizes para sistemas de controle de fumaça em edificações.

O atendimento aos requisitos estabelecidos por essas normas é essencial para garantir a eficiência do sistema de pressurização, contribuindo para a proteção das rotas de fuga e para a segurança dos ocupantes durante emergências.

2.14 Premissas de vistoria, segurança, elétrica e automação

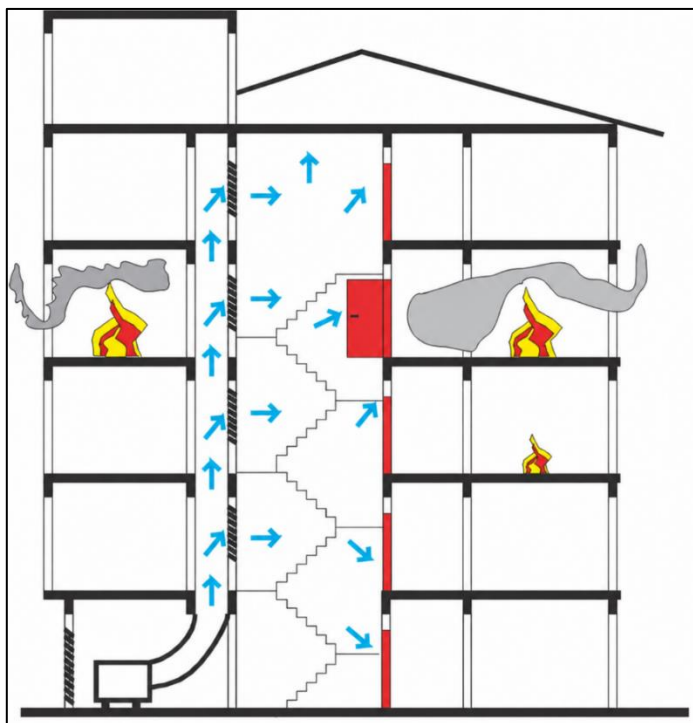
Além dos aspectos diretamente relacionados à ventilação, os sistemas de pressurização de escadas dependem de requisitos como, elétrica e automação para seu pleno funcionamento. Sistemas de detecção e alarme de incêndio devem ser integrados ao acionamento automático dos ventiladores, garantindo resposta imediata em situações de emergência. A NBR 5410 estabelece as condições para instalações elétricas de baixa tensão, incluindo critérios de proteção, dimensionamento de condutores e confiabilidade do sistema elétrico. Já a NBR 13570 trata especificamente de instalações elétricas em locais de afluência de público, reforçando a necessidade de segurança, redundância e continuidade operacional. Adicionalmente, sistemas de automação permitem o monitoramento e controle do funcionamento dos equipamentos, incluindo acionamento de ventiladores, abertura de *dampers* e verificação de falhas. Embora esses itens não

sejam o foco principal do estudo, sua correta citação é essencial para garantir a eficácia geral e clareza do sistema.

2.15 Simulação do funcionamento do sistema de pressurização

A Figura 4 representa uma simulação de incêndio em uma edificação, evidenciando o funcionamento do sistema de pressurização da escada de emergência: enquanto os focos de fogo geram fumaça e gases quentes nos ambientes (áreas contaminadas), as setas em azul dentro do *shaft* e da escada indicam o fluxo de ar limpo insuflado continuamente pelo sistema, criando uma pressão positiva que impede a entrada de fumaça nesses espaços; as portas corta-fogo, destacadas na imagem, atuam como barreiras físicas que separam o ambiente contaminado do ambiente protegido, garantindo que a escada permaneça com ar puro, captado e impulsionado pelo sistema de ventilação, permitindo assim uma rota segura de fuga para os ocupantes durante a situação de emergência.

Figura 4 – Simulação de incêndio

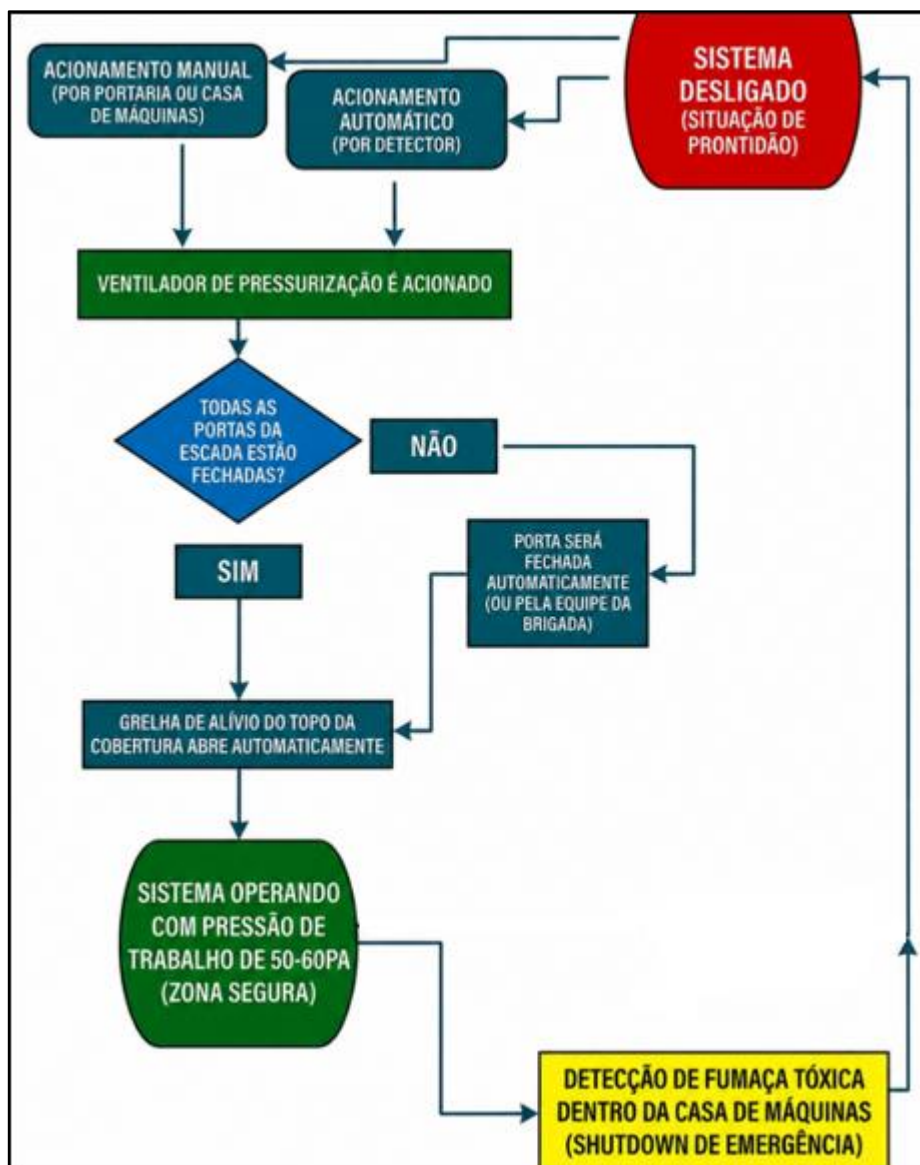


Fonte: Os autores (2026)

2.16 Fluxograma do funcionamento do sistema

O fluxograma de acionamento demonstrado na Figura 5, é um diagrama que mostra, passo a passo, como ocorre o acionamento do sistema, indicando a sequência lógica das operações e os elementos envolvidos (sensores, botões, relés, motores etc.). Ele utiliza formas padronizadas (como retângulos para ações, losangos para decisões) e setas para indicar o fluxo.

Figura 5 – Simulação de incêndio (acionamento)



Fonte: Os autores (2026)

2.17 Pesquisas e estudos semelhantes

Diversos estudos têm sido realizados com o objetivo de avaliar o desempenho de sistemas de pressurização de escadas e controle de fumaça em edificações. Bolzoni (2022) investigou, por meio de simulações computacionais, a efetividade de escadas enclausuradas com ventilação natural, concluindo que, embora tenha contribuição na redução da entrada de fumaça, sistemas mecânicos apresentam maior confiabilidade em cenários críticos. Maraston, Monsour e Silva (2025) realizaram um estudo de caso em um edifício comercial, analisando o desempenho de uma escada pressurizada, verificando que a manutenção adequada dos diferenciais de pressão é fundamental para o bom funcionamento do sistema.

Segundo Seito *et al.* (2008), os sistemas de pressurização constituem uma das principais medidas de controle de fumaça em edificações de múltiplos pavimentos, sendo fundamentais para a preservação das condições seguras de evacuação dos ocupantes. Os autores ressaltam que a eficiência desses sistemas está diretamente relacionada ao correto dimensionamento dos equipamentos e ao atendimento dos requisitos normativos vigentes. Vieira (2018) avaliou a eficiência da exaustão de fumaça em escadas de emergência, destacando a importância da correta integração entre sistemas de ventilação e estratégias de evacuação. Em conjunto, esses estudos reforçam que o dimensionamento adequado, aliado à correta operação e manutenção, é determinante para garantir a segurança dos ocupantes em situações de incêndio.

3 METODOLOGIA

Este capítulo apresenta as definições da pesquisa, os materiais, instrumentos e EPIs, além das etapas de execução da análise proposta e o cronograma da pesquisa acadêmica.

3.1 Definições

O tipo da pesquisa é exploratória (Gil, 2007), pois há familiaridade com o problema, além de demonstrações de experiências práticas a fim de estimular a compreensão do fenômeno. Por isso, o sistema de ventilação para pressurização de escadas de emergência se baseia em leis vigentes, normas e recomendações do fabricante. É objetivado a realização de um diagnóstico de um sistema existente e a análise de sua confiabilidade.

Trata-se de uma abordagem indutiva (Lakatos; Marconi, 2017), de conexão ascendente, porque começa nas constatações particulares, do diagnóstico do sistema de ventilação para se explicar, por análise, as teorias e leis. Assim, o estudo se inicia de uma situação real, de rotina nas instalações de pressurização de escadas de emergência e utiliza normas, leis e recomendações do fabricante para analisar possíveis falhas ou melhorias a serem sugeridas. como procedimento metodológico se enquadra num estudo de caso (Gil, 2007), pois realiza um diagnóstico e análise técnica para futuras melhorias dos projetos de sistemas de ventilação para pressurização de escadas de emergência.

3.2 Materiais e recursos

As principais normas utilizadas foram a NBR 16401 (ABNT, 2024) e a Instrução Técnica nº 13, do corpo de Bombeiros do Estado de São Paulo (São Paulo, 2025), as quais regulamentam, respectivamente, técnicas para projeto de ventilação e pressurização de escadas de emergência. Além dessas duas literaturas também foram utilizadas bibliografias de relevância na área de ventilação como, Macintyre (2014) e Costa (2005), ambas trazem informações sobre o dimensionamento da rede de dutos e distribuição de ar e seus principais componentes e acessórios.

O diagnóstico da situação se realizou com a utilização de instrumentos e ferramentas de acordo com normas e recomendações do fabricante. Também foi

imprescindível o uso de Equipamentos de Proteção Individual (EPIs). Os materiais, as ferramentas, os instrumentos e EPIs são descritos na sequência.

3.2.1 Materiais, ferramentas e EPIs

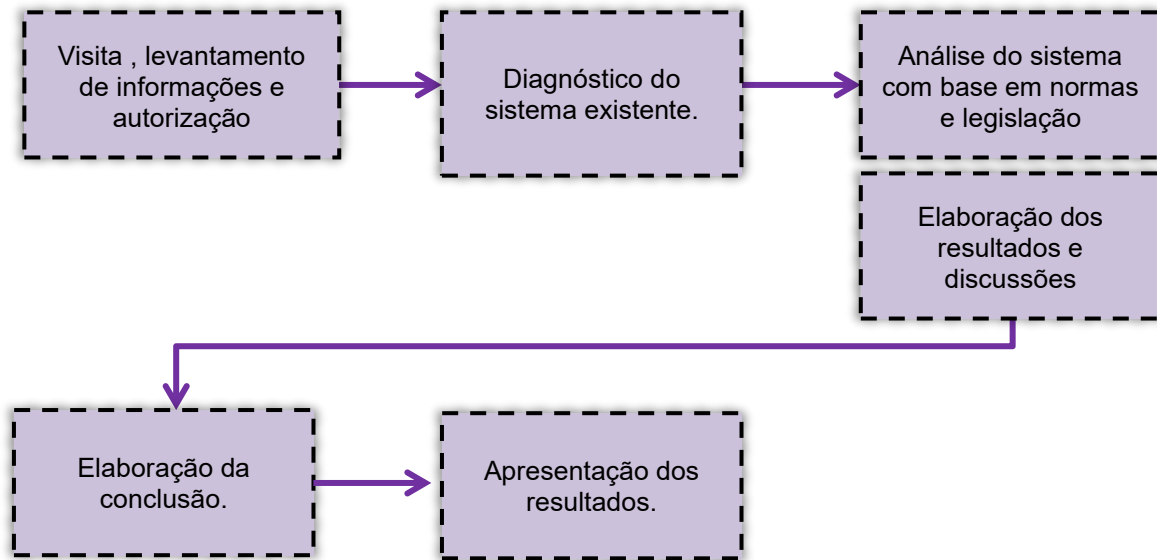
Os principais materiais e insumos utilizados foram escada portátil, máquina fotográfica (celular), prancheta, pano de limpeza, lapiseira, papel, desenho técnico do projeto e insumos diversos. As ferramentas: dois jogos de chaves (sextavada e philips) e um alicate universal. Os instrumentos: uma trena de 5 m, um anemômetro digital de fio quente, manômetro digital com duas sondas e tubos flexíveis, termômetro digital, alicate amperímetro digital. Os EPIs: luvas de proteção, óculos e botas de segurança, uniforme de proteção e protetor auricular.

