



AEAMESP



AUTOMATIZAÇÃO DO SISTEMA DE SINALIZAÇÃO DE ROTAS DE FUGA EM TÚNEIS DO METRÔ DE SÃO PAULO

Renato Ferreira da Costa

José Augusto de Araujo Junior

Ricardo Frade Mouriño



AEAMESP



20ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA

CATEGORIA: 3 – TECNOLOGIAS DE IMPLANTAÇÃO, OPERAÇÃO E MANUTENÇÃO DE SISTEMAS DE TRANSPORTE

TÍTULO: AUTOMATIZAÇÃO DO SISTEMA DE SINALIZAÇÃO DE ROTAS DE FUGA EM TÚNEIS DO METRÔ DE SÃO PAULO

AUTORES: JOSÉ AUGUSTO DE ARAUJO JUNIOR

RENATO FERREIRA DA COSTA

RICARDO FRADE MOURIÑO

ABREVIATURAS E SIGLAS UTILIZADAS NESTE DOCUMENTO: **ARV** – Estação Praça da Árvore, Metrô de São Paulo; **CCO** – Centro de Controle Operacional; **CMSP** – Companhia do Metropolitano de São Paulo – METRÔ; **DI** – Sistema de Detecção de Incêndio; **DTMF** – *Dual-Tone Multi-Frequency* (multi-frequência, duplo tom); **PCRF** – Painel de Controle de Rotas de Fuga; **PV** – Poço de Ventilação; **PVSE** – Poço de Ventilação e de Saída de Emergência; **SAU** – Estação Saúde, Metrô de São Paulo; **SE** – Saída de Emergência; **SGRF** – Sistema de Gerenciamento de Rotas de Fuga; **STD** – Sistema de Transmissão de Dados; **SVP** – Sistema de Ventilação Principal.



AEAMESP



1 INTRODUÇÃO

Uma sinalização de rota de fuga tem como finalidade orientar as pessoas no abandono seguro de uma edificação em caso de incêndio ou outras situações de emergência, indicando o trajeto completo das rotas até uma saída de emergência, incluindo as mudanças de direção e de nível. A remoção das pessoas da edificação durante uma emergência deve ser rápida, segura e ordenada, o que torna a sinalização de rota de fuga fundamental pois, com ela, torna-se possível a organização do fluxo de pessoas.

Segundo a Instrução Técnica nº 03/2011 – “Terminologia de segurança contra incêndio” do Corpo de Bombeiros do Estado de São Paulo (CBPMESP, 2011b), sinalização de emergência é o “conjunto de sinais visuais que indicam de forma rápida e eficaz a existência, a localização e os procedimentos referentes a saídas de emergência, equipamentos de segurança contra incêndios e riscos potenciais de uma edificação”.

A rota de fuga das estações metroviárias se dá, majoritariamente, pelos acessos às estações, e, em alguns casos, por saídas de emergência localizadas na via nos trechos entre estações – túneis ou elevados.

1.1 *Motivação*

As causas de uma emergência podem ser as mais diversas. No metrô de São Paulo, essas situações podem ser agravadas devido:

- à grande quantidade de pessoas que circulam no sistema;
- à diversidade de estações e de vias, cada qual com seus níveis, acessos, passagens, salas e ambientes; e

- à convivência com diversos fatores de risco, como eletricidade, ambientes fechados etc.

Esses fatores podem claramente transformar uma simples evacuação de pessoas em um grande tumulto, caso não haja estratégias adequadas para controlar uma situação de emergência.

Outro agravante em emergências pode ser a presença de fumaça e/ou princípio de incêndio, seja por falha de material rodante (trens) ou de sistemas.

No metrô de São Paulo, não há histórico de incêndios. Porém, já aconteceram evacuações de pessoas por motivo de falha em equipamentos e observou-se que a falta de sinalização nos trechos entre estações pode ter contribuído, no passado, para que houvesse certa inquietação entre os usuários, sendo comum, em algumas ocasiões, o deslocamento deles das passarelas de emergência para os trilhos – o que não é desejável do ponto de vista de segurança, pois exige o desligamento dos circuitos de alimentação elétrica das vias e a caminhada por trechos com obstáculos.

Hoje, a Companhia do Metropolitano de São Paulo (CMSP) – METRÔ – possui procedimentos e rotinas de emergência implantados, empregados treinados e equipamentos específicos para controlar situações de emergência. A sinalização das rotas de fuga complementa de forma direta a execução dos procedimentos e rotinas.

Tendo como base todos esses fatos, entende-se que a sinalização clara e objetiva das rotas de fuga no sistema metroferroviário, direcionada de acordo com uma determinada ocorrência ao longo da linha, é uma medida que não impede uma situação de emergência, mas pode ajudar a diminuir consideravelmente as suas consequências, auxiliando na

atuação de profissionais de resgate e salvamento e na evacuação das pessoas de forma mais rápida e segura.

1.2 Objetivo

Dada a situação atual do sistema de sinalização de rotas de fuga em túneis – conjuntos de placas de sinalização e balizadores iluminados de forma estática –, o objetivo deste trabalho é propor uma solução para complementá-lo, utilizando a infraestrutura já instalada e promovendo a automatização do sistema, considerando interfaces possíveis com o Centro de Controle Operacional (CCO) e com os sistemas auxiliares (ventilação, especialmente).

Essa automatização acontecerá nas placas de sinalização e distanciamento, que poderão acender de forma independente, indicando a melhor rota de fuga para a evacuação dos usuários conforme a situação de emergência. Dessa forma, visa-se evitar que as pessoas se desloquem de forma aleatória pelos túneis, contribuindo para seu direcionamento seguro até uma saída possível.

Promover a automatização do sistema de sinalização de rota de fuga em túneis metroferroviários é um projeto novo, portanto pode se tornar referência para demais sistemas semelhantes em todo o mundo. Neste trabalho, com base em históricos de acidentes, em pesquisas com outros Metrô do mundo, em consultas a especialistas em segurança do trabalho e em normas do Corpo de Bombeiros, foi possível elaborar uma proposta factível para esse tipo de automatização que desmistifica as interfaces entre sistemas metroferroviários e reforça, por meio de análise cautelosa, a necessidade e a importância de uma comunicação clara e objetiva quando da ocorrência de uma situação de emergência em ambientes de túneis e estações.

2 HISTÓRICO DE INCÊNDIOS EM METRÔS NO MUNDO E FATORES COMPORTAMENTAIS ENVOLVIDOS COM UMA SITUAÇÃO DE EMERGÊNCIA

Segue uma cronologia selecionada e resumida de grandes acidentes em linhas de trem e metrô, com casos de incêndio, fumaça e perda de vidas humanas. Por meio dessa cronologia (Quadro 1), pode-se verificar que as consequências de um incêndio em túneis são muito graves (FRIDOLF, 2010). São listados alguns casos em que não houve incêndio em túneis. Porém, consideram-se esses acidentes importantes para o entendimento de todos os fatores envolvidos com a evacuação de passageiros em caso de emergência.

Local	Data	Motivos	Vítimas fatais
Paris, França	10/08/1903	Incêndio em trem (curto-circuito) Rebocamento de trens avariados Tumulto	84
Londres, Reino Unido	18/11/1987	Incêndio em escada rolante Falta de treinamento / manutenção Falta de plano de evacuação atualizado	31
Zurique, Suíça	16/04/1991	Incêndio em trem (vandalismo - ?) Conflitos de comunicação	0
Baku, Azerbaijão	28/10/1995	Incêndio em trem (falha elétrica) Tumulto Falta de comunicação	289 a 337
Kaprun, Áustria	11/11/2000	Incêndio em trem (falha em aquecedor) Falta de equipamentos de combate Falta de comunicação	155
Daegu, Coreia do Sul	18/02/2003	Vandalismo Desligamento da tração Falta de eqptos. de combate/emergência	198
Estocolmo, Suécia	16/05/2005	Incêndio em trem	0

Quadro 1 – Resumo de grandes acidentes em linhas de trem e metrô (FRIDOLF, 2010).

2.1 Análise Geral dos Acidentes Apresentados

Por meio de uma análise mais profunda dos acidentes relacionados anteriormente, percebe-se que uma situação de emergência em ambiente metroviário cujo início é aparentemente controlável pode se tornar um desastre com muitas mortes.

