

JOSÉ AUGUSTO DE ARAUJO JUNIOR

RENATO FERREIRA DA COSTA

RICARDO FRADE MOURIÑO

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

São Paulo

2012

JOSÉ AUGUSTO DE ARAUJO JUNIOR

RENATO FERREIRA DA COSTA

RICARDO FRADE MOURIÑO

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

Monografia apresentada à Escola
Politécnica da Universidade de São
Paulo para a conclusão do Curso
de Especialização em Tecnologia
Metroferroviária – PECE/USP.

Orientador

Prof. Dr. Paulo Sérgio Cugnasca.

São Paulo

2012

EXP/TMF
2012
AP 15 au

DEDALUS - Acervo - EPEL



31500020852

FICHA CATALOGRÁFICA

M2010, AE x

Araújo Junior, José Augusto de

Automatização do sistema de sinalização de rotas de fuga em túneis do Metrô de São Paulo / J.A. de Araújo Junior, R.F. da Costa, R. Frade Mouriño. -- São Paulo, 2012.
p. 121

Monografia (Especialização em Tecnologia Metro-Ferroviária). Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Programa de Educação Continuada em Engenharia.

1. Túneis urbanos – São Paulo (SP) 2. Metrô – São Paulo (SP) 3. Rotas de fuga (Automação) I. Costa, Renato Ferreira da II. Frade Mouriño, Ricardo III. Universidade de São Paulo. Escola Politécnica. Programa de Educação Continuada em Engenharia VI. t.

DEDICATÓRIA

Às nossas famílias e amigos.

Ao amigo Sérgio Massaru Kitamura e família.

AGRADECIMENTOS

A Deus, Nosso Pai.

Ao nosso orientador, Prof. Dr. Paulo Sérgio Cugnasca, pela disposição, atenção, aprendizado e convivência.

À Companhia do Metropolitano de São Paulo - METRÔ, pela oportunidade de participar do Curso de Especialização em Tecnologia Metroferroviária do PECE – Programa de Educação Continuada em Engenharia – Poli/USP.

À Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, pelo suporte ao desenvolvimento de nossos estudos.

Em especial, aos colegas do Metrô: Walter Costa Teixeira Pinto, Fábio Mori, José Carlos Barbosa Sousa, Frederico de Carvalho Braga, Celso Liboni, Eduardo Casado, Carlos Eduardo Paixão de Almeida, Paulo Sérgio Amalfi Meca, David Turbuk, Silvia Cristina do Nascimento Gabriel, Milton Gioia Junior, Fernando Martins da Silva, Ramón Angel Carballo, Paulo Eduardo Vito Labate, Waldir Guerra, Daniel Mozarte Saccomano, Francisco José Valentim, Roque de Lazaro Rosa, Antenor Sangaletti Filho, Joana Maria Riquelme Agapito, Telson Machado Vieira, Danilo Sousa Sanchez, Gabriel de Paula Oliveira, Agnelo Gomes Junior, Miriam Marcatto de Abreu, Junko Kawano Tatekawa, Carlos Shiguelo Takaoka, Daniel Messias Marques Pires e Leandro Ferrari Bolla pelo apoio em todos os aspectos deste trabalho.

A todos os colegas da Gerência de Concepção e Projetos de Sistemas – GCS.

A Kevin Blighe, pelo apoio na correção da tradução do resumo para a língua inglesa.

Às nossas famílias, pela presença e apoio incondicional.

RESUMO

Nos sistemas de metrô com alto carregamento de passageiros ao redor do mundo, é de grande importância qualquer atitude no sentido de prevenir ou controlar de forma rápida uma situação de emergência, em especial aquelas relacionadas a incêndios. Os túneis entre estações são ambientes desconhecidos pelos usuários do sistema e, em caso de evacuação através deles, sinalizações e orientações visuais claras e objetivas devem ser fornecidas para orientar os passageiros e auxiliar os funcionários da operadora em sua função de conduzir as pessoas às saídas seguras. Este trabalho mostra um panorama sobre acidentes relacionados a incêndio em sistemas metroferroviários e os fatores comportamentais humanos envolvidos, ressaltando a importância da comunicação eficiente. São apresentados o cenário atual do sistema de sinalização de rotas de fuga em implantação no metrô de São Paulo e o comportamento operacional básico dos sistemas auxiliares de ventilação principal e detecção de incêndio. Essa visão é complementada por uma pesquisa sobre rotas de fuga em túneis com outras operadoras de metrô mundiais. São propostas, a partir dessas informações: a concepção e a arquitetura de um sistema de gerenciamento de rotas de fuga, incorporando melhorias ao sistema existente; uma solução de automatização da sinalização de rotas de fuga e sua integração aos sistemas auxiliares, contribuindo dessa forma para o direcionamento seguro dos passageiros às saídas de emergência diante de uma dada ocorrência; e uma implementação de software para demonstrar as possibilidades e a flexibilidade desse sistema de gerenciamento em um trecho da Linha 1-Azul do metrô de São Paulo.

Palavras-chave: Metrô. Rota de fuga. Gerenciamento.

ABSTRACT

In the high-capacity metro systems around the world, any action towards preventing or quickly controlling an emergency situation is quite important, especially those related to fire. Tunnels between stations are unfamiliar environments to commuters and, in case of evacuation through them, clear and plainspoken signalling and visual orientation must be provided to guide passengers and help the operation staff in their role of conducting people to the safe routes out. This work provides an overview on the main fire-related accidents among metro rail systems abroad and on the human behavioural factors involved, emphasizing the importance of an efficient communication system. The current scenario for the escape route signalling system being implemented in São Paulo Metro is presented, as well as the basic operation of some auxiliary systems as the main ventilation and fire detection. This overview is also supplemented by research on tunnel escape routes among other metro operator companies worldwide. From all of this information, the following items are proposed: the design and architecture of an escape route management system which incorporates enhancements to the previous system; an escape route signalling automation solution and its integration to the auxiliary systems, thus contributing to safe passenger conduction towards the emergency exits when facing a given occurrence; and a software implementation to demonstrate the possibilities and flexibility of that management system in a chosen section of São Paulo Metro's Line 1-Blue.

Keywords: Underground. Escape route. Management.

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 – Cartão-postal mostrando os arredores da estação Couronnes, em Paris, logo após o acidente de 10/08/1903 (MOSEMAN, 2009).....	7
Figura 2 – Escadarias rolantes de acesso à Linha <i>Piccadilly</i> , na Estação <i>King's Cross</i> , em Londres, logo após o acidente (esquerda), e atualmente (BBC NEWS, 2008).	8
Figura 3 – Túnel do funicular de Kaprun após o acidente de novembro de 2000 e esquema indicando o perfil do túnel (GUARDIAN, 2004; BBC NEWS, 2001).....	10
Figura 4 – Incêndio na estação Jungangno do metrô de Daegu, Coreia do Sul, 2003 (BBC NEWS, 2003).	11
Figura 5 – Mapa atual da rede de transporte metropolitano incluindo metrô, trem de superfície e corredores de ônibus (METRÔ, 2012a)	17
Figura 6 – Placa de sinalização de rota de fuga em trecho de túnel (ARAUJO et al., 2011)	19
Figura 7 – Placa de sinalização de rota de fuga em trecho externo (elevado) (ARAUJO et al., 2011).....	19
Figura 8 – Placa de sinalização de rota de fuga para saídas de emergência e mudanças de nível (ARAUJO et al., 2011).....	20
Figura 9 – Placa de sinalização de rota de fuga para indicação de saída (ARAUJO et al., 2011)	20
Figura 10 – Balizador de passarela de emergência (ARAUJO et al., 2011).....	21
Figura 11 – Vista externa e interna do Painel de Controle de Rotas de Fuga (PCRF) em implantação	21
Figura 12 – Módulo Gerador DTMF existente.	22
Figura 13 – Caixa de Controle e/ou abaixamento de tensão (ARAUJO et al., 2011)	23
Figura 14 – Arquitetura atual do Sistema de Rotas de Fuga em Túneis	24
Figura 15 – Conexão de alimentação elétrica e de controle de balizadores e placas ao longo da via (ARAUJO et al., 2011).	25