3.3 Local do estudo

Trata-se de um edifício recém construído, sem moradores, com vários Blocos, sendo que o estudo aborda apenas um dos Blocos, com 23 andares e localizado no Município de São Paulo. Existem 23 PCF, sendo 22 nos pavimentos superiores e 1 no pavimento térreo. O local é de área residencial e de habitação popular e conta com o projeto de pressurização para segurança contra incêndio e todos elementos exigidos por norma. A escolha do local ocorreu em razão da facilidade de um dos integrantes do grupo em obter autorização e acesso ao local, desde que mantido o sigilo.

3.4 Etapas do trabalho

A ideia do estudo parte da experiência de um dos integrantes do grupo porque trabalha com instalações de sistemas de ventilação para pressurização de escadas de emergência. A fim de se aprofundar sobre os conhecimentos teóricos envolvidos optou-se em realizar o diagnóstico de um local e análise do sistema de acordo com as exigências normativas e de legislação. A Figura 6 ilustra o resumo das etapas do estudo proposto.

Figura 6 – Etapas do diagnóstico, análise e finalização

Fonte: Elaborado pelos autores (2026)

O processo de estudo seguiu as etapas descritas na Figura 6, sendo a Etapa 1 realizada inicialmente por meio de uma visita para conhecer o local, solicitar as devidas autorizações e obter as informações básicas necessárias. Na Etapa 2 ocorreu com uso de EPIs e apoio de materiais, ferramentas e instrumentos. Realizou-se o levantamento técnico de informações, tanto práticas, com as medições e especificações dos componentes, quanto teóricas junto a catálogos e literaturas técnicas dos fabricantes. Na etapa 3 ocorre a análise com base na referências bibliográficas e informações dos fabricantes. Foram analisados o ventilador e motor adotados no projeto, o dimensionamento da rede de distribuição de dutos e o selecionamento de componentes e acessórios da parte mecânica. Na etapa 5 é feita uma discussão sobre o atendimento dos objetivos e as implicações contraditórias. Na última Etapa 6 o trabalho foi apresentado para exame de uma banca da faculdade.

3.5 Cronograma da pesquisa

As etapas do trabalho técnico devem ocorrer concomitantes ao cronograma acadêmico da instituição escolar. O Trabalho de Conclusão de Curso é organizado, pela

Fatec Itaquera, em duas fases distintas: Pré-TCC e TCC Final, isto é, em dois semestres letivos. A fase atual representa o TCC Final e sua segunda etapa ocorrida no 1º Semestre letivo, do ano de 2026. A Figura 7 ilustra o cronograma acadêmico a ser cumprido.

Figura 7 – Cronograma acadêmico

Cronograma Geral dos Alunos de Projeto Final de TCC 2 (6º Semestre)			
Etp	Atividade	Prazo	Detalhes
ETAPA 1	Cadastro dos grupos	Até 28/02/2026 (sábado)	Cadastro feito via link disponível na página dos TCCs da Fatec Itaquera. Caso não seja efetivado na data estipulada, o representante do grupo deverá preencher o COMUNICADO DE OCORRÊNCIA (disponível no menu documentos do site do TCC), preencher a justificativa, colher assinaturas e enviar arquivo eletrônico .pdf a(o) professor(a) de TCC responsável da turma.
	Entrega da CARTA DE ACEITE de orientação devidamente preenchida e assinada pelo orientador(a) (modelo disponível no site da Fatec Itaquera)	Até 28/02/2026 (sábado)	Pessoalmente ao professor(a) ORIENTADOR(A) o documento original preenchido e assinado. Inserir o arquivo eletrônico em formato .pdf na tarefa do TEAMS do grupo ou outro recurso disponível pelo(a) professor(a) de TCC responsável da turma.
ETAPA 2	Entrega da introdução, justificativas, objetivos e delimitações com referências atualizadas.	Até 16/03/2026 (segunda-feira)	Para o(a) professor(a) ORIENTADOR(A). Inserir os arquivos eletrônicos .doc e .pdf na pasta do TEAMS do grupo ou outro recurso disponível pelo(a) professor(a) de TCC responsável da turma.
ETAPA 3	Entrega da revisão da literatura e pesquisa de mercado (se eixo tecnológico) com referências atualizadas.	Até 22/04/2026 (quarta-feira)	Para o(a) professor(a) ORIENTADOR(A). Inserir arquivos eletrônicos .doc e .pdf na pasta do TEAMS do grupo ou outro recurso disponível pelo(a) professor(a) de TCC responsável da turma.
ETAPA 4	Entrega da versão quase finalizada do TCC com seções elementos pré-textuais (mínimos obrigatórios), materiais e métodos, desenvolvimento, resultados, discussão e conclusão com referências atualizadas.	Até 18/05/2026 (segunda-feira)	Para o(a) professor(a) ORIENTADOR(A). Inserir arquivos eletrônicos .doc e .pdf na pasta do TEAMS do grupo ou outro recurso disponível pelo coordenador do TCC.
ETAPA 5	FORMULÁRIO DE AGENDAMENTO DE BANCA de Defesa Original preenchido e assinado pelo(a) professor(a) orientador(a) e participantes.	Até 18/05/2026 (segunda-feira)	Pessoalmente a(o) professor(a) ORIENTADOR(A) documento original preenchido e assinado pelos participantes. Inserir arquivo eletrônico .pdf na pasta do TEAMS do grupo ou outro recurso disponível pelo(a) professor(a) de TCC responsável da turma.
ETAPA 6	Entrega das versões digitalizadas do TCC (.doc e .pdf) contendo (1) elementos pré-textuais, (2) introdução, (3) revisão da literatura e pesquisa de mercado (se eixo tecnológico), (4) materiais e métodos (se eixo científico) ou planejamento do projeto (se eixo tecnológico), (5) Desenvolvimento, (6) Resultados e discussão, (7) Conclusão, (8) Referências, anexos e apêndices (se houver).	Até 01/06/2026 (segunda-feira)	Para o(a) professor(a) ORIENTADOR(A). Inserir arquivos eletrônicos .doc e .pdf na pasta do TEAMS do grupo ou outro recurso disponível pelo(a) professor(a) de TCC responsável da turma. Entregar uma cópia aos participantes da banca. Verificar antecipadamente com participantes da Banca de Defesa a preferência por arquivo impresso. Se for o caso, entregar também uma cópia impressa.
ETAPA 7	Defesa - COMUNICAÇÃO ORAL PRESENCIAL	De 08/06 a 13/06/2026	Agendada juntamente com o(a) professor(a) orientador(a). AVALIAÇÃO pela Banca de Defesa formada pelo(a) ORIENTADOR(A) E MAIS DOIS PROFESSORES(AS) CONVIDADOS(AS).
ETAPA 8	Entrega de (1) versão revisada do TCC em versão eletrônica, (2) formulário de ausência de plágio assinado pelos estudantes e pelo(a) professor(a) orientador(a), (3) formulário individual de autorização para publicação digital do TCC (facultativo), (4) formulário de versão revisada do TCC, (5) Formulário RIP CPS.	Até 17/06/2026 (quarta-feira)	Pessoalmente a(o) professor(a) ORIENTADOR(A) o TCC revisado (.doc e .pdf) e os formulários originais preenchidos e assinados pelos participantes. Inserir cópias dos documentos em formato eletrônico .doc e .pdf na pasta do TEAMS do grupo ou outro recurso disponível pelo(a) professor(a) de TCC responsável da turma.
	FOLHA DE ACOMPANHAMENTO de orientação preenchida e assinada pelo(a) professor(a) orientador(a).	Até 17/06/2026 (quarta-feira)	Pessoalmente a(o) professor(a) ORIENTADOR(A) documento original preenchido e assinado. Inserir cópia em formato eletrônico .pdf na pasta do TEAMS do grupo ou outro recurso disponível pelo(a) professor(a) de TCC responsável da turma.
ETAPA 9	Entrega de versão reformulada do projeto de TCC (no caso de exame)	Até 19/06/2026 (sexta-feira)	Via e-mail a(o) professor(a) ORIENTADOR(A). (reenviar caso não receba um e-mail de confirmação em até 24 h).

Fonte: TCC Fatec Itaquera (2026)

4 DESENVOLVIMENTO

Este capítulo apresenta um diagnóstico e análise dos principais conceitos e requisitos técnicos relacionados à pressurização de escadas de emergência em edifícios residenciais, com foco na proteção contra a propagação de fumaça em situações de incêndio. São abordadas as exigências normativas aplicáveis, bem como os critérios de projeto adotados para garantir a segurança dos ocupantes durante a evacuação. Além disso, são apresentadas fontes de parâmetros técnicos, fundamentos de ventilação e controle de fumaça, com base em normas brasileiras e livros especializados da área.

4.1 Diagnóstico do sistema

A seguir, são apresentados o sistema de pressurização de escadas de emergência do estudo de caso. Esta seção tem como objetivo destacar os elementos físicos e estruturais necessários para a instalação e funcionamento do sistema, com ênfase nos componentes mecânicos, elétricos e insumos. Os materiais incluem os equipamentos principais, como ventiladores e motores elétricos, os componentes auxiliares de controle e segurança, e os itens insumos, como fixadores, suportes e elementos de vedação. A seguir, são apresentados os principais componentes mecânicos que formam o sistema de pressurização.

4.1.1 Tomada de ar externo

A Figura 8, nos dá como referência o modelo utilizado no estudo e tem como função servir para captar o ar do ambiente externo. Esse ar é fundamental para o sistema de pressurização de escadas de emergência em edifícios, que tem como principal objetivo impedir a entrada de fumaça na escada em caso de incêndio.

Figura 8 – Tomada de ar externo



Fonte: Os autores (2025)

4.1.2 Filtro modelo colmeia

Serve como proteção do sistema, retendo partículas grossas (poeira, pedregulhos) e até insetos, evitando o desgaste e entupimento do ventilador. Além de manter a vazão, garantindo que a entrada de ar esteja limpa sem comprometer a vazão e a pressão essenciais para bloquear a fumaça na escada.

A Figura 9, mostra a vista interna, no interior da casa de máquinas. Sendo o filtro logo após a grelha de tomada externo ilustrada na Figura 8 anterior.

Figura 9 – Filtro metálico lavável



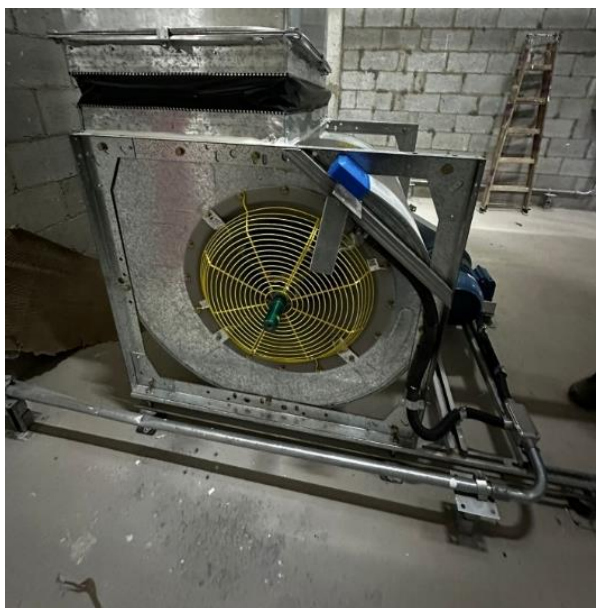
Fonte: Os autores (2025)

4.1.3 Ventilador *Limit Load* – RLD – Q 560

São ventiladores com rotor de pás inclinadas para trás, com característica de potência limitada para cada rotação. Possui alto rendimento e bocais de aspiração repuxados, conferindo excelente característica aerodinâmica (OTAM, 2026).

Na Figura 10, é demonstrado o ventilador instalado no local.

Figura 10 - Ventilador



Fonte: Os autores (2025)

4.1.4 Chave de Fluxo

Na Figura 11, temos a chave de fluxo, ela é uma proteção mecânica para o motor, caso o sistema ligue na rotação contrária, ele acaba abrindo o contato (NA) e desligando o sistema, isso acaba impedindo que o motor danifique.

Figura 11 - Fluxostato



Fonte: Cibracon (2025)

4.1.5 Dutos

O ar que é insuflado do ventilador passa pelos dutos e entra no shaft de pressurização, o ar sai em todas as grelhas e deixa a escada pressurizada. A Figura 12 trata do modelo utilizado no estudo de caso, as chapas do duto de aço galvanizada de 18 mm.

Figura 12 - Vista Lateral da rede de Dutos

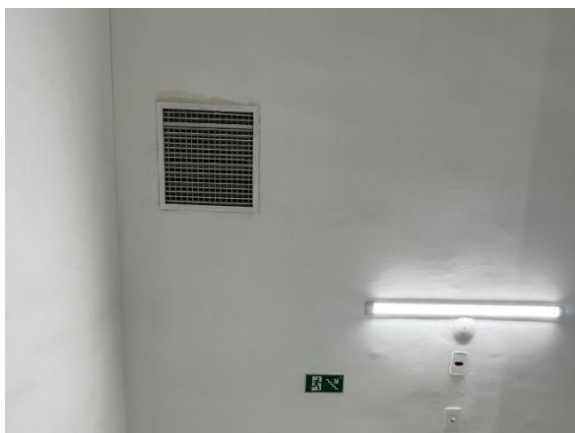


Fonte: Os autores (2025)

4.1.6 Grelhas de Escadas

São as aberturas de descarga de ar instaladas dentro da caixa da escada em cada pavimento. Elas distribuem o ar uniformemente, garantindo que a pressão positiva seja mantida ao longo de toda a rota de fuga. A Figura 13 ilustra a grelha utilizada no vigésimo andar do edifício.

