

FÁBIO MORI  
WALTER COSTA TEIXEIRA PINTO

DETECÇÃO DE INCÊNDIO EM TÚNEIS METROVIÁRIOS

São Paulo

2010

FÁBIO MORI

WALTER COSTA TEIXEIRA PINTO

DETECÇÃO DE INCÊNDIO EM TÚNEIS METROVIÁRIOS

Monografia apresentada à Escola Politécnica da Universidade de São Paulo como pré-requisito para a conclusão do Curso de Especialização em Tecnologia Metroferroviária.

Orientador

Prof. Dr. Jorge Rady de Almeida Jr.

São Paulo

2010

## **FICHA CATALOGRÁFICA**

**Mori, Fábio**

**Detecção de incêndio em túneis metroviários / F. Mori,  
W.C.T. Pinto. -- São Paulo, 2010.  
80 p.**

**Monografia (Especialização em Tecnologia Metro-Ferro-  
viária). Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Pro-  
grama de Educação Continuada em Engenharia.**

**1. Túneis 2. Incêndio (Percepção) 3. Engenharia elétrica  
I. Pinto, Walter Costa Teixeira II. Universidade de São Paulo.  
Escola Politécnica. Programa de Educação Continuada em  
Engenharia III. t.**

## DEDICATÓRIA

Dedicamos este trabalho às nossas famílias.

## AGRADECIMENTOS

A Deus, criador da vida.

Ao nosso orientador Prof. Dr. Jorge Rady de Almeida Jr, pela orientação e constante estímulo durante o desenvolvimento do trabalho.

À Companhia do Metropolitano de São Paulo, por proporcionar nossa participação no Curso de Especialização em Tecnologia Metroferroviária.

Aos colegas Massaru Saito e Roque L. Rosa, por facilitarem o acesso ao CoMET.

Aos colegas do GCS Antonio Gardziulis, Carlos Paixão, Celso Liboni, Nelo Brizola, Milton Gioia Jr, Paulo Sérgio Meca.

A todos os demais colegas do CSM.

Às nossas esposas, Maria Tereza e Lamara, pelo incentivo e apoio incondicional.

## **RESUMO**

A crescente preocupação com a segurança dos sistemas de transporte subterrâneo, exacerbada por recentes ocorrências de acidentes em túneis de metrô, a nível mundial, desafia as companhias de metrô e ferrovias a buscarem a excelência em segurança. Entre essas ocorrências, estão incluídas ocorrências de incêndio em túneis de metrôs e ferrovias. Portanto, torna-se um grande desafio obter uma proteção contra incêndio em tais condições, e é muito importante detectar qualquer sinal de incêndio o mais cedo possível. A detecção de incêndios em túneis metroferroviários pode ser considerada como um assunto complexo, pois a variação na velocidade do ar proveniente do sistema de ventilação e o efeito pistão dos trens podem mascarar eventuais focos de incêndio, pela diminuição da temperatura nos túneis, interferindo com detectores ópticos. Desta forma, o objetivo deste trabalho é apresentar um estudo sobre vários tipos de detectores de incêndio, e fornecer uma proposta para utilizar em metrô e túneis ferroviários. Pesquisou-se sobre os detectores disponíveis, tais como os de fumaça, ópticos, fotoelétricos, detectores de ionização, de chama, detectores de radiação ultravioleta e infravermelha, obtendo-se as suas principais características positivas e negativas. Algumas das fontes de informação são as normas da ABNT e NFPA. Outra fonte é o CoMET - Comunidade de Metrôs. Entre os aspectos técnicos estudados, está a eficiência dos equipamentos, em comparação com a hostilidade do ambiente, ou seja, de um túnel. A partir desses dados, o resultado esperado é o de propor uma utilização combinada de alguns tipos de detectores, no intuito de obter um sistema de proteção adequada contra incêndios, considerando suas características principais.

Palavras-chave: Detecção de Incêndio, Túneis, Metrô.

## **ABSTRACT**

The growing concern about safety in underground transportation systems, exacerbated by recent occurrences of accidents in subway tunnels at a worldwide level, represents a great safety challenge to most of the metro and railway systems. Among those accidents, there is the occurrence of fire in metro and railway tunnels. It is thus a great challenge to obtain protection against fire in such conditions, and it is very important to have means to detect any signal of fire as early as possible. Fire detection in railway and metro tunnels may be considered a complex and a challenging issue because the variation in air speed coming from the main ventilation system and the piston effect of the trains may mask eventual focus of fires by decreasing the temperature, and by interfering with optical detectors. Hence, the aim is to present a study on several kinds of fire detection equipment, so as to employ them in metro and railway tunnels. A research is made on the available detectors, such as smoke, optical, photoelectric, ionization, flame, ultraviolet and infrared detectors, obtaining their main positive and negative features. Some of the sources of information are the standards of the ABNT and NFPA. Other one is the CoMET – Community of Metros. Among the technical aspects to be studied, there is the equipment efficiency, as compared to the hostility of the environment, i.e., a tunnel. Starting from those data, the expected result is to propose a combined use of some type of detectors, seeking to obtain an adequate fire protection system, considering its main features.

**Keywords:** Fire Detection, Tunnels, Subway.

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 - Fluxo de pessoas em uma estação (GESP, 2009). ....	5
Figura 2 - (a) Tatuapé - superfície (b) Brás – elevado (c) Trianon-Masp – Subterrânea (METRÔ, 2009a). ....	5
Figura 3 - VCA no emboque do Túnel Tucuruvi (METRÔ, 2009a). ....	6
Figura 4 - Túnel NATM – Guaianazes (METRÔ, 2009a). ....	7
Figura 5 - Principais tipos Shield (METRÔ, 2009a). ....	8
Figura 6 - Máquina Escavadora "Tatuzão" (METRÔ, 2009a). ....	8
Figura 7 - Exemplo de túnel em VCA de via dupla (METRÔ, 2009b). ....	9
Figura 8 – Vista em corte na seção de túneis de via única (METRÔ, 2009c). ....	9
Figura 9 - Túneis paralelos em via única. ....	11
Figura 10- Ventiladores axiais. ....	12
Figura 11 - Torres de Poços de Ventilação (METRÔ, 2009a). ....	12
Figura 12 - Triângulo do Fogo (UNIV, 2002). ....	14
Figura 13 - Fases do fogo (UNIV, 2002) ....	17
Figura 14 - Riscos de exposição ao monóxido de carbono (TEIXEIRA, 2006) ....	18
Figura 15 - Incêndio em Daegu (BBC, 2003) ....	20
Figura 16 - Trecho entre AIP e SAC. ....	28
Figura 17 - Detector Linear do tipo Cabo Resistivo (PROTECTORWIRE, 2010)....	32
Figura 18 - Detectores de tubo pneumático (BOSHSECURITY, 2005). ....	34
Figura 19 - Detector termovelocimétrico por compensação (DEWITT, 2007). ....	35
Figura 20 - Detector de temperatura combinado (DEWITT, 2007)....	36
Figura 21 – Princípio de funcionamento de um detector óptico (MVRFA, 2010)....	38
Figura 22 - Princípio operacional de um detector de ionização (DEWITT, 2007)....	39
Figura 23- Estágios do Fogo (KANESHIRO, 2006)....	41
Figura 24 - Sistema de Detecção de Fumaça por Aspiração (JANES, 2009). ....	42

Figura 25 - Cabo de Fibra Óptica (SECURITON, 2009).....	45
Figura 26 - Sistema de detecção por fibra óptica (APSENSING, 2009).....	46
Figura 27 - Detecção por vídeo câmera (SECURITON, 2009).....	47
Figura 28 - Tela de Supervisão e Alarmes (SECURITON, 2009).....	48
Figura 29 - Cabo Sensor (SECURITON, 2009).....	48
Figura 30 - Fases de fogo e atuação de detectores de incêndio (TEIXEIRA, 2006) .	54

## **LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS**

Á	Angstrom
ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
AMV	Aparelho de Mudança de Via
AIP	Estação Alto do Ipiranga
CBPMESP	Corpo de Bombeiros da Polícia Militar do Estado de São Paulo
CCO	Centro de Controle Operacional
CFTV	Círculo Fechado de Televisão.
CoMET	Community of Metros
IR	Infravermelho
IT	Instrução Técnica
NATM	New Austrian Tunneling Method
NFPA	National Fire Protection Association
PV	Poço de Ventilação
R	Raio
SAC	Estação Sacomã
SE	Saída de Emergência
SVP	Sistema de Ventilação Principal
TBM	Tunnel Boring Machines
TRRF	Tempo de Resistência ao Fogo
UV	Ultravioleta
VCA	Vala a Céu Aberto

# **SUMÁRIO**

1	Introdução .....	1
1.1	Objetivos .....	2
1.2	Estrutura do Trabalho .....	3
2	Descrição do Ambiente .....	4
2.1	Metrô de São Paulo .....	4
2.2	Túneis .....	6
2.2.1	Métodos construtivos .....	6
2.2.1.1	Método de Trincheiras - Vala a Céu Aberto (VCA) .....	6
2.2.1.2	<i>New Austrian Tunnelling Method - NATM</i> .....	7
2.2.1.3	Mecanizado (TBM - Tunnel Boring Machines) .....	7
2.2.2	Quantidade de Vias .....	9
2.3	Sistema de Ventilação .....	11
2.4	Poços de Ventilação .....	12
2.5	Efeito Pistão .....	13
2.6	Distâncias Típicas e Saídas de Emergências .....	13
3	Incêndio .....	14
3.1	Definição de fogo .....	14
3.2	Cargas de Incêndio .....	15
3.3	Fases de um fogo .....	16
3.4	Riscos da exposição do ser humano ao incêndio .....	18
3.5	Incêndios em metrôs .....	19
3.6	Consequências dos Incêndios .....	20
4	Descrição de Normas .....	22
4.1	ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas .....	22

4.1.1	Norma ABNT NBR 15661 - Proteção Contra Incêndio em Túneis.....	23
4.1.2	Norma ABNT NBR 15775 - Sistemas de Segurança contra Incêndio em Túneis – Ensaios, Comissionamento e Inspeções .....	26
4.1.3	Norma ABNT NBR 9441 – Execução de Sistemas de Detecção e Alarme de Incêndio .....	26
4.1.4	Norma ABNT NBR 11836 - Detectores Automáticos de Fumaça para Proteção contra Incêndio.....	26
4.2	NFPA – NATIONAL FIRE PROTECTION ASSOCIATION.....	27
4.3	INSTRUÇÕES TÉCNICAS DO CBPMESP .....	28
5	Sistemas de Detecção de Incêndio.....	30
5.1	Tipos de detectores de incêndio.....	30
5.1.1	Detectores Térmicos .....	31
5.1.1.1	Detector térmico de temperatura fixa.....	31
5.1.1.2	Detector Termovelocimétrico .....	33
5.1.1.3	Detector Termovelocimétrico com compensação .....	34
5.1.1.4	Detector de temperatura combinado.....	35
5.1.2	Detectores de Fumaça .....	37
5.1.2.1	Detectores Fotoelétricos ou Ópticos .....	37
5.1.2.2	Detectores de Fumaça por Ionização .....	39
5.1.2.3	Detectores de Fumaça por Aspiração.....	40
5.1.3	Detectores de Chamas.....	43
5.1.3.1	Detectores de Radiação Ultravioleta.....	43
5.1.3.2	Detectores de Radiação Infravermelha.....	44
5.1.3.3	Detectores de Cintilação de Chama e Fotoelétricos .....	44
5.1.4	Por Cabo de Fibra Óptica .....	45
5.1.5	Sistema de Detecção por Vídeo Camera.....	47

5.1.6	Detector por Cabo Sensor.....	48
5.2	Exemplos de Aplicação de Sensores .....	49
5.2.1	Metrô de São Paulo.....	49
5.2.2	Túneis Rodoviários .....	49
5.2.3	Outros Metrôs.....	50
5.2.4	Trens do METRÔ-SP. ....	51
5.3	Estudo Comparativo .....	51
6	Conclusões .....	57
6.1	Considerações Finais.....	57
6.2	Próximas Etapas.....	58
7	Referências.....	59
	ANEXO A – PESQUISA DO COMET .....	63

## 1 INTRODUÇÃO

A crescente preocupação com a segurança em instalações de transporte subterrâneo, exacerbada por recentes ocorrências de acidentes em túneis metroviários em nível mundial, desafia a Companhia do Metropolitano de São Paulo – Metrô a buscar sua excelência em aspectos de segurança.

Esta excelência é buscada em várias situações, e empregam-se diversos equipamentos que permitem o melhor controle das diversas ocorrências que, porventura, podem suceder durante a operação comercial. Busca-se aprimorar as técnicas de monitoramento, seja pelo uso de câmeras para a segurança dos passageiros, ou de sistemas supervisórios, que permitem uma visão geral sobre o funcionamento dos sistemas vitais.

Estes sistemas permitem que se possa monitorar ou, até mesmo, prever o funcionamento dos sistemas de alimentação elétrica, da iluminação de emergência e, até mesmo, dos sistemas de ventilação.

Um dos sistemas sempre observados é o de detecção de incêndio. Neste ramo, diversos equipamentos são empregados para a monitoração das condições ambientais. Nota-se que, na maioria dos casos, são mais utilizados os detectores convencionais, baseados na detecção de fumaça ou na variação térmica. É vasta a gama de equipamentos capazes de efetuar a monitoração em edificações e em ambientes amplos, com grande eficiência. Entretanto, nos túneis, a experiência ainda mostra uma carência de domínio técnico.

A detecção de incêndio em túneis metroviários é, ainda, um assunto recente e pouco dominado. Considera-se um assunto complexo pelos seguintes motivos:

- A variação da velocidade do ar, provinda do sistema de ventilação principal e do efeito pistão dos trens, pode mascarar eventuais focos de incêndio pela diminuição de temperatura, e por interferência em detectores ópticos.
- As partículas em suspensão da via, que podem interferir no desempenho de sensores.
- Há dificuldade na instalação de sensores de incêndio em virtude das longas distâncias dos túneis.

Pode-se afirmar que há uma mobilização para aperfeiçoar os sistemas de segurança em túneis, e a importância deste assunto cresce à medida que crescem, também, as instalações metroferroviárias em todo o País. O atual Plano de Expansão do Governo de Estado de São Paulo, assim como as expansões em outras capitais do País, tais como Rio de Janeiro, Salvador, Fortaleza, Curitiba, e Brasília, trarão, cada vez mais, esta preocupação às equipes técnicas envolvidas e também à opinião pública.

A Associação Brasileira de Normas Técnicas, ABNT, também incluiu este tema em seus trabalhos, e, atualmente, mantém uma discussão sobre a criação de uma norma específica sobre a segurança em túneis metroviários, englobando a detecção de incêndio. Em outras entidades, a nível nacional, não se encontram muitos trabalhos divulgados, com resultados satisfatórios sobre este tema.

## **1.1 *Objetivos***

Devido ao pouco conhecimento que se detém sobre a detecção de incêndio em túneis metroferroviários, este trabalho tem como propósito efetuar um estudo das opções existentes. O objetivo é fazer um levantamento dos equipamentos ou das categorias de equipamentos disponíveis no mercado que podem ser aplicados nesta situação, elencando as características técnicas de cada tipo de detector, comparando os princípios de funcionamento e suas aplicações.

Verificou-se a possibilidade de aplicação dos detectores existentes, isto é, se as suas características técnicas permitem, com resultados satisfatórios, a sua instalação no ambiente desejado. Um dos aspectos analisados refere-se à eficiência do equipamento, frente à hostilidade do ambiente de um túnel. Foram, ainda, levantadas informações sobre a instalação destes equipamentos em outros metrôs do mundo. Nestes casos, há de se pesquisar sobre os resultados já obtidos nestas instalações. Em uma futura instalação no Metrô de São Paulo, há de se levantar, também, os requisitos desejados para esses sistemas.

## **1.2 Estrutura do Trabalho**

A fim de informar o leitor sobre a Companhia do Metropolitano de São Paulo, que é o ambiente em que se realiza este estudo, é apresentada, no Capítulo 2, uma breve descrição do Metrô.