Figura 16 – Arquitetura atual do Sistema de Rotas de Fuga em Túneis – Visão da linha de metrô.....	25
Figura 17 – Esquema simplificado de ventilação principal dentro de uma estação genérica	27
Figura 18 – Legendas das ilustrações de rotinas de ventilação	28
Figura 19 – Esquemático de fluxo da Rotina 1 de Ventilação (situação normal).....	29
Figura 20 – Esquemático de fluxo da Rotina 2 de Ventilação (incêndio na plataforma)	30
Figura 21 – Esquemático de fluxo da Rotina 3 de Ventilação (fumaça na plataforma)	31
Figura 22 – Esquemático de fluxo da Rotina 4 de Ventilação (fogo ou fumaça em níveis intermediários)	32
Figura 23 – Esquemático de fluxo da Rotina 5 de Ventilação (fogo ou fumaça nos túneis)	32
Figura 24 – Trecho de estudo da proposta do SGRF – Linha 1-Azul (Saúde a Vila Mariana, Zona Sul de São Paulo) – mapa extraído de <i>www.google.com/maps</i>	38
Figura 25 – Proposta de Arquitetura para o Sistema de Gerenciamento de Rotas de Fuga (SGRF).....	44
Figura 26 – Estado das placas de sinalização de rota de fuga (situação normal).....	47
Figura 27 – Estado das placas de sinalização de rota de fuga (sinistro na Estação A)	49
Figura 28 – Estado das placas de sinalização de rota de fuga (sinistro na Estação B)	49
Figura 29 – Construção dos túneis do trecho Jabaquara – Vila Mariana da Linha 1-Azul do Metrô de São Paulo, entre 1968 e 1971 – método VCA (METRÔ, 2012)	53
Figura 30 – Estado das placas de sinalização de rota de fuga (evacuação normal, ARV – SAU)	56
Figura 31 – Estado das placas de sinalização de rota de fuga (sinistro no mezanino de ARV, ARV – SAU)	56

Figura 32 – Estado das placas de sinalização de rota de fuga (sinistro na plataforma de ARV, ARV – SAU)	57
Figura 33 – Estado das placas de sinalização de rota de fuga (sinistro entre ARV e SE, ARV – SAU).....	57
Figura 34 – Estado das placas de sinalização de rota de fuga (sinistro entre SE e PV, ARV – SAU).....	58
Figura 35 – Estado das placas de sinalização de rota de fuga (sinistro entre PV e SE, ARV – SAU).....	58
Figura 36 – Estado das placas de sinalização de rota de fuga (sinistro entre PV e SAU, ARV – SAU)	59
Figura 37 – Estado das placas de sinalização de rota de fuga (sinistro na plataforma de SAU, ARV – SAU)	59
Figura 38 – Estado das placas de sinalização de rota de fuga (sinistro no mezanino de SAU, ARV – SAU)	60
Figura 39 – Estado das placas de sinalização de rota de fuga (evacuação normal, VMN – SCZ).....	60
Figura 40 – Estado das placas de sinalização de rota de fuga (sinistro no mezanino de VMN, VMN – SCZ)	61
Figura 41 – Estado das placas de sinalização de rota de fuga (sinistro na plataforma de VMN, VMN – SCZ)	61
Figura 42 – Estado das placas de sinalização de rota de fuga (sinistro entre VMN e SE, VMN – SCZ)	61
Figura 43 – Estado das placas de sinalização de rota de fuga (sinistro entre SE e PVSE, VMN – SCZ)	62
Figura 44 – Estado das placas de sinalização de rota de fuga (sinistro entre PVSE e SE, VMN – SCZ)	62
Figura 45 – Estado das placas de sinalização de rota de fuga (sinistro entre SE e SCZ, VMN – SCZ).....	63
Figura 46 – Estado das placas de sinalização de rota de fuga (sinistro na plataforma de SCZ, VMN – SCZ).....	63

Figura 47 – Estado das placas de sinalização de rota de fuga (sinistro no mezanino de SCZ, VMN – SCZ).....	63
Figura 48 - Tela principal da IHM Local do SGRF da Estação Praça da Árvore	69
Figura B1 – Fluxograma de software do programa principal do SGRF (CCO).....	89
Figura B2 – Fluxograma de software do procedimento de ocorrência no SGRF (CCO).....	90
Figura B3 – Fluxograma de software para executar ação do operador no SGRF (CCO).....	91
Figura B4 – Fluxograma de software do programa principal do SGRF (estação-tipo)	92
Figura B5 - Fluxograma de software do procedimento de ocorrência no SGRF (estação-tipo)	93
Figura B6 - Fluxograma de software para executar ação do operador no SGRF (estação-tipo)	94
Figura B7 – Fluxograma de software do procedimento de áreas de mudança (Estação Praça da Árvore)	95
Figura C1 – Tela do SGRF em situação normal de operação.....	97
Figura C2 – Tela do SGRF correspondente à operação de registro de incêndio em plataforma	98
Figura C3 – Tela do SGRF para ocorrência registrada de incêndio/fumaça em plataforma	99
Figura C4 – Tela do SGRF para ocorrência registrada de incêndio/fumaça em túnel	100
Figura C5 – Tela do SGRF para ocorrência de incêndio/fumaça em nível intermediário de estação	101
Figura C6 – Tela do SGRF para ocorrências não relacionadas a incêndio.....	102
Figura C7 – Tela do SGRF indicando falha de conexão entre CCO e Estação	103
Figura C8 – Tela do SGRF após retorno de conexão entre CCO e Estação	104
Figura C9 – Tela do SGRF com indicação de falha na porta serial.....	105

Figura D1 – Bases de dados do SGRF (Central e Local)	106
--	-----

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ARV	Estação Praça da Árvore, Metrô de São Paulo
CCO	Centro de Controle Operacional
CMSP	Companhia do Metropolitano de São Paulo - METRÔ
CPTM	Companhia Paulista de Trens Metropolitanos
DI	Sistema de Detecção de Incêndio
DTMF	<i>Dual-Tone Multi-Frequency</i> (multi-frequência, duplo tom)
EMTU	Empresa Metropolitana de Transportes Urbanos de São Paulo
GGD	Grupo Gerador Diesel
LED	<i>Light Emitter Diode</i> (diodo emissor de luz)
PCRF	Painel de Controle de Rotas de Fuga
PETG	Tereftalato de Polietileno (Copolímero termoplástico que pode ser moldado, extrudado e colorido)
PV	Poço de Ventilação
PVSE	Poço de Ventilação e de Saída de Emergência
QDCC	Quadro de Distribuição de Corrente Contínua
SAU	Estação Saúde, Metrô de São Paulo
SCZ	Estação Santa Cruz, 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
VCA	Vala a Céu Aberto, método de construção civil de túneis por meio de trincheiras
VMN	Estação Vila Mariana, Metrô de São Paulo