Figura 13 - Saída de Grelha da Escada



Fonte: Os autores (2025)

4.1.7 Damper de Sobrepressão

É um componente essencial, ele abre automaticamente quando a pressão na escada excede o limite máximo estabelecido 60 Pa seguindo a IT-13 (São Paulo, 2025), aliviando o excesso de ar. Isso evita que as PCF (Portas Corta Fogo) da escada fiquem excessivamente difíceis de abrir por conta da alta pressão. A Figura 14 ilustra a vista interna do damper (sem ser acionado, fechado).

Figura 14 - Vista Interna do Damper de Sobrepressão



Fonte: Os autores (2025)

4.1.8 - Veneziana de Escape

É a abertura por onde o ar em excesso (aliviado pelo damper) é expelido para o exterior do edifício. É o ponto final para o ar que precisa ser retirado da escada para manter a pressão dentro da faixa ideal e 50 Pa. A Figura 15 mostra a veneziana do lado externo.

Figura 15 - Vista Externa da Veneziana de Escape



Fonte: Os autores (2025)

4.1.9 – Shaft de Alvenaria

É o local por onde é transportado o ar até as grelhas de insuflamento nas aberturas laterais. A altura é de aproximadamente 50 metros e suas paredes foram posteriormente revestidas com argamassa para menos atrito à passagem do ar. A Figura 16 mostra a parte interna com as aberturas para instalação das grelhas de insuflamento.

Figura 16 - Vista interna do Shaft



Fonte: Os autores (2025)

4.2 - Elétrica

Neste item são apresentados os principais componentes elétricos que integram o sistema. Esses elementos são responsáveis pelo acionamento, controle, funcionamento e proteção do sistema, garantindo sua operação automática em situações de incêndio. Entre os componentes estão o motor elétrico, que aciona o ventilador responsável pela pressurização; o quadro elétrico de comando, que contém os dispositivos de proteção e controle conforme as normas NBR 5410 e NBR 13570; e o diagrama elétrico, que representa a lógica de funcionamento e interligação entre os componentes, incluindo sensores, botoeiras e sistemas de alarme.

4.2.1 - Motor Elétrico

O motor elétrico fabricante Weg, W22, IR3, de 12,5 cv, é um equipamento que transforma energia elétrica em energia mecânica, utilizando o princípio da indução eletromagnética para gerar movimento rotativo. A Figura 17 ilustra o motor acoplado ao eixo do ventilado por correia.

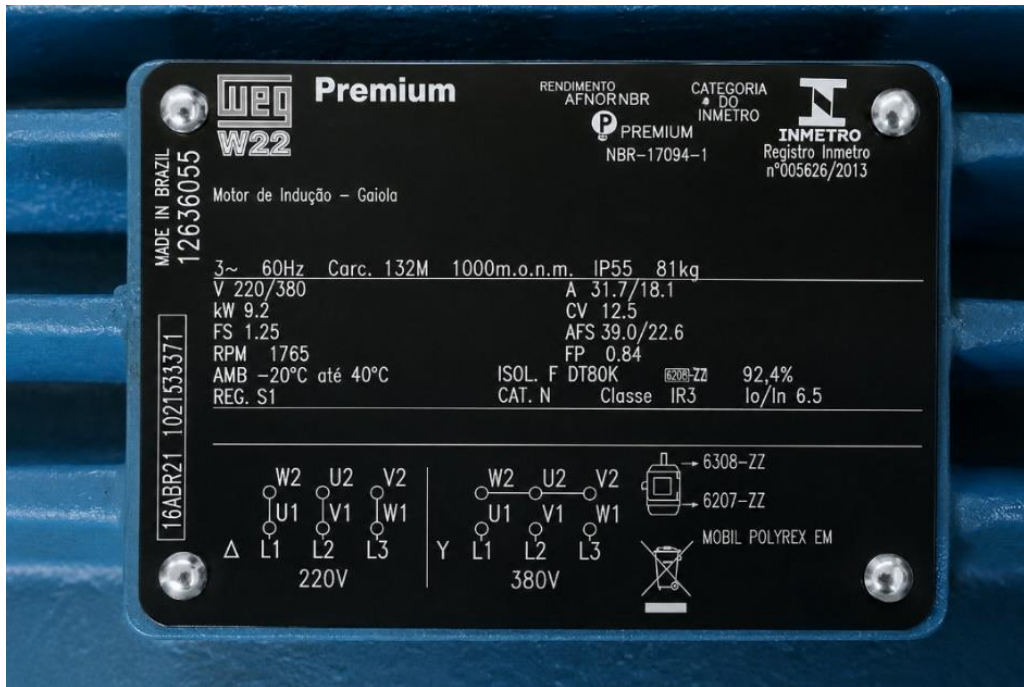
Figura 17 - Motor Elétrico



Fonte: Os autores (2025)

A Figura 18 mostra a placa de identificação e características do motor elétrico.

Figura 18 - Identificação Motor Elétrico



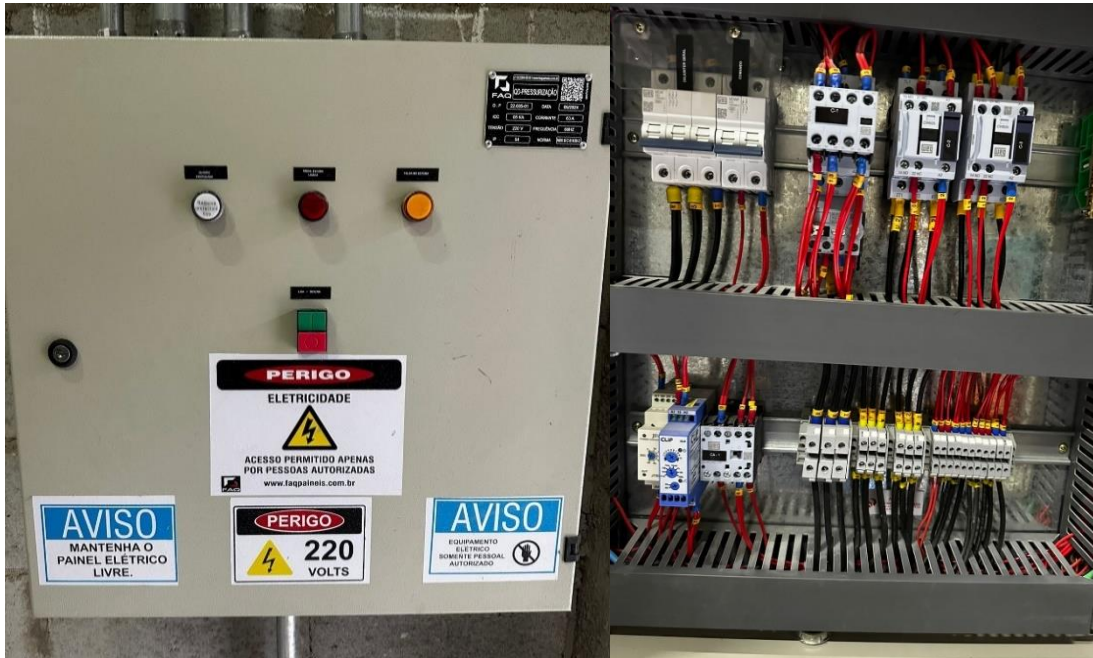
Fonte: Os autores (2025)

4.2.2 - Quadro Elétrico de Comando

O Quadro Elétrico de Comando é um painel que concentra dispositivos elétricos responsáveis por controlar, proteger e automatizar o acionamento dos sistemas de pressurização de escadas. Ele é projetado para receber energia elétrica e distribuir comandos para o motor do ventilador e sinalizações.

A Figura 19 representam o quadro elétrico, componente onde nele, se encontra os dispositivos como, disjuntores termomagnéticos, contadores, relés térmicos, temporizadores, botões de emergência, sinalizadores (luz piloto, alarme sonoro).

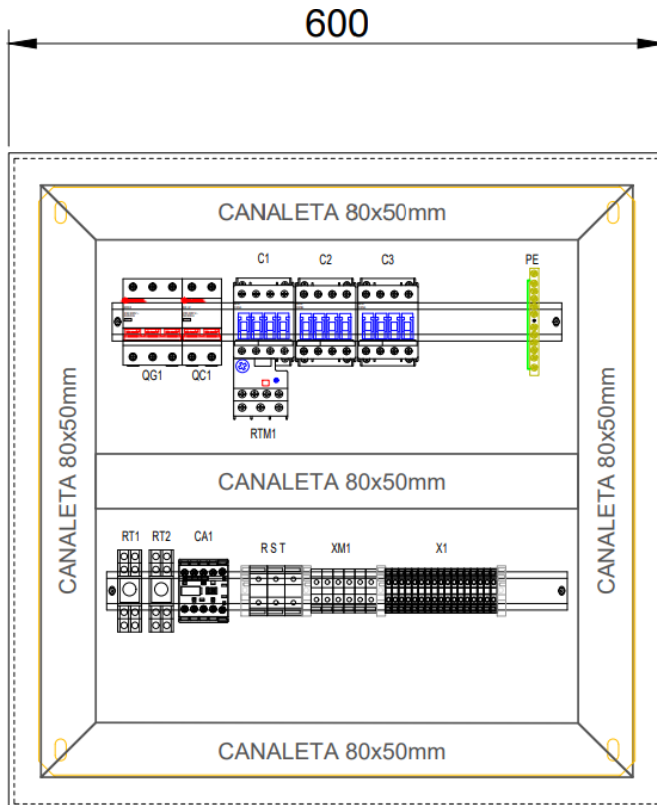
Figura 19- Vista Frontal e interna do quadro elétrico



Fonte: Os autores (2025)

Do lado direito da Figura 19 é a visão interna do quadro elétrico, evidenciando a disposição dos componentes responsáveis pelo comando elétrico e pelo comando de potência.

A Figura 20 é demonstrado a vista frontal, porém o desenho ainda em projeto confeccionado em AutoCAD, para se visualizar como ficaria a futura montagem antes de mesmo de iniciar a instalação elétrica.

Figura 20- Projeto Quadro Elétrico

Fonte: Captura - Projeto FAQ Painéis (2025)

4.2.3 - Diagrama Elétrico

O diagrama elétrico é uma representação gráfica que mostra como os componentes de um circuito elétrico estão conectados e interagem entre si. Ele é usado para projetar, instalar, operar e manter sistemas elétricos coerentes, podendo fazer ligações testes via *Software* (CadSimu), garantindo clareza e segurança ante de dar start-up no sistema. Mais detalher ver **APÊNDICE A**.

4.2.4 - Diagrama de Potência

O Diagrama de Potência é um tipo de diagrama elétrico que representa a parte de força (alimentação) de um circuito, ou seja, como a energia elétrica é distribuída para

os equipamentos que consomem maior corrente, como o motor do ventilador.

No **APÊNDICE B** é apresentado o diagrama unifilar do projeto, que apresenta as interligações do comando de potência. É possível constatar a alimentação da rede, na entrada do disjuntor (QG1) com fios de 16 mm², derivando duas fases 220 V para o comando elétrico. Logo em seguida, temos as conexões e intertravamento para o comando de potência com uma partida Estrela-Triângulo. Mantendo a corrente nominal apenas para o contator 1 (C1), acompanhado de um relé térmico (RTM1).

4.3 Insumos

Além dos equipamentos principais e componentes elétricos, o sistema de pressurização de escadas de emergência requer uma série de materiais insumos que, embora não sejam os protagonistas do sistema, desempenham papel essencial na sua montagem, fixação e vedação. Esses itens incluem parafusos, porcas, buchas, abraçadeiras, arruelas, suportes metálicos, fitas de vedação e selantes, entre outros. São utilizados para garantir a fixação segura dos dutos, ventiladores, sensores e quadros elétricos, além de contribuir para a estanqueidade do sistema e a durabilidade da instalação. Mais detalhes ver **APÊNDICE C**.

4.4 Sistema de pressurização de escadas de emergência

O sistema de pressurização de escadas tem como objetivo impedir a entrada de fumaça na rota de fuga durante situações de incêndio, mantendo a escada em condição de pressão positiva em relação aos ambientes adjacentes. Esse diferencial de pressão faz com que o fluxo de ar se desloque da escada para os corredores e ambientes externos, dificultando a infiltração de fumaça e garantindo maior segurança aos ocupantes durante a evacuação da edificação. Conforme memorial de cálculos, o dimensionamento do sistema foi desenvolvido considerando os critérios técnicos estabelecidos para sistemas de pressurização de escadas (São Paulo, 2025), contemplando o cálculo da vazão de ar necessária, dimensionamento dos dutos, determinação das perdas de carga e seleção dos equipamentos do sistema.

4.4.1 Determinação da Área de Vazamento das Portas

O primeiro passo do dimensionamento consistiu na determinação da área total de vazamento de ar pelas portas corta-fogo da escada pressurizada. Mesmo fechadas, as portas possuem pequenas frestas responsáveis pela passagem de ar. Essas áreas de vazamento precisam ser consideradas no cálculo da vazão necessária para manter a escada pressurizada (São Paulo, 2025).

Foram consideradas vinte e duas (22) portas corta-fogo nos pavimentos tipo e uma (1) na área de saída do térreo. A área equivalente de vazamento adotada para as portas dos pavimentos tipo considerou vinte e duas (22) frestas $\times 0,03\text{m}^2$ ($0,66\text{m}^2$) e para a porta localizada no térreo foi considerada área equivalente a $0,04\text{m}^2$, o que somadas ($0,66\text{m}^2 + 0,04\text{m}^2$) resultam num total de **$0,7\text{m}^2$** . Esse valor representa a área equivalente total de passagem de ar pelas frestas das PCF da escada em condição fechada.

4.4.2 Cálculo da Vazão de Ar com Portas Fechadas

Após a determinação da área total de vazamento, foi realizado o cálculo da vazão necessária pela Equação (1) para manter a pressão positiva da escada na condição de portas fechadas. Inserido os valores de área total de vazamento ($0,7\text{m}^2$), diferencial de pressão (50Pa), e índice ($N = 2$), na Equação (1) se obtém o valor de vazão de **$4,093\text{m}^3/\text{s}$** . Esse resultado representa a vazão mínima necessária para compensar os vazamentos pelas frestas das portas e manter o diferencial de pressão interno da escada.

