

**Corpo de Bombeiros Militar de Alagoas**

INSTRUÇÃO TÉCNICA Nº 15/2021

**Controle de fumaça**

**Parte 5 – Controle de fumaça mecânico**

**SUMÁRIO**

**11** Controle de fumaça mecânico – Procedimentos específicos

**ANEXO**

**J** Exemplos de aplicação

*Atualizada pela Portaria n. 183/2014 – CG. Publicada no BGE n. 205/2014 de 07/11/2014*

1. Controle de fumaça mecânico - PROCEDIMENTOS ESPECÍFICOS

O controle de fumaça é realizado pela extração mecânica de fumaça e pela introdução do ar de forma natural ou mecânica, disposta de maneira a assegurar uma exaustão do volume a proteger.

A extração de fumaça pode ser realizada por dispositivos ligados a ventiladores por meio de dutos ou por ventiladores instalados diretamente na área a proteger.

A extração visa:

Manter um ambiente seguro nas edificações, durante o tempo necessário para abandono do local sinistrado, evitando os perigos da intoxicação e falta de visibilidade pela fumaça.

Controlar e reduzir a propagação de gases quentes e fumaça entre a área incendiada e áreas adjacentes, baixando a temperatura interna e limitando a propagação do incêndio.

Providenciar condições dentro e fora da área incendiada, que irão auxiliar nas operações de busca e resgate de pessoas, localização e controle do incêndio.

O controle de fumaça conforme especificado acima tem condições de emprego diferenciadas, e deve ter características conforme o item 8.2.

O Controle de fumaça mecânico pode:

Ser um sistema específico, destinado exclusivamente à extração de fumaça;

Utilizar o sistema de ventilação ou ar-condicionado normal à edificação, com dupla função, de forma a atender às funções a que normalmente são projetados e também atender a função de extração de fumaça;

Utilizar um sistema conjugado, com o emprego do sistema de ventilação ou ar-condicionado normal da edificação, complementado por um sistema de controle de fumaça auxiliar.

Nos casos em que o sistema de ventilação ou de ar-condicionado normal à edificação seja utilizado para o controle de fumaça por extração mecânica, estes devem:

Atender às mesmas exigências para um sistema exclusivo de controle de fumaça por extração mecânica;

Assegurar o controle (abertura/fechamento) de todas as partes que compõe o sistema, garantindo a não intrusão de fumaça nas demais áreas não sinistradas do edifício.

Como regra geral pretende-se, com o controle de fumaça, projetar e estabilizar a camada de fumaça em uma determinada altura, para que as pessoas possam sair em segurança deste ambiente ou a brigada de incêndio possa atuar para o resgate de vítimas e controle e extinção do incêndio.

Para elaboração do projeto de controle de fumaça, os seguintes fatores devem ser observados:

Tamanho do incêndio;

Taxa de liberação de calor;

Altura da camada de fumaça;

Tempo para a camada de fumaça descer até a altura de projeto;

Dimensão do acantonamento;

Espessura da camada de fumaça;

Temperatura do ambiente;

Temperatura da fumaça;

Introdução de ar;

Obstáculos.

Tamanho do incêndio:

A dimensão do incêndio depende do tipo de fogo esperado e de se estabelecer uma condição de estabilidade para que o mesmo seja mantido em um determinado tamanho;

Para fins de projeto de controle de fumaça, o fogo é classificado como estável ou instável;

O fogo pode ser considerado estável quando a edificação for dotada de meios de supressão automática do incêndio (chuveiros automáticos, nebulizadores etc);

O fogo deve ser classificado como instável, quando não atender a condição especificada no item 11.9.3;

O tamanho do incêndio deve ser conforme a tabela abaixo:

### **Tabela 10:** Dimensões do incêndio

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| Categoria de risco | Tamanho do incêndio (m) | Perímetro (m) | Área (m2) |
| Baixo (até 300 MJ/m2) | 3,0 x 3,0 | 12 | 9 |
| Médio (de 300 a 1200 MJ/m2) | 4,0 x 4,0 | 16 | 16 |
| Alto (acima de 1200 MJ/m2) | 6,0 x 6,0 | 24 | 36 |

O tamanho do incêndio em edificações do Grupo J (depósitos) será o resultado da multiplicação da área constante na Tabela 9 pela altura de estocagem.