No Capítulo 3, há uma explanação sobre incêndios, de modo geral. É apresentada uma breve definição sobre fogo: como ele é formado, quais são os seus elementos e quais os tipos existentes. Mostram-se os riscos que estão envolvidos em caso de um incêndio, especificamente caso este aconteça em um túnel metroferroviário. Vale considerar que um túnel metroferroviário é um ambiente confinado. Então, há aspectos que não estariam envolvidos em casos de ambientes amplos, que vão desde riscos reais provocados pelo confinamento, até fatores psicológicos, que aumentam as situações de medo e pânico.

No Capítulo 4, é feita uma abordagem das normas em vigor, referentes a incêndios. Abordam-se as entidades normativas que já publicaram algum trabalho sobre o tema. Da mesma forma, foram levantadas as normas existentes sobre proteção e combate contra incêndios, especialmente em locais de grande concentração de pessoas, em sistemas de transporte ou em outras aplicações.

O Capítulo 5 apresenta o estado da arte em equipamentos disponíveis para detecção de incêndio. Descrevem-se os diversos tipos de detectores, um breve descriptivo do seu funcionamento, as principais aplicações as vantagens e desvantagens de cada um. É apresentada, também, a situação de emprego destes equipamentos em túneis rodoviários e em outros metrôs. Por fim, mostra o estudo comparativo e a proposta para aplicação no Metrô de São Paulo.

Finalmente, o Capítulo 6 traz as conclusões do trabalho, destacando a proposta apresentada de um sistema de detecção de incêndio para os túneis do Metrô de São Paulo, bem como relacionando as sugestões para continuidade.

## **2 DESCRIÇÃO DO AMBIENTE**

Este capítulo tem o propósito de situar o leitor sobre o ambiente em que se realiza este estudo, que deve ser aplicado no Metrô de São Paulo e suas instalações.

### **2.1 Metrô de São Paulo**

O Metrô de São Paulo foi fundado em 1968 e, atualmente, conta com quatro linhas em operação, num total de 61 km. Destas linhas, aproximadamente 60% estão localizadas em vias subterrâneas, e, por conseguinte, a operação é efetuada em túneis (METRÔ, 2009a).

A Linha 1 – Azul é a mais antiga, e é popularmente conhecida como Linha Norte – Sul. Foi inaugurada em 1974, e conta com 20,2 km. Destes, apenas 5 km não operam em túneis.

A segunda linha entregue à população foi a 3, Vermelha, inaugurada em 1979. A maior parte desta opera em superfície, e apenas cerca de 7 km desta estão em túneis.

A terceira linha entregue à população foi a Linha 2, Verde, inaugurada em 1991. Atualmente, conta com pouco menos de 11 km, e possui mais 4km em fase de construção. Quando este novo trecho estiver em operação, cerca de apenas 1,5km não operarão em túneis.

A quarta linha, cuja operação se deu início em 2002, é a Linha 5, Lilás, com cerca de 8,5 km. Do trecho atualmente em operação, os túneis somam cerca de 850m. O prolongamento desta linha está, atualmente, em fase de construção. Assim, esta linha será estendida em cerca de 12 km, em vias subterrâneas (GESP, 2009).

Vale ressaltar que está em construção, também, a linha 4, Amarela, também com mais 12 km de vias subterrâneas. Mais duas linhas encontram-se em fase de projeto e de estudo de viabilidade, sem citar as linhas em que se pretende construir em monotrilho.

No ambiente metroviário, destacam-se os seguintes tipos de construções: estações, via permanente e túneis.

A via permanente é formada pelos trilhos e seus sustentáculos. Os equipamentos de via, tais como AMVs, sistemas de redução de ruídos (ex. massa-mola), terceiro trilho, barras chatas, dormentes, etc. A estrutura da via permanente pode ser construída em superfície, elevado e subterrâneo (túneis).

A Estação é definida como uma construção em que ocorre o fluxo de pessoas, para as finalidades de embarque e desembarque nos trens de uma determinada linha, conforme Figura 1.



**Figura 1 - Fluxo de pessoas em uma estação (GESP, 2009).**

As estações podem ser construídas em superfície, elevada ou subterrâneas, conforme Figura 2.



**Figura 2 - (a) Tatuapé - superfície (b) Brás – elevado  
(c) Trianon-Masp – Subterrânea (METRÔ, 2009a).**

Pelo fato de que os túneis se constituem em um aspecto fundamental nesta monografia, sua discussão é melhor detalhada na seção a seguir.

## 2.2 Túneis

Os túneis metroferroviários são passagens subterrâneas que interligam duas ou mais estações, ou, até mesmo, outras instalações, tais como estacionamentos, pátios de manobra, entre outros.

### 2.2.1 Métodos construtivos

Os túneis do Metrô de São Paulo foram produzidos por diversos métodos construtivos. Os principais tipos são descritas nas subseções a seguir.

#### 2.2.1.1 Método de Trincheiras - Vala a Céu Aberto (VCA)

Este método também é denominado como método destrutivo devido à sua interferência na superfície. O VCA aplica-se onde não há interferência com o sistema viário, ou onde seja possível desviar o tráfego sem grandes transtornos (METRO, 2009a).

O método de VCA consiste da escavação do local, partindo da superfície e interditando a área, a fim de possibilitar a construção da estrutura subterrânea. Posteriormente, a área é novamente coberta. A Figura 3 mostra um exemplo de VCA, localizado no emboque do Túnel Tucuruvi.



Figura 3 - VCA no emboque do Túnel Tucuruvi (METRÔ, 2009a).

O método invertido ou *cut-and-cover* é uma variação desse processo, sendo utilizado quando a ocupação temporária da superfície precisa ser abreviada devido às necessidades socioeconômicas locais.

### **2.2.1.2 New Austrian Tunneling Method - NATM**

O NATM é um método que não exige a demolição da superfície. Para tanto, utiliza concreto projetado como suporte, além de, chumbadores e fibras no concreto, em função da capacidade auto-portante do maciço rochoso (METRÔ, 2009a).

A Figura 4 mostra um exemplo de NATM, localizado em Guaianazes.



**Figura 4 - Túnel NATM – Guaianazes (METRÔ, 2009a).**

No caso de utilização deste método próximo à superfície, entre 1 e 4 metros de profundidade, ou em áreas de tráfego intenso, o NATM isoladamente não pode ser utilizado como solução devido à baixa cobertura de solo, o que implica em baixa capacidade de sustentação do maciço rochoso. Só pode ser utilizado em conjunto com soluções de sistemas auxiliares de sustentação.

### **2.2.1.3 Mecanizado (TBM - Tunnel Boring Machines)**

A escavação é realizada por um equipamento mecanizado, com a parte frontal aberta ou fechada, sob a proteção da couraça. Este equipamento ficou conhecido no Brasil como “Tatuzão”. Utiliza-se um revestimento segmentado pré moldado de concreto (ou metálico) para sustentação. A máquina escavadora avança

pela reação de macacos hidráulicos contra os anéis de revestimento montados (METRÔ, 2009a).

A Figura 5 representa os esquemas de funcionamento dos principais tipos de TBMs.

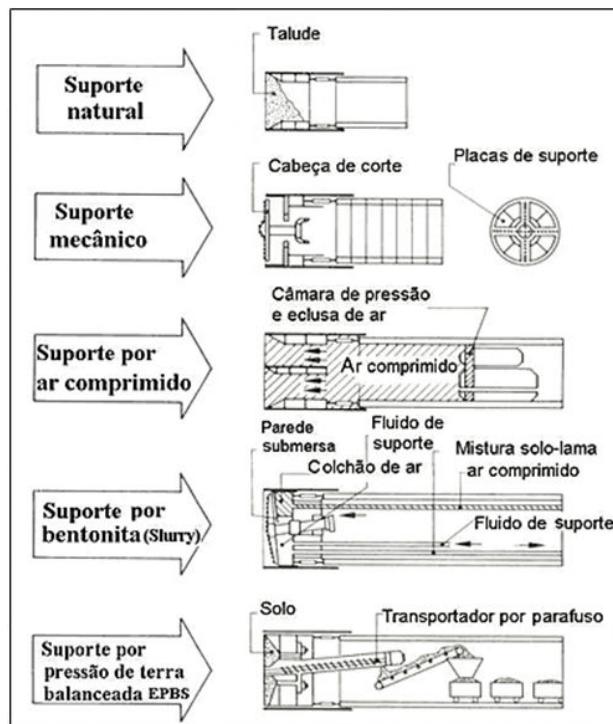


Figura 5 - Principais tipos Shield (METRÔ, 2009a).

A Figura 6 ilustra a máquina escavadora conhecida como “Tatuzão”.

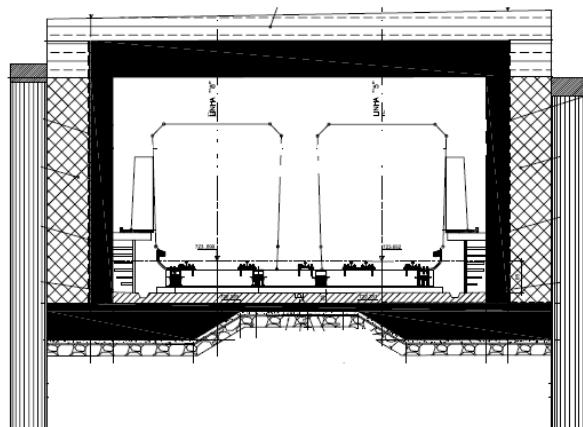


Figura 6 - Máquina Escavadora "Tatuzão" (METRÔ, 2009a).

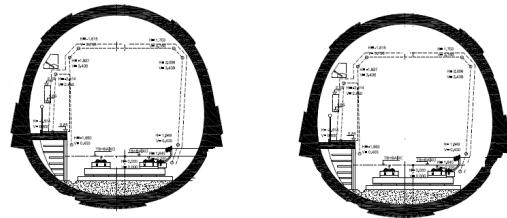
## 2.2.2 Quantidade de Vias

Os túneis podem, ainda, ser classificados no quesito da quantidade de vias pelas quais os trens podem circular. Nesta classificação, os mais comuns são os considerados como de via única ou de via dupla.

A Figura 7 representa uma vista em corte de túnel em VCA de via dupla e a Figura 8 ilustra túneis paralelos de via única.



**Figura 7 - Exemplo de túnel em VCA de via dupla (METRÔ, 2009b).**



**Figura 8 – Vista em corte na seção de túneis de via única (METRÔ, 2009c).**

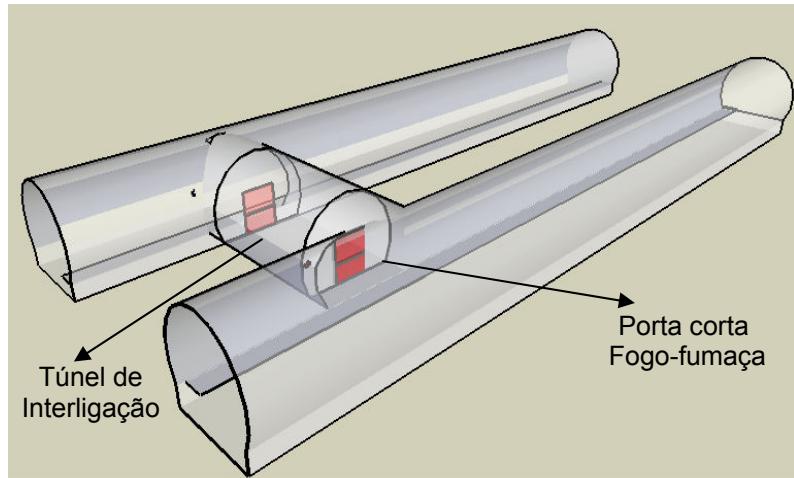
Na escolha do tipo de túnel a se construir, devem ser considerados os seguintes aspectos:

- Segurança – há de se considerar que deve haver rotas de fuga em quantidade suficiente para a evacuação em tempo hábil. Há a necessidade do eficiente controle de fumaça e redução da carga de eventuais incêndios.

- Técnicos – há de se considerar o tipo de solo, interferências, inclinações, perfil geográfico da linha, topografia, entre outros.
- Econômicos – há de se considerar o prazo da obra, o custo de cada sistema, logística de implantação e de escavação, mão-de-obra envolvida, etc.
- Ambientais – além da exigência da licença ambiental, há de se considerar as características do entorno das escavações, de modo a minimizar os impactos decorrentes da obra, especialmente com relação ao meio ambiente e com a economia local.

Analizando-se, especificamente, os tipos de túneis com vias única e dupla, pode-se relacionar os seguintes aspectos:

- Túneis de via dupla mostram, como vantagens, mais espaço para operações de resgate e de abandono de trem, além de haver mais espaço para a fumaça se dispersar. As desvantagens são: rotas de fugas muito longas, dependendo de saídas de emergência. É mais difícil prever o fluxo da ventilação. Caso ocorra descarrilamento, ambas as vias podem ficar bloqueadas. A Figura 7 mostra um túnel de via dupla.
- Túneis paralelos singelos de via única apresentam como vantagem: menor possibilidade da ocorrência de acidentes por descarrilamento em virtude a obstruções devidas ao trilho adjacente, havendo ainda a possibilidade de se utilizar o túnel adjacente. Conforme pode ser visto na Figura 9, há possibilidade de construção de túneis de interligação dotados de portas corta fogo-fumaça para fuga e resgate. A direção da ventilação é previsível. Como desvantagem, há custos maiores de implantação.



**Figura 9 - Túneis paralelos em via única.**

### 2.3 Sistema de Ventilação

O Sistema de Ventilação Principal (SVP) é um sistema de ventilação mecanizada presente em estações subterrâneas e túneis, tendo como objetivo inicial propiciar o conforto térmico e higienizar os ambientes por meio de trocas de ar.

Nos últimos anos, incorporou-se a filosofia de controle de fumaça na concepção das novas estações. Além disto, nas saídas de emergência, em adaptação à Instrução Técnica IT-13 (CBPMESP, 2004) do Corpo de Bombeiros da Polícia Militar de São Paulo, adotou-se a pressurização da escadaria de emergência, com a finalidade de garantir a segurança na rota de fuga, evitando-se que a fumaça adentre a escadaria em caso de incêndio.

As saídas de emergência são dotadas de detector de fumaça, em posições próximas da entrada do nível da via, que acionam o sistema de pressurização em caso de sinistro.

O SVP é dotado de grandes ventiladores axiais, que podem afetar o desempenho dos sistemas de detecção de fumaça. A Figura 10 ilustra os ventiladores axiais.

Tipicamente, em um sistema de ventilação envolvendo uma estação há uma vazão, provocada pelos ventiladores, de cerca de  $320 \text{ m}^3/\text{s}$  de ar, o que representa em média cerca de 80 trocas de ar em uma estação por hora. A Figura 10 mostra típicos ventiladores axiais instalados em túneis e estações do Metrô.



**Figura 10- Ventiladores axiais**

## **2.4 Poços de Ventilação**

A fim de equilibrar o balanceamento do sistema de Ventilação Principal, na região entre estações são projetados Poços de Ventilação que permitem a extração de calor e renovação de ar nos túneis.

A Figura 11 mostra torres de ventilação de Poços de Ventilação do Metrô.



**Figura 11 - Torres de Poços de Ventilação (METRÔ, 2009a)**

## **2.5 Efeito Pistão**

O Efeito Pistão consiste do deslocamento de ar proveniente da movimentação dos trens nos túneis. É análogo ao movimento de um êmbolo em uma seringa ou uma bomba de ar.

É mais sentido nos túneis singelos, em que há menor espaço para a circulação do ar no entorno do trem em movimento. Em medições efetuadas no Metrô, verificou-se que a pressão equivalente do Efeito Pistão é cerca de 200 Pa.

Devido ao efeito pistão, em túneis de via dupla, a direção do fluxo do ar fica imprevisível, mesmo no caso da existência de ventilação mecanizada no túnel.

## **2.6 Distâncias Típicas e Saídas de Emergências**

O Metrô de São Paulo possui distâncias típicas entre estações em torno de 1 km, dotadas de saídas de emergência entre os trechos de via subterrânea.

Com a finalidade de reduzir custos de obra é comum a construção de Poços de Ventilação incorporando Saídas de Emergência.

### 3 INCÊNDIO

Este capítulo traz uma abordagem sobre o incêndio, destacando sua definição e como pode ser formado. Mostra também um histórico de incêndios ocorridos em metrôs, apontando as suas causas e, principalmente, as consequências.