Outro ponto interessante a considerar numa análise de acidentes é o aspecto comportamental dos usuários e dos funcionários da operadora de trem ou metrô. Diante dos acidentes anteriormente resumidos, foram notadas diversas características relevantes:

- 1) Em Baku, Azerbaijão, as instruções por parte dos funcionários foi mínima, o que pode ter colaborado para o pânico e para a evacuação voluntária dos usuários sem qualquer tipo de orientação. Em *King's Cross*, Londres, os usuários somente reagiram ao problema quando receberam informações suficientes sobre o incêndio e instruções muito claras dos funcionários – e, em especial, dos policiais que estavam na estação. Esse comportamento passivo foi de certa forma incrementado pela não-utilização do sistema de avisos públicos (alto-falantes), pela provável inexistência de alarmes de incêndio e pela falta de um plano atualizado de rotas de fuga, na época. Em contrapartida, no acidente de Zurique, os funcionários envolvidos no acidente foram capazes de fornecer instruções mais claras, o que facilitou a evacuação dos passageiros, mesmo com todas as dificuldades verificadas no trajeto (FRIDOLF, 2010);
- 2) Pictogramas imunes visualmente à fumaça e em número suficiente ao longo dos túneis facilitam o escape em caso de emergência, sendo um fator muito positivo se contarem com uma comunicação visual simples e que permita rápida interpretação da informação;



AEAMESP



- 3) O sistema de ventilação dos túneis possui grande influência em uma situação de incêndio. É importante que ele seja configurável do ponto de vista de direcionamento de fluxo de ar e que, diante de uma evacuação, ele não prejudique o escape das pessoas, não deslocando a fumaça na direção delas; e
- 4) O treinamento das equipes de operação para situações de emergência, principalmente as que envolvem incêndios, é fundamental para a prevenção de acidentes e orientação adequada dos usuários.

2.2 Impactos e Efeitos da Fumaça Sobre Pessoas em Situações de Emergência

A fumaça é a mistura de gases, vapores e partículas, produtos de combustão, sendo fator que mais afeta as pessoas quando do abandono de uma edificação (SEITO et al., 2008). Devido ao seu efeito visual de turbidez (que pode se desenvolver até tornar impossível a visão do ambiente) e ao seu odor, tem grande impacto sobre o comportamento das pessoas numa situação de emergência.

A fumaça de um incêndio afeta a segurança das pessoas na medida em que (SEITO et al., 2008):

- Não permite a visualização de rotas de fuga, causando também lacrimejamento, tosses e sufocamento;
- Prejudica o sistema respiratório e circulatório, devido ao aumento da concentração de gás carbônico;
- Provoca pânico;
- Debilita a movimentação das pessoas pela concentração de elementos tóxicos; e



AEAMESP



- Tem capacidade de ocupar grandes espaços em pouco tempo.

De forma especial, no acidente ocorrido em Kaprun, Áustria, em 2000, as pessoas foram altamente afetadas pela fumaça. Surpreendentemente, as vítimas que foram na direção do incêndio conseguiram escapar do túnel estreito em chamas e aquelas que subiram o túnel foram tomadas pelo grande volume de gases tóxicos, conseguindo andar poucos metros antes de morrer.

O acidente do metrô de Baku, em 1995, teve resultado semelhante. O trem teve pane em suas saídas de emergência e foi invadido pela fumaça. A grande maioria das pessoas teve sua morte no interior do trem.

Em um incêndio, “o comportamento mais frequente (...) é a tensão nervosa ou estresse, e não a reação de medo e que foge ao controle racional, ou seja, o pânico” (SEITO et al., 2008). As pessoas naturalmente podem demorar a reagir e perceber a gravidade que uma situação de emergência pode vir a ter.

É muito importante, em uma situação como essa, ter rápida informação sobre o que está acontecendo, qual a severidade envolvida e quais os caminhos seguros a serem tomados, a fim de suavizar os efeitos dessa “tensão nervosa”.

Diante desses fatos, neste trabalho, procura-se desenvolver uma solução de rota de fuga que leve em consideração a presença e o fluxo de fumaça, tentando minimizar os trajetos por meio de um ambiente que possa ser preenchido por ela.

Os incêndios que ocorreram nos países europeus tiveram uma importante consequência: o desenvolvimento de normas para evitar ou diminuir os efeitos deste tipo de tragédia. No entanto, elas estão focadas principalmente na especificação de materiais



AEAMESP



preventivos (não propagadores de fogo, com baixa emissão de halógenos) e nas formas de permitir ao passageiro evacuar o trem em caso de incêndio. Não há menção sobre automatismo de rotas de fuga ou integração de sistemas de segurança (ventilação principal, detecção de incêndio etc.) com a sinalização de rotas de fuga.

3 DIAGNÓSTICO / CENÁRIO ATUAL – METRÔ DE SÃO PAULO

3.1 *Sistema de Sinalização de Rota de Fuga Atual (em implantação)*

O Sistema de Sinalização de Rotas de Fuga está sendo implantado, atualmente, em todos os trechos entre estações de todas as linhas da Companhia do Metropolitano de São Paulo – METRÔ (Linha 1-Azul, Linha 2-Verde, Linha 3-Vermelha e Linha 5-Lilás).

Trata-se de um sistema **estático**, porém **preparado para receber automatismo**, que promove a sinalização das rotas de fuga com equipamentos luminosos (placas e balizadores), indicando:

- nas vias: os limites das passarelas de emergência, os sentidos e distâncias para as saídas mais próximas (saídas de emergência ou estações); e
- nas saídas de emergências subterrâneas: a direção, o sentido e as mudanças de nível até a rua.

3.1.1 Equipamentos de Sinalização

Placa de Direção, Sentido e Distanciamento

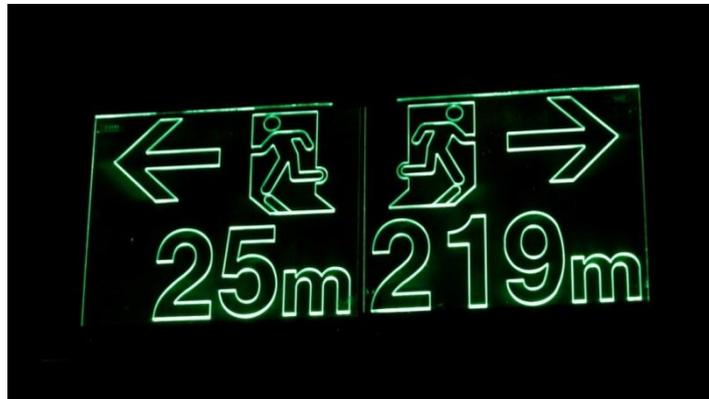


Figura 1 – Placa de sinalização de rota de fuga em trecho de túnel (ARAUJO et al., 2011)

Placas de Sentido e Mudança de Nível

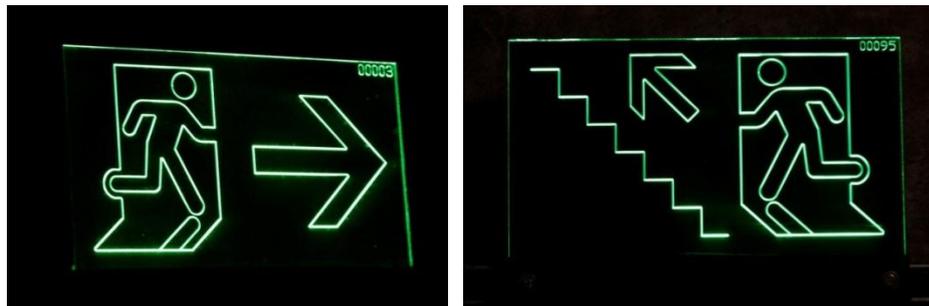


Figura 2 – Placa de sinalização de rota de fuga para saídas de emergência e mudanças de nível

(ARAUJO et al., 2011)

Placas de Indicação de Saída



Figura 3 – Placa de sinalização de rota de fuga para indicação de saída (ARAUJO et al., 2011)

Balizadores



Figura 4 – Balizador de passarela de emergência (ARAUJO et al., 2011)

3.1.2 Equipamentos de Alimentação e Controle

PCRF (Painel de Controle de Rotas de Fuga)

O PCRF está localizado na Sala Técnica de cada estação (vide Figura 5). Ele faz a distribuição dos circuitos que vão para as vias alimentar os equipamentos; além disso, também abriga o Módulo Gerador DTMF (*Dual-Tone Multi-Frequency*) que faz a conexão de todos os circuitos de comando.



Figura 5 – Vista externa e interna do Painel de Controle de Rotas de Fuga (PCRF) em implantação

Módulo Gerador DTMF (Dual-Tone Multi-Frequency)

Tem a função de gerar os códigos DTMF para ativar ou desativar a iluminação das placas de sinalização de distanciamento, seja de forma individual, de forma total (todas as placas sob o domínio de um PCRF) ou por trechos selecionados (vide Figura 6).



Figura 6 – Módulo Gerador DTMF existente.

Caixa de Controle e/ou abaixamento de tensão

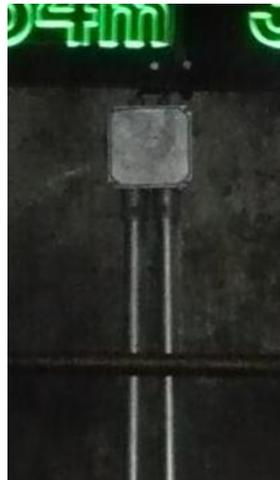


Figura 7 – Caixa de Controle e/ou abaixamento de tensão (ARAUJO et al., 2011)

3.1.3 Arquitetura do Sistema Atual de Rotas de Fuga em Túneis

A arquitetura do sistema atual – idêntica à da concepção do projeto inicial do Sistema de Rotas de Fuga –, considerando seus componentes explicitados, está representada na Figura 8.