SUMÁRIO

1	Introdução.....	1
1.1	Motivação	2
1.2	Objetivo.....	3
1.3	Estrutura do Trabalho	4
2	Histórico de Incêndios em Metrô no Mundo e Fatores Comportamentais Envolvidos com uma Situação de Emergência.....	6
2.1	Paris, França, 10 de agosto de 1903	6
2.2	Londres, Reino Unido, 18 de novembro de 1987	7
2.3	Zurique, Suíça, 16 de abril de 1991.....	8
2.4	Baku, Azerbaijão, 28 de outubro de 1995	9
2.5	Kaprun, Áustria, 11 de novembro de 2000.....	10
2.6	Daegu, Coreia do Sul, 18 de fevereiro de 2003	11
2.7	Estocolmo, Suécia, 16 de maio de 2005	11
2.8	Análise Geral dos Acidentes Apresentados	12
2.9	Impactos e Efeitos da Fumaça Sobre Pessoas em Situações de Emergência	13
3	Cenário Atual – Metrô de São Paulo	16
3.1	A Companhia do Metropolitano de São Paulo – METRÔ (CMSP)	16
3.2	Sistema de Sinalização de Rota de Fuga Atual (em implantação).....	17
3.3	Sistemas Auxiliares	26
3.4	Sistema de Transmissão de Dados (STD)	33
3.5	Análise do Cenário Atual.....	33
3.6	Rotas de Fuga em Outros Metrô.....	34
4	Proposta do Trabalho: Sistema de Gerenciamento de Rotas de Fuga – SGRF	37

4.1	Concepção e Arquitetura do SGRF.....	39
4.2	Determinação de Estado das Placas de Sinalização de Rota de Fuga	46
5	Implementação de Solução por Software	67
5.1	Características Gerais do Software	68
5.2	Requisitos Considerados	72
5.3	Fluxogramas	74
5.4	Telas	74
5.5	Bases de Dados	75
5.6	Resultados Obtidos	75
6	Conclusão e Comentários Finais.....	76
6.1	Conclusão.....	76
6.2	Propostas de Trabalhos Futuros	77
6.3	Recomendações.....	78
7	Referências	80
7.1	Referências Citadas no Texto.....	80
7.2	Demais Referências Consultadas	81
ANEXO A: Pesquisa – Rotas de Fuga em Túneis de Outras Operadoras Metroviárias		84
ANEXO B: Fluxogramas de Software do SGRF		88
ANEXO C: Exemplos de Telas do SGRF		96
ANEXO D: Bases de Dados		106

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.

De acordo com a Instrução Técnica nº 02/2011 – “Conceitos básicos de segurança contra incêndio” do Corpo de Bombeiros do Estado de São Paulo (CBPMESP, 2011a), a sinalização de rota de fuga é classificada como “sinalização de condições de orientação e salvamento”, tendo a função de indicar as rotas de saída e ações necessárias para o acesso ao ambiente seguro.

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 emergências localizadas na via nos trechos entre estações – túneis ou elevados.

Em caso de parada inesperada dos trens metroviários na cidade de São Paulo e a consequente necessidade de evacuação, os usuários do sistema serão direcionados para as estações ou saídas de emergência adequadas para o abandono do local por meio das passarelas de emergência, tendo como referência a sinalização de rota de fuga luminosa que está, atualmente, em processo de implantação pela Companhia do Metropolitano de São Paulo (CMSP).

1.1 Motivação

Em ambientes como o sistema metroferroviário, situações de emergência podem ser críticas, podendo resultar na perda de patrimônio e na morte de pessoas, além de envolver tanto consequências diretas (custos com recuperação de edifícios, obras etc.) quanto indiretas (custos com assistência médica e previdência social, danos à imagem de uma instituição, desemprego, entre outros).

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 – média de 3,7 milhões de passageiros por dia em 2011 (METRÔ, 2012);
- 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.

A implantação de medidas que causem redução de riscos desse tipo de ocorrência, portanto, poderá contribuir para a diminuição dos prejuízos causados por esses sinistros, sejam eles de qualquer espécie. São sempre necessárias providências para reduzir os danos de uma situação de emergência (em especial aqueles relacionados ao fogo), sempre preservando a vida humana e com o intuito de retirar os indivíduos daquela região perigosa. Atuar de maneira preventiva faz toda a diferença quando o assunto é uma situação de emergência.

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.

Não se pode descartar a hipótese, também, de um incêndio acontecer por algum motivo no material rodante ou nos sistemas de alimentação elétrica (potência) e auxiliares (ventilação, escadas rolantes etc.), seja em trechos de estações ou em túneis.

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.

1.3 Estrutura do Trabalho

A seguir, é explicada brevemente a estrutura do presente trabalho, com os destaques de cada capítulo.

No Capítulo 2, é apresentada uma pesquisa de histórico de situações de emergência e sinistros relacionados a incêndios em linhas de trem e metrô ao redor do mundo. É feita também uma análise de como o comportamento dos usuários e funcionários pode ter impacto nessas consequências e da importância de uma comunicação visual eficaz. Por fim, são estudados os impactos e efeitos da fumaça sobre as pessoas numa situação de emergência.

No Capítulo 3, é apresentado o cenário atual do sistema de rotas de fuga no metrô de São Paulo. É feita uma breve apresentação da Companhia do Metropolitano e seu contexto na cidade de São Paulo. Posteriormente, é apresentado o Sistema de Rotas de Fuga atualmente em implantação e sua arquitetura de funcionamento. São apresentados, também, resumidamente, os Sistemas de Ventilação Principal (SVP), de Detecção de Incêndio nas estações (DI) e de Transmissão de Dados (STD). Depois, é feita uma análise desse cenário e são apontadas as principais limitações do sistema de rotas de fuga atual perante o funcionamento do sistema metroviário.

O Capítulo 4 apresenta uma pesquisa sobre rotas de fuga em túneis realizada com outras operadoras, completando, assim, o cenário atual do metrô de São Paulo em conjunto com outros metrôs de grande carregamento ao redor do mundo.

A partir do Capítulo 5, desenvolve-se a proposta central do trabalho: a criação de um Sistema de Gerenciamento de Rotas de Fuga (SGRF), que busca contornar ou solucionar as limitações apresentadas na análise de cenário do Capítulo 4. São detalhadas a concepção e a arquitetura sugeridas para o Sistema, bem como as suas interfaces possíveis com o SVP, DI e CCO (Centro de Controle Operacional) por intermédio do STD. Na sequência, é explicado como serão determinados os estados das placas iluminadas de rota de fuga ao longo dos túneis, de forma a fornecer a rota segura aos usuários e funcionários, a partir da determinação das rotinas operacionais de ventilação e de critérios estudados.

No Capítulo 6, é apresentada a solução de implementação do software, parte integrante do SGRF, que permitirá a automatização e gerenciamento do Sistema de Sinalização de Rotas de Fuga atual. É apresentada uma descrição do software, mostrando as suas funcionalidades, os requisitos considerados no seu desenvolvimento, seus fluxogramas, a modelagem de sua base de dados e as telas do sistema.

Por fim, o Capítulo 7 traz as conclusões deste trabalho, recomendações e sugestões de trabalhos futuros, a partir do que foi desenvolvido nos capítulos anteriores.