#### 3.1 Definição de fogo

Fogo pode ser definido como calor e chamas resultantes da transformação química de materiais combustíveis em reação com o oxigênio contido no ar (ARAGÃO, 2010).

O triângulo do fogo (Figura 12) é a representação didática dos três componentes indispensáveis ao surgimento e à manutenção do fogo: o combustível, o oxigênio e o calor.

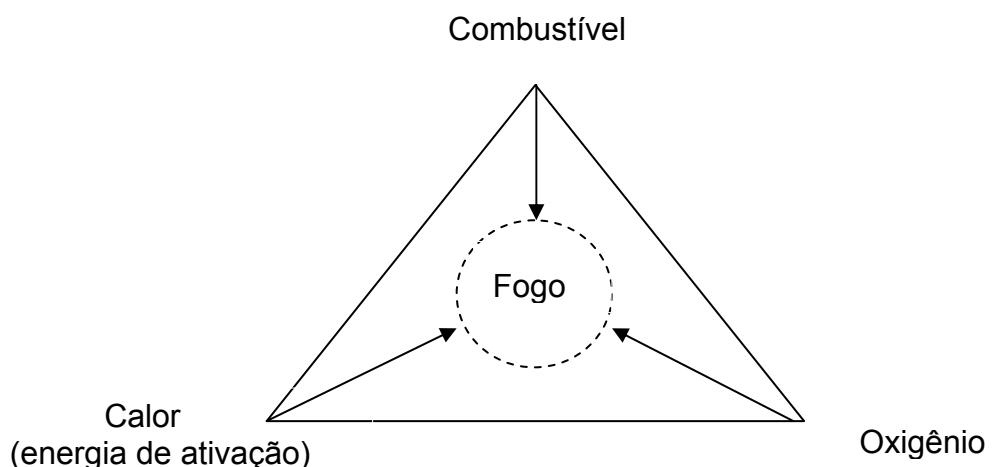


Figura 12 - Triângulo do Fogo. (UNIV, 2002)

Quando ocorre uma reação química em cadeia (transferência de energia térmica em moléculas em combustão para outras intactas), o fogo se propaga, caracterizando-se o quadrilátero do fogo, quando de fato poderá ocorrer um incêndio.

Desta forma, define-se como incêndio uma forte reação de combustão (oxidação-redução) exotérmica que ocorre de forma descontrolada no decorrer do tempo. Normalmente em um incêndio, verifica-se a emissão de fumaça, chamas e gases de combustão (TEIXEIRA, 2006).

Segundo Figueiredo (2010), em termos de velocidade da reação de oxidação-redução, pode-se ter as seguintes situações:

- Reação muito lenta: não aparecem chamas. Como exemplo, a oxidação do ferro ou a putrefação de matérias orgânicas.
- Reação rápida: é quando ocorre a combustão com chamas. Resulta o fogo propriamente dito, aparecem as chamas e outros fenômenos ópticos e térmicos, tais como a fumaça e o calor.
- Reação de combustão muito rápida: recebe o nome de deflagração, com velocidade de propagação abaixo da velocidade do som.
- Reação de combustão instantânea: denomina-se explosão ou detonação. Neste caso, a velocidade de propagação está acima da velocidade do som.

As técnicas para extinção do fogo são baseadas na eliminação de um ou mais dos componentes do triângulo de fogo.

### **3.2 Cargas de Incêndio**

Diversos materiais que se encontram nos túneis são capazes de se comportar como combustíveis em caso de um incêndio nos túneis.

Pode-se encontrar:

- Sujeiras combustíveis, tais como papel, caídos na via, proveniente dos usuários,
- Fios e cabos, componentes dos sistemas de média tensão, iluminação de túneis, telecomunicações e outros.
- Os próprios trens e outros materiais rodantes.

Na concepção dos equipamentos especifica-se a utilização de materiais incombustíveis, antichamas e não emissores de fumaça e gases tóxicos.

O Metrô de São Paulo periodicamente realiza a limpeza da via através da lavagem, sendo que essa prática provoca a retirada de sujeiras que poderiam se constituir em material para ignição de incêndios. O acúmulo de sujeiras, tais como fios de cabelo ou papéis, além de poderem afetar o desempenho de equipamentos, podem, também, entrar em contato com faíscas provenientes da passagem do trem, propiciando incêndio.

Estima-se que as cargas de incêndio dos vagões de passageiros sejam da ordem de 15 a 20 MW. Desta forma, considera-se para planejamento e projeto seguro de túneis de metrô que a geração média de energia seja da ordem de 30 MW, em caso de incêndio no túnel (NBR15661, 2009).

### **3.3 *Fases de um fogo***

A evolução do fogo passa por diversas etapas, conforme ilustrado na Figura 13:

- Etapa de latência: o sistema está latente, ou seja, existe energia de ativação, combustível e oxigênio suficientes em quantidade e qualidade para o surgimento das chamas.
- Etapa de arranque: é a fase intermediária entre a latência e a aceleração. É determinada pela velocidade de ignição e de propagação da energia
- Etapa de (pré-combustão): aparecem gases e fumaça, gases tóxicos e corrosivos. Ocorre a elevação da temperatura, das radiações emitidas e a aceleração da combustão;
- Etapa de combustão: a temperatura e a velocidade da combustão crescem de forma exponencial. Aumenta-se a quantidade de gases liberados. Alguns materiais atingem o ponto de auto-ignição, gerando gases e vapores e inflamando-se espontaneamente;

- Etapa de declínio ou de extinção: o local está todo engolrado em chamas, contudo não há realimentação dos elementos necessários para a manutenção do fogo, por isso, o fogo diminui

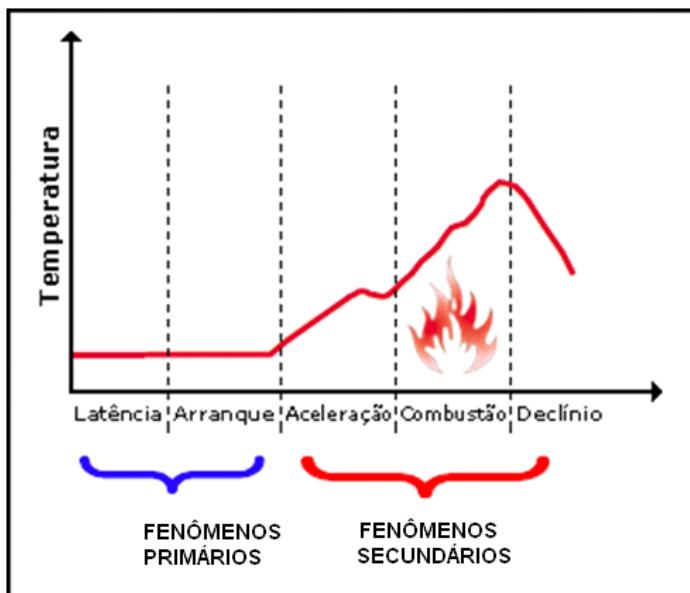


Figura 13 - Fases do fogo (UNIV, 2002)

As etapas do fogo podem ser agrupadas em fenômenos primários e secundários. No caso dos fenômenos primários, ocorre a liberação de partículas invisíveis, tais como íons e vapores. Quanto aos fenômenos secundários, observa-se emissão de fumaças, de calor e de luminosidade (chamas), que são o princípio para detecção de um fogo. Além desses produtos resultantes da combustão, que podem normalmente ser utilizados para detecção de incêndio, observa-se também a geração de ruído durante a combustão e de cinzas (UNIV, 2002).

O entendimento do processo de início, desenvolvimento e dos produtos liberados no processo de um incêndio é importante para se estudar os tipos mais apropriados para cada caso. Desta forma, a escolha do detector deverá ser a que dê a resposta mais rápida e confiável, tendo atenção ao tipo de incêndio mais provável de ocorrer.

### 3.4 Riscos da exposição do ser humano ao incêndio

A exposição ao fumaça ou gases tóxicos libertados por um incêndio pode ter um grau de periculosidade maior do que a exposição das chamas, visto que esta decresce com a distância, o que não acontece com a exposição à fumaça libertada. Contudo, se for considerado o túnel como ambiente confinado, o risco para exposição às chamas se eleva significativamente.

Na Figura 14, indica-se os riscos de exposição ao monóxido de carbono, um dos gases libertados no decorrer de um incêndio, podendo provocar desde leves dores de cabeça até a inconsciência e perigo de morte, em função de sua concentração no ar e do tempo de exposição.

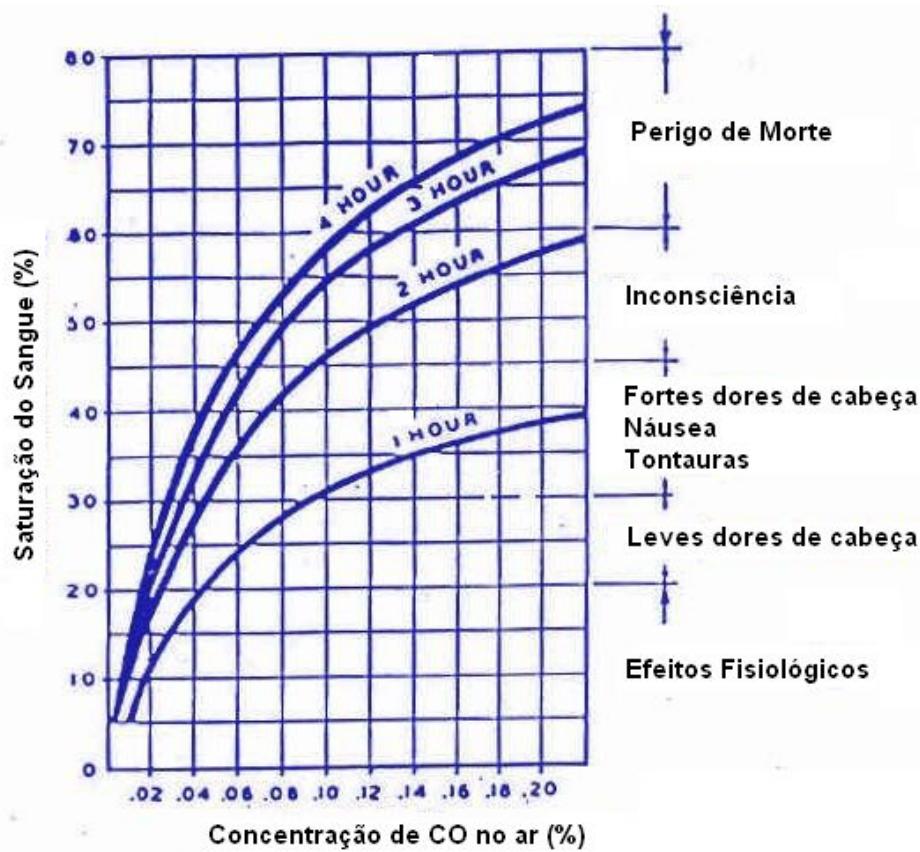


Figura 14 - Riscos de exposição ao monóxido de carbono (TEIXEIRA, 2006)

### **3.5 Incêndios em metrôs**

Embora sejam raros, incêndios em metrôs já mataram diversas pessoas desde 1903, quando cerca de 90 passageiros morreram intoxicados por fumaça dentro da estação Couronnes do metrô de Paris. Neste caso, ocorreu um incêndio em uma locomotiva na estação, contudo os usuários ficaram na estação à espera de reembolso de bilhete (NOGUEIRA, 2007; UOL, 2003).

Um dos casos mais famosos é o que aconteceu em 1987 na estação King Cross, na Inglaterra. Devido a um incêndio localizado dentro da estação, mais precisamente em uma escada rolante de madeira. O saldo totalizou 31 pessoas mortas (FIRETATICS, 2005)

Uma das piores tragédias aconteceu justamente dentro de um túnel do metrô de Baku, capital do Azerbaijão (ex-União Soviética): 285 pessoas foram mortas e 256 ficaram gravemente feridas em consequência de um incêndio em 28 de outubro de 1995. O fogo atingiu os vagões lotados quando o trem estava entre duas estações, o que agravou o abandono do trem. A maioria das mortes foi ocasionada por intoxicação pelo monóxido de carbono que infestou o ar do túnel. Sabe-se que o túnel era equipado de ventiladores de grande capacidade, mas não se sabe se foram utilizados no momento do fogo. Uma pane na rede elétrica e a abundância de material combustível nos vagões é a causa provável da origem deste incêndio (MICLEA, 2009).

Outro caso notório recente foi o atentado ocorrido em Daegu, localizado na Coréia do Sul, em 18 de fevereiro de 2003. Um homem com distúrbios mentais ateou fogo a um galão de gasolina dentro de um trem parado em uma plataforma da estação de metrô. Ocorreram diversas falhas operacionais, incluindo permitir o alinhamento de um segundo trem que estava no fora da estação na mesma plataforma e o aprisionamento dos passageiros dentro dos vagões. As mortes chegaram a 198 (MCKINNON, 2003).

A Figura 15 mostra fotos do Incêndio no metrô de Daegu.



Figura 15 - Incêndio em Daegu (BBC, 2003)

No Metrô de São Paulo existem alguns casos de princípios de incêndio registrados, sendo que o mais recente ocorreu em Setembro de 2009 em um trem localizado na estação Sé, provocando apenas alguns transtornos operacionais. Contudo, em agosto de 2001 ocorreu uma morte devido a um princípio de incêndio originado em cabos elétricos localizados na região da via próximo da estação Marechal Deodoro. A vítima morreu por parada cardiorrespiratória, sendo que há registros de que houve mais do que 20 pessoas intoxicadas (FOLHA, 2004).

### 3.6 Consequências dos Incêndios

Grande parte das mortes ocorridas nos incêndios citados no item 3.5 não foram apenas provenientes das chamas do incêndio. Foram também provocadas por asfixia ou por fatores psicológicos, tais como medo e pânico. Estes, além de afetarem mais diretamente às pessoas com problemas cardíacos ou com saúde debilitada, levam a tumultos, que, por sua vez, podem ser responsáveis por pisoteamentos ou outros danos físicos às pessoas.

Os fatores psicológicos, em situações extremas, podem gerar erros operacionais com consequências graves, tais como alinhamento errado de rotas de trens, direcionamento de pessoas para áreas não seguras ou abandonar o local esquecendo-se de verificar que há pessoas presas em lugares confinados

As consequências econômicas também devem ser consideradas. Não apenas pela parada momentânea do sistema ou mesmo pela perda dos equipamentos e instalações envolvidos no incêndio, mas até o custo indireto causado pelo abalo da imagem da empresa perante a opinião pública. Os processos judiciais, pleiteando indenizações, também serão inevitáveis nestes tipos de ocorrências.

Para evitar vítimas fatais e todos esses prejuízos é importante buscar meios de detectar o incêndio ainda em seu princípio, bem como evitar a sua propagação e propiciar os meios para combatê-los.

## 4 DESCRIÇÃO DE NORMAS

Mesmo em países desenvolvidos, somente após a ocorrência de tragédias foram criados grupos específicos de estudos em Segurança em Túneis (rodoviários, trens e metrôs) e somente após a ocorrência de fatalidades que o trabalho destes grupos ganhou força.

As normas que versam sobre segurança em túneis passaram a ser ajustadas em vários países após uma notória ocorrência de incêndio, com diversas mortes, no túnel *Mont Blanc*, em 1999. No ano seguinte, em Novembro de 2000, ainda ocorreu um incêndio em um túnel de teleférico da Áustria, que causou a morte de 155 pessoas. Algumas das principais normas desenvolvidas após estas ocorrências foram (SCABBIA, 2007):

- NFPA 512 – *Standard for Road Tunnels, Bridges and Other Limited Access Highways* – criada a partir de 1987, mas passou por forte revisão em 2001 e 2004
- Diretiva 89 / 106 – Requisitos Mínimos de Segurança para os Túneis da Rede Rodoviária Transeuropéia – criada na União Européia em 1988, mas passou por forte revisão também em 2001
- NBR 15661 – Proteção contra Incêndio em Túneis – teve a sua primeira edição publicada em dezembro de 2009, e permanece sob avaliação.

Estas normas, com exceção da NBR 15661, são explicitamente destinadas a estabelecer critérios para segurança em túneis rodoviários. As principais normas e entidades normativas que tratam da segurança em túneis metroferroviários estão relacionadas a seguir.