A partir do PCRF, localizado na Sala Técnica de uma determinada estação, partem 4 circuitos de alimentação elétrica em 125Vcc, um para cada lado de via (ou seja, dois circuitos para cada túnel, norte e sul – ou oeste e leste). Para cada lado de via, também, parte um circuito de controle, que transmite os sinais para ativação das placas conforme o código fornecido pelo Módulo Gerador DTMF. Todos esses circuitos são recebidos pela Caixa de Controle (indicada com a sigla “Ctrl” na Figura 8).

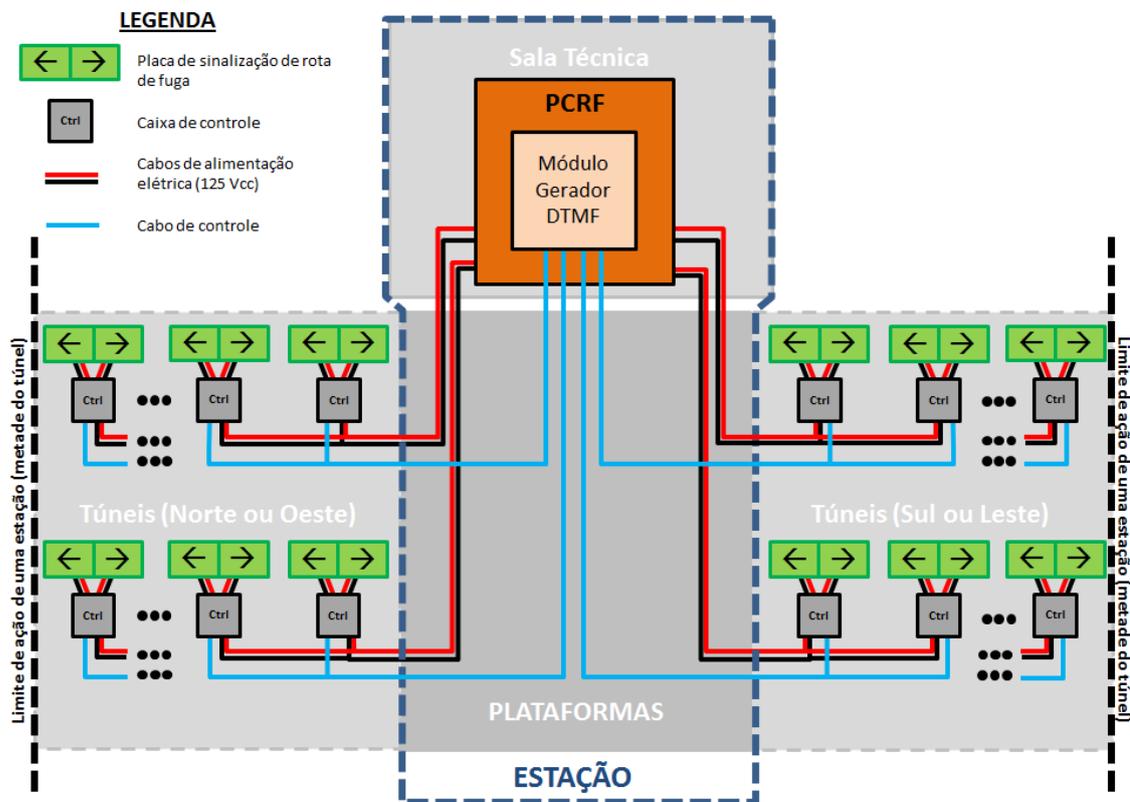


Figura 8 – Arquitetura atual do Sistema de Rotas de Fuga em Túneis

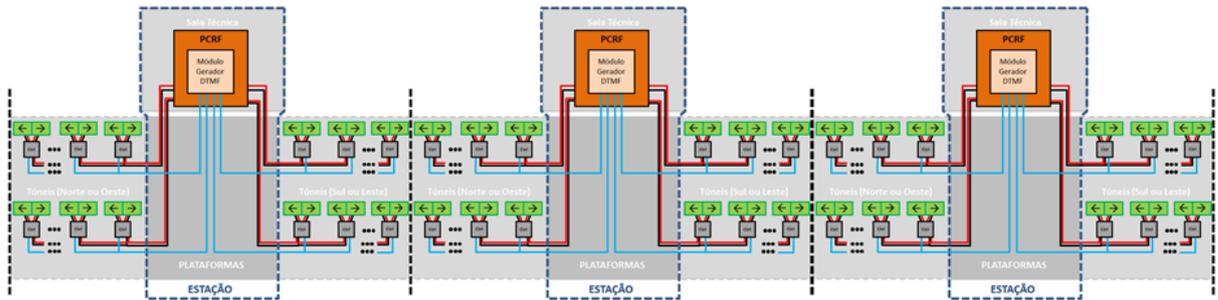


Figura 10 – Arquitetura atual do Sistema de Rotas de Fuga em Túneis – Visão da linha de metrô

As placas de saídas de emergência e os balizadores são equipamentos que permanecem acesos ininterruptamente.

Atualmente, as placas de distanciamento também estão nesta condição, porém toda a infraestrutura que vai possibilitar o automatismo do seu acendimento já está instalada – inclusive com a previsão de espaço para a instalação de outros equipamentos no PCRf.

3.2 Sistemas Auxiliares – Sistema de Ventilação Principal (SVP)

Existem outros sistemas com funções específicas que hoje funcionam de forma independente, mas podem fornecer informações importantes no momento de se traçar uma rota de fuga ideal.

O Sistema de Ventilação Principal (SVP) de um sistema de transporte metroviário possui algumas funções básicas (METRÔ, 2007a):

- Extrair o volume de ar quente produzido pelos equipamentos dos trens (motores, atrito das rodas com o trilho etc.), pelos próprios usuários e pelos equipamentos fixos das estações, lançando-o para fora da estação (ou do túnel);



AEAMESP



- Trocar o ar das estações e túneis, evitando acúmulo de agentes de contaminação;
- Deslocar massas de ar quente e fumaça geradas por acidentes, em especial incêndios, fazendo com que fluam ao exterior da estação (ou do túnel);
- Controlar a pressão dentro das estações e túneis.

Existem rotinas de operação para o SVP que se adaptam a cada situação. Em situações normais, os ventiladores dos poços de ventilação dos túneis estão em rotina de exaustão (liberando ar das vias para o ambiente externo) e as estações estão em leve depressão, ou seja, sua pressão interna é menor que a pressão do meio externo.

As rotinas de ventilação operacionais visam aproveitar a flexibilidade do SVP, tanto do ponto de vista de vazão quanto de sentido de fluxo, de forma a tornar disponíveis dinâmicas de movimentação de massas de ar que auxiliem no controle de uma situação de emergência.

Os ventiladores de túnel podem ter sua vazão controlada também de acordo com a temperatura média medida em seu entorno. Nos PVSEs (Poços de Ventilação e de Saída de Emergência), as escadarias para saída dos usuários possuem pressurização positiva (insuflação) e portas corta-fogo, evitando a entrada de fogo ou fumaça nessas regiões. Ao longo dos túneis, também podem existir, separadamente, Saídas de Emergência (SEs) e Poços de Ventilação (PVs).

Atualmente, na CMSP, são utilizadas algumas rotinas de ventilação principal durante a operação comercial, cujo funcionamento não será detalhado neste artigo. É importante lembrar, entretanto, que uma premissa básica para o Sistema de Ventilação Principal é não haver transporte de fogo das estações para os túneis e vice-versa.



AEAMESP



Deve ser percebido, também, que as rotinas de ventilação por si só não garantem o fluxo de ar desejado para a situação de emergência. Elas devem ser consideradas como recursos que o SVP provê para modificar as configurações de fluxo de ar. Porém, outras informações devem ser integradas por um operador central para que haja sucesso na solução do problema: o contexto da situação de emergência, o estado da circulação de trens (que pode movimentar grandes massas de ar), a origem do foco de incêndio etc.

A compreensão das rotinas e consideração delas em conjunto com a possibilidade de modificação de rotas de fuga ao longo dos túneis são fatores importantes para a modificação do sistema de sinalização de rotas de fuga atual, objeto deste trabalho. Analisaremos essa questão mais adiante.

3.3 Sistema de Transmissão de Dados (STD)

O STD é uma rede de comunicação convergente, destinada ao tráfego de voz, vídeo e dados, com qualidade de serviço e alta disponibilidade a todos os sistemas metroviários, provendo as redes locais (LANS) e interligando todas as localidades operacionais da CMSP (serviço de *backbone*). O STD é totalmente dualizado (ou seja, redundante) e a ele estão conectados DI e SVP, os quais poderiam ter interfaces com o novo SGRF.