Edificações sem proteção por chuveiros automáticos

Será aceita a instalação parcial de sistema de chuveiros automáticos para a proteção de subsolos com ocupação distinta de estacionamento de veículos nas edificações onde este sistema (chuveiros automáticos) não é obrigatório.

Taxa de liberação de calor

A taxa de liberação de calor deve adotar os parâmetros da Tabela 11.

### **Tabela 11:** Taxa de liberação de calor

|  |  |
| --- | --- |
| **Ocupações** | **Taxa de liberação de calor (KW/m2)** |
| Residencial | 228 |
| Serviços de hospedagem | 500 |
| Comercial | 500 |
| Serviços profissionais | 228 |
| Educacional | 350 |
| Local de reunião de público | 500 |
| Serviços automotivos | 500 |
| Serviços de saúde e institucionais | 500 |
| **Indústriais** | **Taxa de liberação de calor (KW/m2)** |
| I-1 | 60 |
| I-2 | 280 |
| I-3 | 500 |
| **Depósitos** | **Taxa de liberação de calor (KW/m2)** |
| Engradado de madeira | 2500 |
| Paletes de madeira, empilhados | 2150 |
| Móveis embalados | 500 |
| Madeira compensada empilhado | 500 |
| Produtos celulósicos em geral | 160 |
| Malas de correio | 235 |
| Papelão empilhado | 290 |
| Rolos de papelão | 120 |
| Caixas de papelão | 150 |
| Caixas de papelão com divisórias empilhadas | 325 |
| Caixas de papelão, produtos elétricos | 145 |
| Produtos empacotados | 315 |
| Componentes em fibra de vidro, em caixas de papelão | 190 |
| Componentes em fibra de vidro em caixas de papelão, empilhados | 275 |
| Garrafas plásticas em caixas de papelão, empilhados | 940 |
| Garrafas em PVC empacotadas em caixas de papelão com divisórias | 655 |
| Garrafas de polietileno empacotadas em caixas de papelão | 1195 |
| Escaninhos de polietileno, cheios, empilhados | 1000 |
| Sacos de lixo de polietileno em caixas empilhadas | 380 |
| Filmes de plástico em rolo | 980 |
| Filmes de polipropileno em rolo | 1280 |
| Tubos de polipropileno empacotados em caixas de papelão com divisórias empilhadas | 850 |
| Isolamento de poliuretano empacotado e empilhado | 265 |
| Painéis isolados de poliuretano rígido, espumas em caixas de papelão com divisórias empilhadas | 370 |
| Painel isolado de poliestireno espuma rígido, empilhado | 675 |

### **Tabela 11:** Taxa de liberação de calor (Continuação)

|  |  |
| --- | --- |
| **Ocupações** | **Taxa de liberação de calor (KW/m2)** |
| Garrafas de poliestireno em caixas de papelão | 2695 |
| Garrafas de poliestireno empacotadas em caixas de papelão, com divisórias, empilhadas | 2720 |
| Tubos de poliestireno em caixas de papelão | 805 |
| Tubos de poliestireno colocados em caixas de papelão, empilhadas | 1105 |
| Partes de brinquedos de poliestireno, empilhados | 305 |
| Partes de brinquedos de poliestireno | 390 |
| Livros, móveis | 720 |
| Álcool | 740 |
| Gasolina | 1590 |
| Óleo combustível | 1470 |

Altura da camada de fumaça

Uma altura livre de fumaça deve ser projetada de forma a garantir o escape das pessoas.

Esta altura devido a presença do jato de fumaça pode alcançar no máximo 85% da altura da edificação, devendo estar no mínimo a 2,20 m acima do piso da edificação.

Onde houver depósito de mercadorias, caso haja possibilidade de ocorrer o fenômeno *“flash over”*, a camada de fumaça deve ser projetada a 0,50 m acima do topo dos produtos armazenados.

Tempo para a camada de fumaça descer até a altura de projeto

A posição da interface da camada de fumaça a qualquer tempo pode ser determinada pelas relações que reportam a 3 situações:

1. quando nenhum sistema de extração de fumaça está em operação;
2. quando a vazão mássica de extração de fumaça for igual ou superior à vazão fornecida à coluna da camada de fumaça;
3. quando a vazão de extração de fumaça for menor que a vazão fornecida à coluna da camada de fumaça.