### 4.1 ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas

A ABNT, Associação Brasileira de Normas Técnicas, é o órgão responsável pela normalização técnica no país, fornecendo a base necessária ao desenvolvimento tecnológico brasileiro.

A ABNT possui diversos comitês técnicos para discussão dos mais variados temas. Relacionado ao tema de Segurança ao Fogo, existe a comissão denominada CB24. Uma subdivisão da CB24, a Comissão de Estudo, CE-24:301.13 discute a proteção contra incêndio em túneis.

Para as demais particularidades, não abrangidas pelas Normas ABNT, recorre-se às normas internacionais.

#### **4.1.1 Norma ABNT NBR 15661 - Proteção Contra Incêndio em Túneis.**

A Norma ABNT NBR 15661 (2009) especifica os requisitos de segurança para prevenção e proteção contra incêndio em túneis destinados ao transporte de passageiros ou de cargas. Esta norma abrange os novos túneis, ou os que sofrerem reformas.

Nota-se que, na NBR 15661 (2009), não há clareza em alguns trechos, quanto à especificação de tipos de túneis rodoviários, metroviários e ferroviários que estão sendo tratados. Deve-se levar em conta que cada túnel possui características distintas em termos de transporte de cargas, de características ambientais e operacionais e, principalmente, em termos comportamentais dos usuários desses túneis. Alguns pontos específicos da norma requerem maiores esclarecimentos ou revisões, no que se refere ao impacto na implementação, quanto à segurança e quanto à sua proposta técnica.

A seguir, é realizada uma breve apresentação desta norma, focando-se no tema desta monografia, ou seja, os túneis metroviários.

Com relação à operação do túnel, a NBR 15661 (2009) solicita um plano de gerenciamento de ação emergencial e um plano de resposta a emergência. A análise de risco deve ser feita na fase de projetos, como elemento de orientação e concepção, em todos os túneis, sendo esse plano elaborado por um organismo funcionalmente independente do gestor do túnel.

Com respeito à manutenção, a NBR 15661 (2009) exige, entre outros aspectos, que haja um centro de manutenção integrado ao CCO.

Solicita-se que seja realizada, já na fase de projetos, uma análise de riscos e que seja emitido um parecer de um perito do projeto de segurança ou de uma organização independente.

No quesito de combate a incêndio, mais especificamente aos hidrantes, solicita-se que:

- Nos túneis com comprimento entre 200 e 500 m, haja um sistema de hidrantes com tubulação que pode permanecer seca, mas com controle de abastecimento em ambas as extremidades do túnel.
- Nos túneis com comprimento entre 500 e 2.000 m, os hidrantes devem ser do tipo 3<sup>1</sup>. Deve haver uma reserva de água com previsão de combate por 30 min, considerando a operação de 2 hidrantes ao mesmo tempo, com pressão de 15 kPa no hidrante mais desfavorável. A distância máxima entre os hidrantes deve ser de 60 m, prevendo-se quatro lances de mangueira de 15 m para cada coluna de hidrante.
- Nos túneis com comprimento maior que 2.000 m, os requisitos devem ser analisados por um órgão competente.

A NBR 15661 (2009) exige que sejam instalados extintores nos túneis metroviários a cada 30 m.

No que diz respeito ao material rodante, a norma NBR 15661 (2009) preconiza que o projeto e a especificação do material rodante devem ser feitos em conjunto com o projeto restante de sinalização e de combate a incêndio.

A Norma proíbe o conceito de “abrigos de emergência”, ou seja, não é permitido que sejam concebidos locais confinados, embora sinalizados e iluminados, em que os usuários necessitem ficar, por tempo limitado, a espera de socorro dentro do túnel. Portanto, as saídas de emergência devem conduzir os usuários à área externa do túnel ou a outro túnel paralelo.

As saídas de emergência e as passagens de emergência devem ser pressurizadas. Recomenda-se que a velocidade mínima do ar seja de 3 m/s. Deve-se atentar para a aplicação deste item da norma, pois caso ocorram ventos com

---

<sup>1</sup> Conforme NBR13714 (2000): esguicho com jato compacto de diâmetro 25 mm ou regulável.

velocidades muito superiores a 3 m/s, pode ocorrer o fenômeno de esfriamento da fumaça e, consequentemente, turbulência, espalhando a fumaça para toda a seção do túnel ao invés de realizar um controle desta fumaça.

O projeto do material rodante e das saídas de emergência deve permitir a fuga sem dificuldades, inclusive prevendo a locomoção segura dos passageiros.

Deve-se prever uma sinalização de emergência a cada 50 m, no mínimo. Esta sinalização deve indicar as distâncias dos trajetos e saídas de emergência. Para túneis entre 500 e 2.000 m, deve-se incluir a sinalização na lateral e no piso, visível inclusive com a iluminação em condições precárias. Para os túneis com extensão maior que 1.000 m, deve ser prevista a interligação entre túneis, no máximo, a cada 500 m. Para os túneis com comprimento acima de 2.000 m, deve-se atender os itens anteriores e ter sua proposta de rotas de fuga analisadas por um órgão independente.

Quanto à sonorização, a Norma prevê a instalação de um sistema de megafone. Porém, não detalha as exigências deste sistema. Solicita, também, que seja instalado um sistema de comunicação para os túneis maiores que 500 m, exigindo, inclusive, que seja prevista a redundância, bem como a confiabilidade e a possibilidade de utilização por qualquer usuário.

No que se refere à detecção de incêndio, a Norma NBR 15661 (2009) especifica a aplicação da Norma NBR 11836 (descrita no item 4.1.4), ou seja, recomenda a instalação de detectores de fumaça pontuais. Sugere, também, a implantação de detecção integrada a circuito fechado de vídeo.

Com relação ao sistema de ventilação mecanizada nos túneis, a Norma NBR 15661 exige que o controle de fumaça seja automático, acionado por meio de detectores de fumaça ou sistema similar.

Todas as estruturas, sejam de concreto ou metálicas, incluindo os dutos de ventilação, deverão apresentar o tempo resistência ao fogo (TRRF) mínimo de 120 min. A compartimentação de ambientes, em caso de fumaça, também deve apresentar TRRF mínimo 120 min. O bandejamento de cabos elétricos e controle para sistemas de iluminação de emergência deve apresentar TRRF mínimo de 60 min.

O suprimento de energia dos sistemas citados deve ser redundante e de fontes alternativas. A infraestrutura destes sistemas deve ser devidamente protegida.

No quesito de treinamento, a norma solicita que sejam realizados anualmente treinamentos de situações de emergência no túnel, com registro de ocorrência armazenado por, no mínimo, 5 anos.

#### **4.1.2 Norma ABNT NBR 15775 - Sistemas de Segurança contra Incêndio em Túneis – Ensaios, Comissionamento e Inspeções**

A Norma NBR 15775 (2009) é uma complementação da NBR 15661 (2009), visto que a NBR 15775 (2009) especifica os requisitos para os ensaios, comissionamento, inspeções nos equipamentos elétricos e mecânicos, sistemas operacionais, dispositivos de medição e construções civis relacionadas com a prevenção e proteção de incidentes nos túneis dos usuários, cargas transportadas e patrimônio público ou privado.

#### **4.1.3 Norma ABNT NBR 9441 – Execução de Sistemas de Detecção e Alarme de Incêndio**

A Norma ABNT NBR 9441 (1998) trata da elaboração de projetos, execução de instalação, operação e manutenção de sistemas de detecção e alarme de incêndio, estabelecendo critérios para a instalação destes dispositivos em diversos ambientes. Esta norma é restritiva, abrange apenas os detectores convencionais e não explicita os túneis metroferroviários.

#### **4.1.4 Norma ABNT NBR 11836 - Detectores Automáticos de Fumaça para Proteção contra Incêndio**

A Norma ABNT NBR 11836 (1992) determina as condições e métodos de técnicas mínimas para ensaios e critérios de comportamento exigidos para detectores automáticos de fumaça tipo pontual. Apesar de ser citada como

referência na norma 15661 (2009), a NBR 11836 (1992) é muito restritiva, não abrangendo a detecção em túneis metroferroviários.

#### **4.2 NFPA – NATIONAL FIRE PROTECTION ASSOCIATION**

A NFPA é uma entidade normativa internacional que, em sua área de atuação, já abrange o transporte subterrâneo de pessoas sobre trilhos em áreas metropolitanas. A norma específica da NFPA que trata de túneis metroviários é a NFPA 130 - *Standard for Fixed Guideway Transit and Passenger Rail Systems* (2000).

A NFPA 130 (2000) se refere a todos os sistemas de trânsito em trilhos fixo e ferroviário de passageiros, seja em superfície, elevado ou subterrâneo.

Apesar de englobar os requisitos mínimos de segurança para situações em caso de emergência, a norma não aborda a detecção de incêndio em túneis. Restringe-se às estações e às regiões que envolvem equipamentos elétricos, tais como as subestações de energia. O maior mérito desta norma é determinar os requisitos mínimos para o tempo de abandono até mesmo de uma área considerada segura em uma estação, bem como determinar as características de equipamentos de Ventilação e Controle de Fumaça, de combate a incêndio, de comunicação e de exigir procedimentos de emergência.

A norma NFPA 130 (2000) estabelece que a distância máxima a ser percorrida para se atingir uma saída de emergência é de 381 metros. No caso de túneis paralelos de via singela, admite-se as passagens entre vias como saída de emergência, desde que sejam dotadas de portas corta fogo, localizadas a, no máximo, 244 m entre elas e que o sistema de ventilação forneça quantidade suficiente de ar não contaminado aos passageiros. Considerando a posição do trem na via, a distância máxima entre duas saídas de emergência (incluindo-se as estações como saídas) deve ser de 762 m em túneis de via dupla, sendo que no caso de túneis de via paralela essa distância será determinada pela localização de passagens entre túneis e capacidade do sistema de ventilação. Portanto, os comprimentos dos túneis são limitados pelas soluções de rotas de fuga que forem adotadas.

Como exemplo de aplicação desta Norma, a Figura 16 apresenta as distâncias entre as estações Alto do Ipiranga (AIP) e Sacomã (SAC) pertencente à Linha 2 do Metrô de São Paulo. O túnel entre as estações é do tipo NATM de via dupla. O Poço de Ventilação com saída de emergência (PV/SE) denominado Xavier Roser está posicionado entre as estações. Neste caso, uma pessoa teria que percorrer no máximo 225 m até a saída mais próxima, estando conforme exigida pela norma.

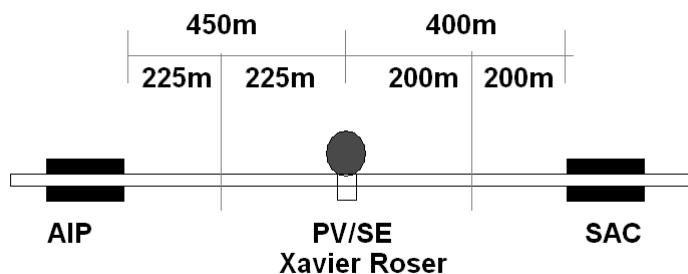


Figura 16 - Trecho entre AIP e SAC.

A NFPA 72 - *National Fire Alarm Code* (1999) cobre aspectos de aplicação, instalação, localização, desempenho e manutenção da detecção e alarme de incêndio, bem como os seus componentes. Não faz referência para aplicação em ambiente de túneis metroviários.

#### 4.3 INSTRUÇÕES TÉCNICAS DO CBPMESP

As Instruções Técnicas (IT) do CBPMESP (Corpo de Bombeiros do Estado de São Paulo) são regulamentadas pelo decreto número 46.076, de 31 de Agosto de 2001 que institui o Regulamento de Segurança contra Incêndio das edificações e áreas de risco para fins da lei (CBPMESP).

A Instrução Técnica número 13 (2004) refere-se à pressurização das escadarias das saídas de emergência, para impedir que a fumaça adentre a escadaria, permitindo uma rota de fuga segura através da escadaria. Na falta de detalhamento das normas que regulamentam a pressurização, o Metrô se baseia nesta IT na concepção de novas saídas de emergência.

Na Instrução Técnica número 15 (2004), referente ao Controle de fumaça do CBPMESP, existe uma classificação de ambientes de terminais de passageiros, o que poderia levar à interpretação de que essas instruções seriam aplicáveis ao Metrô. Contudo as peculiaridades do Metrô, sejam de características ambientais, sejam da capacidade de transporte, operacionais e tecnológicas diferem a de um sistema de terminal comum de passageiros.

## 5 SISTEMAS DE DETECÇÃO DE INCÊNDIO

Neste capítulo, são apresentados alguns dos diversos tipos de sistemas de detecção existentes, caracterizando-os por seus princípios de funcionamento. Na sequência, são mostradas algumas aplicações destes sistemas no Metrô de São Paulo e em outros metrôs, obtidas por meio de uma consulta no comitê internacional de metrôs.

Por fim, é realizada uma análise comparativa dos mesmos, e apontada uma opção para aplicação no Metrô de São Paulo.

### 5.1 *Tipos de detectores de incêndio*

Existem diversos tipos de detectores, cada um com um princípio de funcionamento específico. Basicamente, podem funcionar por detecção de diferenças de temperatura, por detecção de partículas de fumaça ou por detecção de radiações luminosas (JANES, 2009).

Também podem ser classificados quanto ao tipo construtivo e à área de cobertura e abrangência. Neste estudo, com a finalidade de destacar a aplicabilidade voltada ao túnel metroferroviário, os dispositivos de detecção de incêndio apresentados podem ser classificados em dois tipos: pontuais e lineares.

Os detectores pontuais são dispositivos unitários, com todos os dispositivos contidos em uma única carcaça, e instalados em um único ponto. São destinados a cobrir uma área ao redor do ponto onde eles estão instalados. Para a cobertura mais abrangente, é necessária a instalação destes dispositivos em mais de um ponto, distanciados por critério técnico, dependente de cada tipo (JANES, 2009).

Os detectores lineares consistem de lances de cabo ou de tubos, ou ainda de feixes de luz, geralmente suspensos ao teto da área protegida. São destinados a cobrir uma faixa linear, ou uma região em quem o comprimento é mais significativo que as demais dimensões.

### 5.1.1 Detectores Térmicos

Os detectores térmicos operam com base na diferença de temperatura existente ao redor do dispositivo e a temperatura interna. Eles podem ser classificados em dois tipos: detectores de temperatura fixa e detectores termovelocimétricos. Os detectores termovelocimétricos podem ser sub-classificados em outros dois: os detectores termovelocimétricos com compensação e o detector de temperatura combinado (DEWITT, 2007).

Os detectores térmicos podem, também, ser pontuais ou lineares.

Outra classificação destes dispositivos é quanto à temperatura nominal de operação, também chamada de classificação térmica do dispositivo.

A temperatura nominal de operação é a temperatura a que o elemento interno de detecção termo sensível deve ser aquecido antes de atuar. Para os detectores de temperatura fixa e os termovelocimétricos simples, as temperaturas nominais típicas podem ser de 57°C, 79°C ou 121°C. Esta temperatura não é, necessariamente, a temperatura real de atuação, mas sim a temperatura do ar que cerca o dispositivo no momento de sua atuação. A condição ideal é que as temperaturas do ar circunvizinho ao detector e a do detector de calor sejam iguais no momento em que o dispositivo sinaliza um alarme (DEWITT, 2007).

#### 5.1.1.1 Detector térmico de temperatura fixa

O princípio de funcionamento dos detectores térmicos de temperatura fixa mais simples é baseado no emprego de tiras bimetálicas, discos ou elos fusíveis para a detecção de temperatura. Produzem um sinal de alarme quando a temperatura do elemento interno de detecção alcança sua temperatura nominal de atuação.

As tiras bimetálicas consistem de dois metais diferentes, ou seja, com diferentes coeficientes de dilatação térmica. Estas tiras, ao serem submetidas a aquecimento, sofrem uma distorção física, em virtude da desigualdade de dilatação dos dois metais. Esta distorção é planejada para que ocorra de uma forma tal que

atue em um jogo de contatos. Ao retornarem à temperatura ambiente normal, também retornam às suas dimensões iniciais e estão aptos para operar novamente.