4.4.3 Cálculo da Vazão Considerando Portas Abertas

Além da condição de portas fechadas, também foi analisada a condição crítica de evacuação da edificação, na qual duas PCF permanecem abertas simultaneamente. Nessa situação ocorre aumento significativo da perda de ar do sistema, exigindo maior vazão de insuflação. Foi considerada a abertura simultânea de duas PCF, conforme critério normalmente adotado para sistemas de pressurização de escadas. No caso se utiliza a Equação (2) e área de $1,64\text{m}^2$ para duas portas abertas ($1,64\text{m}^2 \times 2$) somada a área de frestas das 21 portas fechadas ($0,03\text{m}^2 \times 21$), totalizando uma área de **$3,91\text{m}^2$** . A respectiva área é multiplicada pela velocidade de 1m/s , portanto, a resultante é de **$3,91\text{m}^3/\text{s}$** para portas abertas. Adota-se a maior vazão, isto é, de **$4,093\text{m}^3/\text{s}$** .

4.4.4 Aplicação do Fator de Segurança

Após a determinação da vazão teórica do sistema, foi aplicado fator adicional de segurança para compensar perdas não previstas durante a operação do sistema. O acréscimo total adotado foi de 50%, sendo 25% para vazamentos em dutos e rede de distribuição e 25% para vazamentos não identificados. Portanto, a vazão final calculada é de $4,093 \text{ m}^3/\text{s} \times 1,5$, o que resulta numa vazão final de **$6,14 \text{ m}^3/\text{s}$ ou $22.104 \text{ m}^3/\text{h}$** . Esse valor passou a ser a vazão final adotada para o dimensionamento do sistema.

4.4.5 Cálculo da perda de carga

O cálculo da perda de carga que consta no memorial de cálculo levou em consideração os trechos retos de chapa galvanizada, assim como os de alvenaria. Também considerou as singularidades como curvas, transformações, além dos componentes oriundos de fabricantes, como venezianas, filtros, grelhas etc. Na Figura 21 é possível verificar tudo o que foi considerado no cálculo.

Figura 21- Planilha de cálculo das perdas de carga

Item	Peça	Dimensão	Comprimento	Vazão m^3/h	Velocidade m/s	Perda de carga unitária mm CA	Perda de carga mm CA
1	Veneziana	1,5 m x 1,5 m	----	22104	----	----	3,7
2	Filtro	1,5 m x 1,5 m	----	22104	----	----	2,1
3	Duto trecho reto	0,85 m x 0,55 m	0,9 m	22104	13,13	0,226	0,203
4	Curva 90°	0,85 m x 0,55 m	----	22104	13,13	----	1,469
5	Duto trecho reto	0,85 m x 0,55 m	0,15 m	22104	13,13	0,226	0,034
6	Transformação	0,85 m x 0,55 para 0,85 m x 0,5 m	----	22104	14,45	----	4,099
7	Curva 90°	0,85 m x 0,50 m	----	22104	14,45	----	1,754
8	Duto trecho reto	0,85 m x 0,50 m	0,7	22104	14,45	0,291	0,204
9	Curva 90°	0,85 m x 0,50 m	----	22104	14,45	----	1,754
10	Duto trecho reto	0,85 m x 0,50 m	1,38	22104	14,45	0,291	0,402
11	Curva 90°	0,85 m x 0,50 m	----	22104	14,45	----	1,754
12	Duto trecho reto	0,85 m x 0,50 m	0,44	22104	14,45	0,291	0,128
13	Transformação	0,85 m x 0,50 para 1,16 x 0,56 m	----	22104	9,45	----	1,754
14	Duto trecho reto (alvenaria)	1,16 x 0,56 m	7,3	22104	9,45	0,2	1,46
15	Transformação	1,16 x 0,56 m para 1,16 x 2,11 m	----	22104	2,51	----	0,124
16	Duto trecho reto (alvenaria)	1,16 x 2,11 m	59,18	22104	2,51	0,2	11,836
17	Grelha	0,4 m x 0,4 m	----	1004	1,74	----	1,5
18	Damper sobrepressão	----	----	----	----	----	5
SUBTOTAL							39,275
19	Pressão para escape do ar						44,275
20	Acréscimo de 30%	----	----	----	----		1,3
TOTAL							57,56

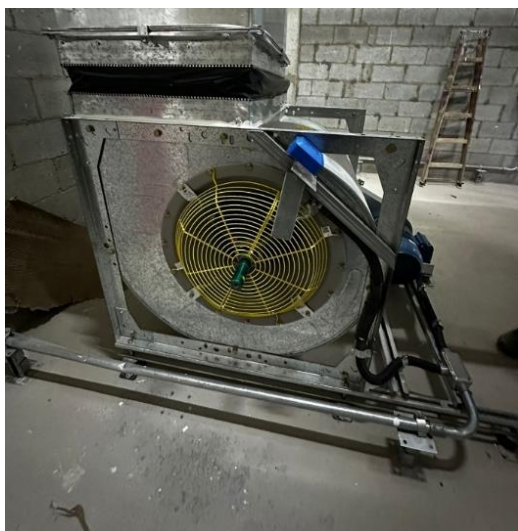
Fonte: Memorial de cálculo (2025)

O total foi de 57, 56 mm CA, mas se considera **60 mm CA ou 600 Pa**.

4.5 Ventilador

A seleção final do ventilador foi realizada considerando simultaneamente a vazão total do sistema ($22.104 \text{ m}^3/\text{h}$), a pressão estática requerida (60 mm CA) e a densidade do fluido recomendada por São Paulo (2025), de $1,204 \text{ kg/m}^3$. O ventilador selecionado deve garantir operação contínua durante situações de incêndio, mantendo a escada pressurizada e impedindo a entrada de fumaça na rota de fuga da edificação. O ventilador existente no local é do modelo RLD 560, linha Q, de dupla aspiração, acionamento por transmissão de correias, do fabricante OTAM (2016), específico para sistemas de ventilação e exaustão. Mais detalhes sobre as características do ventilador ver **ANEXO E**. A Figura 22 ilustra o equipamento instalado no local.

Figura 22- Ventilador centrífugo Limit Load



Fonte: Os autores (2025)

4.6 Procedimentos de aprovação

Após a conclusão da instalação, a equipe, juntamente com o engenheiro mecânico responsável, realiza os testes de pressão e faz o balanceamento do fluxo de ar das grelhas nas escadas. São feitas três medições por grelha, utilizando um anemômetro, abrangendo desde o pavimento térreo até o último andar. Ao final, será calculada a média de todas as medições. A planilha também contém informações sobre as dimensões da grelha, sua área e a vazão total de ar.

A Tabela 1 apresenta o registro do balanceamento de insuflamento das grelhas de pressurização instaladas na escada de emergência. Esse procedimento tem como objetivo verificar se a vazão de ar em cada pavimento atende aos parâmetros definidos em projeto, garantindo a pressão positiva necessária para impedir a entrada de fumaça durante situações de incêndio. Para isso, foram realizadas três medições de velocidade do ar em cada grelha utilizando um anemômetro, abrangendo todos os pavimentos, do térreo ao último andar. A média dessas medições foi calculada e, com base na área da grelha, determinou-se a vazão real (Q Total) em m³/h. A tabela também apresenta a vazão prevista em projeto (Q Projeto), permitindo a comparação entre valores medidos e projetados. Além disso, são registradas observações sobre as condições de balanceamento, indicando grelhas que não puderam ser ajustadas por falta de registro ou condições inadequadas, recomendando-se sua substituição.

Tabela 1 – Dados das medições dos pavimentos

PLANILHA 01 - BALANCEAMENTO DE INSUFLAMENTO - GRELHAS DA PRESSURIZAÇÃO												
Item	Pavimento	Local	Tag	Medição 01 V (m/s)	Medição 02 V (m/s)	Medição 03 V (m/s)	Média (m/s)	Tamanho da Grelha (cm)	Área da Grelha (m²)	Q Total (m³/h)	Q Projeto (m³/h)	Observação
1	Térreo	ESCADA EMERGÊNCIA	GI-01	2	2,2	2,3	2,166667	40x40	0,16	1248	1005	(*)
2	1º pav.	ESCADA EMERGÊNCIA	GI-01	2,1	2	2,3	2,156333	40x40	0,16	1228,8	1005	(*)
3	2º pav.	ESCADA EMERGÊNCIA	GI-01	2	1,8	2	1,933333	40x40	0,16	1113,6	1005	(*)
4	3º pav.	ESCADA EMERGÊNCIA	GI-01	1,9	1,6	2	1,933333	40x40	0,16	1056	1005	(*)
5	4º pav.	ESCADA EMERGÊNCIA	GI-01	1,9	1,7	1,5	1,7	40x40	0,16	979,2	1005	(*)
6	5º pav.	ESCADA EMERGÊNCIA	GI-01	1,8	2	1,7	1,833333	40x40	0,16	1056	1005	(*)
7	6º pav.	ESCADA EMERGÊNCIA	GI-01	2	2,2	1,6	1,933333	40x40	0,16	1113,6	1005	(*)
8	7º pav.	ESCADA EMERGÊNCIA	GI-01	1,6	2	1,8	1,8	40x40	0,16	1036,6	1005	(*)
9	8º pav.	ESCADA EMERGÊNCIA	GI-01	1,8	1,8	1,9	1,833333	40x40	0,16	1056	1005	(*)
10	9º pav.	ESCADA EMERGÊNCIA	GI-01	1,7	2	1,7	1,8	40x40	0,16	1036,6	1005	(*)
11	10º pav.	ESCADA EMERGÊNCIA	GI-01	1,8	1,9	1,8	1,833333	40x40	0,16	1056	1005	(*)
12	11º pav.	ESCADA EMERGÊNCIA	GI-01	2	1,9	2,1	2	40x40	0,16	1152	1005	(*)
13	12º pav.	ESCADA EMERGÊNCIA	GI-01	1,7	1,7	1,8	1,733333	40x40	0,16	998,4	1005	(*)
14	13º pav.	ESCADA EMERGÊNCIA	GI-01	1,9	1,7	1,9	1,833333	40x40	0,16	1056	1005	(*)
15	14º pav.	ESCADA EMERGÊNCIA	GI-01	1,9	1,8	1,5	1,7	40x40	0,16	979,2	1005	(*)
16	15º pav.	ESCADA EMERGÊNCIA	GI-01	1,9	1,8	1,7	1,733333	40x40	0,16	998,4	1005	(*)
17	16º pav.	ESCADA EMERGÊNCIA	GI-01	1,7	1,8	2	1,833333	40x40	0,16	1056	1005	(*)
18	17º pav.	ESCADA EMERGÊNCIA	GI-01	1,7	2	1,6	1,833333	40x40	0,16	1056	1005	(*)
19	18º pav.	ESCADA EMERGÊNCIA	GI-01	1,7	1,7	1,6	1,666667	40x40	0,16	960	1005	(*)
20	19º pav.	ESCADA EMERGÊNCIA	GI-01	1,8	1,8	2	1,866667	40x40	0,16	1075,2	1005	(*)
21	20º pav.	ESCADA EMERGÊNCIA	GI-01	1,8	1,8	1,7	1,766667	40x40	0,16	1017,6	1005	(*)
22	21º pav.	ESCADA EMERGÊNCIA	GI-01	1,7	1,8	1,7	1,766667	40x40	0,16	998,4	1005	(*)
Q Total										22329,6	22104	
(*) Foi possível efetuar o balanceamento nestas grelhas devido à condições favoráveis de registro nas mesmas. (**) Por falta de registro, não foi possível efetuar o balanceamento nas grelhas, desta forma recomendamos a substituição das mesmas.												

Fonte: Elaborado pelos autores (2025)

O procedimento de verificação consistiu na realização de medições da velocidade do ar nas grelhas de insuflamento da escada pressurizada. Inicialmente, foram efetuadas três medições preliminares para validação das condições de ensaio. Em seguida, foram coletadas doze medições em diferentes pontos do sistema, mantendo-se a porta da

escada aberta, conforme os critérios estabelecidos para avaliação do desempenho da pressurização.

Os valores obtidos foram organizados em tabela e submetidos ao cálculo da média, permitindo a comparação dos resultados com os critérios de aceitação estabelecidos para o sistema. De acordo com os parâmetros adotados, a velocidade média do ar deve permanecer entre 1 m/s e 2 m/s, garantindo condições adequadas para impedir a entrada de fumaça na rota de fuga.

A Tabela 2 apresenta os resultados das medições realizadas, enquanto a Figura 23 mostra o registro fotográfico do procedimento executado durante os ensaios de campo.