Posição da camada de fumaça com nenhum sistema de extração em funcionamento.

1. com o fogo na condição estável, a altura das primeiras indicações da fumaça acima da superfície do piso, ‘z’, pode ser estimada a qualquer tempo, ‘t’, pela equação (1) (onde os cálculos abrangendo z/H > 1,0 significam que a camada de fumaça não começou a descer).

**Equação (1)**

**z/H = 1,11 – 0,28 ln [(t Q1/3 / H4/3) / (A/H2)]**

Onde:

**z** = altura de projeto da camada de fumaça acima do piso (m)

**H =** altura do teto acima da base do fogo (m)

**t =** tempo (seg)

**Q =** taxa de liberação de calor de fogo estável (kW)

**A =** área do acantonamento (m2).

1) A equação acima:

1. está baseada em informações experimentais provenientes de investigações utilizando áreas uniformes (seccionais-transversais), baseadas em uma altura com proporções A/H2 que pode variar de 0,9 a 14 e para valores de z/H ≥ 0,2;
2. avalia a posição da camada a qualquer tempo depois da ignição.

Posição da camada de fumaça com a extração de fumaça em operação.

1. vazão mássica de extração de fumaça igual à vazão mássica de fumaça fornecida pelo incêndio.
2. Depois que o sistema de extração estiver operando por um determinado período, será estabelecida uma posição de equilíbrio na altura da camada de fumaça, desde que vazão mássica de extração for igual à vazão mássica fornecida pela coluna à base do fogo;
3. Uma vez determinada esta posição, deve ser mantido o equilíbrio, desde que as vazões mássicas permaneçam iguais.
4. vazão mássica de extração de fumaça diferente da vazão mássica de fumaça fornecida pelo incêndio.
5. Com a vazão mássica fornecida pela coluna de fumaça à base do fogo maior que a vazão mássica de extração, não haverá uma posição de equilíbrio para camada de fumaça;
6. Neste caso, a camada de fumaça irá descer, ainda que lentamente, em função da vazão mássica de extração ser menor;
7. Nesta condição, deve ser utilizado o valor de correção constante da Tabela 12.

## **Tabela 12:** Fator de ajuste da vazão mássica mínima de extração:

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **z/H** | **t / t0** | | | | | |
| **(m / me) ou ( V / Ve)** | | | | | |
| **0,25** | **0,35** | **0,50** | **0,70** | **0,85** | **0,95** |
| 0,2 | 1,12 | 1,19 | 1,30 | 1,55 | 1,89 | 2,49 |
| 0,3 | 1,14 | 1,21 | 1,35 | 1,63 | 2,05 | 2,78 |
| 0,4 | 1,16 | 1,24 | 1,40 | 1,72 | 2,24 | 3,15 |
| 0,5 | 1,17 | 1,28 | 1,45 | 1,84 | 2,48 | 3,57 |
| 0,6 | 1,20 | 1,32 | 1,52 | 2,00 | 2,78 | 4,11 |
| 0,7 | 1,23 | 1,36 | 1,61 | 2,20 | 3,17 | 4,98 |
| 0,8 | 1,26 | 1,41 | 1,71 | 2,46 | 3,71 | 6,25 |

Onde:

**z =** altura de projeto da camada de fumaça acima do piso

**H =** altura do teto acima da base do fogo (m)

**t =** tempo para a camada de fumaça descer até z (s)

**t0 =** valor de t na ausência de extração de fumaça (ver equação 1) (s)

**m =** vazão mássica de extração de fumaça (menos qualquer vazão mássica dentro da camada de fumaça, decorrentes de outras fontes que não seja a coluna de fumaça)

**me =** valor de “m” requerido para manter a camada de fumaça indefinidamente em z (obtido pela equação 3)

## Altura da chama

Na determinação da altura da chama proveniente da base do fogo, deve-se adotar a seguinte equação:

**Equação (2)**

**z/H = 0,166 Qc 2/5**

Onde:

**z =** limite de elevação da chama (m)

**Qc =** porção convectiva da taxa de liberação de calor (kW)

Dimensionamento da massa de fumaça a ser extraída

Na determinação da massa de fumaça gerada pelo incêndio, duas condições podem ocorrer:

1. altura **(z)** da camada de fumaça ser superior à altura **(z1)** da chama, ou seja: **(z > z1);**
2. altura da camada de fumaça **(z)** igual ou inferior à altura **(z1)** da chama, ou seja: **(z ≤ z1).**

Para a condição (**z > z1**), a massa de fumaça gerada é determinada pela seguinte equação:

**Equação (3)**

**m = 0,071 Qc1/3 z5/3 + 0,0018 Qc (z > z1)**

Onde:

**m =** vazão mássica da coluna de fumaça para a altura z (kg/s)

**z =** altura de projeto da camada de fumaça acima do piso

**Qc =** porção convectiva da taxa de liberação de calor, estimada em 70% da taxa de liberação de calor (Q) (kW)

Para a condição (**z ≤ z1**), a massa de fumaça gerada é determinada pela seguinte equação:

**Equação (4)**

**m = 0,032 Qc3/5 z (z ≤ z1)**

Onde:

## **m** = vazão mássica da coluna de fumaça para a altura z (kg/s)

**z** = altura de projeto da camada de fumaça acima do piso

**Qc** = porção convectiva da taxa de liberação de calor estimada em 70% da taxa de liberação de calor (Q) (kW).

Volume de fumaça produzido

Para se obter o volume de fumaça a extrair do ambiente, a seguinte equação deve ser utilizada:

**Equação (5)**

**V = m/ρ**

Onde:

**V =** volume produzido pela fumaça (m3/s)

**m =** vazão mássica da coluna de fumaça para a altura z (kg/s)

**ρ =** densidade da fumaça em kg/m³, de acordo com a temperatura adotada (0,92 kg/m³ para 70º C e 0,55 kg/m³ para 300º C).

Para compensar os possíveis vazamentos nos registros de trancamento, deve ser previsto um coeficiente de vazamento mínimo de 25% a ser acrescido sobre o resultado da Equação (5) para a seleção dos ventiladores e dimensionamento dos dutos principais de extração de fumaça.

Acantonamento

A área máxima de um acantonamento deve ser de 1.600 m².

Será possível dispensar a previsão dos acantonamentos, desde que a:

1. edificação seja do grupo J (depósito); e
2. edificação possua sistema de chuveiros automáticos.

Espessura da camada de fumaça

Para edificações que não possuam armazenamento elevado (acima de 1,50 m), a espessura da camada de fumaça não pode ser menor que 15% da altura do local atendido pelo sistema.

Para edificações que possuam área de armazenamento elevada (acima de 1,50 m), o projetista deve considerar:

1. possibilidade de ocorrer o *“flash over”*;
2. possibilidade de a fumaça esfriar e estratificar, decorrente:
3. da altura da camada de fumaça estar afastada com relação à origem do incêndio;
4. da existência de sistema de chuveiros automáticos, que esfriam a fumaça e gases quentes.

Temperatura ambiente

Para fins de cálculo, deve ser prevista uma tempera- tura ambiente de 20º C.

Temperatura da camada de fumaça

Para fins de dimensionamento, deve ser prevista a temperatura da camada de fumaça de:

1. 70º C quando a edificação for dotada de proteção por sistema de chuveiros automáticos;
2. 300º C quando a edificação não for dotada de proteção por sistema de chuveiros automáticos.

Extração de fumaça

Distribuição de grelhas de extração de fumaça em espaços amplos:

As grelhas devem ser distribuídas no ambiente de forma mais uniforme possível; deve haver, no mínimo, uma grelha a cada 300 m2 de área de abrangência.

A quantidade de grelhas para sistema de controle de fumaça mecânico deve atender à tabela abaixo:

## **Tabela 13:** Máxima vazão volumétrica por ponto de sucção ou ventilador individual

|  |  |
| --- | --- |
| **Espessura da camada de fumaça no ponto de sucção ou corte de um ventilador individual ou grelha de extração (metros)** | **Vazão volumétrica por ponto de sucção ou ventilador individual (m3/seg)** |
| ≥ 0,5 (1) | ≤ 0,2 (2) |
| ≥ 1,0 | ≤ 1,2 |
| ≥ 1,5 | ≤ 3,5 |
| ≥ 2,0 | ≤ 7,0 |
| ≥ 2,5 | ≤ 12,0 |