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

Embora a Companhia do Metropolitano de São Paulo não tenha histórico de incêndios, esse é o caso em que a evacuação de pessoas é mais exigida.

Segue uma cronologia selecionada de grandes acidentes em linhas de trem e metrô, com casos de incêndio, fumaça e perda de vidas humanas. Por meio dessa cronologia, pode-se verificar que as consequências de um incêndio em túneis são muito graves.

São citados 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.

2.1 *Paris, França, 10 de agosto de 1903*

Na recém-inaugurada Linha 2 do metrô de Paris, houve um curto-circuito num carro próximo à Estação *Barbès*, causando um incêndio. O trem foi evacuado e seus passageiros aguardaram o próximo trem naquela estação. Algumas estações à frente, o carro com problema continuava em chamas e foi rebocado pelo segundo trem, já carregado de passageiros. Todos os passageiros foram novamente evacuados em outra estação e embarcados num terceiro trem. A dupla de trens à frente, que era encabeçado pelo carro incendiado, foi em direção à Estação *Ménilmontant*, deixando um rastro de densa fumaça para trás, de onde vinha o terceiro trem (FRIDOLF, 2010).

Na estação anterior a *Ménilmontant*, *Couronnes* (vide Figura 1), os passageiros que estavam no terceiro trem foram obrigados a descer novamente para serem conduzidos à rua, devido à fumaça que vinha dos túneis no sentido de *Ménilmontant*. Vários passageiros exigiam o reembolso do valor da passagem e houve tumulto. *Couronnes* se tornou uma armadilha e vários usuários não encontraram o caminho da saída. Foram contados 84 mortos. Esse grave acidente motivou a adoção do “*multiple unit train control*” (método para controlar todos os

equipamentos de tração de um único local), controlado por um circuito de baixa voltagem, e também de uma fonte de alimentação independente para a iluminação da estação.



Figura 1 – Cartão-postal mostrando os arredores da estação Couronnes, em Paris, logo após o acidente de 10/08/1903 (MOSEMAN, 2009).

2.2 Londres, Reino Unido, 18 de novembro de 1987

Um fósforo aceso que caiu pelo vão de uma escada rolante com degraus de madeira, sobre uma grande quantidade de graxa e detritos, provavelmente causou um incêndio na Estação *King's Cross*, no percurso de acesso à Linha *Piccadilly* (Figura 2). O fogo se alastrou rapidamente em direção ao *hall* da bilheteria da estação, cerca de dez metros acima, preenchendo toda a área com fumaça. A estação era, na época, a mais movimentada do metrô de Londres, contando com aproximadamente 250 mil usuários por dia em suas cinco linhas. Alguns fatores tiveram grande impacto no desenvolvimento do acidente: o primeiro funcionário operacional do metrô a agir, após perceber o incêndio, não tinha como base de trabalho aquela estação e não havia recebido treinamento de incêndio, o que atrasou o aviso ao centro de controle; além disso, o metrô de Londres não possuía plano de evacuação atualizado na época. Durante a propagação da fumaça para as áreas de acesso da estação, algumas pessoas continuaram a andar em direção às plataformas, comutando de uma linha para a outra, sem sequer imaginar o problema (FRIDOLF, 2010).



Figura 2 – Escadarias rolantes de acesso à Linha *Piccadilly*, na Estação *King's Cross*, em Londres, logo após o acidente (esquerda), e atualmente (BBC NEWS, 2008).

Alguns trens continuaram a entrar na estação depois de um tempo, mesmo com a instrução repassada aos operadores dos trens de não parar em *King's Cross*, causando o desembarque de mais usuários nas plataformas. Na Linha *Victoria*, alguns trens foram utilizados para evacuar as pessoas que conseguiam chegar à sua plataforma. Os primeiros bombeiros chegaram depois de 15 minutos do primeiro registro de que havia um incêndio e 31 pessoas morreram (BBC NEWS, 2008; FRIDOLF, 2010).

2.3 Zurique, Suíça, 16 de abril de 1991

O último carro de um trem que saía da Estação Central de Zurique em direção a *Stadelhofen* pegou fogo – sendo vandalismo a provável causa – e um funcionário que estava na estação tentou, sem sucesso, avisar o operador do trem via centro de controle. Outro operador de trem, que vinha em sentido contrário, percebeu o problema e tentou da mesma forma avisar o centro de controle, mas também não foi possível. Após o trem incendiado percorrer cerca de 550m dentro de um túnel de 1.200m, um passageiro que havia notado o problema no último carro pressionou o botão de freio de emergência, causando a parada do trem. O operador do trem, então percebendo o sinistro, tenta contatar o centro de controle por meio de um telefone de via, enquanto os passageiros dos carros traseiros dirigiam-se para frente. Apesar das instruções do operador no intuito de impedir o desembarque no túnel, alguns passageiros tentaram sair, sendo impedidos por outros. Minutos depois, novas instruções permitiram o desembarque e a evacuação no sentido de

avanço do trem, até a estação *Stadelhofen*. A densidade da fumaça crescia. Outro trem que se dirigia no sentido contrário, para a Estação Central, permitiu a entrada de passageiros que estavam nos túneis para a evacuação. Entretanto, devido ao incêndio, pouco depois, a energia de tração dos trens foi cortada e todos os passageiros tiveram de desembarcar ainda no túnel; porém, essa nova evacuação do segundo trem só ocorreu com instruções claras passadas pelo corpo operativo do metrô.

Após entrevistas com os passageiros envolvidos na evacuação – que ocorreu em grande parte em meio à fumaça –, foi notado que no trajeto de escape do túnel havia obstáculos verticais de até um metro e falta de pictogramas (ou até pictogramas confusos) para indicação de rotas de fuga, apesar de haver indicação de distância até a saída mais próxima. Também não foi verificada a ação da ventilação dos túneis quando da ocorrência do incêndio, mas houve registros de passageiros nos quais foi indicada a rápida propagação da fumaça no sentido de viagem do trem incendiado. Apesar da gravidade do acidente e do fogo não ter sido eliminado rapidamente, não foram registradas vítimas fatais nem feridos (FRIDOLF, 2010).

2.4 Baku, Azerbaijão, 28 de outubro de 1995

Incêndio no metrô com 289 mortos e 265 feridos, o pior da história. Foi causado por uma falha elétrica no trem durante o horário de pico no sábado, perto das 18h. O trem havia partido da Estação *Ulduz* para *Nariman Narimanov*. O trem parou após percorrer 200m a partir da primeira estação e, com o incêndio, o túnel se encheu de fumaça. Houve o corte de energia dos trens. O monóxido de carbono produzido pelos materiais sintéticos dos carros intoxicou os usuários. Devido à dificuldade de abrir as portas de um dos carros por causa da falta de energia, os passageiros tiveram de sair por outro carro ou quebrar as janelas, o que facilitou a entrada de fumaça nos carros. Com o desenvolvimento do incêndio, o escape no sentido de *Ulduz*, mais curto, tornou-se praticamente impossível. A visibilidade era mínima. A exaustão dos túneis foi ligada, porém enviou a fumaça tóxica em direção às pessoas que conseguiram sair do trem e tentavam escapar pelo túnel. A maior parte dos mortos foi encontrada dentro do trem e 40 estavam no túnel. O número

total de mortos varia conforme a fonte, chegando a 337. Há dúvidas sobre a possibilidade de sabotagem (FRIDOLF, 2010).