3.4 Rotas de Fuga em Outros Metrôs

No intuito de entender como o sistema de sinalização de rotas de fuga é concebido e quais são suas características de funcionamento em outras operadoras de metrô do mundo, promovendo um meio de comparação, foi realizada uma pesquisa com outros metrôs de alto carregamento (acima de 500 milhões de passageiros transportados por ano), com base

em contato oficial com um fórum de discussões entre operadoras, entre as quais está a CMSP.

Representantes de cinco operadoras responderam à pesquisa e, por meio dela, foi possível verificar que tais empresas possuem rotinas ou procedimentos operacionais concretos para conduzir situações de emergência de forma segura, apesar das diferentes tecnologias e épocas de construção de suas linhas. Em geral, todas as operadoras possuem placas de sinalização de rota de fuga em seus túneis, com modelos diversificados. O escape das regiões de sinistro ou as evacuações normais sempre ocorrem com a orientação de funcionários treinados.

No entanto, não existe nenhuma menção a uma automatização de sinalização de rotas de fuga de acordo com a situação de emergência. Também, não é comentado nenhum tipo de integração entre sistemas de segurança (ventilação principal, detecção de incêndio, sinalização dos trens etc.) e o sistema de sinalização de rotas de fuga.

Em nenhuma operadora foi verificado sistema de detecção de incêndio em túneis, conforme proposta desenvolvida em trabalho técnico recente do Metrô de São Paulo (MORI; PINTO, 2010).

4 PROPOSTA DO TRABALHO: SISTEMA DE GERENCIAMENTO DE ROTAS DE FUGA – SGRF

Com o objetivo de solucionar ou melhorar as limitações do sistema atual, propõe-se, neste trabalho, o desenvolvimento do Sistema de Gerenciamento de Rotas de Fuga (SGRF), cujas características e arquitetura são expostas a seguir.



AEAMESP



Como o Sistema de Rotas de Fuga atual tem como característica o funcionamento segregado ou local, é necessário pensar em uma entidade centralizadora, que é capaz de “enxergar” o sistema como um todo, no âmbito de uma linha completa de metrô. Essa entidade deverá ser capaz tanto de receber as informações de direcionamento de rota de fuga da linha de metrô completa, quanto de enviar comandos para determinadas regiões da linha que possuam alguma ocorrência ou que exijam o direcionamento da rota para locais seguros.

Essa entidade, no caso do Metrô de São Paulo, é o CCO (Centro de Controle Operacional). Na proposta deste trabalho, ele concentra todas as informações de rota de fuga em túneis da linha de metrô e é capaz de comandar a ativação de placas de sinalização de rota de fuga em áreas específicas da via.

4.1 *Concepção e Arquitetura do SGRF*

Seguindo a ideia de concentração de informações no CCO, é necessário implementar modificações, tanto nele quanto em cada estação, para desenvolver a nova arquitetura do SGRF.

4.1.1 *Âmbito da estação*

O novo Módulo Gerador DTMF deverá ser capaz de receber comandos e convertê-los na codificação DTMF para ativar as placas de sinalização de rota de fuga. Para tanto, deverá haver um servidor e uma IHM (Interface Homem-Máquina), locais (por estação), para receber esses comandos do CCO e transmiti-los, por meio de interface serial, para o módulo gerador DTMF. Este, por sua vez, enviará os comandos para as placas de sinalização de rota de fuga.



AEAMESP



4.1.2 Âmbito do CCO

Do ponto de vista do CCO, para completar a arquitetura do SGRF, será necessário incorporar uma IHM e um servidor que se comunique com os servidores das estações, utilizando a infraestrutura do STD, permitindo que o servidor do CCO gerencie o Sistema de Rotas de Fuga de toda a linha de metrô de forma única, possibilitando considerar pontos de ocorrência em estações adjacentes para a tomada de decisão de caminhos para evacuação de pessoas. A utilização do STD pelo servidor do CCO possibilitaria também futuras interfaces com outros sistemas, tais como DI, Sinalização de trens e SVP.

4.1.3 SGRF Local (Estações)

O Sistema de Gerenciamento de Rotas de Fuga Local (SGRF Local) tem duas principais funções (L1 e L2):

Função L1 – *Compor o SGRF, fornecendo informações locais e tornando possível ao SGRF Central a visão de um sistema de rotas de fuga único.*

Função L2 – *Servir de IHM (Interface Homem-Máquina) nas estações, possibilitando uma decisão humana numa situação em que haja a necessidade de se apontar uma determinada localidade (sob o domínio do respectivo SGRF Local) como ponto de ocorrência, fazendo com que esta localidade saia da rota de fuga, ou seja, se torne um ponto em que as placas ao seu entorno estejam sempre apontando para o sentido oposto, de forma a afastar daquela região as pessoas que estejam buscando um ponto de saída do sistema metroviário.*

4.1.4 SGRF Central (CCO)

O Sistema de Gerenciamento de Rotas de Fuga Central – SGRF Central tem duas principais funções (C1 e C2):

Função C1 – Compor o SGRF, possibilitando a visão de um sistema de rotas de fuga único, por meio das informações providas dos SGRFs Locais.

Função C2 – Servir de IHM (Interface Homem-Máquina) no CCO, possibilitando uma decisão humana numa situação em que haja a necessidade de se apontar uma determinada localidade como ponto de ocorrência, fazendo com que esta localidade saia da rota de fuga, ou seja, se torne um ponto em que as placas ao seu entorno estejam sempre apontando para o sentido oposto, de forma a afastar, daquela região, as pessoas que estejam buscando um ponto de saída do sistema metroviário.

Percebe-se que as características limitadoras do Sistema de Rota de Fuga atual são contornadas, por meio da arquitetura explicada anteriormente, o que é explicitado no Quadro 2.

Sistema Atual	Sistema Proposto (SGRF)
Característica 1: Não há automatismo, todas as placas de sinalização de rotas de fuga ficam acesas constantemente.	O sistema seria automatizado, possibilitando um direcionamento organizado e seguro aos usuários.
Característica 2: Uma estação pode controlar somente as placas de sinalização de rota de fuga que estejam até a metade do trajeto em direção à estação adjacente, seja no sentido norte/oeste ou sul/leste. Logo, o Sistema de Rotas de Fuga de uma estação não considera o que ocorre no Sistema de Rotas de Fuga da estação adjacente e não avalia um contexto de situação de perigo para a Linha de metrô como um todo.	O CCO teria a capacidade de fazer o gerenciamento da rota de fuga em túneis no âmbito da Linha de metrô completa.

<p>Característica 3: Para operar as placas de sinalização de rota de fuga, o agente da estação precisa se deslocar à Sala Técnica para acionar o Módulo Gerador DTMF no PCRF daquela estação e digitar um código de quatro dígitos para selecionar o sentido das placas por trecho. Esta é uma operação que, por si só, possui risco de erro. Além disso, o operador não possui ação de verificar o contexto da Linha como um todo e selecionar rotas considerando esse fato.</p>	<p>O CCO teria a capacidade de fazer o gerenciamento da rota de fuga em túneis no âmbito da Linha de metrô completa.</p> <p>Localmente, o operador de estação poderia acessar as informações de rota de fuga em túneis dentro da zona de controle daquela estação.</p> <p>O operador de estação, por meio da IHM local, também poderia comandar as placas de rota de fuga dentro de sua zona de controle (domínio), de forma rápida e amigável.</p>
<p>Característica 4: O agente de estação não possui um meio de verificar o posicionamento das placas ao longo da Linha e não é capaz de localizar, por meio de uma IHM, os poços e saídas de emergência da Linha. Ele deve saber o código de endereçamento das placas para selecionar trechos e sentidos, o que torna o sistema não muito amigável.</p>	<p>Idem à observação anterior para a Característica 3.</p> <p>A IHM do CCO possuirá o esquemático da linha de metrô e permitirá a localização de todos os poços e saídas de emergência, bem como das placas de sinalização de rota de fuga.</p> <p>Em âmbito de estação, a IHM local permitirá a visualização de informações das placas sob seu domínio.</p>
<p>Característica 5: O sistema atual não possui uma informação de retorno que confirme o estado da placa de sinalização de rotas de fuga que foi comandado.</p>	<p>A solução proposta não elimina este problema; porém, minimiza de forma considerável os riscos das placas não receberem os comandos. O SGRF Local permanece enviando o último comando periodicamente (esse tempo é configurável), praticamente garantindo que as placas recebam os comandos. Isto só não será verdade, caso haja um problema de hardware no gerador DTMF ou nas próprias placas e suas respectivas caixas de controle. Essa questão, também, pode ser amenizada com um planejamento de manutenção preventiva.</p>

Quadro 2 – Comparativo entre Sistema de Rotas de Fuga Atual (em implantação) e SGRF proposto.