Os detectores baseados em elos fusíveis utilizam materiais que, quando expostos ao calor, se fundem, liberando a operação de contatos por meio de uma mola. Como, nesta fusão, ocorre a destruição do elo fusível, estes dispositivos são descartáveis e, após atuarem, devem ser substituídos.

Os detectores de temperatura fixa podem ser do tipo pontual ou do tipo linha. Os do tipo pontual possuem todos os componentes encapsulados em um único corpo, e incluem os com princípios de funcionamento já citados.

Os detectores de temperatura fixa do tipo linha podem ser do tipo termostato ou cabo resistivo.

A Figura 17 ilustra um detector linear de tipo cabo resistivo. O cabo possui um polímero isolante sensível ao calor que, em caso de incêndio, permite que os pares condutores se encostem, ocasionando um alarme.



**Figura 17 - Detector Linear do tipo Cabo Resistivo (PROTECTORWIRE, 2010)**

Quando um detector de temperatura fixo atua, a temperatura de operação real (externa) será invariavelmente mais elevada do que a temperatura de operação nominal (interna). Por exemplo, um detector com temperatura nominal de 57°C, na verdade, pode não operar até que a temperatura do ar circunvizinho alcance 66°C, quando exposto a um fogo gradualmente crescente, ou 79°C, para um fogo rapidamente crescente. Esta diferença entre temperatura nominal de atuação e a temperatura real de operação é chamada de retardo térmico. No tempo em que a temperatura do elemento de detecção alcança sua temperatura de atuação nominal

para gerar um sinal de alarme, é possível que a temperatura do ar circunvizinho tenha subido ainda mais. A taxa desta transferência de calor é dependente, em primeira linha, da taxa na qual o próprio ar circunvizinho está sendo aquecido (DEWITT, 2007).

### 5.1.1.2 Detector Termovelocimétrico

Os detectores termovelocimétricos (*rate-of-rise*) são adequados para atuar em decorrência da taxa de variação da temperatura do ar em volta dos seus sensores. Normalmente, são calibrados para a atuação quando esta variação é de cerca de 9°C por minuto (DEWITT, 2007).

Funcionam com dois termistores, estando um à temperatura ambiente, e outro selado em uma câmara. Em condições normais, ambos registram temperatura semelhante. Em condições de aquecimento rápido do ambiente, o termistor externo se aquece mais rapidamente que o que está encapsulado.

Estes dispositivos apresentam resposta mais eficiente que os detectores de temperatura fixa, por não estarem sujeitos simplesmente à temperatura, mas sim à sua taxa de variação. Entretanto, sua instalação próxima a fontes de calor variável, que não sejam causadoras de incêndio, poderão provocar falsas atuações. Portanto, estes dispositivos não são apropriados para serem instalados próximo a caldeiras, fornos, câmaras frigoríficas, máquinas de solda ou outros locais, em que ocorra variação de temperatura.

Existem, também, detectores termovelocimétricos lineares, também conhecidos como detectores de tubo pneumático. Este sistema utiliza um tubo capilar no lugar da câmara de expansão. O modo de operação é baseado na expansão volumétrica de um gás sujeito a aquecimento e no aumento correspondente da pressão num sistema pneumaticamente estanque. O detector de calor é composto por um tubo sensor e uma caixa de detecção (com unidade de controle). Existe uma limitação de distância do tubo de cerca de 100 m. Não é possível localizar o local do sinistro.

A Figura 18 ilustra um sistema com detecção de incêndio de tubo pneumático.

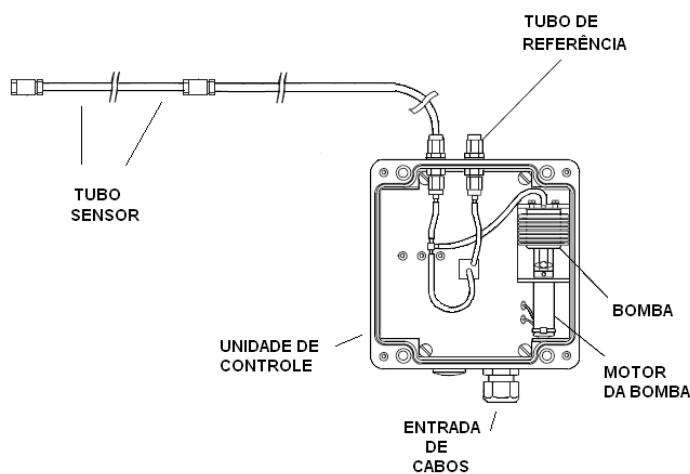


Figura 18 - Detectores de tubo pneumático (BOSHSECURITY, 2005).

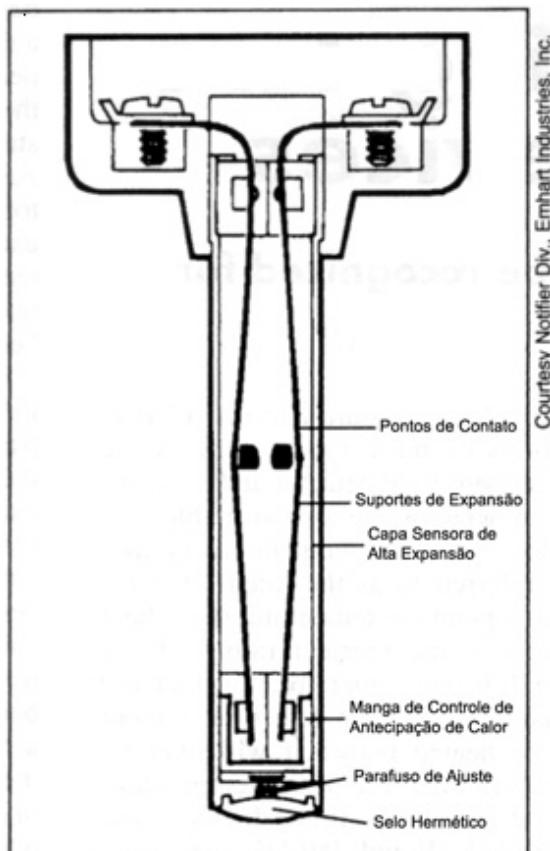
### 5.1.1.3 Detector Termovelocimétrico com compensação

Um detector termovelocimétrico com compensação (*rate compensated*) funciona com base em um elemento pneumático.

É composto por um diafragma que envolve um par de suportes expansíveis e contatos elétricos. Quando submetido a uma alteração brusca de temperatura, expande-se para uma câmara selada. O ar escapa por uma abertura calibrada em função da temperatura de atuação do dispositivo.

Atua somente se as variações de temperatura do ambiente forem mais altas do que 2,7°C por minuto e se a temperatura do ambiente atingir o ponto limiar de detecção (DEWITT, 2007).

O aumento da pressão na câmara comprime os suportes, provocando a atuação dos contatos. A Figura 19 ilustra o princípio de funcionamento deste dispositivo.



**Figura 19 - Detector termovelocimétrico por compensação (DEWITT, 2007).**

#### **5.1.1.4 Detector de temperatura combinado**

Os detectores de temperatura combinados consistem da combinação de detectores termovelocimétricos com detectores de temperatura fixa. São construídos para permitir a instalação de detectores com função termovelocimétrica próximo a fontes de calor variável, tais como fornos, caldeiras ou câmaras frigoríficas. Desta forma, mostram-se como alternativa aos detectores simples, de temperatura fixa ou termovelocimétricos, que não permitiam a instalação em tais lugares.

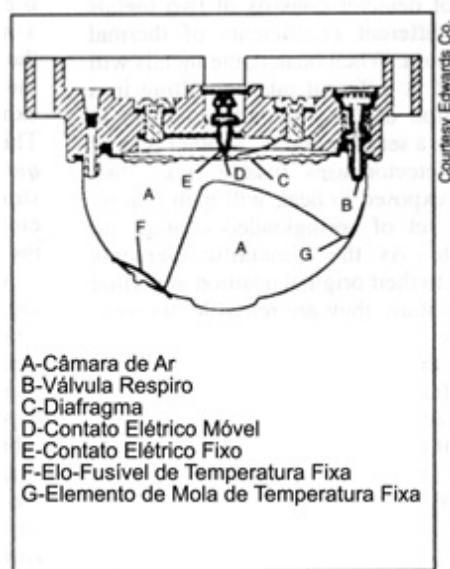
A componente termovelocimétrica deste detector também está baseada em um diafragma, que protege os contatos elétricos, envoltos em uma câmara de ar. O funcionamento é análogo ao detector termovelocimétrico com compensação. A pressão do diafragma provoca a atuação dos contatos, desde que a variação de temperatura promova uma pressão determinada na câmara.

Caso ocorra alguma variação de temperatura em taxas menores que as projetadas para a atuação do detector, há tempo suficiente para que a pressão interna do diafragma se dissipe na válvula de alívio. Esta válvula, portanto, é calibrada para a faixa de atuação do dispositivo.

Por outro lado, em caso de incêndio com taxa de variação lenta da temperatura, a componente de temperatura fixa deste dispositivo se encarrega de promover a atuação. Neste caso, o princípio de funcionamento é por meio de elo fusível. Esta componente fixa atua, portanto, na retaguarda da componente termovelocimétrica.

A Figura 20 ilustra um detector de temperatura combinado tipo pontual.

Quando ocorrer a atuação deste dispositivo pela componente térmica, o elo fusível deverá ser substituído para que o detector possa ser, novamente, colocado em operação.



**Figura 20 - Detector de temperatura combinado (DEWITT, 2007).**

A Tabela 1 apresenta uma comparação entre os detectores apresentados nos itens 5.1.1.1, 5.1.1.2 e 5.1.1.3, apresentando as faixas de operação pela variação de temperatura e os tempos de resposta.

**Tabela 1 - Comparação de tempos de resposta dos diferentes tipos de detectores<sup>2</sup> (DEWITT, 2007).**

Tipo de detector (57°C nominais)	Temperatura ambiente no momento do alarme.	Razão de elevação da temperatura a partir de 29°C	Tempo aproximado até o alarme	Observações
Temperatura Fixa	67°C	6°C por minuto	6,8 minutos	8°C de retardo térmico
Termovelocimétrico com compensação	56°C	6°C por minuto	4,7 minutos	Primeiro a operar
Temperatura Fixa	80°C	22°C por minuto	2,3 minutos	5°C de retardo térmico
Termovelocimétrico	49°C	22°C por minuto	0,4 minutos	Primeiro a operar
Termovelocimétrico com compensação	52°C	22°C por minuto	1 minuto	Segundo a operar
Temperatura Fixa	67°C	Menos que 6°C por minuto	8,4 minutos	8°C de retardo térmico
Termovelocimétrico	--	Menos que 6°C por minuto	Nunca	Razão de temperatura não suficiente para operação
Termovelocimétrico com compensação	59°C	Menos que 6°C por minuto	5,9 minutos	Primeiro a operar

### 5.1.2 Detectores de Fumaça

Segundo a Norma NFPA 72 (1999), a fumaça pode ser definida como "a totalidade das partículas visíveis ou invisíveis da combustão transportadas por via aérea".

As partículas visíveis da combustão, tais como as de fumaça densa e pesada de um fogo ardente, consistem em uma quantidade pequena de partículas grandes de fumaça por unidade de volume. Por outro lado, as partículas invisíveis da combustão, tais como as de fumaça transparente de um fogo queimando rapidamente, consistem de uma grande quantidade de partículas pequenas de fumaça por unidade de volume.

Os detectores de fumaça podem funcionar com base em princípios ópticos, por ionização ou por aspiração.

#### 5.1.2.1 Detectores Fotoelétricos ou Ópticos

Basicamente, os detectores de fumaça fotoelétricos, também conhecidos por detectores ópticos, consistem de uma fotocélula e de uma fonte de luz. Aplicam-se,

---

<sup>2</sup> As diferenças são mostradas entre temperaturas de operação nominal e as verificadas em operação.

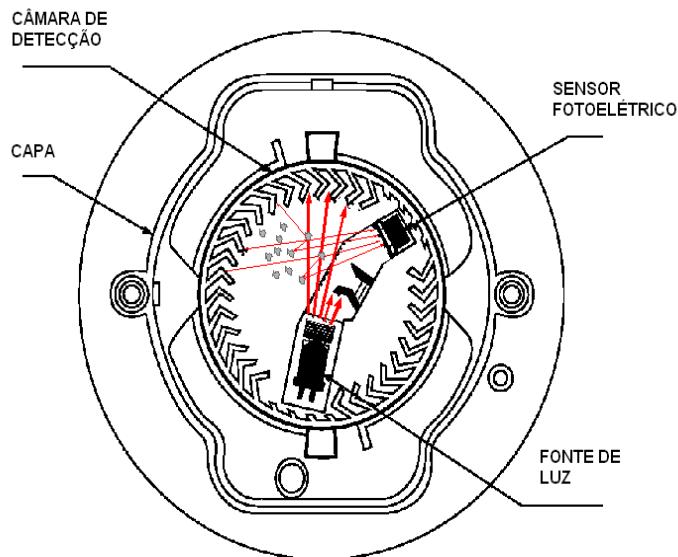
normalmente, onde se espera que um fogo venha a gerar grandes quantidades de partículas visíveis da combustão.

Por princípio de operação, considera-se que as partículas visíveis da fumaça, ou seja, a fumaça densa, que entrar na trajetória da luz, obstrui a entrada de luz desta fotocélula. Desta forma, a luz não a atinge.

Esta fotocélula, não sendo atingida pela luz, gera um sinal que pode ser considerado como alarme de incêndio.

Os detectores fotoelétricos podem ser do tipo construtivo pontual ou do tipo linear, constituído de um feixe emissor de luz em uma extensão. O detector tipo pontual inclui todos os elementos em uma unidade pequena, enquanto o tipo feixe emissor de luz consiste de uma fonte luminosa e de uma fotocélula situadas em extremidades opostas e geralmente instaladas próximo do teto da área protegida.

A Figura 21 ilustra o princípio de funcionamento de um detector óptico pontual. O detector linear possui o mesmo princípio, porém a fonte de luz e o sensor fotoelétrico estão distantes.



**Figura 21 – Princípio de funcionamento de um detector óptico (MVFRA, 2010)**

A aplicação de um sensor tipo feixe emissor de luz requer que a área a ser protegida seja retilínea, e que não haja outros fatores que venham a interferir no seu funcionamento.

### 5.1.2.2 Detectores de Fumaça por Ionização

Os detectores de ionização funcionam por meio de uma fonte de corrente contínua, que pode ser uma bateria ou um retificador, que alimenta uma câmara de ionização. Esta câmara contém uma pequena fonte radiativa, de partículas alfa. Esta câmara funciona como um capacitor, sempre sob uma tensão contínua entre as placas P1 e P2, conforme ilustrado na Figura 22.

As moléculas de ar dentro da câmara são separadas em íons positivos e em íons negativos (elétrons), pela fonte radiativa alfa, em um processo conhecido por ionização.

Baseado no princípio eletrostático, em que as cargas de mesmo sinal se repelem e as cargas de sinais contrários se atraem, as partículas carregadas entre as placas fluirão nos sentidos indicados na Figura 22: as partículas negativas buscarão a placa positiva, e as partículas positivas buscarão a placa negativa.

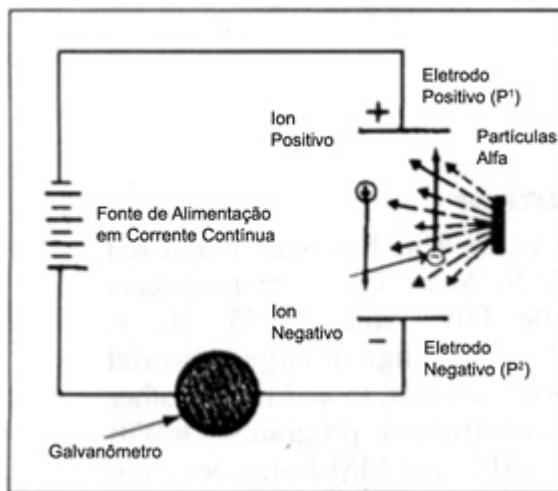


Figura 22 - Princípio operacional de um detector de ionização (DEWITT, 2007).