2.5 Kaprun, Áustria, 11 de novembro de 2000

Um trem funicular¹ carregando esquiadores pegou fogo depois de adentrar 600 metros em um túnel. A causa foi uma falha de projeto de um aquecedor. Cerca de 155 pessoas morreram. Nem o túnel ou o trem possuíam sistemas de combate a incêndio e as portas ficaram travadas no momento do acidente. Não havia sinalização de rota de fuga e faltaram instruções aos usuários. Várias pessoas tentaram escapar, mas morreram intoxicadas pela fumaça a poucos metros do trem. Ocorreu uma espécie de “efeito chaminé”, que conduziu a fumaça na direção da estação superior, matando um funcionário e um passageiro que vinham no trem em sentido contrário (vide Figura 3). Três pessoas morreram na estação superior. Os únicos sobreviventes, doze, foram aqueles que escaparam para a estação inferior. (BBC NEWS, 2001; GUARDIAN, 2004; FRIDOLF, 2010).



Figura 3 – Túnel do funicular de Kaprun após o acidente de novembro de 2000 e esquema indicando o perfil do túnel (GUARDIAN, 2004; BBC NEWS, 2001)

¹ Movido por sistema de cabos e roldanas acionadas por motores. Um sistema funicular pode ser composto de dois trens (como é o caso do funicular de Kaprun, Áustria), cada qual de um lado da roldana principal, em que o que sobe contrabalança o peso do que desce.

2.6 Daegu, Coreia do Sul, 18 de fevereiro de 2003

Um homem perturbado inicia um incêndio na estação *Jungangno* (Figura 4), que se alastra pelo trem número 1079, parado na plataforma. As pessoas tentam sair da estação, já tomada em boa parte pela fumaça. A iluminação da plataforma e a energia de tração dos trens foram desligadas. O trem número 1080 chega à estação no sentido contrário. Percebendo o problema, o condutor do trem 1080 solicita calma aos usuários. Como não havia energia de tração, ele não consegue partir e o incêndio se alastra pelo novo trem. O condutor do trem 1080, diante do pânico, escapa e leva consigo a chave, o que causa o fechamento das portas do trem que ainda estava carregado de usuários. Não havia extintores de incêndio suficientes, iluminação de emergência nas estações e sistema de ventilação de emergência adequado. Foram registrados 198 mortos e 147 feridos (BBC NEWS, 2003; FRIDOLF, 2010).



Figura 4 – Incêndio na estação Jungangno do metrô de Daegu, Coreia do Sul, 2003 (BBC NEWS, 2003).

2.7 Estocolmo, Suécia, 16 de maio de 2005

Um trem pega fogo em um túnel e chega à Estação *Rinkeby*. Como o trem viajava no sentido contrário ao maior fluxo de hora de pico, poucas pessoas foram afetadas. Alguns usuários foram tratados devido à inalação de fumaça, mas ninguém ficou ferido. Houve perda total do trem (FRIDOLF, 2010).

2.8 Análise Geral dos Acidentes Apresentados

Por meio dos acidentes relacionados neste Capítulo, 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;
- 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.

O presente trabalho possui como motivação principal a minimização dos riscos envolvidos em uma situação de emergência, principalmente aquela relacionada a uma ocorrência de incêndio em túneis. Diante das características comportamentais estudadas neste Capítulo e a partir da experiência apresentada pelos acidentes, têm-se alguns fatores para levar em conta:

- 1) A sinalização de rotas de fuga nas vias do metrô de São Paulo considera uma comunicação visual simples e objetiva, o que auxilia os usuários em seu encaminhamento seguro. As placas de sinalização são imunes à fumaça e os balizadores auxiliam na orientação dos usuários por intermédio da passarela de emergência;
- 2) Como será visto adiante, a possibilidade de configuração das placas indicativas de sentido e distância complementa o plano de rotas de fuga, permitindo flexibilidade na escolha de uma rota segura; e
- 3) É interessante pensar em um sistema integrado de segurança que consiga – ou permita – interpretar corretamente uma situação de emergência, possibilitando a configuração de rotas de fuga e de ventilação dos túneis, garantindo que não haverá percalços no fluxo de evacuação e que a fumaça (ou o fogo) não serão direcionados aos passageiros e funcionários.

2.9 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
- 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 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 CENÁRIO ATUAL – METRÔ DE SÃO PAULO

3.1 A Companhia do Metropolitano de São Paulo – METRÔ (CMSP)

Idealizada em 1953 durante a gestão do prefeito Armando Arruda Pereira, a Companhia do Metropolitano de São Paulo teve sua fundação somente em 24 de abril de 1968 na gestão de José Vicente Faria Lima, prevendo inicialmente a construção de 100km de linhas. (METRÔ, 2012a).

Na mesma década é iniciada a construção da Linha 1-Azul, que ligaria a Zona Sul de São Paulo, no Jabaquara, até a Zona Norte, em Santana, passando pelo centro.

Em 14 de setembro de 1974 é iniciada a operação do primeiro trecho da Linha 1-Azul, entre Jabaquara e Vila Mariana, ainda manualmente, até a inauguração do CCO (Centro de Controle Operacional) alguns meses depois. Sua extensão seria completada somente em 1998, com a estação Tucuruvi.

Em 1 de março de 1975 é iniciada a construção da Linha 3-Vermelha, que ligaria a Zona Oeste, na Barra Funda, até a Zona Leste, em Itaquera. No mesmo ano, é feita também a interligação do metrô com a rede ferroviária da Companhia Paulista de Trens Metropolitanos (CPTM). Dois anos mais tarde, é aberta a interligação com terminais de ônibus interestaduais.

A Linha 3-Vermelha entrou em operação em 1979 e teria sua extensão total inaugurada em 1988, ao mesmo tempo em que são entregues os projetos da Linha 2-Verde (Vila Madalena – Vila Prudente) e da Linha 4-Amarela (Luz – Butantã), que teriam suas obras iniciadas em 1987 e 2004, respectivamente. Neste mesmo ano, a gestão da CMSP é transferida para o governo estadual.

Em 25 de janeiro de 1991, é iniciada a operação da Linha 2-Verde entre Paraíso e Consolação, que teria sua extensão atual completada gradualmente até 2010 (Vila Madalena – Vila Prudente).

Em 1998, é iniciada a construção da Linha 5-Lilás (Capão Redondo – Largo Treze), pela CPTM. Após a assinatura de um convênio em 2002, a Linha 5-Lilás passou a ser operada pela CMSP.

A Linha 4-Amarela tem seu primeiro trecho entre Luz e Butantã inaugurado em 2010. Sua operação é feita por empresa privada (Consórcio ViaQuatro) por meio do Programa de Parceria Público-Privada (PPP).

Hoje, a CMSP conta com 4 linhas em operação (exceto Linha 4-Amarela), com um total de 65,3km de extensão, 58 estações (vide Figura 5), 4 pátios de manutenção, além de diversos edifícios administrativos espalhados pela cidade (METRÔ, 2012a).



Figura 5 – Mapa atual da rede de transporte metropolitano incluindo metrô, trem de superfície e corredores de ônibus (METRÔ, 2012a)

3.2 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.