AEAMESP



4.2 Determinação de Estado das Placas de Sinalização de Rota de Fuga

Para determinar o estado das placas de sinalização de rota de fuga, é necessário analisar casos típicos de situações de emergência, associando uma posição espacial de foco de ocorrência à configuração da linha metroviária. Assim, visa-se facilitar a comunicação visual, agilizando a informação de rota segura; ela somente é eficaz quando complementada pela diretriz dada pelos funcionários da operadora, responsáveis pela condução dos passageiros até o ponto de escape.

Situação normal (evacuação normal realizada nos túneis)

Consideremos primeiramente a situação normal de operação comercial, em que não há nenhuma situação de emergência relacionada a fogo ou fumaça, e um trecho de túnel entre duas estações genéricas A e B.

Como não há nenhuma situação de emergência nesse caso, as placas de sinalização de rota de fuga devem considerar o critério do caminho mais curto até uma SE. Caso haja a necessidade de simples evacuação de trem, sem sinistro, é importante que as pessoas sejam direcionadas à saída mais próxima.

A Figura 11 ilustra, com flechas, o estado das placas para uma situação normal num trecho de túnel, com um PVSE:

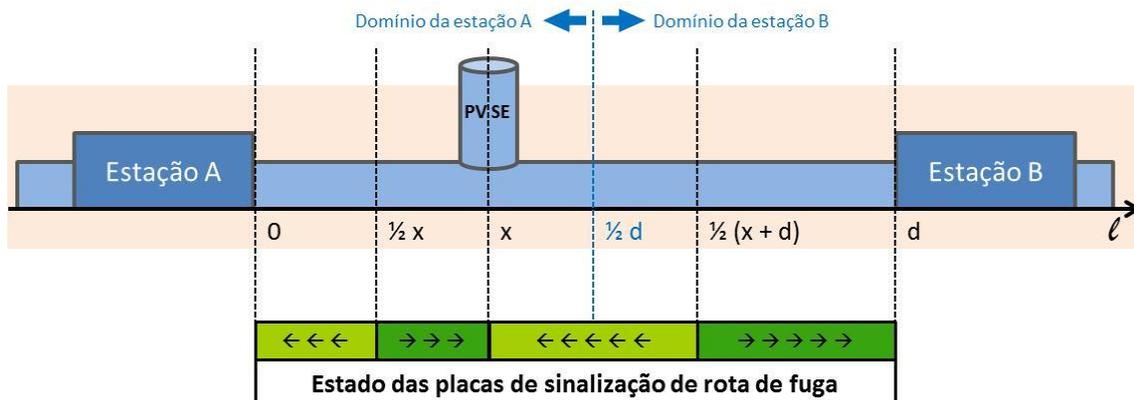


Figura 11 – Estado das placas de sinalização de rota de fuga (situação normal)

Percebe-se, pela Figura 11, que:

- As saídas possíveis estão localizadas em $l = 0$, $l = d$ (estações) e $l = x$ (PVSE);
- Os pontos $l = \frac{1}{2} x$ (metade do trecho entre a Estação A e o PVSE) e $l = \frac{1}{2} (x + d)$ (metade do trecho entre o PVSE e a Estação B) são determinantes para a troca de sentido das placas em uma situação normal, garantindo o menor caminho para uma saída;
- É importante lembrar que existem placas de sinalização a cada 30m. Portanto, por exemplo, todas as placas compreendidas entre $l = 0$ e $l = \frac{1}{2} x$ apontam para a Estação A; e
- O limite de domínios de placas de sinalização de rota de fuga entre estações não é determinante para selecionar o sentido das placas: isso significa que as placas de sinalização do trecho $x < l < \frac{1}{2} (x + d)$ apontam para o mesmo sentido (para o PVSE), porém algumas são efetivamente comandadas pelo PCRf da Estação A e outras pelo PCRf da Estação B.

Sinistro em estação

Para o caso de sinistro em uma estação, o Sistema DI deverá ser capaz de apontar o problema em caso de incêndio ou fumaça, por meio de seus laços de detecção, indicando o local da ocorrência de forma precisa. O operador local do SGRF poderia indicar a ocorrência de um sinistro na estação através da IHM.

No âmbito do SGRF, do ponto de vista dos túneis, pode-se entender que o foco do problema está na distância $l = 0$ (se for a Estação A) ou $l = d$ (se for a Estação B). Considerando que o sinistro está na Estação A, se houver um usuário nos túneis entre ela e a SE (ou PVSE), é mandatório afastá-lo do foco da emergência. Portanto, todas as placas desse trecho devem indicar o sentido da SE (ou do PVSE), conforme Figura 12. A sinalização após a SE (ou PVSE) não sofre alteração.

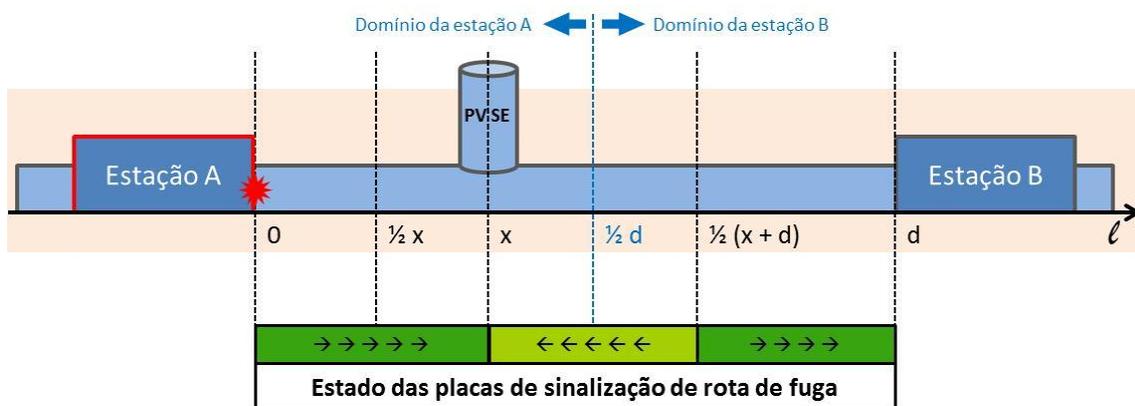


Figura 12 – Estado das placas de sinalização de rota de fuga (sinistro na Estação A)

Sinistro em mezaninos, acessos ou pisos superiores (exceto plataformas)

Neste caso, a exaustão das plataformas é desligada para não trazer fogo ou fumaça em direção a elas. A insuflação de ar ocorre normalmente para expulsar a fumaça e o calor para o exterior da estação (nível da superfície). Os ventiladores de túnel são ligados em



AEAMESP



rotina de insuflação, captando ar da superfície e exercendo pressão positiva nas estações mais próximas, evitando condução de fumaça para o interior dos túneis.

As placas de sinalização de rota de fuga devem indicar os caminhos mais curtos, como na situação normal, porém evitando a condução dos usuários até as estações em que o sinistro ocorre. Para o ponto de vista de uma pessoa no túnel, é importante que ela não se dirija àquela estação com ocorrência, que já estaria passando por um processo de evacuação por parte do corpo operativo.

É importante lembrar, também, que não há fumaça nos túneis, permitindo às pessoas, que nele estejam, a caminhada segura até a saída mais próxima.

Sinistro em plataformas

A exaustão dos túneis é ligada para extrair a fumaça das plataformas (pois os ventiladores de túnel são mais potentes que os de estação). A exaustão das plataformas também é ligada em nível máximo para auxiliar na retirada de fumaça e, ao mesmo tempo, diminuir a quantidade de oxigênio, no intuito de exaurir o fogo.

Em relação ao sinistro que poderia ocorrer em outros pavimentos da estação, do ponto de vista de uma pessoa que está nos túneis, deve-se tomar um cuidado especial: em caso de incêndio ou fumaça nas plataformas, muito provavelmente haverá condução de fumaça aos túneis. Ela estará concentrada na região entre a plataforma e o poço de ventilação de túnel mais próximo. Dentro deste cenário, além de se considerar a necessidade de afastar as pessoas da estação com problemas, deve-se também garantir que as pessoas caminhem dentro de um ambiente com fumaça pelo menor percurso possível.



AEAMESP



A seguir é verificado, na análise de caso do trecho Saúde – Praça da Árvore, que existem porções do túnel em que pode haver fumaça e podem existir “dúvidas” de decisão de rota de fuga:

- Se for mais importante a fuga da região de sinistro, as pessoas poderiam caminhar por um trecho primeiramente na fumaça – causando provavelmente maior pânico e desorganização – e depois livres dela, até atingirem uma saída de emergência que poderia estar bem mais distante;
- Se for mais importante a fuga pelo menor caminho, as pessoas poderiam caminhar contra o fluxo de fumaça, porém por uma distância bem menor, aproveitando uma saída de emergência mais próxima.