## ***Notas:***

***(1)*** *Aplicável também para camadas de fumaça de altura < 0,5 m, desde que os pontos de sucção estejam posicionados para cima.*

***(2)*** *Em locais com pé direito baixo, onde não seja possível haver maior espessura de camada de fumaça, a utilização de vazão volumétrica de maior magnitude por ponto de extração pode ser admitida mediante avaliação em Comissão Técnica Recursal.*

Introdução do ar

A introdução de ar para controle de fumaça pode ser realizada por meios naturais ou mecânicos, da seguinte forma:

1. Naturalmente
2. Por meio de portas, janelas, venezianas etc., posicionadas abaixo da camada de fumaça;
3. Caso a velocidade de entrada de ar seja superior a 1 m/s, a camada de fumaça deve ser projetada a 1,5 m acima das aberturas consideradas;
4. Caso a velocidade de entrada de ar seja menor que 1 m/s, a camada de fumaça pode ser projetada a 0,5 m acima das aberturas consideradas;
5. A velocidade máxima nas aberturas de entrada de ar não deve ser superior a 2 m/s e a vazão volumétrica deve ser igual à de extração;
6. Caso haja impossibilidade técnica de prever entrada de ar no acantonamento, esta pode ser prevista pelas aberturas de introdução de ar dos acantonamentos adjacentes à área incendiada;
7. A introdução de ar em edificações com pavimentos interligados como, por exemplo, centros comerciais “shopping centers”, pode ser realizada pelas portas de acesso e demais aberturas localizadas no térreo. As portas e demais aberturas utilizadas para este fim devem ter abertura automática acionada pelo sistema de detecção de fumaça;
8. A introdução de ar para os pavimentos superiores das edificações descritas no item anterior pode ser realizada pelas aberturas localizadas no térreo e será considerada, para fins de cálculo, a área efetiva de abertura entre os pavimentos composta por átrios, escadas não enclausuradas e escadas rolantes.
9. Por meios mecânicos:
10. Realizadas por aberturas de insuflação ligadas a ventiladores por meio de dutos;
11. Cuidados devem ser observados pelo projetista a fim de posicionar (os ventiladores) as aberturas de insuflação no terço inferior do acantonamento, evitando turbulências que podem espalhar a fumaça ou o fogo;
12. Caso haja impossibilidade técnica de prever entrada de ar no acantonamento, esta pode ser prevista pelas aberturas de introdução de ar dos acantonamentos adjacentes á área incendiada; neste caso, não há necessidade de posicionar as aberturas de insuflação no terço inferior dos acantonamentos.
13. Para efeito de dimensionamento, a velocidade do ar nas aberturas de insuflação não deve ser superior a 5 m/s, e sua vazão volumétrica deve ser da ordem de 60% da vazão das aberturas de extração de fumaça, à temperatura de 20º C.

Obstáculos

Os mezaninos são obstáculos que devem ser considerados na extração de fumaça.

Existem 2 tipos de mezaninos a serem considerados:

1. mezaninos permeáveis, que são aqueles cujo teto ou piso superior possui 50% de aberturas, permitindo o escape e fluidez da fumaça pelo mesmo;
2. mezaninos sólidos, que são aqueles que não permitem o escape da fumaça.

Os mezaninos considerados permeáveis estão dispensados da previsão de sistema de controle de fumaça.

Os mezaninos sólidos devem atender à seguinte regra:

1. característica da coluna de fumaça saindo por um mezanino depende da característica do fogo, largura da coluna de fumaça e da altura do teto acima do fogo;
2. para dimensionar a entrada de ar na coluna de fumaça sob um mezanino, a seguinte fórmula deve ser atendida:

**Equação (6)**

**m = 0,36 (QW2 )1/3 (zb + 0,25H)**

Onde:

**m =** taxa do fluxo de massa na coluna (kg/s)

**Q =** taxa de liberação de calor (kW)

**W =** extensão da coluna saindo das sacadas (m)

**zb =** altura acima da sacada (m)

**H =** altura da sacada acima do combustível (m)

1. quando zb for aproximadamente 13 vezes a largura do acantonamento, a coluna de fumaça deve ter a mesma vazão mássica adotada no item 11.15.2 desta IT;
2. quando zb for menor que 13 vezes a largura do mezanino, além do especificado no item anterior, barreiras de fumaça devem ser projetadas para que a fumaça seja contida.