Algumas premissas de projeto desse sistema foram baseadas em um sistema piloto já instalado há mais tempo na Linha 2-Verde, no trecho entre as estações Ana Rosa e Vila Madalena. Porém, foram implantadas várias melhorias visando atender às necessidades que surgiram com a experiência do primeiro projeto (ARAUJO et al., 2011).

Houve, também, grande melhoria nos equipamentos e no projeto de instalação do sistema. Os modelos de placas e suas posições finais de instalação ao longo da via foram definidos depois de diversos testes de protótipo em campo, inclusive com a presença de fumaça e simulação de *blackout* nos túneis.

3.2.1 Equipamentos de Sinalização

Placa de Direção, Sentido e Distanciamento

Essas placas são instaladas a 1,20m do piso da passarela de emergência e a cada 30m ao longo das vias, sendo placas independentes que indicam a distância até a saída mais próxima, em ambos os sentidos.

As placas para túneis são confeccionadas em acrílico e retroiluminadas por LEDs (*Light Emitter Diodes*) verdes (conforme Figura 6). São alimentadas em tensão de 12Vcc.

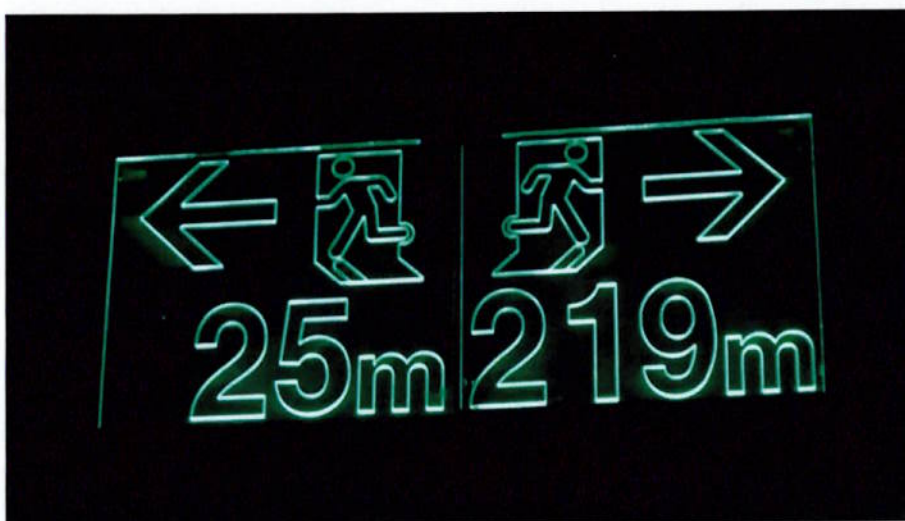


Figura 6 – Placa de sinalização de rota de fuga em trecho de túnel (ARAUJO et al., 2011)

Os modelos para vias externas são compostos por caixas lacradas, confeccionadas em metal, que suportam as placas e abrigam os circuitos eletrônicos (Figura 7).

As placas são confeccionadas em acrílico e são iluminadas por LEDs a 90°, que incidem em adesivo transparente do tipo jateado, difundindo a luz nos números e no pictograma; há também LEDs de semáforo que incidem diretamente nas setas, evitando o ofuscamento da luz do sol. São alimentadas, também, em 12Vcc.



Figura 7 – Placa de sinalização de rota de fuga em trecho externo (elevado) (ARAUJO et al., 2011)

Placas de Sentido e Mudança de Nível

As placas são instaladas nas saídas de emergência, a 1,80m do piso, a cada 7m ou a cada mudança de nível (escadas). São confeccionadas em acrílico, retroiluminadas por LEDs verdes (vide Figura 8) e alimentadas em 12Vcc.

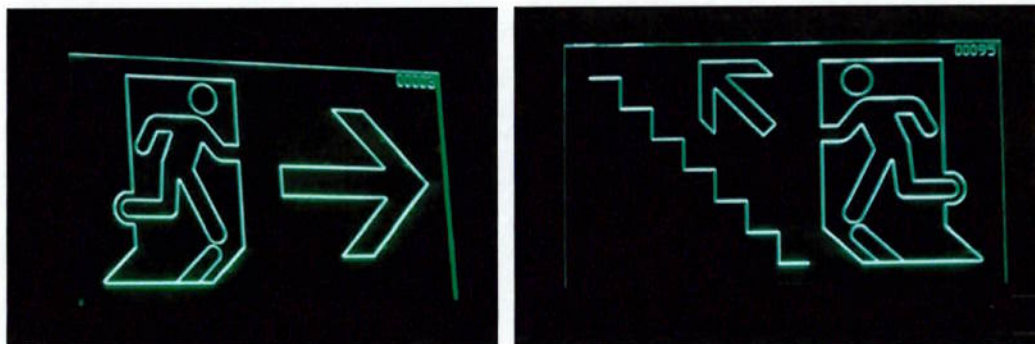


Figura 8 – Placa de sinalização de rota de fuga para saídas de emergência e mudanças de nível (ARAUJO et al., 2011)

Placas de Indicação de Saída

As placas são instaladas nas vias, logo acima do acesso às saídas de emergências (perpendiculares às passarelas de emergência) e das portas de acesso à rua. São confeccionadas em acrílico, retroiluminadas por LEDs verdes (Figura 9) e alimentadas em 12Vcc.



Figura 9 – Placa de sinalização de rota de fuga para indicação de saída (ARAUJO et al., 2011)

Balizadores

São instalados nas bordas das passarelas de emergência, a cada 3m ao longo delas. São confeccionados em PETG (Tereftalato de Polietileno) e iluminados

por LEDs âmbar (conforme Figura 10). Os balizadores são alimentados em 125Vcc e, internamente, há o abaixamento para a tensão de trabalho de 12Vcc.



Figura 10 – Balizador de passarela de emergência (ARAUJO et al., 2011)

3.2.2 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 11). 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 11 – Vista externa e interna do Painel de Controle de Rotas de Fuga (PCRF) em implantação

Por ser o centro de um sistema de segurança que exige alta disponibilidade e confiabilidade, ele é alimentado pelo QDCC (Quadro de Distribuição de Corrente Contínua), em 125Vcc, que por sua vez está conectado ao sistema de alimentação de emergência, composto pelo GGD (Grupo Gerador Diesel), e no caso de falha deste, passa a ser alimentado pelo banco de baterias.

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 12). Contém, basicamente:

- um teclado numérico;
- um microcontrolador PIC16F870 U2;
- o próprio gerador DTMF, com o componente U4 HT9200;
- um registrador de deslocamento (*shift register/latch*) CD4094; e
- um *display* de 2x16 caracteres.



Figura 12 – Módulo Gerador DTMF existente.

Caixa de Controle e/ou abaixamento de tensão

A Caixa de Controle está localizada logo abaixo das placas de sinalização de distanciamento (Figura 13). Além de abaixar a tensão de 125Vcc para 12Vcc, ela

também abriga o circuito eletrônico que recebe os sinais do Módulo Gerador DTMF e faz suas interpretações, acendendo ou apagando as placas.

Nas placas de sinalização de saída de emergência, a Caixa de Controle faz somente o abaixamento de tensão.



Figura 13 – Caixa de Controle e/ou abaixamento de tensão (ARAUJO et al., 2011)

3.2.3 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 14.

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 14).