É importante destacar aqui a influência da presença de fumaça no comportamento das pessoas, conforme já explanado anteriormente. Portanto, deve-se expor as pessoas à fumaça pelo menor tempo possível – ou seja, menor distância.

Sinistro em trechos de túnel

Neste caso, os ventiladores de túnel funcionam como exaustores em vazão máxima, extraíndo a fumaça dos túneis para a superfície. A fumaça, portanto, estará basicamente entre o ponto de origem da ocorrência e o poço de ventilação (PV ou PVSE).

Outro fator importante é afastar as pessoas que possivelmente estejam próximas do ponto de origem da ocorrência.

Deve-se, também, sempre que possível, evitar ao máximo colocar as pessoas em contato com a fumaça.

4.3 Análise de Caso: trecho Saúde – Praça da Árvore, Linha 1-Azul

A seguir, é apresentado um breve estudo de caso para o subtrecho Saúde – Praça da Árvore, por meio de diagramas, para algumas situações.

Situação normal (evacuação normal)

Os pontos médios entre as saídas possíveis determinam a mudança de sentido nas placas de sinalização de rota de fuga (critério de menor distância – vide Figura 13).

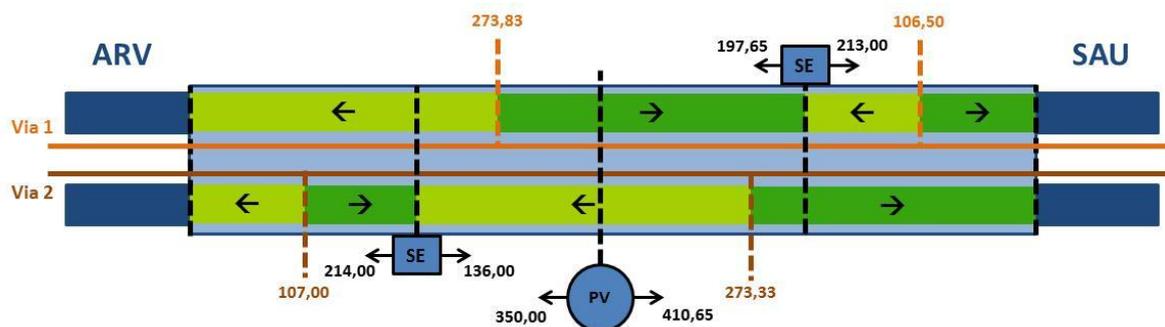


Figura 13 – Estado das placas de sinalização de rota de fuga (evacuação normal, ARV – SAU)

Incêndio/fumaça no mezanino de Praça da Árvore

Os pontos médios entre as saídas possíveis determinam a mudança de sentido nas placas de sinalização de rota de fuga (critério de menor distância); porém, deve ser proibida a rota para a Estação Praça da Árvore (Figura 14).

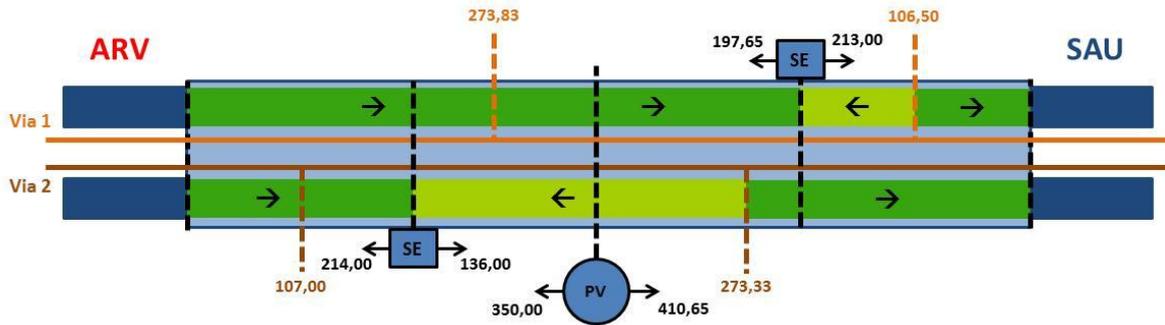


Figura 14 – Estado das placas de sinalização de rota de fuga (sinistro no mezanino de ARV, ARV – SAU)

Incêndio/fumaça na plataforma de Praça da Árvore

Os pontos médios entre as saídas possíveis determinam a mudança de sentido nas placas de sinalização de rota de fuga (critério de menor distância); porém, deve ser proibida a rota no sentido de Praça da Árvore. A fumaça tende a se deslocar de Praça da Árvore ao PV. Na região “A”, optou-se por direcionar as pessoas de acordo com o menor trajeto possível dentro da fumaça (lembrando que entre ARV e o PV existe fumaça), conforme Figura 15.

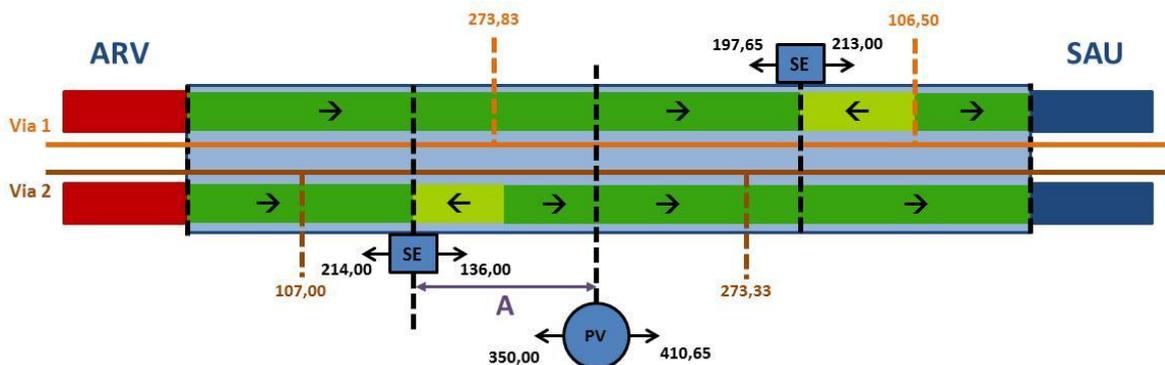


Figura 15 – Estado das placas de sinalização de rota de fuga (sinistro na plataforma de ARV, ARV – SAU)

Incêndio localizado entre a SE da Via 2 e o PV

Neste caso, deve-se considerar o afastamento das pessoas do ponto de origem da ocorrência como critério principal (vide Figura 16).

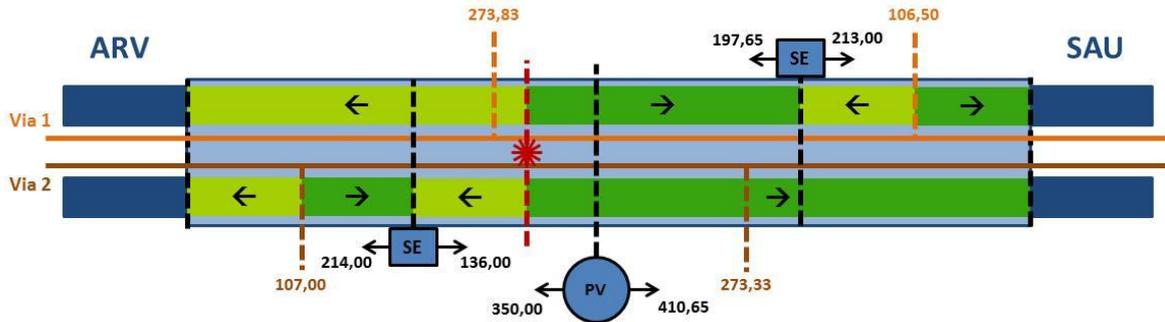


Figura 16 – Estado das placas de sinalização de rota de fuga (sinistro entre SE e PV, ARV – SAU)

4.4 Resumo do Método de Determinação de Rota de Fuga

Critério de menor distância

Utilização: Em todas as situações normais de evacuação ou em todas as áreas de túnel não afetadas por fogo ou fumaça.

Característica: Divide a via em subtrechos cujos limites são saídas possíveis (PVs, PVSEs, SEs ou estações). O subtrecho é dividido em metades e cada uma possui todas as suas placas de sinalização de rota de fuga apontando para a saída mais próxima.

Critério de afastamento do ponto de origem da ocorrência

Utilização: Em situações de incêndio na plataforma ou em túneis afetadas pelo fogo ou pela fumaça; em caso de tumultos em uma estação.

Característica: Sempre afasta as pessoas da região de origem da ocorrência, permitindo a fuga até a saída mais próxima em sentido oposto.



AEAMESP



Critério de menor distância em área com fumaça

Utilização: Em todas as áreas afetadas pela fumaça (e não diretamente pelo fogo) em que é possível escolher ambos os sentidos de fuga.