Quando as partículas da combustão entram na câmara de ionização, unem-se às partículas carregadas e, assim, reduzem o seu fluxo. Esta redução é detectada pelos circuitos de medição. Desta forma, estes circuitos poderão gerar um sinal, que poderá ser utilizado como alarme.

Embora os detectores de ionização sejam capazes de detectar a presença de partículas visíveis e invisíveis da combustão, são mais sensíveis às partículas

invisíveis. Embora existam detectores com uma grande precisão, é necessário que a fumaça contenha uma quantidade mínima de partículas por unidade de volume para que os circuitos de medição possam detectar a existência de partículas de fumaça.

Para o bom funcionamento destes detectores, é necessário tomar alguns cuidados quanto ao local de instalação. O uso destes em lugares com grande incidência de fumaça, tais como garagens ou salas de grupos geradores, pode levar a falsas atuações. Por outro lado, a instalação em locais próximos de difusores de ar, tais como canais de ventilação, pode reduzir a entrada de partículas de fumaça no dispositivo, gerando atuações tardias, ou, até mesmo, impedindo a atuação. Também deve-se atentar para as condições do ambiente. Estes dispositivos requerem condições ambientais de pressão e temperatura.

Existem, também, detectores de ionização com câmara dupla. Nestes casos, uma das câmaras é utilizada apenas como referência, montada com uma lâmina de Amerício 241. A outra é dedicada à detecção das partículas de fumaça. O alarme é gerado em função da análise comparativa entre as condições das duas câmaras. Este dispositivo é menos susceptível às condições desfavoráveis do ambiente, tais como a pressão e a temperatura.

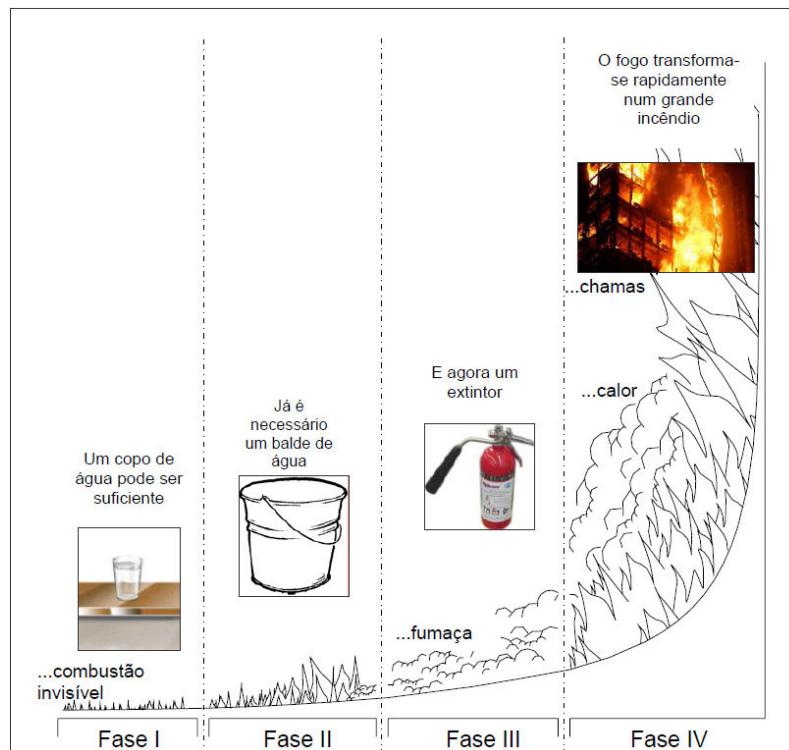
Os detectores de fumaça são bastante susceptíveis a condições desfavoráveis do ambiente, tais como poeira, chuva e neve. Em virtude disto, não são adequados para serem instalados ao ar livre.

O uso de filtros pode ser uma solução para a susceptibilidade à poeira. Entretanto, existem também detectores de fumaça combinados, com princípios de ionização e fotoelétricos.

#### **5.1.2.3 Detectores de Fumaça por Aspiração.**

Os detectores de fumaça por aspiração são bastante indicados em casos em que é necessária uma boa antecipação no aviso de um incêndio. Eles são apropriados para detectar um incêndio desde a fase I, indicada na Figura 23. Esta figura mostra um diagrama que traz a progressão de um incêndio ao longo do tempo. Observa-se que o estágio inicial de um incêndio oferece uma grande janela

de tempo para detectar e controlar a propagação do fogo. Vale ressaltar, também, que, no estágio inicial, é mais fácil o controle do incêndio.



**Figura 23- Estágios do Fogo (KANESHIRO, 2006).**

Estes detectores operam continuamente aspirando o ar do ambiente para uma rede de tubos. Uma amostra deste ar passa por um filtro de dois estágios. O primeiro estágio elimina as partículas de poeira e sujeira. O segundo age em complementação ao primeiro, por meio de uma tela muito fina, retirando o máximo possível de partículas estranhas. Depois disto, o ar é conduzido para uma câmara de detecção óptica ou ionizante.

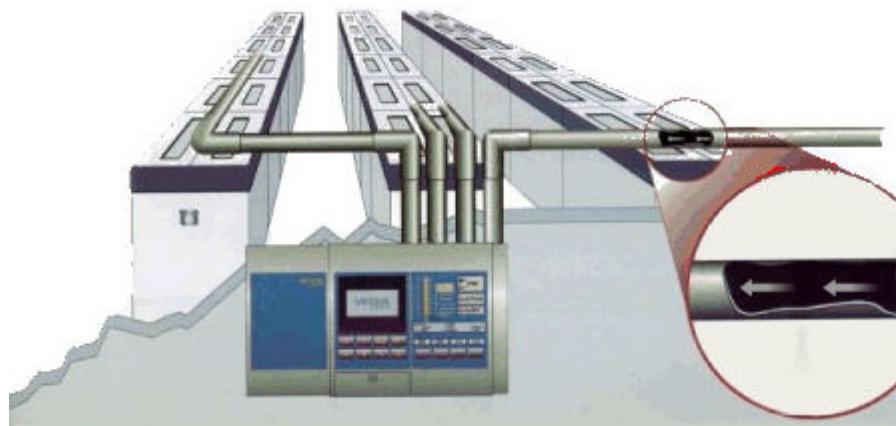
Na maioria dos detectores, esta câmara de análise de fumaça funciona por laser. A amostra de ar é exposta a uma fonte estável e controlada de luz laser. Se a fumaça estiver presente, a luz se dispersa no interior da câmara de detecção, e esta dispersão é instantaneamente identificada pelos sensores ópticos. Desta forma, o sinal é então processado e representado por meio de um Gráfico de Barras Verticais, de indicadores de nível de alarme ou de um *display* gráfico

Estes detectores podem também comunicar esta informação para um painel de controle e alarme de incêndio ou para o sistema de gerenciamento de edifícios por meio de relés ou de uma rede de comunicação. Pode proteger áreas de até 2.000 metros quadrados.

Por passar por dois sistemas de filtragem, estes sistemas são menos sensíveis a alarmes falsos e imunes às condições impróprias do ambiente, tais como poeiras e fuligens.

Este sistema é conhecido por seu termo em inglês como VESDA (*“Very Early Smoke Detection”*) (JANES, 2009). Os detectores podem ser configurados para gerar múltiplos alarmes durante o estágio inicial – Fase I (Figura 23). Eles também podem ser configurados para gerar um alarme adicional nos estágios avançados de um incêndio. Ao utilizar a sua ampla faixa de sensibilidade, ela permite que um detector monitore todos os estágios da propagação do incêndio.

A Figura 24 ilustra uma arquitetura típica deste tipo de detecção.



**Figura 24 - Sistema de Detecção de Fumaça por Aspiração (JANES, 2009).**

Para o bom funcionamento deste sistema, segundo fabricantes, é necessário que o painel esteja situado em locais com as mesmas condições de temperatura, pressão e velocidade do ar que a tubulação. Esta característica pode dificultar a instalação e a operação deste sistema em túneis metroferroviários, uma vez que as estações, que são os locais mais adequados para a localização dos painéis, possuem condições diferentes dos túneis.

Estes detectores, hoje em dia, são empregados em saídas de emergência do Metrô. Especificamente para este tipo de ambiente, eles têm mostrado eficácia, exatamente em virtude da velocidade de detecção, apesar do Sistema de Ventilação Principal estar em funcionamento e promover um forte deslocamento de ar no ambiente.

### **5.1.3 Detectores de Chamas.**

A chama é a queima visível ou invisível de gases produzidos por um fogo. Os detectores de chama são dispositivos de linha de vista que geram um sinal de alarme quando expostos à energia radiante de uma chama.

Como esta energia radiante viaja na velocidade de luz, os detectores de chama têm o potencial para serem de ação rápida.

É necessário atentar para que a eficácia destes dispositivos não seja prejudicada por obstruções tais como elementos estruturais, equipamentos, ou a presença de fumaça densa ou de gases. Deve-se, portanto, aplicar estes dispositivos em locais em que não haja obstáculos à radiação emitida pela luz do fogo.

Por apresentarem detecção rápida, os detectores de chama são, em geral, empregados onde existe um risco significativo de incêndio, tais como áreas de armazenamento e transferência de combustível, áreas de processamento industrial e em situações nas quais podem ocorrer explosões ou fogos de progressão muito rápida (DEWITT, 2007; KANESHIRO, 2006). O tempo de atuação destes dispositivos gira em torno de alguns milissegundos.

#### **5.1.3.1 Detectores de Radiação Ultravioleta.**

Dentre os detectores de chama, o detector de radiação ultravioleta (UV) é o que responde à energia radiante invisível na escala ultravioleta (abaixo de 4000 Å). Normalmente, os detectores UV são projetados responder na escala de aproximadamente 1800 a 2500 Å (DEWITT, 2007). Esta faixa estreita permite a

redução da incidência de alarmes falsos provenientes de descargas elétricas, de raios e da radiação solar.

Os detectores UV possuem algumas limitações. Uma delas é que podem também gerar algum alarme em virtude da energia radiante das máquinas de raios X, de máquinas de solda a arco e de relâmpagos.

A fumaça também torna difícil o emprego destes detectores, pois filtra a energia radiante UV. Desta forma, eles não são apropriados para as áreas em que pode ocorrer um denso volume de fumaça antes do aparecimento da chama.

Em virtude das desvantagens apresentadas, é necessário um estudo cuidadoso e criterioso do ambiente em que se pretende instalar estes detectores. Há de se considerar também o posicionamento destes.

### **5.1.3.2 Detectores de Radiação Infravermelha**

Os detectores infravermelhos (IR) utilizam células fotovoltaicas ou foto resistivas com sistemas de filtros e de lentes e respondem à energia radiante invisível, acima de 7700 Å (DEWITT, 2007). Assim como o detector UV, o detector IR também apresenta ação rápida.

Os detectores IR podem responder a muitas fontes de calor. Por isso, são também susceptíveis a alarmes falsos, mesmo quando equipados com dispositivos sofisticados para a discriminação das fontes. Estes detectores são, também, afetados pela umidade elevada. Por esta razão os detectores IR possuem aplicação limitada (DEWITT, 2007).

### **5.1.3.3 Detectores de Cintilação de Chama e Fotoelétricos.**

Estes detectores respondem à energia radiante visível, com comprimento de onda dentro do espectro entre 4000 a 7700 Å.

O dispositivo fotoelétrico é formado por uma fotocélula, sensível à luz, que possibilita a geração de um sinal de alarme quando exposta à energia radiante de uma chama.

O dispositivo de detecção de cintilação da chama, que também opera pelo princípio fotoelétrico, contém um filtro que permite um ajuste para limitar a atuação somente em caso de energia radiante modulada em uma freqüência característica da cintilação de uma chama. Por isto, este dispositivo é mais exato na resposta à energia radiante visível de um fogo (DEWITT, 2007).

#### 5.1.4 Por Cabo de Fibra Óptica

Este sistema traça um perfil de temperatura ao longo da fibra óptica, com precisão de metros. Pode funcionar por quilômetros, medindo os valores de temperatura disponíveis a cada 10 segundos.

Conforme Figura 25, observa-se que as fibras ópticas ficam dentro de uma capa protetora, configurando-se um cabo de fibra óptica.



Figura 25 - Cabo de Fibra Óptica (SECURITON, 2009)

O sistema faz medições das temperaturas ao longo de fibras ópticas, que funcionam como sensor linear. Essas temperaturas são registradas ao longo do cabo do sensor óptico, continuamente. Isto garante alta precisão de temperatura em grandes distâncias, em pouco tempo de medição. O sistema utiliza o chamado efeito

Raman para medir as temperaturas com fibras ópticas produzidas com cristais de quartzo.

Os efeitos térmicos induzem oscilações dentro das fibras sólidas. Quando a luz incide sobre essas oscilações, produzidas pelo efeito térmico, ocorre uma interação entre as partículas de luz (fótons) e os elétrons da molécula. Ocorre, portanto a dispersão de luz, também conhecida como dispersão Raman. Ao contrário da luz incidente, essa luz dispersa sofre um deslocamento espectral equivalente à frequência de ressonância de oscilação.

Portanto, existem três componentes espectrais em torno da fibra óptica:

- Componentes com o comprimento de onda da fonte de luz utilizada.
- Componentes com o maior comprimento de onda em que os fótons são gerados.
- Componentes com comprimento de onda menor do que a dispersão, em que os fótons são destruídos.

A intensidade da banda chamada depende da temperatura, enquanto a banda dispersa é praticamente independente da temperatura. Usando diodos semicondutores a laser e um novo tipo de processo de avaliação, o sistema é capaz de detectar os efeitos de dispersão em até 2,5 quilômetros de cabos ópticos. A precisão pode ser de até 2°C por minuto.

A Figura 26 mostra um sistema de detecção por fibra óptica.

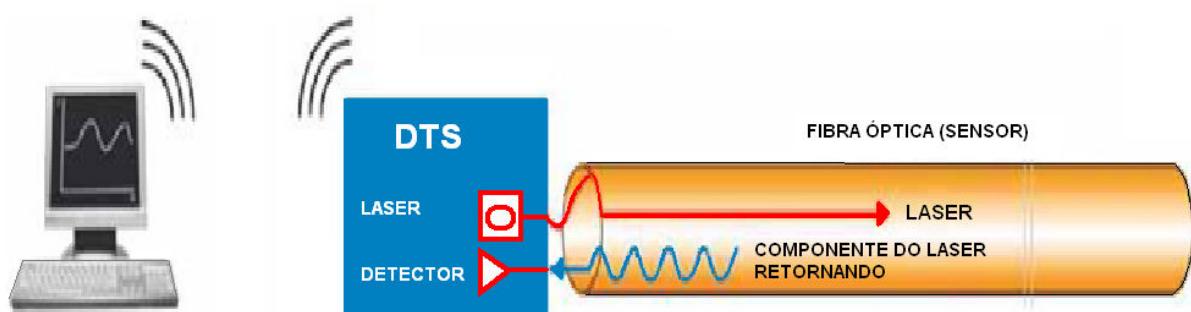


Figura 26 - Sistema de detecção por fibra óptica (APSENSING, 2009)

### 5.1.5 Sistema de Detecção por Vídeo Câmera

O sistema de detecção por vídeo câmera consiste da análise digitalizada das imagens produzidas pelas câmeras de vigilância e monitoração. Esta análise possibilita a detecção de imagens de incêndio e fumaça, além da detecção de outros tipos de eventos inseguros, tais como uma invasão accidental de uma pessoa ou de objetos estranhos na via.

As imagens das câmeras de vigilância são processadas em um sistema. Este, continuamente analisa estas imagens, quanto à coloração e quanto à radiação emitida, quanto à intensidade luminosa e, principalmente, quanto à expansão destes fenômenos dentro do quadro da imagem.

Dependendo da capacidade do sistema, pode-se obter somente a imagem desejada através de uma subtração do fundo, permitindo uma melhor análise da área de interesse.