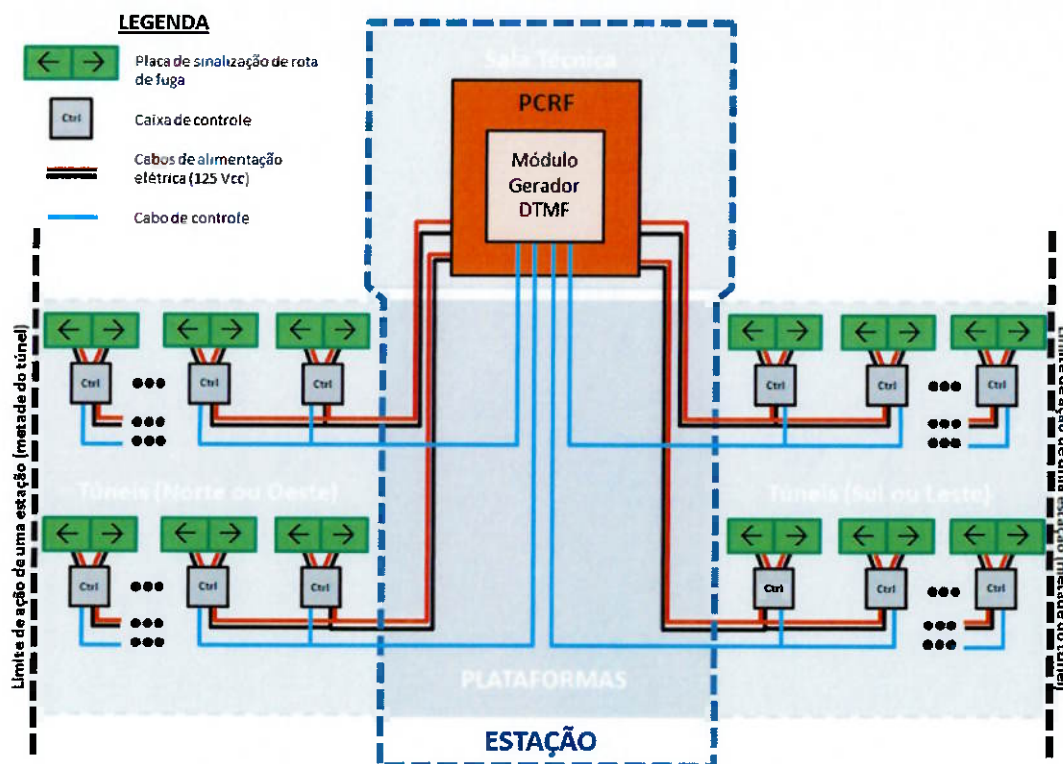


Figura 14 – Arquitetura atual do Sistema de Rotas de Fuga em Túneis

Cada PCRF é capaz de controlar todas as placas de sinalização de rota de fuga que estejam dentro de seu limite de ação, que é dado pela metade da extensão de um túnel, para cada um dos sentidos. Por exemplo, considerando um trecho de linha de metrô com três estações A, B e C, sendo A a estação mais a oeste e C a estação mais a leste, e sendo as distâncias entre as estações:

de A (oeste) até B: 800m;

de B até C (leste): 700m,

isto significa que o PCRF da Estação B é capaz de controlar todas as placas de sinalização de rota de fuga que estejam 400m a oeste e 350m a leste de sua extremidade.

Os circuitos de alimentação elétrica em 125Vcc conectam em paralelo todos os equipamentos de sinalização (placas e balizadores), sendo um circuito para cada via e para cada um dos sentidos (norte e sul – ou oeste e leste).

Os circuitos de controle conectam as caixas de controle com a mesma distribuição, porém essa conexão é feita em série (vide Figura 15).

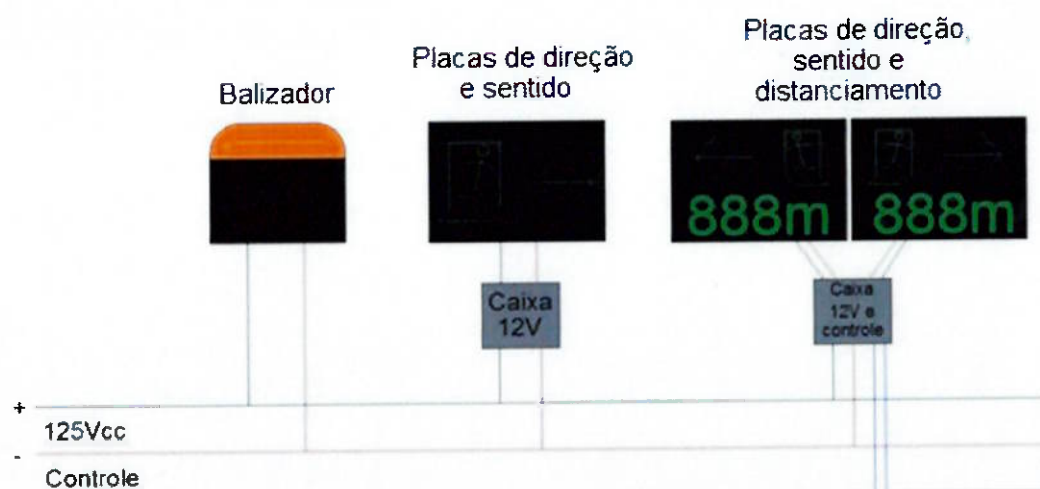


Figura 15 – Conexão de alimentação elétrica e de controle de balizadores e placas ao longo da via (ARAUJO et al., 2011).

Cada PCRF é capaz de alimentar e controlar todos os equipamentos que estão sob seu domínio e não tem qualquer interligação com os domínios das estações adjacentes.

Considera-se que em uma linha de metrô completa, atualmente, há uma composição de diversos sistemas de rota de fuga independentes (um para cada estação), como representado na figura 16:

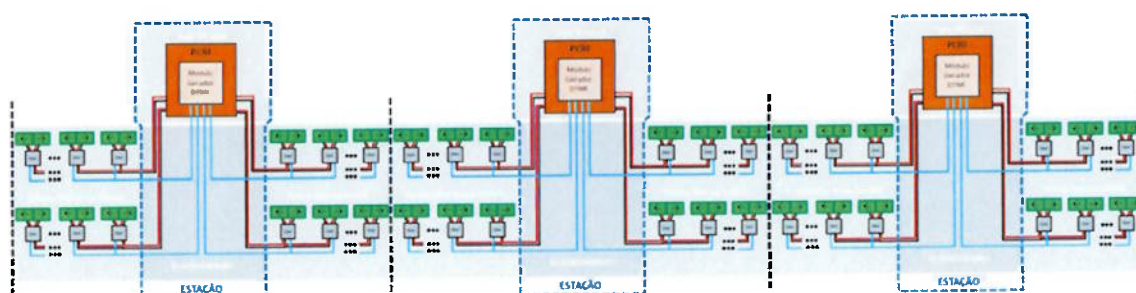


Figura 16 – Arquitetura atual do Sistema de Rotas de Fuga em Túneis – Visão da linha de metrô

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.

3.3 Sistemas Auxiliares

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.

Descrevem-se e avaliam-se, a seguir, as interfaces possíveis do SGRF com esses sistemas auxiliares para que eles possam colaborar na determinação da rota de fuga, a partir de seu estado atual (ou seja, sem modificações em suas características atuais, somente utilizando sistemas existentes).

3.3.1 Sistema de Ventilação Principal (SVP)

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);
- 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.

Nas estações subterrâneas, existem canais de ventilação que passam sob a plataforma e se prolongam para cima na estrutura civil. Possuem ventiladores e atenuadores de ruído, encaminhando o ar quente para a superfície.