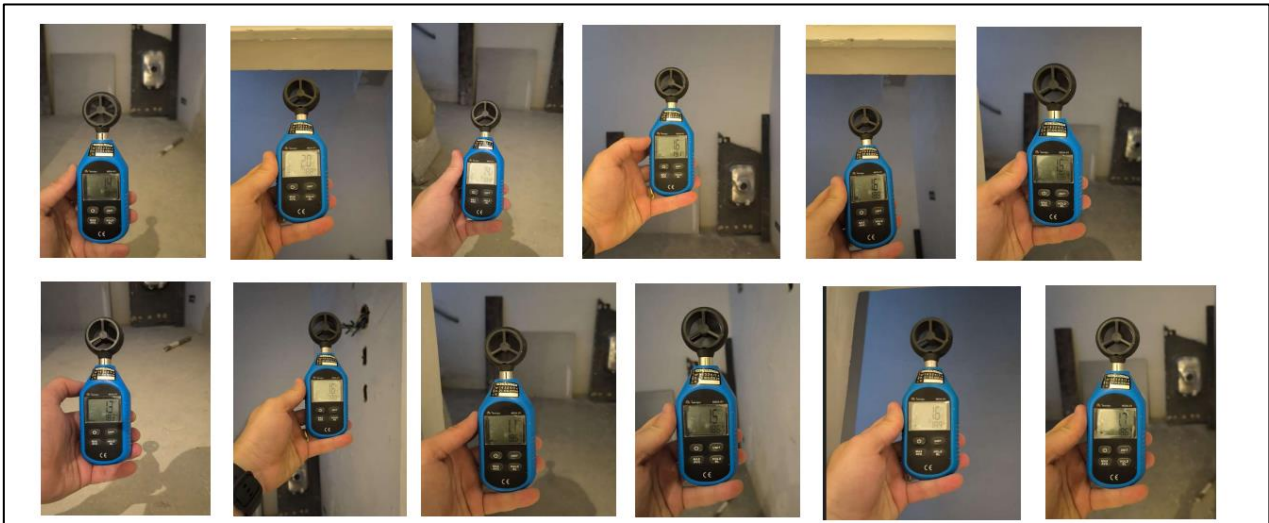
Tabela 2 – Dados das medições dos pavimentos

PLANILHA 02 - MEDIÇÃO DA VELOCIDADE DO AR NAS PORTAS PCF CONSIDERADAS ABERTAS DURANTE A FUGA (CONFORME IT 13/2025)										
Item	Pavimento	Local	Medição 01 V (m/s)	Medição 02 V (m/s)	Medição 03 V (m/s)	Medição 04 V (m/s)	Medição 05 V (m/s)	Medição 06 V (m/s)	Média (m/s)	Observação
1	10º	PORTA ABERTA	1,4	2	1,4	1,6	1,6	1,5	1,525	(*)
			Medição 07 V (m/s)	Medição 08 V (m/s)	Medição 09 V (m/s)	Medição 10 V (m/s)	Medição 11 V (m/s)	Medição 12 V (m/s)		
			1,3	1,6	1,1	1,5	1,6	1,7		

(*) Para efeito de Teste, foi adotado a porta do Térreo aberta durante as medições com todas as demais portas fechadas, consideração conforme memorial de cálculo de Projeto.

Fonte: Elaborado pelos autores (2025)

Figura 23 - Medições velocidades



Fonte: Os autores (2025)

Após a conclusão dos testes de velocidade, inicia-se o ensaio de pressão utilizando um micro manômetro. Para alcançar a pressão requerida, é crucial que todas as Portas Corta-Fogo (PCF) estejam hermeticamente fechadas, garantindo assim a pressurização positiva da escada. Uma vez que as portas são fechadas, a pressão interna da escada é medida. O processo envolve a utilização de duas sondas: uma é posicionada no interior da escada, e a outra é conectada ao micro manômetro, que permanece no exterior. É imperativo seguir o protocolo completo para que a pressão correta (entre 50 e 60Pa), conforme a IT 13 do Corpo de Bombeiros (São Paulo, 2025) seja atingida. Na Figura 24, apresenta os dados obtidos nas medições bem como as fotos do local e do equipamento de medição de pressão.

Figura 24 - Testes de Pressão Interna



Fonte: Os autores (2025)

Após o diagnóstico e detalhamento de todo sistema de ventilação para pressurização de escadas de emergência, é realizada a seguir uma análise técnica sobre as evidências e os dados do projeto.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Este capítulo apresenta os resultados da análise realizada no sistema de ventilação para pressurização de escadas de emergência.

5.1 Tomada de ar externo e filtro

Durante o estudo de otimização, foi avaliada a captação de ar externo do sistema de pressurização. A veneziana externa do projeto original possui o tamanho de 1,5 m x 1,5 m, mas não há informação do modelo e nem da área livre de passagem. Porém, ao verificar o sistema em operação não se notou nenhuma dificuldade para o escoamento do ar. Em pesquisas a uma veneziana de aletas fixas semelhante (1,58 m x 1,48 m) do fabricante TROX, a respectiva veneziana possui área livre para vazão de 16034 m³/h, operando numa velocidade de 2 m/s, até 40084 m³/h, com a velocidade de escoamento do ar passando por ela de 5 m/s. Para melhor controle do ruído e da vazão sugere-se uma veneziana com registro, em que é possível fazer a regulagem das aletas e regular a velocidade do ar de entrada.

No entanto, na prática as dimensões originais da veneziana e sua área de escoamento atende a vazão necessária para o projeto. A veneziana estacionária também evita que o ar atinja uma velocidade maior, o que geraria mais perda de carga, ruído e perda de eficiência. Logo, manter a mesma veneziana evita alterações na fachada e reduz o impacto na obra. Então, mesmo com a proposta de mudar a posição do ventilador e o traçado dos dutos, a veneziana atual atende perfeitamente o que o sistema precisa para funcionar conforme o projeto.

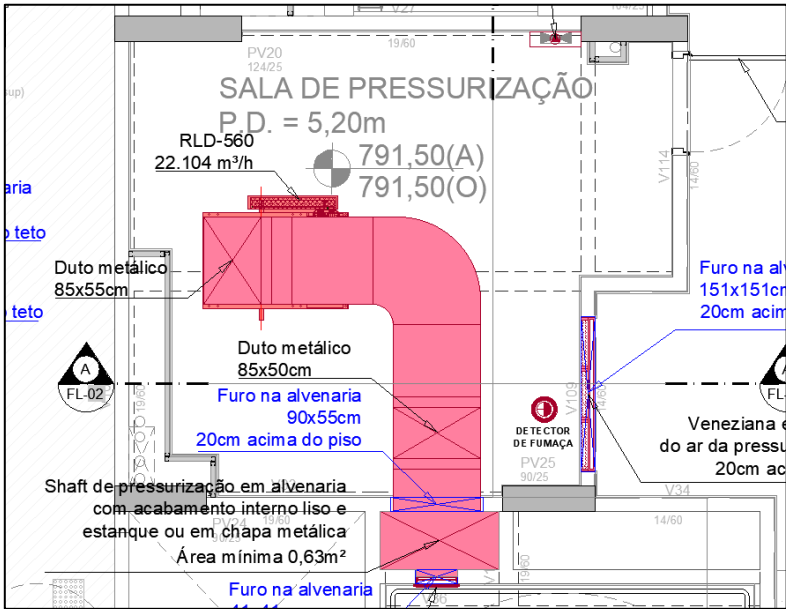
5.2 Rede de dutos

A partir da análise do projeto original, desenvolveu-se um estudo de melhoria focado na otimização do sistema de pressurização da escada de emergência. O objetivo principal foi reduzir os custos de implantação, mitigar as perdas de carga na rede de dutos e facilitar as futuras intervenções de manutenção.

No layout inicial, o ventilador se encontra numa posição elevada dentro da sala de pressurização. Essa disposição exige um duto metálico vertical de aproximadamente 5 metros para conectar o equipamento à tomada de ar externo, além de uma curva de 90°

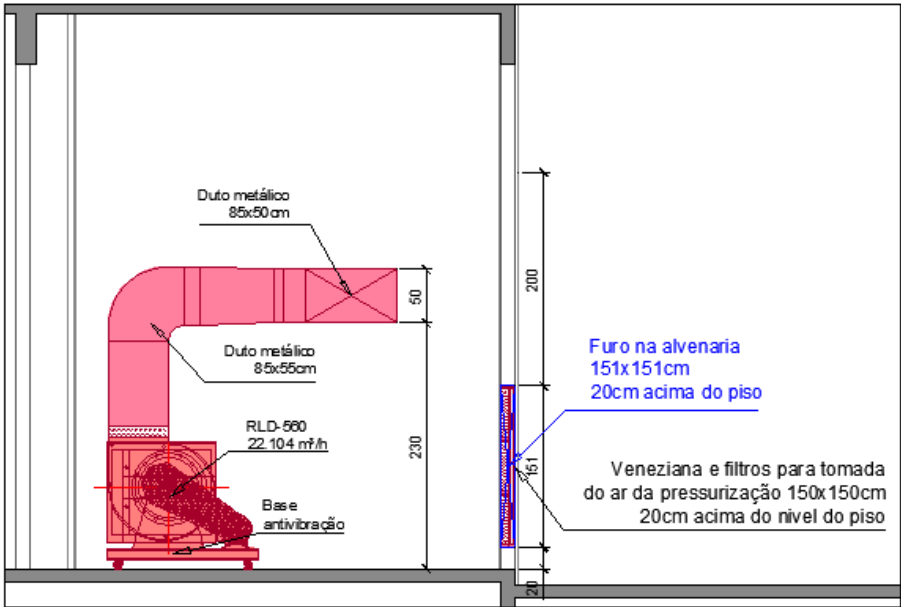
que aumenta a resistência ao escoamento. As Figuras 25, 26 e 27 representam o desenho técnico da rede de dutos do projeto executado.

Figura 25- Vista de planta da rede de dutos



Fonte: Elaborado pelos autores (2025)

Figura 26- Dutos saindo do ventilador



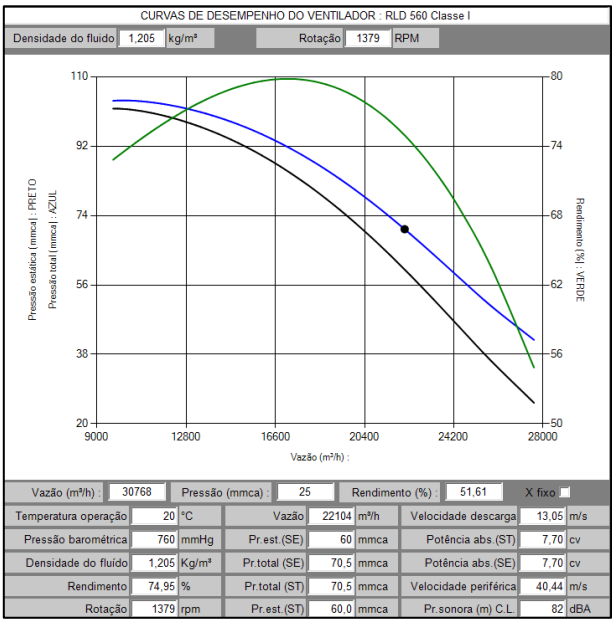
Fonte: Elaborado pelos autores (2025)

5.3 Ventilador existente

A seleção final do ventilador foi realizada considerando simultaneamente a vazão total do sistema (22.104 m³/h), a pressão estática rquerida (60 mm CA) e a densidade do fluido recomendada por São Paulo (2025), de 1,204 kg/m³. O ventilador selecionado garante a operação contínua durante situações de incêndio, mantendo a escada pressurizada e impedindo a entrada de fumaça na rota de fuga da edificação. O ventilador existente no local é do modelo RLD 560, linha Q, de dupla aspiração, acionamento por transmissão de correias, do fabricante OTAM (2016), específico para sistemas de ventilação e exaustão. Suas características de operação podem ser melhor verificadas na Figura 30, extraída do *software* gratuito disponibilizado pelo fabricante para seleção na *internet*, ou no **ANEXO E** desta documentação.

Na Figura 30 é possível observar uma linha azul (pressão total de 70,5 mm CA) e um ponto na cor preta, o que evidencia os valores da intersecção do ponto de operação do ventilador com a vazão e as perdas de cargas somadas (estática 60 mm CA e dinâmica 10,5 mm CA). O ventilador atende com folga em ambos os requisitos de projeto comparado com a curva de rendimento (cor verde) do motor do ventilador.

Figura 30- Características e curva do ventilador existente



Fonte: Software OTAM (2018)

5.4 Perda de carga

A principal vantagem técnica da nova configuração proposta no item 5.2 é a diminuição da perda de carga total. Como o traçado original força o ar a percorrer um caminho longo e com mudanças bruscas de direção, o atrito com as paredes internas dos dutos é elevado. Ao simplificar o trajeto, o escoamento torna-se mais eficiente. Isso permite que a energia fornecida pelo ventilador seja aproveitada majoritariamente para a pressurização efetiva da escada, resultando nos seguintes benefícios:

- Menor resistência ao fluxo de ar;
- Atenuação do nível de ruído do sistema;
- Maior estabilidade operacional.

Durante todo processo de otimização do sistema, foram consideradas as mesmas perdas de carga na veneziana externa, filtros, grelhas de insuflamento e o escape (damper e veneziana externa de escape), como mencionado anteriormente. A rede de dutos, devido a alteração proposta, foi diminuída e, conseqüentemente, se tem menos perdas. Para o trecho proposto foi adotado duto metálico com as mesmas dimensões de: 0,85 m x 0,55 m. O comprimento desse trecho é de 1,8 m, o que resulta numa perda de 0,4 mm CA ao se utilizar as mesmas condições do projeto e da perda unitária do memorial de cálculos apresentado. Ao se utilizar a Equação (4) ou ábaco do **ANEXO D** para cálculos de chapas galvanizadas em sistemas de ventilação, a perda de carga resultou em 0,47 mm CA.

Somando todos os componentes e equipamentos (veneziana, filtro, lonas etc.) do memorial de cálculos apresentado, a perda estática total foi de 26,056 mm CA, a qual foi adicionado o percentual de segurança (30%), totalizando uma perda de carga de 33,87 mm CA, arredondando para **35 mm CA**. Assim, se tem uma redução aproximada de 42% do valor apresentado (60 mm CA) no memorial de cálculos. Sem contar que existem peças (itens 11, 12 e 13 da Figura 21) que estão no memorial, mas não foram localizadas no local da instalação.

5.5 Ventilador proposto

Após a realização das melhorias propostas no sistema de pressurização, foi necessário efetuar uma nova seleção do ventilador para verificar o impacto da redução das perdas de carga obtidas com a otimização do traçado dos dutos. Para essa etapa foi utilizado o *software* de seleção OTAM, desenvolvido pela empresa Soler & Palau (S&P), amplamente utilizado para dimensionamento e seleção de ventiladores em sistemas de ventilação e pressurização.