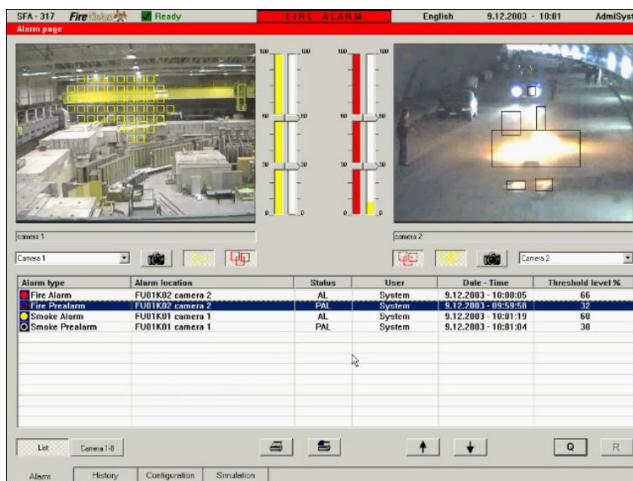
A Figura 27 mostra um exemplo de detecção por vídeo câmera. Observa-se que os sinais referentes ao fogo são identificados.



**Figura 27 - Detecção por vídeo câmera (SECURITON, 2009)**

É recomendável solicitar que as câmeras sejam dotadas de dispositivos que possibilitem manobras horizontais e verticais, bem como lentes de afastamento e aproximação, diminuindo possíveis pontos cegos.

O sistema de processamento pode ser integrado com outros sistemas de supervisão, enviando sinais das imagens e alarmes, conforme mostrado na Figura 28.



**Figura 28 - Tela de Supervisão e Alarmes (SECURITON, 2009)**

### 5.1.6 Detector por Cabo Sensor

O detector tipo cabo sensor possuiu pequenos sensores de temperatura alocados em intervalos regulares ao longo de um cabo usado como um barramento de dados e de alimentação. O sensor é um sistema integrado de aquisição e tem resistência adequada às intempéries do ambiente, conforme pode ser visto na Figura 29.



**Figura 29 - Cabo Sensor (SECURITON, 2009)**

Os sensores são continuamente monitorados para registro dos últimos valores medidos. Uma lógica de avaliação usa os valores obtidos para determinar

quando reportar uma falha ou alarme. Um software especial é utilizado para configuração. O sistema pode ser conectado a um PC ou ao painel de controle de incêndio.

## **5.2 Exemplos de Aplicação de Sensores**

Os detectores de incêndio estão, atualmente, aplicados em estações do Metrô de São Paulo, bem como nas estações de outros metrôs. Atualmente, também estão sendo aplicados nos salões de passageiros dos novos trens.

### **5.2.1 Metrô de São Paulo**

No Metrô de São Paulo, existem aplicações para detectores de incêndio. Estes estão localizados nas estações, em seus diversos ambientes. Particularidades existem nestes diversos ambientes, que determinam a necessidade de cada um.

As áreas públicas, tais como plataformas e mezaninos, sujeitas a grande fluxo de pessoas, não são providas de detectores de incêndio. Considera-se que as próprias pessoas se encarregam de detectar eventuais sinistros e informá-los ao pessoal operativo.

Abaixo das plataformas, predominam os sensores de fumaça por aspiração. Nas salas técnicas, predominam os do tipo óptico e pontual. Nas salas operacionais, tais como copa e banheiros, são mais utilizados os térmicos.

### **5.2.2 Túneis Rodoviários**

Existem, no Brasil, detectores tipo cabos fibra óptica e tipo cabo resistivo instalados em túneis rodoviários. As principais aplicações estão nos túneis da Rodovia dos Imigrantes, e no Túnel Cidade Jardim, em São Paulo. (SCABBIA, 2007; SECURITON, 2009; TELVENT, 2009)

### 5.2.3 Outros Metrôs

O CoMET (*Community of Metros*) é uma organização que reúne os principais sistemas de transporte sobre trilhos no mundo. Atualmente, é formado por metrôs de grandes cidades, situadas na América do Sul, na América do Norte, na Europa e na Ásia. O Metrô de São Paulo participa desta organização. Ela promove um *Benchmarking* entre estes sistemas, permitindo trocas de experiências.

Na prática, trata-se de um fórum, em que ocorre a troca de experiências entre os principais metrôs do mundo.

Para este trabalho, foi formulada uma questão sobre quais equipamentos existem para detecção de incêndio em túneis, e lançada neste fórum. Foram feitos os seguintes questionamentos:

1. Quais sistemas de detectores de incêndio são utilizados nos seus túneis?
2. Há alguma experiência com utilização de sensores de fibra óptica, cabo sensor, detectores lineares de temperatura ou detectores por vídeo câmera?
3. Qual é a eficiência e o tempo de resposta deste detectores? Qual é a área de cobertura e a frequência de manutenção?
4. Há algum registro de algum incidente corretamente detectado por estes sensores?
5. Ou, por outro lado, há algum registro de alarmes falsos com estes sistemas?

Representantes de dois metrôs europeus, um asiático, três norte americanos e um sul americano responderam à questão 1, afirmando que não possuem detectores instalados nos túneis. Por não possuírem, não informaram ou não forneceram maiores detalhes em resposta às demais questões.

O representante de um metrô asiático respondeu à questão 1, informando que este utiliza sensores por fibra óptica nos túneis. Para a questão 3, informou que o sensor apresentou alguns falsos alarmes, que puderam ser ajustados após a calibração do sistema. Afirmou também que existem itens de manutenção mensal e anual. Mensalmente, verificam-se das condições do ambiente e limpeza; a ocorrência de falhas e os parâmetros da fonte de energia. Anualmente, verificam-se

o arquivo de temperatura, e é realizado o *backup* dos dados para análise, bem como o teste do sistema com testes de temperaturas localizados

A pesquisa completa está transcrita no Anexo A. Na transcrição, por solicitação dos representantes, foi preservado o anonimato das respostas.

#### **5.2.4 Trens do METRÔ-SP.**

Os trens da Linha 4 – Amarela estão sendo concebidos com detector de fumaça por aspiração e com sistema de combate de incêndio (água nebulizada) dentro do salão de passageiros. Futuramente, pretende-se empregar a mesma filosofia de detecção de incêndio na modernização dos trens das linhas atuais.

Entretanto, estes sistemas não são utilizados para detectar o incêndio em túneis, provocados por outros materiais, alheios ao trem.

### **5.3 *Estudo Comparativo***

Com base nas informações obtidas a respeito dos diversos tipos de sensores, pode-se analisar a viabilidade da aplicação em um túnel metroviário, conforme apresentado a seguir.

Devido à geometria da via, às longas distâncias, às curvas, às inclinações, entre outros fatores, tais como as características ambientais, a presença poeira e de fuligem, e as fortes correntes de ar provocadas pela passagem dos trens e da ação dos ventiladores, pode-se dizer que os sensores do tipo pontual não são recomendáveis para aplicação isolada nos túneis metroviários. Considerando a área de cobertura de cada sensor, seria necessária uma elevada quantidade de sensores para cobrir toda a extensão de um túnel. Outro motivo é porque a eficácia destes sensores sofre interferência do fluxo de ar. Além disso, o ambiente do túnel está sujeito a faiscamento nas ocorrências de mudanças de vias. Existe, outrossim, a possibilidade de interferência dos equipamentos de manutenção da via nos sensores que podem monitorar a via.

Os sistemas lineares podem, se bem aplicados, ser mais apropriados para as longas distâncias, especialmente nos túneis, por permitirem melhor monitoração a

distância e facilidade de localização do sinistro. A escolha correta do sistema é fundamental, pois determinados tipos podem não ser aplicáveis, também por estarem susceptíveis às interferências do ambiente. Desta forma, a escolha de sistemas ópticos, por exemplo, pode não gerar bons resultados. O emprego de sistemas térmicos lineares pode ser de grande valia nesta aplicação.

Detectores de temperatura fixa pontuais, baseados em par bimetálico ou em elementos fusíveis, apresentam, como desvantagem, a possibilidade de alarmes falsos em virtude da diferença entre a temperatura externa e a temperatura medida pelo aparelho. A temperatura externa pode ser superior à interna. Então, o aparelho pode não detectar a temperatura caso o fogo esteja inferior ao acionamento.

Detectores termovelocimétricos por compensação atuam quando há uma determinada variação linear de temperatura. Apresentam como vantagem a proximidade da temperatura externa com relação à medida pelo aparelho. Por outro lado, se a temperatura ambiente variar linearmente com a temperatura externa do aparelho, por algum motivo alheio a sinistros de incêndio, como, por exemplo, em portas de fornalhas, o sensor poderá também gerar um falso alarme.

Os detectores de temperatura combinados consistem de uma combinação de sensores de temperatura fixa com os sensores termovelocimétricos. Por isto, apresentam melhor resposta ao fogo quando comparados a cada um isoladamente. Contudo, o mecanismo de acionamento pode ser prejudicado devido à presença de fuligem e poeira da via.

Detectores ópticos de fumaça têm maior eficiência para a detecção das partículas visíveis, e podem não detectar as partículas invisíveis. Estão mais sujeitos às condições ambientais, tais como umidade, temperatura externa e pressão, podendo gerar alarmes falsos ou perda da sensibilidade em ambientes como os túneis metroviários. Agentes externos, tais como a poeira, também podem interferir na atuação destes dispositivos. Entretanto, são, geralmente, de baixo custo e apropriados para ambientes internos, tais como escritórios.

Detectores por ionização apresentam maior susceptibilidade, também, pelas partículas invisíveis da fumaça. São, portanto, de atuação mais rápida que os detectores ópticos. Contudo, não são apropriados para ambientes com elevados níveis de poeira.

Os detectores por aspiração possuem uma resposta mais rápida à detecção de partículas que os detectores por ionização e os ópticos. Podem ser calibrados de acordo com as condições ambientais. Entretanto, assim como os detectores de temperatura combinados, podem sofrer interferência do fluxo do ar e da pressão ambiente. São, atualmente, empregados próximos às saídas de emergência, mas com a finalidade de acionamento do sistema de pressurização das escadas da rota de fuga. Apresentam boa confiabilidade, para os fins em que está empregado, para a proteção de um ambiente pontual. Porém, não se aplicam para a detecção efetiva nos túneis.

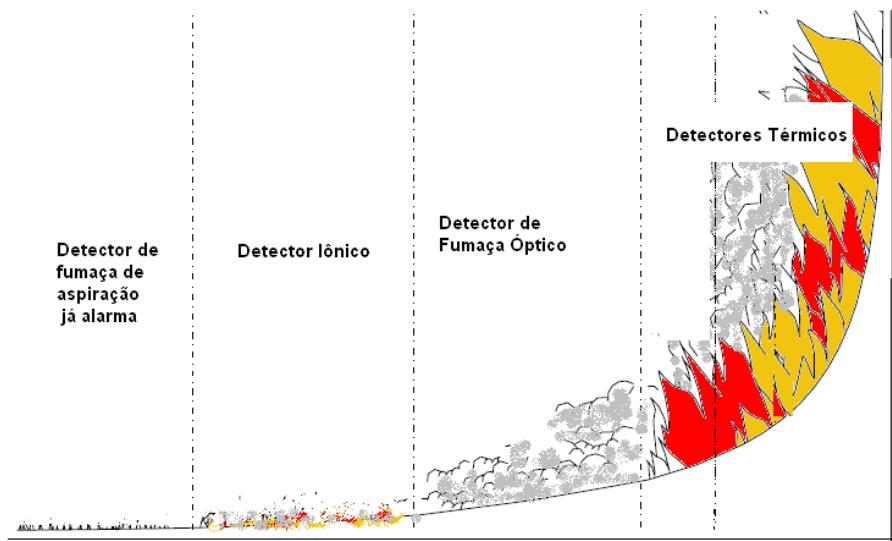
Os detectores de chamas por ultravioleta (UV) podem também ser susceptíveis a alarmes falsos, em virtude do faiscamento a que o túnel está sujeito quando da mudança de via do trem, em caso de diferença de tensão nas fontes de alimentação das duas vias, seja por terceiro trilho ou por catenária. Outra fonte de alarme falso nestes dispositivos pode ser a utilização de determinados equipamentos na manutenção de via, tais como as máquinas de solda.

Já os detectores por infravermelho são mais apropriados para a detecção de chama invisível. Os possíveis materiais inflamáveis presentes no túnel do Metrô não são capazes de produzir chama invisível. Portanto, podem ser descartados para esta finalidade.

Os detectores por cintilação respondem a energias radiantes visíveis, dentro do espectro de 4000 a 7700 Å. Contudo, devido às distâncias envolvidas e à geometria da via, seriam necessários diversos sensores para cobrir toda a via. Os detectores de temperatura por fibra óptica podem cobrir uma grande área em termos de distância longitudinal. São, portanto, viáveis para a aplicação em túneis, e apresentam boa precisão para a localização do ponto onde ocorreu o sinistro.

Os sistemas de detecção por Vídeo Câmera apresentam, como vantagem, a possibilidade de integração com o sistema de monitoração e CFTV. Entretanto, podem sofrer interferência em virtude da fuligem e da poeira presentes no túnel. A ocorrência de faiscamento também pode gerar algum alarme falso nestes sistemas. A necessidade de implementação de câmeras em áreas não cobertas pelo CFTV, especialmente nos túneis do Metrô, também pesa contra a instalação deste sistema.

A Figura 30 apresenta um resumo da aplicação mais indicada dos diversos tipos de detectores, baseando-se nos estágios de um incêndio. Como visto no decorrer deste capítulo, há de se considerar também o local de aplicação para correta seleção do detector.



**Figura 30 - Fases de fogo e atuação de detectores de incêndio (TEIXEIRA, 2006)**

O principal desafio da aplicação de detectores de incêndio em túneis é vencer as longas distâncias, bem como as interferências que eles podem sofrer dentro dos mesmos. Em virtude disto, não se aplicam os detectores pontuais. A grande quantidade destes sensores espalhados no túnel, aliados à necessidade de manutenção individual e às longas distâncias entre as estações, dificultam a permanência destes dispositivos em perfeito funcionamento.

Um sistema linear pode ser melhor adaptado em longas distâncias, desde que vençam os desafios citados no parágrafo anterior. Entretanto, não existe experiência significativa com o uso de tais dispositivos. A experiência que foi relatada ocorreu no Metrô de Bancoc, com a aplicação de uma fibra óptica como detector linear.

Para a supervisão, por meio de *software*, é possível a monitoração constante do estado desta fibra, inclusive com a precisa localização em caso de rompimento.

Embora a Norma NBR 15661 (2009) recomende a aplicação da Norma NBR 11836 (1992), as condições dos túneis do Metrô de São Paulo não são favoráveis

para a utilização de detectores de fumaça pontuais. Por outro lado, a Norma NBR 15661 (2009), no item referente ao controle de fumaça, abre espaço para o uso de detectores similares em túneis metroviários. Entretanto, esta mesma norma não especifica o tipo desses detectores similares.

É importante frisar que não é possível a implantação de um sistema totalmente isento de falhas ou de falsas atuações. A combinação de dois ou mais sistemas pode minimizar estes efeitos.

A Tabela 2 mostra um resumo da comparação dos sistemas de detecção de incêndio observando-se as necessidades de um túnel metroferroviário.

**Tabela 2 – Quadro comparativo dos tipos de detecção frente às necessidades exigidas pelo túnel metroferroviário.**

	Ambiente	Zona detecção /supervisão	Precisão /confiabilidade	Manutenção / localização de falha
Térmicos Pontuais	X	X	X	X
Térmicos Lineares	✓	X	X	X
Fumaça Fotoelétrico	X	X	X	X
Fumaça Ionização	X	X	X	X
Fumaça Aspiração	X	X	✓	X
Chamas - UV/IR/Cintilação	X	X	X	X
Fibra óptica	✓	✓	✓	✓
Vídeo câmera	X	X	✓	X
Cabo Sensor	✓	✓	✓	✓

Desta forma, a proposta idealizada após estes estudos desenvolvidos é de um sistema linear, mais adaptado às condições adversas dos túneis, e que permita a localização precisa do ponto onde venha a ocorrer o sinistro. Os sistema de fibra óptica ou por cabo sensor atendem estes requisitos, para aplicação nos túneis em longa distância, em virtude da boa precisão e da possibilidade de autodiagnóstico em tempo real. A combinação deste sistema linear por fibra óptica com a monitoração da via por vídeo câmeras pode ser melhor aproveitada, especialmente nas situações em que os trens circulam sem a presença de um condutor. A monitoração pode ser desprovida do *software* para reconhecimento automático de chamas, uma vez que o sistema de fibra óptica localiza automaticamente o local onde está o sinistro. O próprio operador do sistema de monitoração verifica a imagem do local, após ser alertado pelo sistema linear.