Característica: Separa a região específica afetada pela fumaça em duas metades, cada uma com placas de sinalização de rota de fuga apontando para um lado (um da saída mais próxima, outro do poço de ventilação que extrai a fumaça do túnel). Permite às pessoas a fuga pela menor distância possível dentro da fumaça:

- quer seja num sentido (contra o fluxo da fumaça) até a saída mais próxima – caminhada total até a saída bem menor;
- quer seja no sentido contrário (a favor do fluxo da fumaça), com a caminhada por um trecho preenchido pela fumaça e, após a passagem do poço de ventilação, por um trecho limpo, até a próxima saída possível – caminhada total até a saída bem maior.

Observação: Este critério visa diminuir os efeitos da tensão nervosa de uma possível caminhada mais longa por um trecho de fumaça, fator de comportamento já comentado anteriormente, bem como evitar as consequências da intoxicação.

É importante lembrar que, a partir da concepção do SGRF, é sempre possível uma ação ou decisão humana para a determinação das rotas de fuga, pelo modo de operação manual do sistema, o que o torna mais preparado para cada tipo de situação.

5 IMPLEMENTAÇÃO DE SOLUÇÃO POR SOFTWARE E ANÁLISE DE RESULTADOS OBTIDOS

5.1 Implementação de Solução por Software

Foi desenvolvido um software que permite ao SGRF fazer a automatização e gerenciamento do Sistema de Sinalização de Rotas de Fuga atual, bem como faz com que este possa ser “visto” pelo CCO como um sistema único, conforme Figura 17.

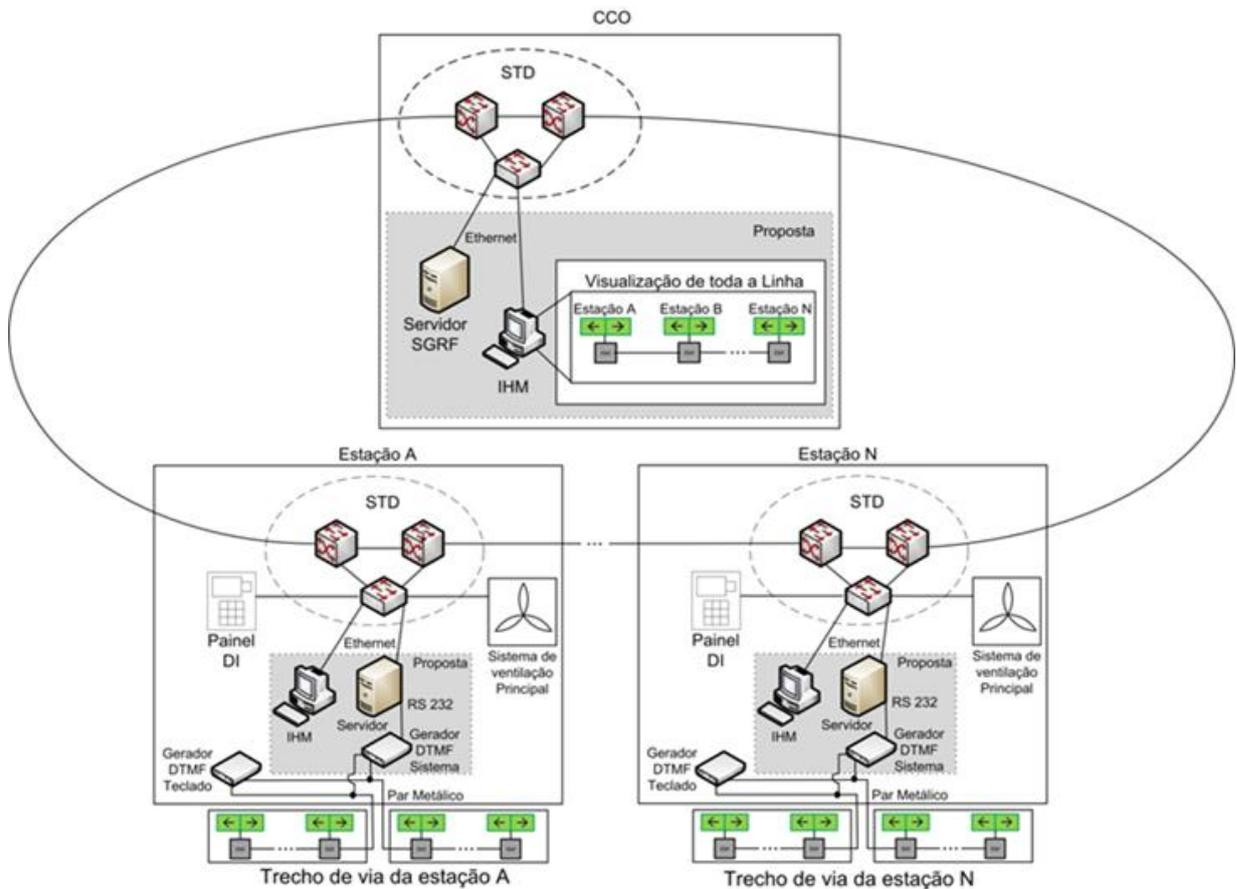


Figura 17 – Arquitetura do Sistema de Gerenciamento de Rotas de Fuga – SGRF

Ergonomia: Optou-se por utilizar cores leves e objetos estáticos. Com a finalidade de se obter destaque, somente em casos de ocorrências ou falhas, o software apresentará em sua tela, mensagens e alarmes com cores mais fortes.

Usabilidade: O software foi desenvolvido com uma interface simples e amigável, mantendo-se o desempenho e eficiência. A operação do sistema é fácil e descomplicada, de forma que, com um treinamento mínimo, uma pessoa pode operá-lo sem dificuldades.

Segurança: Foram criados mecanismos de verificação de falhas, alarmes, envio de comandos periódicos às placas de sinalização de rotas de fuga, verificação de mensagens trocadas e uma forma de modo de controle. O modo de controle garante que somente uma entidade possa dar comandos nas placas de sinalização de rotas de fuga, sendo que a prioridade de comando está com o SGRF Local, já que este está fisicamente ligado às placas e, em caso de perda de comunicação entre SGRF Central e Local, o SGRF Central não teria a possibilidade de comandar as placas.

5.2 Características Gerais do Software

A seguir, são apresentados o funcionamento geral do software proposto para o SGRF e a IHM de uma estação-tipo (Praça da Árvore).

Os eventos possíveis para os SGRFs (Central e Locais) são as mensagens enviadas e as ações do operador, tais como abertura de ocorrência ou redirecionamento de placas de sinalização de rotas de fuga.

Ao receber uma informação de ocorrência, o sistema, utilizando os critérios de determinação de rotas de fuga anteriormente explicados, direciona as placas reais de sinalização de rotas de fuga, atualiza as bases de dados e representa o estado das placas nas

respectivas telas. Se o sistema receber uma informação de ocorrência, por meio de mensagem, é gerado um alarme na tela que só será finalizado se o operador reconhecer o alarme.

As estações poderão receber mensagens de ocorrência do CCO e este poderá receber mensagens de ocorrência dos sistemas externos que tiverem interfaces com o SGRF, tais como Sinalização, DI ou SVP.

Em outro procedimento do sistema, em sua rotina estável, visando minimizar a possibilidade das placas de sinalização de rotas de fuga sob o seu domínio não terem recebido o seu comando de direcionamento, o sistema reenviará às placas, periodicamente (tempo este configurável), o último comando enviado e registrado no sistema.

Ainda em sua rotina estável, existirá um procedimento que verificará quanto tempo o SGRF local ficou sem trocar mensagens com o SGRF Central e, caso tenha expirado o tempo de segurança (configurável), o sistema verifica na base de dados se houve um novo registro de ocorrência.

Para facilitar a visualização e operação do sistema, em sua tela, o sistema agrupou as placas de sinalização de rotas de fuga em pequenos grupos, de forma estratégica. Esses grupos são delimitados por marcadores e pelas localidades dentro de um trecho sob o domínio da respectiva estação.

Considerando uma situação normal de operação, utiliza-se o critério de menor distância para determinar as rotas de fuga nos túneis. A Figura 18 indica a tela do SGRF, onde pode ser observado o aviso sobre a rotina de ventilação considerada (Rotina 1, própria para situações normais).