**Figura 17:** Coluna de fumaça saindo de um mezanino

**ANEXO J**

**Exemplos de aplicação**

**Exemplo 1**

1. **Dados do ambiente:**
2. escritórios;
3. área de 500,00 m²;
4. dimensão: 20,00 m x 25,00 m x 3,00 m;
5. edifício protegido por chuveiros automáticos de teto;
6. edificação protegida por sistema de detecção.
7. Altitude: 800 m
8. **Dados para projeto:**
9. classificação segundo IT 14: risco médio;
10. dimensão do incêndio esperado segundo Tabela 10 – Parte 5:

Tamanho do incêndio = 4,00 m x 4,00 m;

Perímetro = 16 m;

Área = 16,00 m²;

Taxa de liberação de calor segundo Tabela 11 – Parte 5 = 228,00 Kw/m².

1. **Dimensionamento:**
2. taxa total de liberação de calor (Q) = 228,00 x 16,00 = 3.648,00 Kw;
3. altura da camada de fumaça adotada em projeto (z) = 2,20 m;
4. tempo para a fumaça atingir a altura de projeto:
5. Pela equação (1): (cálculo da altura da camada de fumaça, sem nenhum sistema entrar em funcionamento)
6. **z/H = 1,11 – 0,28 ln [(tQ1/3 / H4/3) / (A/H2)];**
7. 2,20/3,0 = 1,11 – 0,28 ln [(t 3.6481/3/34/3) / (500/32)];
8. **t = 60,23 s.**
9. altura da chama:
10. Pela Equação (2) - **z1 = 0,166 Qc2/5**
11. z1 = 0,166 (3.648 x 0,7)2/5
12. **z1 = 3,83 m**
13. como z < z1, temos para cálculo da massa de fumaça a utilização da Equação (4):

**EQUAÇÃO (4)**

***m* = 0,032 Qc3/5 z (z < z1);**

*m* = 0,032 x 2.553,63/5 x 2,20;

***m* = 7,795 kg/s.**

1. cálculo da Vazão Volumétrica:

**EQUAÇÃO (5)**

Para atingir os objetivos descritos em 11.20.1 letra a (ρ = 0,92 kg/m³ para 70º C):

**V = m/ρ;**

V = 7,795 /0,92;

**V = 8,47 m3/s.**

**a.** Deve ser acrescido, para seleção dos ventiladores e dimensionamento dos dutos, o coeficiente de segurança de 25%, conforme previsto no item 11.16.2:

**Ve: vazão do extrator**

Ve = V x 1,25

Ve = 8,47 x 1,25

**Ve = 10,59 m³/s (38.124 m³/h)**

**b.** cálculo da entrada de ar, conforme item 11.22.2

**Vv: vazão do ventilador de entrada de ar**

Vv = Ve x 0,6

Vv = 10,59 x 0,6

**Vv = 6,35 m³/s (22.874 m³/h)**

**Exemplo 2**

**1 Dados do ambiente:**

* 1. escritórios;
  2. área de 500,00 m²;
  3. dimensão: 20,00 m x 25,00 m x 3,00 m;
  4. edifício sem proteção por chuveiros automáticos de teto;
  5. edificação protegida por sistema de detecção.
  6. Altitude: 800 m

**2 Dados para projeto:**

* 1. classificação segundo IT 14: risco médio;
  2. dimensão do incêndio esperado segundo Tabela 9 – Parte 5:

Tamanho do incêndio = 4,00 m x 4,00 m;

Perímetro = 16 m;

Área = 16,00 m².

Taxa de liberação de calor segundo Tabela 10 – Parte 5 = 228,00 kW/m².