## 6 CONCLUSÕES

Este trabalho traz uma proposta para aplicação nos túneis do Metrô de São Paulo.

Esta proposta não está plenamente coberta pela recente Norma NBR 15661 (2009), uma vez que esta não define exatamente o uso de detectores de fumaça nos túneis metroviários. A interpretação do significado dos detectores similares pode abranger o uso de detectores de temperatura lineares conforme sugerido neste trabalho.

### 6.1 Considerações Finais

O Metrô de São Paulo é reconhecido pela moderna tecnologia empregada em seus sistemas. Desde a implantação da primeira linha, buscou-se o que havia de mais atual e confiável.

Entretanto, a detecção de incêndio em túneis metroviários permanece um assunto pouco dominado, até mesmo porque, na época da implantação da Linha 1, não havia meios confiáveis de detectar e prevenir incêndios automaticamente. Ainda hoje, não são utilizados detectores de incêndio em túneis metroviários na América Latina.

A preocupação com incêndios nos túneis do Metrô é cada vez mais crescente, assim como a população por ele transportada. Atualmente, transporta-se mais de 3,4 milhões de pessoas (METRÔ).

Este trabalho mostra algumas alternativas possíveis para a implantação nos túneis do Metrô, com base nas características de alguns sistemas existentes e nas experiências ocorridas em outros locais, em túneis rodoviários e em túneis de outros países. Notou-se que outros metrôs de alta capacidade compartilham da preocupação, embora também careçam de experiências neste setor.

Sendo assim, a correta seleção do equipamento utilizado pode ajudar a preservar as vidas de centenas de pessoas em caso de um incêndio.

Com base na análise apresentada neste trabalho, percebeu-se que é possível o emprego combinado de algumas tecnologias para a detecção de incêndio em túneis. Já existe viabilidade técnica para a detecção, bem como para a localização do sinistro, em caso de ocorrência. Desta forma, a sugestão apresentada no item 5.3, ou seja, do uso de sistema de fibra óptica ou cabo sensor associado a uma monitoração da via por vídeo câmeras mostra-se mais tecnicamente viável, com menores dificuldades de implantação e espera-se que também apresentem menores exigências individuais para a manutenção.

## ***6.2 Próximas Etapas***

O estudo realizado levou em consideração aspectos técnicos da implantação de detecção de incêndio em túneis metroviários.

Para as próximas etapas, sugere-se um estudo de viabilidade econômica, levando em consideração aspectos de aquisição, instalação e manutenção do sistema. Há de se considerar que deverá haver facilidade de manutenção e grande oferta de materiais sobressalentes, uma vez que os sistemas do Metrô devem apresentar longa vida útil.

O teste em campo também é importante para a validação deste estudo, uma vez que pode comprovar os efeitos apresentados.

É importante realizar estudos verificando a viabilidade de integração do sistema de detecção de incêndio em túneis com outros sistemas, tais como Ventilação Principal, Sonorização, Sinalização de trens, combate de incêndio, sempre com base em uma análise de risco, de modo que a evitar que a ativação possa provocar situações inseguras ou ao pânico desnecessário.

## 7 REFERÊNCIAS

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas – apresenta projetos de desenvolvimento de normas técnicas. Disponível em <<http://www.abnt.org.br/cb24>> Acesso em 02/10/2009.

\_\_\_\_\_ **NBR 9441 – Execução de Sistemas de Detecção e Alarme de Incêndio.** Rio de Janeiro, 1998.

\_\_\_\_\_ **NBR 11836 – Detectores Automáticos de Fumaça para Proteção contra Incêndio.** Rio de Janeiro, 1992.

\_\_\_\_\_ **NBR 15661 – Proteção Contra Incêndio em Túneis.** Rio de Janeiro, 2009.

\_\_\_\_\_ **NBR 15775 – Sistemas de Segurança contra Incêndio em Túneis – Ensaios, Comissionamento e Inspeções.** Rio de Janeiro, 2009.

**APSENSING ADVANCED PHOTONIC Linear Heat Series – Sistema Detector de Calor Linear de Fibra Óptica.** Böblingen, Alemanha, 2009, 8p. Disponível em <<http://www.apsensing.com>>, acesso em 7/1/2010

**ARAGÃO, R. F. et all Incêndios e Explosivos – uma Introdução à Engenharia Forense,** Editora Millennium, Campinas, 2010.

**BBC NEWS In pictures: S Korea subway attack,** Publicado em 18/02/2003, disponível em <<http://news.bbc.co.uk/2/hi/asia-pacific/2774561.stm>>, acesso em 16/11/2009.

**BOSHSECURITY Detector linear de calor Transafe ADW 511,** 2005, disponível em <[http://www.boschsecurity.com.ar/\\_archivos\\_productos\\_sitios\\_la/documentos/fire/PT/adw511\\_description\\_0505\\_ptPT.pdf](http://www.boschsecurity.com.ar/_archivos_productos_sitios_la/documentos/fire/PT/adw511_description_0505_ptPT.pdf)>, acesso em 16/16/09/09

**CBPMESP** Corpo de Bombeiros da Polícia Militar de São Paulo – apresenta instruções técnicas e decretos leis referentes à proteção contra incêndios. Disponível em <<http://www.ccb.polmil.sp.gov.br>> Acesso em 17/11/2009.

CoMET (*Community of Metros*) apresenta definições do comitê. Disponível em <<http://www.comet-metros.org>> acesso em 04/12/2009

DEWITT, W. E. **Compreendendo Dispositivos de Detecção de Fogo - As diferenças do desempenho devem ser reconhecidas para aplicações corretas**, tradução GIFEL Engenharia de Incêndios, 2007, disponível em <<http://www.risco.com.br>>, acesso em 10/10/2009.

FIGUEIREDO, O. A. T. **A Química do Fogo** Centro de Educação Superior Norte da Universidade Federal de Santa Maria – RS, 2010, Santa Maria, RS, disponível em <<http://www.cesnors.ufsm.br/professores/oscar>> acesso em 28/01/2010.

FIRETATICS – Transcrição de LONDON FIRE JOURNAL **KINGS CROSS FIRES** Publicado em 7/13/2005 Disponível em <<http://www.firetactics.com/KINGSCROSS.htm>>, acesso em 14/02/2010.

**FOLHA ONLINE Justiça condena Metrô de SP por morte de passageira** Publicado em 26/10/2004 Disponível em <<http://www1.folha.uol.com.br/folha/cotidiano/ult95u101153.shtml>> Acesso em 16/11/2009

GESP – Governo do Estado de São Paulo – Planos de Expansão da Secretaria de Transporte Metropolitano, disponível em <[www.expansao.sp.gov.br](http://www.expansao.sp.gov.br)>, acesso em 18/11/2009.

JANES, R. **Estudo sobre Sistemas de Segurança em Instalações Elétricas Automatizadas**, dissertação (mestrado), Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo – SP, 2009.

KANESHIRO, P. J. I. **Modelagem de Sistemas de Proteção Técnica contra Incêndios em Edifícios Inteligentes Através de Rede de Petri**, dissertação (mestrado), Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, SP, 2006.

MCKINNON, R et. all. – DAEGU, South Korea (CNN) - Fears S. Korea subway toll will rise **CNN News**, Publicado em 18/2/2003, Disponível em <<http://edition.cnn.com/2003/WORLD/asiapcf/east/02/18/skorea.fire/index.html>>, acesso em 10/01/2010

METRÔ – COMPANHIA DO METROPOLITANO DE SÃO PAULO – históricos e números da empresa, disponível em <<http://www.metro.sp.gov.br>>. Acesso em outubro de 2009.

\_\_\_\_\_ Documento Interno DE-2.13.02.02/6J2-005 **Projeto Executivo de Túneis km 28.7 - NATM**, 2009

\_\_\_\_\_ Documento Interno DE-2.13.02.02/6J2-008 **Forma – Laje de Fundo – Seções Transversais**, 2009

MICLEA, P. C. **Evolution of Tunnel Ventilation and Safety Criteria in a Changing City Environment** AECOM Transportation USA, 2009, disponível em <<http://www.ctta.org/FileUpload/ita/2009/papers/O-12/O-12-10.pdf>> Acesso em 20/11/2009.

MVFRA Fire and Rescue Volunteers **Smoke Detection History** Apresenta detalhes e ilustrações de detectores ópticos. Disponível em <<http://www.mvfra.org/tipsSD3.htm>> Acesso em 15/05/2010.

NFPA – NATIONAL FIRE PROTECTION ASSOCIATION **NFPA 72 National Fire Alarm Code**.EUA 1999.

NFPA – NATIONAL FIRE PROTECTION ASSOCIATION **NFPA 130 Standard for Fixed Guideway Transit and Passenger Rail Systems**.EUA 2000.

NOGUEIRA, M. Quais Foram as Piores Tragédias Ocorridas no Metrô **Revista Superinteressante** Edição 237 Março 2007

PROTECTORWIRE LINEAR HEAT DETECTOR CABLE Disponível em <<http://www.koetterfire.com/products/360-010-PW01.php>> Acesso em 10/1/2010

SCABBIA, A. L. G. **Túneis Rodoviários – Proposta de Avaliação de Conformidade para Liberação ao Uso e Operação Comercial**, tese (doutorado), Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, SP, 2007.

SECURITON – Apresenta catálogos técnicos, esquemas e figuras de detectores de incêndio. Disponível em <<http://www.paranaemrede.com.br/securiton.htm>> Acesso em 15/12/2009.

TEIXEIRA, A. A. **Concepção de Instalações Elétricas – Prevenção contra Incêndio** Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, 2006, Portugal, Disponível em <[http://paginas.fe.up.pt/~arminio/cie/SADI\\_06.pdf](http://paginas.fe.up.pt/~arminio/cie/SADI_06.pdf)> acesso em 28/01/10

TELVENT Tunnel Management System in Brazil, disponível em <<http://www.itsiran.ir/modules/wfsection/download.php?fileid=41>>, acesso em 19/9/2009

UNIV UNIVERSIDADE ABERTA **Unidade Didática Fogo e Incêndio**, 2002, disponível em <<http://www.univ-ab.pt/formacao/sehit/curso/incendios/uni1/fogo.html>> Acesso em 10/01/2010

UOL NOTÍCIAS **Principais atos criminosos em metrôs pelo mundo** Publicado em 18/02/2003 Disponível em <<http://noticias.uol.com.br/inter/afp/2003/02/18/ult34u59555.jhtm>> acesso em 16/11/2009.

## **ANEXO A – PESQUISA DO COMET**

Este Anexo apresenta a transcrição da consulta ao CoMET.

As questões formuladas foram:

1. Quais sistemas de detectores de incêndio são utilizados nos seus túneis?
2. Há alguma experiência com utilização de sensores de fibra óptica, cabo sensor, detectores lineares de temperatura ou detectores por vídeo câmera?
3. Qual é a eficiência e o tempo de resposta deste detectores? Qual é a área de cobertura e a frequência de manutenção?
4. Há algum registro de algum incidente corretamente detectado por estes sensores?
5. Ou, por outro lado, há algum registro de alarmes falsos com estes sistemas?

A seguir, estão transcritas as questões formuladas, traduzidas para o inglês, e as respostas recebidas. Nas respostas, por solicitação dos representantes, foi preservado o seu anonimato.

**PERGUNTA**

**Roque Rosa**  
**Companhia do Metropolitano de São Paulo**  
**2009-10-01 08:59:45**

Dear colleagues

MSP would like to know if your metro has fire detection systems installed in subway tunnels? If yes, please answer to the following questions;

1. What kind of fire detection system is used in your tunnels?
  2. Do you have any experience on using fiber optic sensor cable detector, linear heat detector or video camera digital detection?
  3. What is its efficiency, the response time of the fire detector, the area coverage and the maintenance frequency.
  4. Is there any record on fire incidents being successfully detected by your fire detection system?
  5. Or is there any case of false alarm issued by your fire detection system?
- Best regards

Roque

## RESPOSTA 1

2009-10-02 03:06:00

**(...) response:**

(We) haven't fire detection systems installed in subway tunnels.

Best regards,

## RESPOSTA 2

2009-10-02 13:28:20

**(...) response:**

**1. What kind of fire detection system is used in your tunnels?**

Tunnels use for the exploitation are not equip with fire detection system. Most of the rooms (electric rooms, thecnical rooms...)that we have in each stations are equip with heat or smoke detecters. Underground garage are equip with heat detectors and sprinklers systems.

**2. Do you have any experience on using fiber optic sensor cable detector, linear heat detector or video camera digital detection?**

No, we don't use it for fire detection but we use digital cameras for intrusion detection.

**3. What is its efficiency, the response time of the fire detector, the area coverage and the maintenance frequency.**

They are efficiency to detect statting fire or smoke generation. We want to take care rapidly on a starting fire. Response time and the area coverage are define by the manufacturer. Maintenance and test are make each year for 1/3 of all our detectors, year after year.

**4. Is there any record on fire incidents being successfully detected by your fire detection system?**

No, we don't.

**5. Or is there any case of false alarm issued by your fire detection system?**

Yes, we have few false alarm each year. Specially with smoke detector that we have in technicals rooms. They are sensitive and we are looking to find a solution.

Best regards,

RESPOSTA 3

2009-10-09 15:04:15

(We) do not have fire detection systems along the tunnels. They are installed just at stations, depot, operational control center and administrative buildings.

Best regards,

---

RESPOSTA 4

2009-10-09 19:52:47

(...) response:

(We) haven't fire detection systems installed in subway tunnels.

Best Regards,

---

RESPOSTA 5

2009-10-28 09:31:45

(Our) tunnels do not have fire detector installed, only fire hydrant are provided.

---

RESPOSTA 6

2009-11-02 03:32:44

1. We use fiber optic sensor in tunnels.
2. We use both fiber optic sensor cable detector and linear heat detector. Fiber optic sensor use in tunnel. Linear heat detectors are detectors for fire protection system under escalators.
3. **LHD Controller** perform to generate laser light and send via Fiber optic cable sensor for check temperature in each tunnel section, end of cable will back to LHD controller. If temperatures in each tunnel section change, the laser light from cable will change too. Temperature in each tunnel section can display at SCADA and Workstation (Real time) every 90 seconds temperature will change follow to temperature of tunnel section. LHD controllers will perform to compare between setting parameter and tunnel temperature from fiber optic cable sensor.

**Signal from Linear Heat Detection system and Condition for operate Tunnel Ventilation system:**

1. Normal Condition

In condition that temperature is lower than 45, „aC.

2. Congested Condition

LHD detect that the temperature in tunnel is equal or higher to 45 „aC.

3. Fire & Emergency Condition; 3 Conditions to operate follow to:

3.1 LHD system in forms that the temperature at the event zone of tunnel is equal or higher than 58, „aC.

3.2 LHD system in forms that the temperature at the event zone of tunnel is equal of higher than 12 oC for 1 minute upwards.

3.3 LHD system informs that the temperature at the event zone is equal or higher than 15 °C.

**Efficiency for meet target of System** is availability 100 % for monitor and send signal to SCADA and Workstation in Station Operation Room (SOR) and correct.

**Regular Preventive Maintenance**

**Monthly**

General Cleaning and check condition of environment (Ambient temperature, Humidity)

Check status haven't fault.

Check parameter of power supply.

**Annual**

Check temperature profile,

Back up data for analysis.

Test zone by heat gun for confirm locations and Integrations test with Fire detection alarm , SCADA and Workstation.(Monitoring)

4. Fortunately, we have no experience of real fire in tunnel.

5. - We have few false alarms from fiber optic sensor. False alarm must be rectified by supplier by readjust configuration of controller or replace with the new ones.

- We have some false alarms from linear heat detector that occurs from oil, moisture and cable loose. All false alarms were rectified by ourself.

Best regards,

RESPOSTA 7

2009-11-03 15:21:44

(We) do not install fire detection systems in railway running tunnels, only in sub-surface depots and sidings.

## RESPOSTA 8

2009-11-09 16:24:03

1. **There is no automatic detection system within our tunnel. We rely on the Operators to report fires.**
2. **I have had experience using linear heat detection in projects outside of the Commission.**
3. **We could speak directly about this if you like as it is an external project.**
4. **N/A**
5. **N/A**

Regards