Foram inseridos no *software* todos os parâmetros de projeto, incluindo a vazão requerida de 22.104 m³/h, as condições ambientais do local de instalação e a nova perda de carga total calculada para o sistema, que passou de aproximadamente 60 mm CA no projeto original para 35 mm CA, após as modificações realizadas. Com base nessas informações, o *software* selecionou o ventilador RLD 560 Classe I, operando a uma rotação de 1.236 rpm e apresentando rendimento de 67,85 %, valor considerado elevado para aplicações dessa natureza. O equipamento foi capaz de atender integralmente à vazão exigida pelo sistema, mantendo a pressão necessária para a pressurização da escada de emergência.

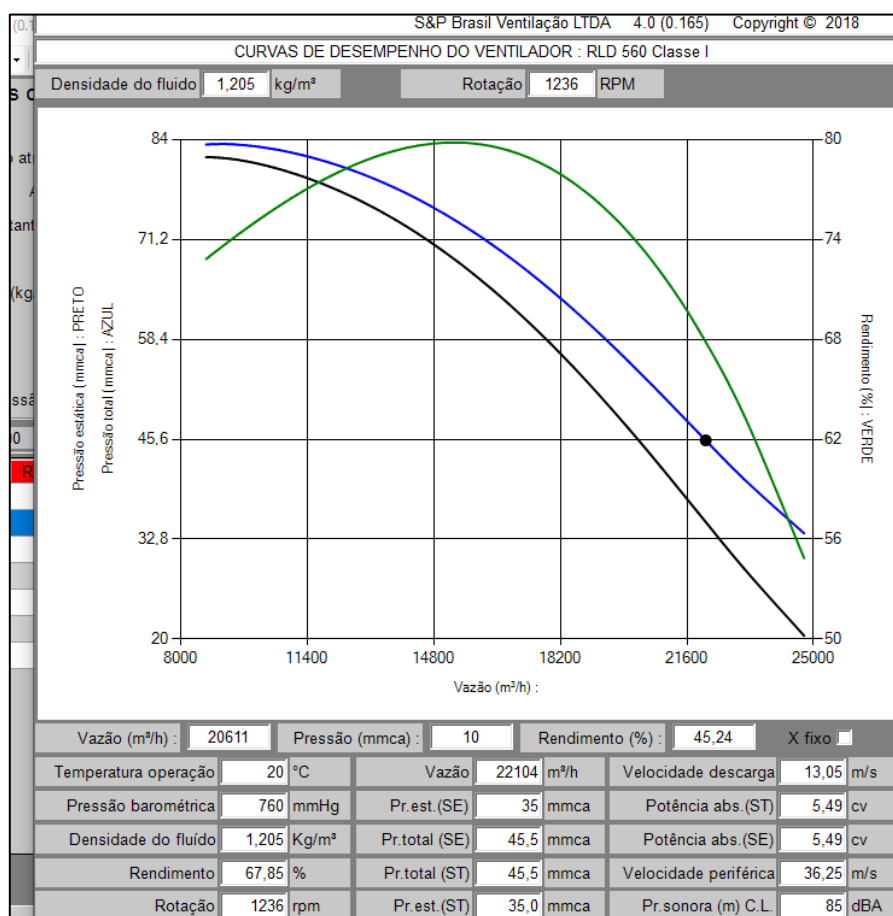
A potência absorvida pelo ventilador proposto em operação é de aproximadamente 5,49 cv no eixo, enquanto que no ventilador existente é de 7,7 cv, com isso uma redução de 2,21 cv no consumo energético do motor do ventilador, correspondente a aproximadamente 29%. Esse resultado demonstra uma redução significativa da potência necessária quando comparada ao projeto original, uma vez que a diminuição das perdas de carga permitiu que o ventilador operasse em condições mais favoráveis.

A redução da pressão requerida pelo sistema representa um dos principais benefícios da proposta de otimização. Como a pressão está diretamente relacionada à energia necessária para movimentar o ar, a diminuição de 60 mm CA para 35 mm CA possibilitou a utilização de um conjunto moto-ventilador mais econômico, reduz tanto o consumo de energia elétrica quanto os custos de aquisição dos equipamentos. Além dos benefícios energéticos, a nova configuração proporciona menor esforço mecânico ao ventilador, contribuindo para o aumento da vida útil dos componentes, redução dos custos de manutenção e maior confiabilidade operacional do sistema.

Os resultados obtidos através do software OTAM comprovam que as alterações

propostas no layout da instalação foram tecnicamente viáveis e eficientes, demonstrando que a simplificação do trajeto dos dutos e o reposicionamento do ventilador proporcionaram ganhos significativos em desempenho, economia e facilidade de manutenção, sem comprometer os requisitos de segurança exigidos para o sistema de pressurização de escadas. A Figura 31 mostra a curva do ventilador e seus valores característicos.

Figura 31- Características e curva do ventilador proposto



Fonte: Software OTAM (2018)

5.6 Outras vantagens

Outras melhorias qualitativas podem ser constatadas com as respectivas mudanças. Uma modificação relevante foi a especificação de um ventilador com insuflação frontal, posicionando o motor elétrico e o sistema de transmissão (polias e

correias) em uma área mais livre para fazer a manutenção do sistema. Essa melhoria não apenas eleva o nível de segurança do operador, mas também reduz o tempo de máquina parada (*downtime*) e os custos operacionais ao longo da vida útil do sistema. Ao reposicionar o maquinário melhora a organização da sala de pressurização. A eliminação do duto vertical de grande porte liberou área útil no ambiente, facilitando a ergonomia e a circulação dos técnicos de manutenção. Essa área livre também se mostra vantajosa para o caso de eventuais ampliações ou modernizações futuras do sistema.

A otimização também gerou um impacto positivo direto nos custos de execução devido à redução quantitativa de materiais. Ao comparar os cenários, a nova disposição demanda menos insumos para a montagem, destacando-se a economia em:

- Dutos metálicos e chapas galvanizadas;
- Conexões e elementos de transição;
- Suportes mecânicos, parafusos, chumbadores e fixadores em geral;
- Tempo de fabricação e montagem em obra.

Além da economia material, há benefícios na otimização do cronograma de obra. A redução no número de componentes diminui diretamente as horas de mão de obra necessárias para a fabricação, transporte e fixação das peças.

6 CONCLUSÃO

Este Trabalho de Conclusão de Curso teve como objetivo diagnosticar e analisar o sistema de ventilação para pressurização de escadas de emergência de um prédio vertical residencial. Por meio de um estudo de caso real foram avaliados todos os critérios do projeto, funcionamento e conformidade com os requisitos estabelecidos pelas normas e instruções técnicas vigentes.

A partir da revisão realizada, é possível compreender a importância desse sistema para a segurança contra incêndio, como uma das principais medidas para garantir a integridade das rotas de fuga e a preservação da vida dos ocupantes durante situações de emergência. O estudo também permitiu aprofundar os conhecimentos sobre os princípios de funcionamento desses sistemas, seus componentes mecânicos e elétricos, bem como os critérios normativos aplicáveis ao seu dimensionamento e operação.

Através das visitas técnicas e do levantamento das características da edificação analisada, foram identificados os principais elementos que ajudam a compreender o sistema de pressurização, incluindo tomada de ar externo, filtragem, ventilador, dutos, grelhas para insuflamento, damper de sobre pressão, veneziana de escape, motor elétrico e quadro de comando. A análise desses componentes permitiu compreender o funcionamento integrado do sistema e sua importância para a manutenção da pressão positiva no interior das escadas de emergência.

A conferência e os cálculos desenvolvidos ao longo do trabalho demonstraram a aplicação prática dos conceitos de ventilação e controle de fumaça utilizados no dimensionamento de sistemas de pressurização. A determinação da vazão de ar necessária, das perdas de carga e da pressão total do sistema viabilizou a seleção adequada dos componentes, evidenciando a importância de um projeto tecnicamente fundamentado para garantir o desempenho esperado em situações de incêndio.

Além do diagnóstico e avaliação do sistema existente, o estudo propõe melhorias relacionadas à otimização do trajeto dos dutos e à redução das perdas de carga. Os resultados obtidos demonstram que a simplificação do percurso do ar proporcionou redução significativa da perda de pressão do sistema, passando de 60 mm CA para 40 mm CA. Como consequência, tornou-se possível a proposta de utilização de um motoventilador com menor potência, reduzindo o consumo de energia elétrica e

proporcionando economia operacional.

Dessa forma, os objetivos propostos para este trabalho foram atingidos, uma vez que foi realizado o diagnóstico do sistema existente, apresentados os cálculos de dimensionamento, analisados os critérios de seleção de componentes e equipamentos e, por fim, desenvolvida uma proposta de otimização técnica e econômica para o sistema estudado.

Conclui-se que os sistemas de ventilação para pressurização de escadas de emergência desempenham papel fundamental na proteção da vida humana em edificações verticais residenciais, constituindo uma importante barreira contra a propagação da fumaça durante incêndios. Além de atender as exigências normativas, o correto dimensionamento e a adequada manutenção desses sistemas contribuem diretamente para a segurança dos ocupantes e para a eficiência das operações de evacuação e combate ao incêndio.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 9077**: Saídas de emergência em edifícios. Rio de Janeiro, 2025.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 13570**: Instalações elétricas em locais de afluência de público - Requisitos específicos. Rio de Janeiro, 2025b.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 16401** – 1 e 2. Instalações de Ar-Condicionado – Sistemas Centrais e Unitários. Rio de Janeiro: ABNT, 2024.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 14880**: Sistemas de pressurização de escadas de segurança em edificações — Requisitos. Rio de Janeiro, 2014.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5410**: Instalações Elétricas de baixa tensão. Rio de Janeiro, 2008.

BOLZONI, Augusto Antonioli. **Análise de Desempenho de Escadas Enclausuradas à Prova de Fumaça**: Simulação Computacional da Efetividade de Proteção Relativa à Ventilação Natural. 2022. Dissertação (Mestrado em Engenharia) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica. Escola de Engenharia. Porto Alegre: UFRGS, 2022. Disponível em: https://sucupira-legado.capes.gov.br/sucupira/public/consultas/coleta/trabalhoConclusao/viewTrabalhoConclusao.jsf?popup=true&id_trabalho=13088462 Acesso em: 31 mar. 2026.

COSTA, Ennio Cruz da. **Ventilação**. São Paulo: Edgard Blücher, 2005.

GLOBO. Memórias Globo. **Incêndio no Edifício Joelma**. Rio de Janeiro: Globo, 2021. Disponível em: <https://memoriaglobo.globo.com/jornalismo/coberturas/incendio-no-edificio-joelma/noticia/incendio-no-edificio-joelma.ghtml>. Acesso em: abr. 2026.

KLOTE, John H.; MILKE, James A. **Principles of Smoke Management**. Atlanta: American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers – ASHRAE, 2002.

KLOTE, John H. *et al.* **Fire Protection Engineering**. 5. ed. Quincy: National Fire Protection Association – NFPA, 2016.

MACINTYRE, Archibald Joseph. **Ventilação industrial e controle da poluição**. 3 ed Rio de Janeiro LTC, 2014.

MARASTON, O. F.; MONSOUR, A. L. N.; SILVA, S. A. da. Estudo de Caso de Escadas Pressurizadas em Edifício Comercial Localizada em Londrina/PR. **Revista FT**, 2025. DOI: 10.69849/revistaft/cs10202505190947. Disponível em:

<https://revistافت.com.br/estudo-de-caso-de-escadas-pressurizadas-em-edificacao-comercial-localizada-em-londrina-pr/> Acesso em: 31 mar. 2026.

MESQUITA, A. L. S.; GUIMARÃES, F. A.; NEFUSSI, N. **Engenharia de Ventilação Industrial**. São Paulo: CETESB, 1988.

MILKE, James A.; KLOTE, John H. **Design of Smoke Management Systems**. Atlanta: ASHRAE, 2012.

OTAM. S & P Brasil Ventilação Ltda. **Ventiladores centrífugos tipo Limit Load: RLS/ RLD L e Q**. Porto Alegre, SC: OTAM, 2026. Disponível em: https://solerpalau.com.br/biblioteca/produto/026/RLS_RLD-LQ-032_2026-J.pdf. Acesso em: 20 abr. 2026.

PIVA, Gabriela. Edifício Jolema. **Viagem & Gastronomia**. São Paulo: CNN BRASIL, 2024. Disponível em: <https://www.cnnbrasil.com.br/viagemegastronomia/viagem/edificio-joelma-predio-virou-ponto-turistico-apos-ganhar-fama-de-mal-assombrado/>. Acesso em: 31 mar. 2026.

SÃO PAULO. Corpo de Bombeiros da Polícia Militar do Estado de São Paulo. **Instrução Técnica nº 13 (IT13) – Pressurização de escadas de segurança**. São Paulo, 2025. Disponível em: <https://cbaplang.corpodebombeiros.sp.gov.br/internetCB/#!/LegislacaoConsulta> Acesso em: 31 mar. 2026.

SEITO, Alexandre Itiu; GILL, Alfonso Antonio; PANNONI, Fábio Domingos; ONO, Rosaria; SILVA, Silvio Bento da; DEL CARLO, Ualfrido; SILVA, Valdir Pignatta e (org.). **A segurança contra incêndio no Brasil**. São Paulo: Projeto Editora, 2008. Disponível em: https://treinar.eng.br/wp-content/uploads/2023/11/aseguranca_contra_incendio_no_brasil.pdf. Acesso em: 10 abr. 2026.

TCC FATEC-ITAQUERA. Cronograma de atividades. São Paulo: FATEC ITAQUERA, 2026. Disponível em: <https://sites.google.com/view/tccfatec-itaquera/p%C3%A1gina-inicial/tcc-2-6-semester/cronogramas-das-atividades>. Acesso em: 20 abr. 2026.