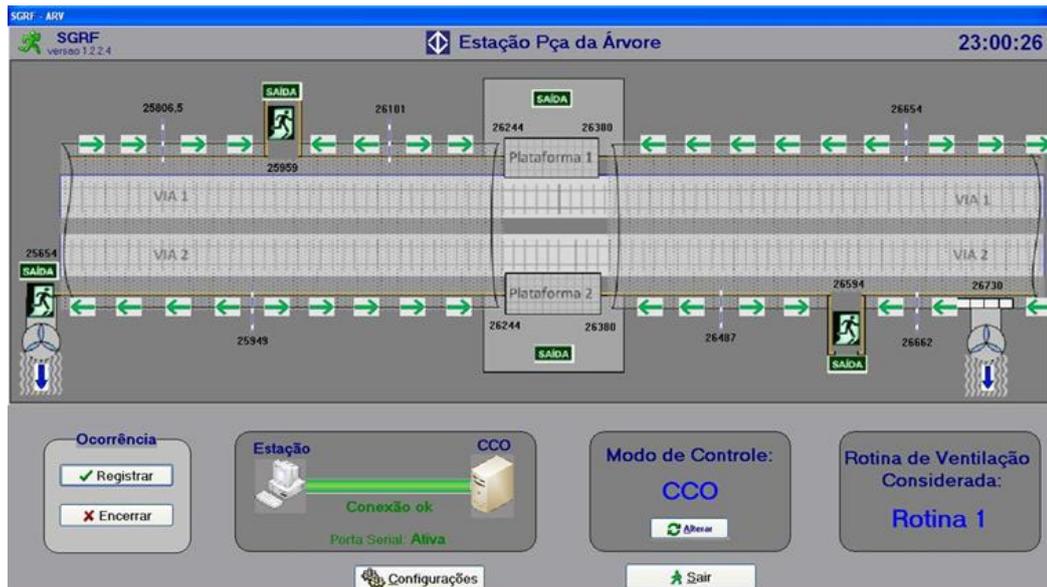


Figura 18 - Tela do SGRF em situação normal de operação

Assim que recebe a informação da ocorrência de incêndio ou fumaça, o SGRF interpreta a informação e utiliza os critérios de afastamento do ponto de ocorrência e de menor distância em área com fumaça para determinar as rotas de fuga nos túneis. A configuração da tela nesse caso é mostrada na Figura 19. Neste caso a rotina de ventilação considerada é a Rotina 2, própria para situações de incêndio em plataforma.



Figura 19 - Tela do SGRF para ocorrência registrada de incêndio/fumaça em plataforma



AEAMESP



5.3 Análise de Resultados Obtidos

Com o desenvolvimento desse software, visou-se obter um produto, parte principal do SGRF, que fizesse a gestão do atual Sistema de Sinalização de Rotas de Fuga, em implantação no Metrô de São Paulo. Porém, com o seu estudo, foram observadas outras aplicações importantes.

Com pequenos ajustes, o software pode ser considerado como um produto a ser utilizado nas linhas do Metrô de São Paulo que possuam o atual Sistema de Sinalização de Rotas de Fuga, além de servir de base para a concepção de sistemas similares, com funções mais aprimoradas, nas futuras linhas.

No desenvolvimento do software, foram utilizados conceitos importantes para projetos de diversos sistemas metroviários, como o modo de controle entre aplicações que fazem supervisão e controle de sistemas, as suas formas de integração e a operação de sistemas distribuídos com a visão de um sistema único.

Foram observadas diversas situações de emergência, simulando a realidade e possibilitando a visão de um trabalho integrado entre os sistemas de Ventilação Principal, de Detecção de Incêndio, de Sinalização de Rotas de Fuga e de Sinalização e Controle.

Portanto, além de atingir seu objetivo principal, o desenvolvimento do software apresentado pode subsidiar e auxiliar na elaboração de diretrizes e concepção de sistemas que necessitem principalmente de integração e modos de controle (tratamento da hierarquia de prioridade entre eles), tanto no Metrô de São Paulo quanto em outras operadoras.

6 CONCLUSÕES

Desde os primeiros projetos para a construção de suas linhas, em especial a da Linha 1-Azul, o Metrô de São Paulo mostrou, perante o cenário mundial, a preocupação com a utilização de tecnologias de ponta que trouxessem benefícios e segurança à população.

No âmbito do tratamento de situações de emergência, principalmente aquelas relacionadas a incêndios, é crescente a preocupação com a segurança, o monitoramento, o controle e a ação sobre os eventos, dado o carregamento de usuários nas linhas e o potencial de acidentes e de fatalidades que podem estar envolvidos. Esse cenário não ocorre somente em São Paulo, mas em diversos outros metrôes ao redor do mundo.

Com o passar dos anos, é natural a obsolescência de alguns sistemas e a troca de seus equipamentos. Algumas modificações de concepção de projeto têm sido feitas para acompanhar a passagem do tempo e o advento de novas tecnologias. Por sua vez, projetos antigos que foram concebidos em um momento em que esses conceitos tinham uma abordagem diferente têm de ser atualizados.

Um exemplo de sistema concebido e projetado para atender a essa crescente demanda de segurança em linhas de metrô é o sistema de sinalização de rota de fuga apresentado neste trabalho. Trata-se de um sistema recente entre metrôes de todo o mundo que mostra, além da inovação, a preocupação com a segurança de forma mais minuciosa.

Por meio deste trabalho, foi apresentada a proposta do SGRF – Sistema de Gerenciamento de Rotas de Fuga, que insere algumas melhorias quanto ao sistema em questão, tornando-o inteligente e otimizando suas funcionalidades, possibilitando:



AEAMESP



- Controle local do sistema de rotas de fuga, com a possibilidade de acesso às informações por trecho dentro do domínio de determinada estação;
- Controle central do sistema de rotas de fuga, com a visão completa da linha metroviária;
- Modos de operação automática ou manual, flexibilizando o sistema perante uma situação de emergência não esperada;
- Interfaces e integrações com sistemas auxiliares (SVP, DI) por meio do CCO;
- Implementação de software que permite a inclusão de outros critérios para determinar rotas de fuga seguras, permitindo a melhoria contínua do sistema, bem como a inserção de outras variáveis para verificação de pontos de ocorrência – por exemplo: adaptação futura a um sistema de detecção de incêndio em túneis e consideração de informação de localização de trens e sinais de câmeras.

O SGRF proposto é uma ferramenta sistêmica que deve, de fato, auxiliar os empregados da Companhia nos trabalhos de evacuação e na condução da situação de emergência, seja qual for o motivo: desde uma simples falha em equipamento até um incêndio.

Diversas áreas técnicas da Companhia envolvidas com o assunto foram consultadas durante a pesquisa para este trabalho, o que resultou na utilização de conceitos importantes para a elaboração desta proposta. De forma preliminar, vários profissionais da área mostraram-se interessados e confirmaram a necessidade e a importância dessa melhoria.

Dessa forma, o SGRF não é somente uma proposta, mas um sistema possível de ser implantado. Todos os seus benefícios são reais e podem ser usufruídos em curto prazo.

Considera-se que o SGRF pode servir também de referência para outros projetos, em São Paulo ou em outras cidades do Brasil e do mundo que possuem o metrô como um dos principais meios de transporte.

7 REFERÊNCIAS

ARAUJO, J. A., JR.; ABREU, M. M.; SAMPAIO, F. Sinalização de Rota de Fuga nos trechos entre estações da Linha 1-Azul, Linha 2-Verde, Linha 3-Vermelha e Linha 5-Lilás do Metrô de São Paulo. In: SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA DA AEAMESP, 17., 2011, São Paulo. **Trabalhos técnicos.** São Paulo: AEAMESP, 2011. Disponível em: <http://semana.aeamesp.org.br/17/SitePages/cmn_tcncs.aspx>. Acesso em: 6 fev. 2012.

CBPMESP – Corpo de Bombeiros da Polícia Militar do Estado de São Paulo. Instrução Técnica nº 02/2011: **Conceitos básicos de segurança contra incêndio.** São Paulo, 2011a. 33 p. Disponível em: <http://www.corpodebombeiros.sp.gov.br/?page_id=356>. Acesso em: 22 ago. 2012.

_____ Instrução Técnica nº 03/2011: **Terminologia de segurança contra incêndio.** São Paulo, 2011b. 26 p. Disponível em: <http://www.corpodebombeiros.sp.gov.br/?page_id=356>. Acesso em: 22 ago. 2012.

FRIDOLF, K. **Fire evacuation in underground transportation systems:** a review of accidents and empirical research. Lund: Department of Fire Safety Engineering and Systems Safety, Lund University, 2010. 52 p. Disponível em: <<http://www.metroproject.se/Pubs/LU3151.pdf>>. Acesso em: 22 ago. 2012.



AEAMESP



METRÔ – COMPANHIA DO METROPOLITANO DE SÃO PAULO. Disponível em:
<www.metro.sp.gov.br>. Acesso em: out. 2012.

_____ Documento interno CS-2.84.01.XX/400-002 **Especificação Funcional do Sistema de Ventilação Principal do Trecho AIP/VPT – Linha 2**, 2007.

_____ Documento interno DG-1.00.00.00/4S1-001 **Diagrama Geral de Blocos do Sistema de Ventilação Principal – Trecho Tiradentes/Jabaquara**, 2009.

METRO PROJECT. Suécia. The METRO Project 2009-2012. Disponível em:
<<http://www.metroproject.se>>. Acesso em: 25 ago. 2012.

MORI, F.; PINTO, W.C.T. **Detecção de incêndio em túneis metroviários**. 2010. 80 p.
Monografia (Programa de Educação Continuada em Engenharia, Especialização em Tecnologia Metroferroviária) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2010.

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