**3 Dimensionamento:**

* 1. taxa total de liberação de calor (Q) = 228,00 x 16,00 = 3.648,00 kW;
  2. altura da camada de fumaça adotada em projeto (z) = 2,20 m;
  3. tempo para a fumaça atingir a altura de projeto:

Pela equação (1): (cálculo da altura da camada de fumaça, sem nenhum sistema entrar em funcionamento)

**z/H = 1,11 – 0,28 ln [(tQ1/3 / H4/3) / (A/H²)];**

2,20/3,0 = 1,11 – 0,28 ln [(t 3.6481/3 / 34/3) / (500/3²)];

**t = 60,23 s.**

* 1. altura da chama:

Pela Equação (2) - **z1 = 0,166 Qc2/5**

z1 = 0,166 (3.648 x 0,7)2/5;

**z1 = 3,83 m.**

* 1. como z < z1, temos para cálculo da massa de fumaça a utilização da Equação (4):

**EQUAÇÃO (4)**

**m = 0,032 Qc3/5 z (z < z1);**

m = **0,032** x 2.553,63/5 x 2,20;

**m = 7,795 Kg/s.**

* 1. cálculo da Vazão Volumétrica:

**EQUAÇÃO (5)**

Para atingir os objetivos descritos em 11.20.1, letra b (ρ = 0,55 kg/m³ para 300º C):

**V = m/ρ**

V = 7,795/0,55;

**V = 14,172 m3/s.**

* 1. Deve ser acrescido, para seleção dos ventiladores e dimensionamento dos dutos, o coeficiente de segurança de 25%, conforme previsto no item 11.16.2:

**Ve: vazão do extrator**

Ve = V x 1,25

Ve = 14,172 x 1,25

**Ve = 17,72 m³/s (63.777 m³/h)**

* 1. cálculo da entrada de ar, conforme item 11.22.2

**Vv: vazão de entrada de ar (natural)**

Vv = Ve

Vv = **17,72 m³/s (63.777 m³/h)**

**Exemplo 3**

1. **Dados do edifício:** 
   1. depósito de livros (J-4);
   2. área de 1000,00 m²;
   3. dimensão: 20,00 m x 50,00 m x 6,00 m;
   4. estocagem em prateleiras fixas com altura de 4,00 m;
   5. edifício protegido por chuveiros automáticos de teto;
   6. edificação protegida por sistema de detecção;
   7. Altitude: 800 m
2. **Dados para projeto:** 
   1. classificação segundo IT 14: risco médio;
   2. dimensão do incêndio esperado segundo Tabela 9 – Parte 5:
   3. Tamanho do incêndio = 6,00m x 6,00m;
   4. Perímetro = 24 m;
   5. Área = 36,00 m²;
   6. Taxa de liberação de calor segundo Tabela 10 – Parte 5 = 720,00 kW/m²/m;

**3 Dimensionamento:**

* 1. taxa total de liberação de calor (Q) = 720,00 x 36,00 x 4,00 = 103.680,00 kW;
  2. altura da camada de fumaça adotada em projeto (z) = 4,50 m
  3. tempo para a fumaça atingir a altura de projeto:
  4. Pela Equação (1): (Cálculo da altura da camada de fumaça, sem nenhum sistema entrar em funcionamento).

**z/H = 1,11 – 0,28 ln [(tQ1/3 / H4/3) / (A/H2)];**

4,5/6,0 = 1,11 – 0,28 ln [(t 103.6801/3 / 64/3) / (1000 / 62)];

**t = 23,3 s**

* 1. altura da chama:

**1.** Pela Equação (2) - **z1 = 0,166 Qc2/5**

z1 = 0,166 (103.680 x 0,7)2/5

**z1 = 14,6 m.**

* 1. como z < z1, temos para cálculo da massa de fumaça a utilização da Equação (4):

**EQUAÇÃO (4)**

m = 0,032 Qc3/5 z (z < z1);

m = 0,032 x 103.680 3/5 x 4,5;

m = 118,8 Kg/s.

* 1. cálculo da vazão volumétrica:

**EQUAÇÃO (5)**

Para atingir os objetivos descritos em 11.20.1 letra a (ρ = 0,92 kg/m³ para 70º C):

**V = m/ρ**

V = 118,8/0,92

**V = 129,1 m3/s**

* 1. Deve ser acrescido, para seleção dos ventiladores e dimensionamento dos dutos, o coeficiente de segurança de 25%, conforme previsto no item 11.16.2:

**Ve: vazão do extrator**

**Ve = V x 1,25**

Ve = 129,1 x 1,25

**Ve = 161,4 m³/s (581.040 m³/h)**

* 1. cálculo da entrada de ar, conforme item 11.22.2.

**Vv: vazão do ventilador de entrada de ar**

Vv = Ve x 0,6

Vv = 161,4 x 0,6 → **Vv = 96,84 m³/s (348.624 m³/h)**