VIEIRA, Alexandre. **Análise do desempenho da extração de fumaça nas escadas de emergência na gestão de riscos durante os incêndios em edifícios altos**. 2018. Monografia (Curso de Altos Estudos Estratégicos) - Corpo de Bombeiros Militar de Santa Catarina. Centro de Ensino Bombeiro Militar de Santa Catarina. Florianópolis: CEBM, 2018. Disponível em: <https://www.cbm.sc.gov.br/index.php/biblioteca/trabalhos-academicos/tcc-caee/category/93-caee-2018?download=930:analise-do-desempenho-da-extracao-de-fumaca-nas-escadas-de-emergencia-na-gestao-dos-riscos-durante-os-incendios-em-edificios-altos-alexandre-vieira>. Acesso em: 01 abr. 2026.

ANEXO A – EXIGÊNCIAS PARA DIVERSOS TIPOS DE EDIFICAÇÕES

Resumo de exigências para os diversos tipos de edificações com sistemas de pressurização

GRUPO	OCUPAÇÃO/USO (4)	CRITÉRIO DE ALTURA (7) (6)	NÚMERO DE PCF CONSIDERADAS ABERTAS (8) (9)	PREVER GRUPO MOTOGERADOR AUTOMATIZADO (Autonomia de 4 h)	PREVER DUPLICATA DO GRUPO MOTO VENTILADOR	LOCAIS A SEREM SUPERVISI-ONADOS PELO SISTEMA DE DETECÇÃO AUTOMÁTICA DE FUMAÇA (1)
A	Residencial (2) (3)	Até 80 m	1	NÃO (exceto Convento)	NÃO	a) no <i>hall</i> comum ou privativo de acesso à saída de emergência pressurizada; b) em todos os corredores de circulação, em áreas comuns, utilizados como rota de fuga para acesso à saída de emergência pressurizada; c) em todos os corredores de circulação privativos, quando o acesso à saída de emergência pressurizada atender diretamente as áreas privativas; d) em todos os ambientes com acesso direto à saída de emergência pressurizada; e) no compartimento destinado ao conjunto motoventilador (laço exclusivo e independente ou similar); f) no compartimento destinado ao grupo motogerador, quando este atender ao sistema de pressurização de escadas; g) nos acessos e no interior da antecâmara de segurança do compartimento destinado ao conjunto motoventilador, quando este estiver localizado em pavimento subsolo.
		Acima de 80 m	2	SIM	SIM	
B	Serviço de Hospedagem	Até 30 m	2	SIM	SIM	
		Acima de 30 m	2	SIM	SIM	
C	Comercial	Até 12 m	2	SIM	SIM	
		Acima de 12 m	2	SIM	SIM	
D	Serviço profissional (2)	Até 21 m(5)	1	NÃO (A. pav < 750 m²)	NÃO (até 60 m)	
		Acima de 21 m	2	SIM	SIM (a partir de 60m)	
E	Educativa e cultura física (2)	Até 30 m	2	NÃO	NÃO	
		Acima de 30 m	2	SIM	SIM	
F	Local de Reunião de Público	Até 12 m	2	SIM	SIM	
		Acima de 12 m	2	SIM	SIM	
G	Serviço automotivo	Até 12 m	2	SIM	SIM	
		Acima de 12 m	2	SIM	SIM	
H	Serviço de saúde e institucional	Até 12 m	2	SIM	SIM	
		Acima de 12 m	2	SIM	SIM	
I	Indústria	Até 12 m	2	SIM	SIM	
		Acima de 12 m	2	SIM	SIM	
J	Depósito	Até 12 m	2	SIM	SIM	
		Acima de 12 m	2	SIM	SIM	
L	Explosivos	Até 12 m	2	SIM	SIM	
		Acima de 12 m	2	SIM	SIM	
M	Especial	Até 12 m	2	SIM	SIM	
		Acima de 12 m	2	SIM	SIM	

Fonte: São Paulo (2025)

ANEXO B – NÍVEIS DE PRESSURIZAÇÃO

Tabela 1 - Níveis de pressurização

VALORES DE DIFERENCIAL DE PRESSÃO (Pa)		
SISTEMA DE 1 ESTÁGIO	SISTEMA DE 2 ESTÁGIOS	
50	1º ESTÁGIO	2º ESTÁGIO
	15	50

Observações:

1) Pa = Pascal, sendo que 10 Pa equivalem a 1,0 mmH₂O;

2) Quando pavimentos subterrâneos necessitem ser pressurizados, o projeto deve ser submetido à avaliação em Comissão Técnica.

Fonte: São Paulo (2025)

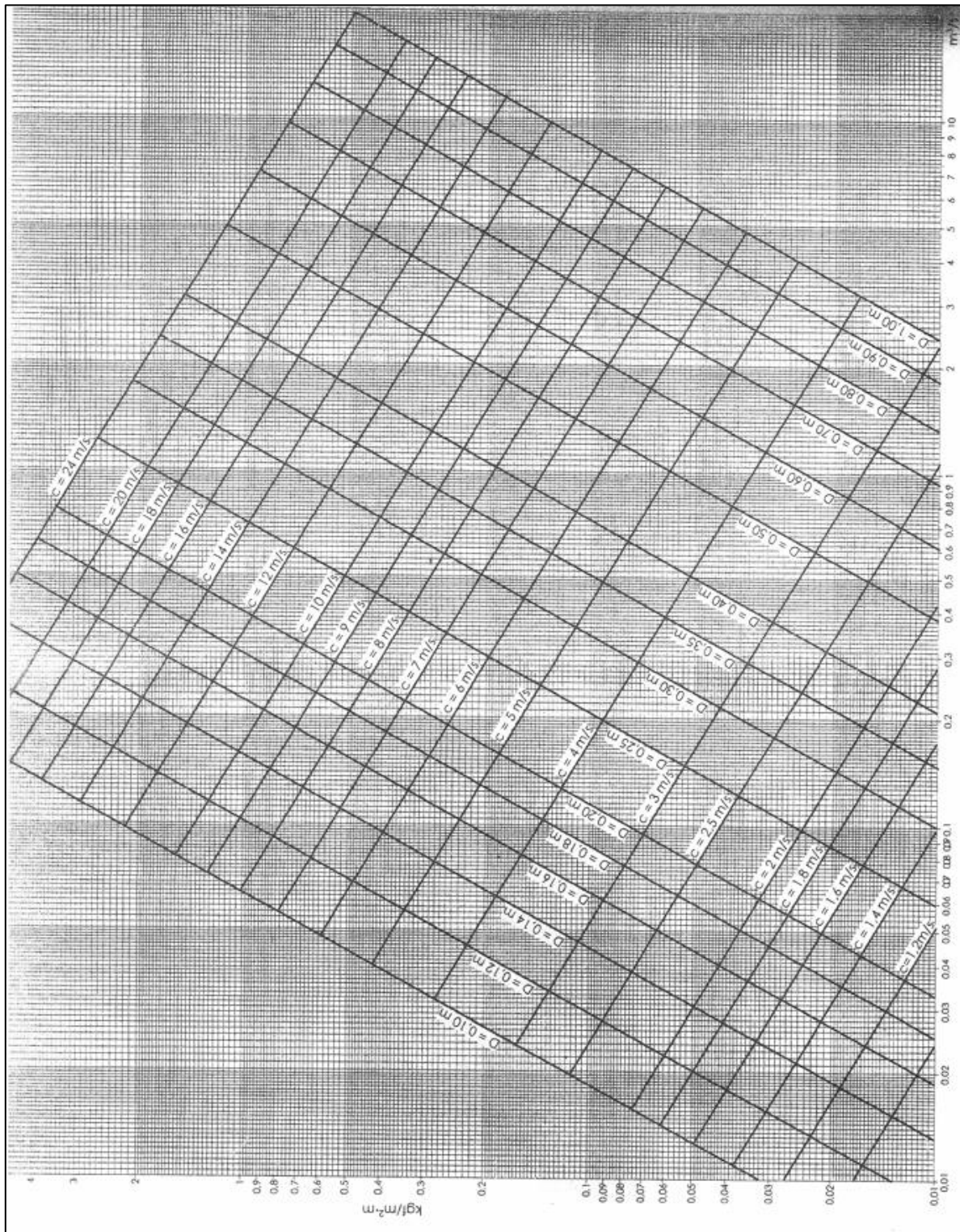
ANEXO C – ÁREAS TÍPICAS DE ESCAPE**Tabela 2 - Áreas típicas de escape para quatro tipos de PCF**

TIPO DE PCF	TAMANHO (m)	Área de escape PCF aberta (m²)	Área de escape PCF fechada (m²)
PCF simples, batente rebaixado dando ACESSO ao espaço pressurizado	2,10 x 0,89	1,64	0,03
PCF simples, batente rebaixado permitindo a SAÍDA do espaço pressurizado	2,10 x 0,89	1,64	0,04
PCF dupla com ou sem rebaixo central dando ACESSO	2,10 x 0,89 (cada)	3,28	0,045
PCF dupla com ou sem rebaixo central permitindo SAÍDA	2,10 x 0,89 (cada)	3,28	0,06

Observação: Nos demais tipos de PCF, PCF duplas, portas de elevadores, suas dimensões devem ser verificadas junto aos fabricantes.

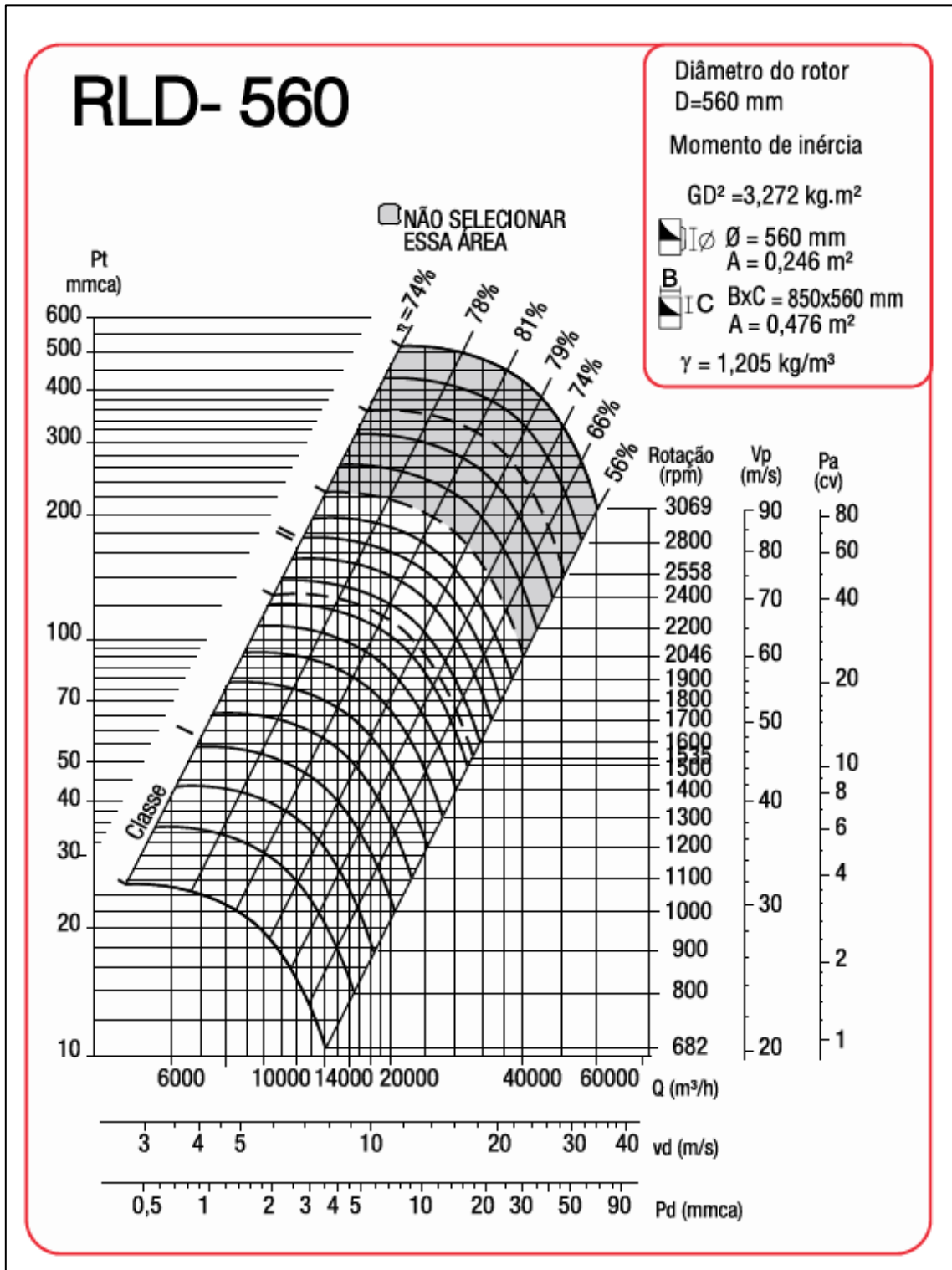
Fonte: São Paulo (2025)

ANEXO D – ÁBACO PARA CHAPAS GALVANIZADAS



Fonte: Costa (2005)

ANEXO E – CARACTERÍSTICAS DO VENTILADOR EXISTENTE



Fonte: Otam (2026)

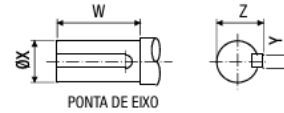
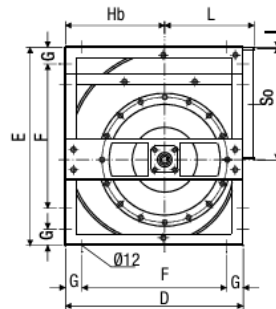
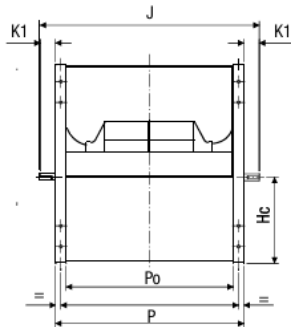
RLD-Q

OTAM



Série Grande

DIMENSÕES RLD-Q



TAMANHO	500	560	630	710	800	900	1000
D	779	933	1047	1183	1329	1492	1655
E	892	1017	1139	1286	1444	1620	1797
F	659	813	927	1043	1189	1352	1515
G	60	60	60	70	70	70	70
Hb	446	513	574	650	729	817	905
Hc	386	446	498	565	633	709	785
I	5	9	9	9	9	9	9
J	1070	1170	1270	1380	1570	1720	1920
K1	119.5	119	119	107	141.5	146.5	156.5
L	373	470	523	593	660	735	810
P	831	932	1032	1166	1287	1427	1607
P0	755	856	956	1066	1187	1327	1507
Q	793	894	994	1116	1237	1377	1557
So	503	564	634	714	805	905	1005
W	80	80	80	80	110	110	110
ØX	38 ^{k6}	38 ^{k6}	38 ^{k6}	38 ^{k6}	48 ^{k6}	48 ^{k6}	55 ^{m6}
Y	10	10	10	10	14	14	16
Z	41	41	41	41	51.5	51.5	59
Peso (kgf)	114	143	191	274	389	498	665

Fonte: Otam (2016)

ANEXO F – EXEMPLO DE RELATÓRIO DE INSPEÇÃO

Anexo G

Exemplo de Relatório de Comissionamento/Inspeção do sistema de pressurização de escadas

Endereço: _____

Município: _____ Telefone: _____)

Responsável pelo uso: _____ e-mail: _____

Ocupação(ões): _____

Altura da edificação (3): _____

Número de estágios: _____

Níveis de pressurização adotados: _____

1. VENTILADOR:		Sim	Não
1.1	Foram previstos conjuntos moto-ventiladores em duplicata?		
1.2	Os conjuntos moto-ventiladores estão instalados especificamente para atuarem em situação de emergência?		
1.3	Os ventiladores que operam em paralelo são dotados de registros de retenção que impeçam refluxo do ar quanto um dos equipamentos não e		

2. TOMADA DE AR:		Sim	Não
2.1	Existe risco de contaminação pela fumaça de um incêndio na edificação?		
2.2	Existem medidas complementares para minimizarem a ação dos ventos (na entrada e na saída)?		
2.3	Os pontos de tomada de ar estão instalados no pavimento térreo ou próximo deste?		
2.4	A distância mínima de 5 m de afastamento horizontal em relação a outras aberturas está sendo atendida?		
2.5	A distância mínima de 2,5 m de afastamento horizontal em relação as aberturas de sanitários, vestiários e rotas de fuga está sendo atendida?		
2.6	A distância mínima de 2 m de afastamento das aberturas posicionandas acima do ponto mais alto da tomada de ar está sendo atendida?		
2.7	Foi observado não haver aberturas em nível abaixo da tomada de ar na mesma fachada?		
2.8	Foi observado não haver instalação da tomada de ar em local interno à linha de projeção do pavimento superior?		
2.9	Sistema de 1 estágio - a tomada de ar está protegida por tela metálica de malha quadrada com vãos de 12,5 mm, no mínimo?		
2.10	Sistema de 2 estágios - a tomada de ar está protegida por filtro de partículas classe G-1 tipo metálico lavável, conforme BNR 16401-3?		

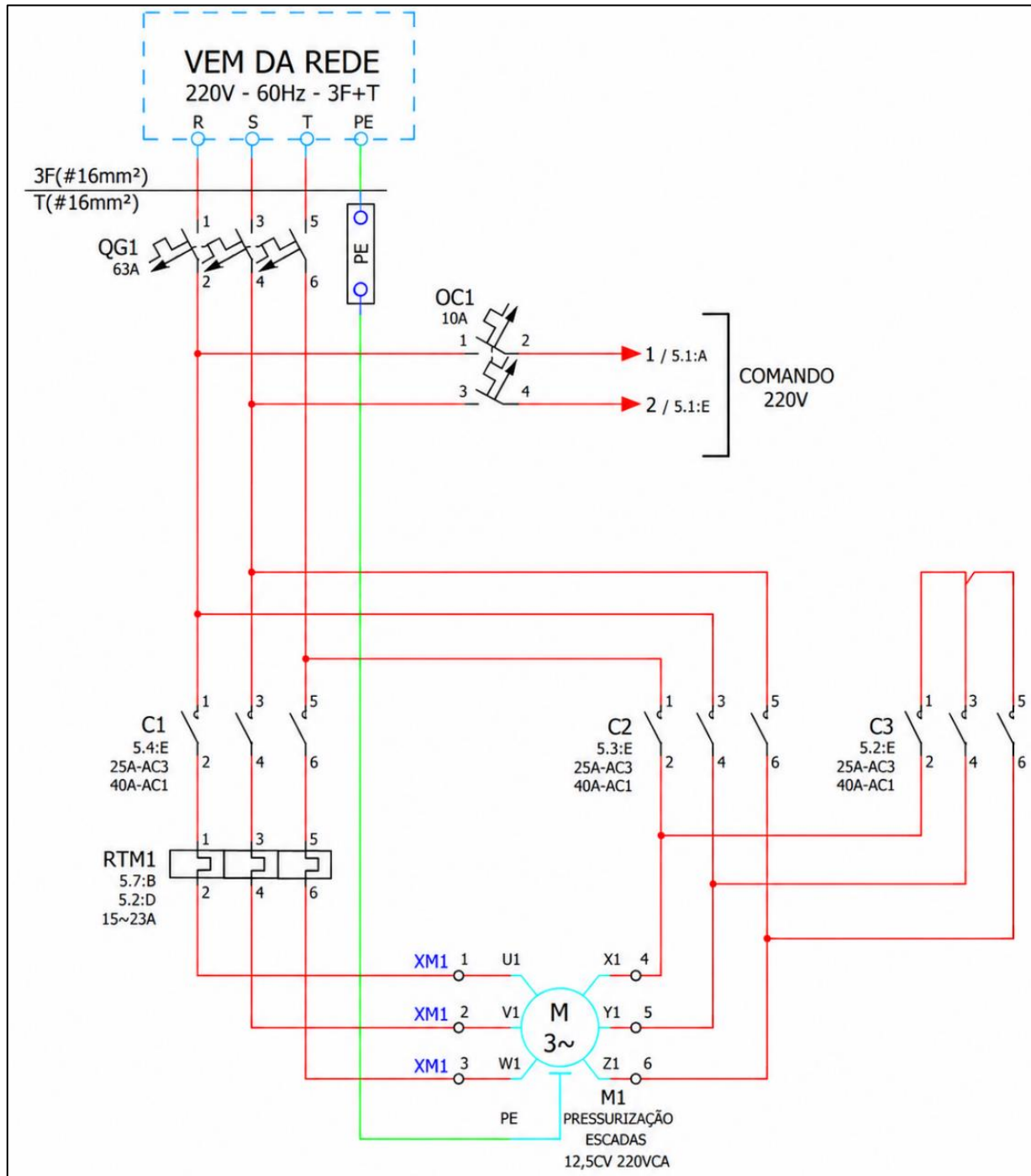
2. TOMADA DE AR:		Sim	Não
2.1	Existe risco de contaminação pela fumaça de um incêndio na edificação?		
2.2	Existem medidas complementares para minimizarem a ação dos ventos (na entrada e na saída)?		
2.3	Os pontos de tomada de ar estão instalados no pavimento térreo ou próximo deste?		
2.4	A distância mínima de 5 m de afastamento horizontal em relação a outras aberturas está sendo atendida?		
2.5	A distância mínima de 2,5 m de afastamento horizontal em relação as aberturas de sanitários, vestiários e rotas de fuga está sendo atendida?		
2.6	A distância mínima de 2 m de afastamento das aberturas posicionandas acima do ponto mais alto da tomada de ar está sendo atendida?		
2.7	Foi observado não haver aberturas em nível abaixo da tomada de ar na mesma fachada?		
2.8	Foi observado não haver instalação da tomada de ar em local interno à linha de projeção do pavimento superior?		
2.9	Sistema de 1 estágio - a tomada de ar está protegida por tela metálica de malha quadrada com vãos de 12,5 mm, no mínimo?		
2.10	Sistema de 2 estágios - a tomada de ar está protegida por filtro de partículas classe G-1 tipo metálico lavável, conforme BNR 16401-3?		

3. SISTEMA DE DISTRIBUIÇÃO DE AR PARA PRESSURIZAÇÃO:		Sim	Não
3.1	Os dutos obedecem os aspectos construtivos pela ABNT NBR 16401-1?		
3.2	Os dutos são construídos em chapas de metal laminado?		
3.3	As chapas de metal dos dutos possuem costuras longitudinais lacradas à máquina?		
3.4	As costuras longitudinais, lacradas à máquina, estão vedadas com material adequado?		
3.5	Os dutos construídos em alvenaria são exclusivos para a distribuição do ar de pressurização?		
3.6	A superfície do duto de alvenaria está revestida com argamassa rebocada?		
3.7	A superfície do duto de alvenaria está revestida com chapas metálicas?		
3.8	A superfície do duto de alvenaria está revestida com material incombustível, com baixa rugosidade?		
3.9	Foram detectados vazamentos no duto?		
3.10	Os dutos possuem níveis aceitáveis de vazamentos?		
3.11	O nível de ruído transmitido para o interior da escada de segurança, estando desocupada, é inferior a 85 dbA?		
3.12	Foram utilizados registros corta-fogo na rede de distribuição dos dutos?		
3.13	Os dutos e os elementos de ancoragem possuem características construtivas que garantam TRRF mínimo de 2 h?		
3.14	Os revestimentos garantem a manutenção da integridade física dos dutos se submetidos ao fogo, fumaça e gases quentes?		
3.15	Os revestimentos garantem a estabilidade construtiva dos dutos se submetidos ao fogo, fumaça e gases quentes?		
3.16	Os revestimentos garantem o isolamento térmico dos dutos, evitando a temperatura média no interior entre 140 °C e 180 °C?		
3.17	Os revestimentos são constituídos por materiais que não propagam chamas, fumaça e gases tóxicos?		
3.18	Os dutos estão instalados no exterior da edificação, junto à parede, a 3 m de qualquer abertura de área fria na projeção horizontal?		
3.19	Os dutos estão instalados no exterior da edificação, junto à parede, a 5 m de qualquer abertura na projeção horizontal, ou de edificações vizinhas?		

4. GRELHAS DE INSUFLAÇÃO DE AR:		Sim	Não
4.1	As grelhas estão instaladas em toda a altura da escada em intervalos de, no máximo, dois pavimentos?		
4.2	As grelhas possuem registros de regulação para balanceamento da distribuição de ar no interior da escada?		
4.3	Foi prevista uma grelha próxima ao piso de descarga e uma próxima ao último pavimento (topo)?		



APÊNDICE B – DIAGRAMA COMANDO DE POTÊNCIA



Fonte: Captura - Projeto FAQ Painéis (2025)

APÊNDICE C – INSUMOS DA INSTALAÇÃO

Categoria	Item / Descrição do Insumo
Fixação e Suporte	Perfilado perfurado galvanizado 19x38x6000mm CH20
	Vergalhão de ferro galvanizado 3/8" rosca total
	Chumbador Parabolt 3/8" x 2.1/2" com parafuso
	Abraçadeira tipo D com parafuso de 1"
	Porca sextavada galvanizada 3/8"
	Arruela lisa galvanizada 3/8"
	Bucha e arruela de alumínio de 1"
	Bucha expansiva 8mm Fischer (Pacote)
	Bucha e parafuso Nylon S8 (Pacote)
	Bucha e parafuso Nylon S8 (Pacote)
Mecânica / Ventilação	Ventilador centrífugo limit load ou axial (conforme projeto)
	Motor elétrico trifásico de alto rendimento (IP55)
	Conjunto de polias e correias de transmissão
	Protetor de correia em tela ou chapa metálica
	Coxins/Amortecedores de vibração de borracha ou mola
	Dutos em chapa de aço galvanizado (bitolas #20 a #26)
	Perfil de união para dutos tipo TDC ou cantoneiras
	Fita de vedação em EPDM ou mastic para juntas de dutos
	Grelhas de insuflamento em alumínio com registro
	Damper de sobrepressão (alívio) de parede ou teto
Elétrica	Damper corta-fogo com fusível térmico (72°C)
	Quadro de comando (QTM) com partida estrela-triângulo ou direta
	Inversor de frequência (VFD) para controle de pressão
	Cabo elétrico de potência (blindado/antichama)
	Cabo de sinal/controle (tipo Shield 2x18 AWG)
	Eletroduto galvanizado a fogo (rígido)
	Conduletes em alumínio fundido e acessórios (luvas/curvas)
	Terminal de compressão estanhado
	Transmissor de pressão diferencial (0-100 Pa)
	Sensor de fumaça para duto (tipo fotoelétrico)
Automação	Módulo de interface com a central de alarme de incêndio
	Chave comutadora (Manual / Desligado / Automático)
	Selante intumescente (corta-fogo) para passagens
	Massa de calafetação resistente a altas temperaturas
	Manta de lã de rocha para isolamento térmico de dutos
Civil / Proteção Passiva	Placas de sinalização fotoluminescente (NBR 13434)
	Visor de vidro corta-fogo (se aplicável à sala de máquinas)
	Manômetro de coluna líquida (tipo Dwyer) para teste local
	Tubos flexíveis de poliuretano para tomada de pressão
Instrumentação	Tomada de pressão externa em aço inox

Fonte: Os Autores (2025)