As tomadas de ar “novo” podem ser realizadas por meio de canais específicos da rua para a estação, dotados de ventiladores, ou aberturas normais de ventilação natural (incluem-se aqui os próprios acessos da estação), conforme Figura 17.

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.

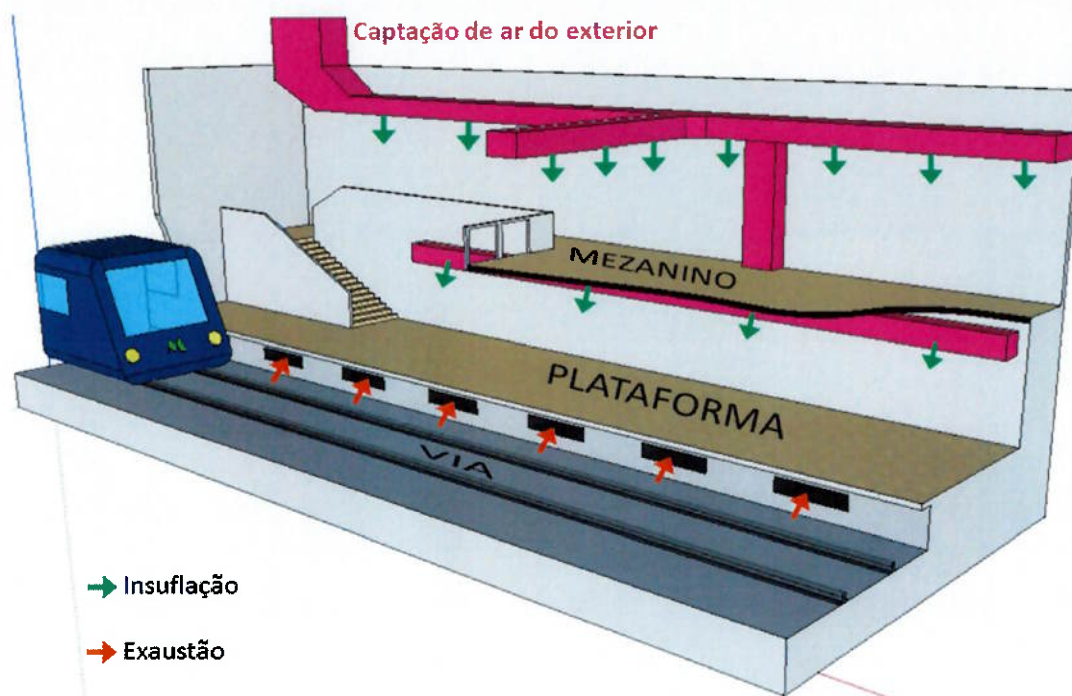


Figura 17 – Esquema simplificado de ventilação principal dentro de uma estação genérica

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 basicamente cinco rotinas de ventilação principal durante a operação comercial. A seguir, são explicados resumidamente quais são a motivação e o funcionamento de cada uma dessas rotinas. É importante lembrar que uma premissa básica para o Sistema de Ventilação Principal é não haver transporte de fogo das estações para os túneis e vice-versa.

É importante, nesse momento, compreender o funcionamento de cada rotina operacional de ventilação e o porquê de se utilizar cada uma dependendo da situação de emergência relacionada a incêndios ou fumaça. Deve ser percebido, porém, 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.

Para cada rotina explicada abaixo são utilizadas as legendas apresentadas na Figura 18.

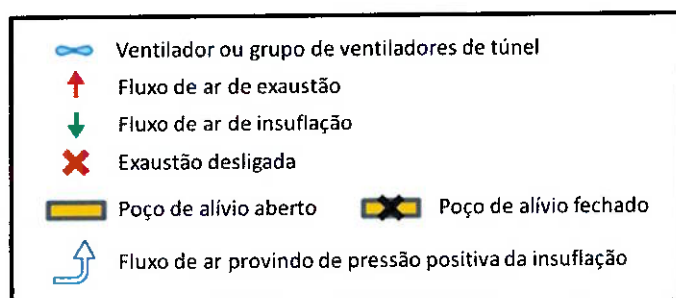


Figura 18 – Legendas das ilustrações de rotinas de ventilação

Rotina 1: Situação normal

Em situação normal, na estação, o sistema de exaustão da plataforma funciona de forma a retirar o calor provindo dos trens e o ar contaminado das vias. Os insufladores de ar também estão ligados, trazendo circulação de ar para todos os níveis da estação, incluindo a plataforma.

Já nos túneis, os ventiladores funcionam normalmente como exaustores e os poços de alívio² estão abertos para possibilitar o escape de ar, aliviando o “efeito-pistão”³ dos trens nas estações. O funcionamento básico dessa situação é ilustrado na Figura 19.

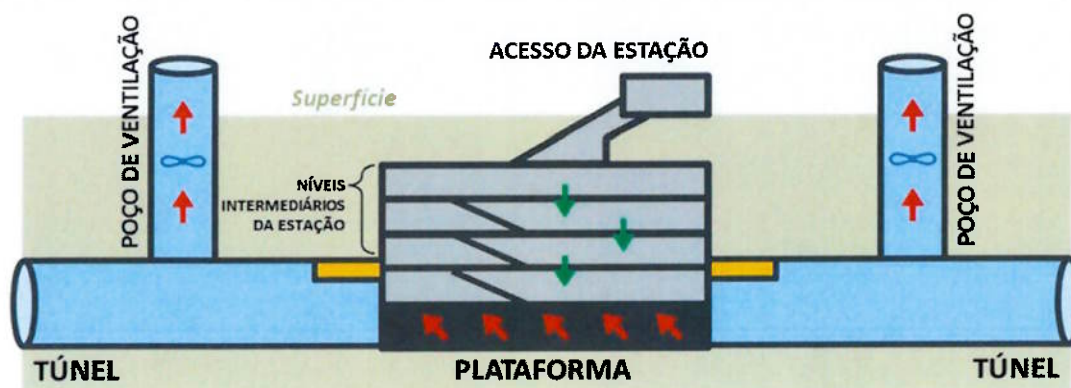


Figura 19 – Esquemático de fluxo da Rotina 1 de Ventilação (situação normal)

Rotina 2: Situação de incêndio no trem ou em equipamentos da estação no nível da plataforma

Para a situação de incêndio no trem ou em equipamentos da estação no nível da plataforma, o SVP é mantido em funcionamento normal até o final do salvamento e abandono das estações (a fim de renovar o ar para as pessoas que estão sendo resgatadas).

Após o término destas providências, na estação, os ventiladores são todos ligados como exaustores para barrar o desenvolvimento do incêndio e extrair a

² Canais dotados de grelhas que conectam os túneis à superfície, nas extremidades das estações, com o objetivo de aliviar o efeito de deslocamento de ar causado pelos trens nas plataformas.

³ Efeito de deslocamento de grandes massas de ar devido à entrada ou saída de trens.

fumaça das regiões de plataforma. Não há insuflação na estação para que não haja a alimentação do incêndio através do ar renovado.

Nos túneis, o sistema de exaustão funciona normalmente. Os poços de alívio são fechados, tanto para evitar perdas de fluxo de ar, quanto para evitar a entrada de ar novo nas extremidades de plataforma. O funcionamento básico dessa situação é ilustrado na Figura 20.

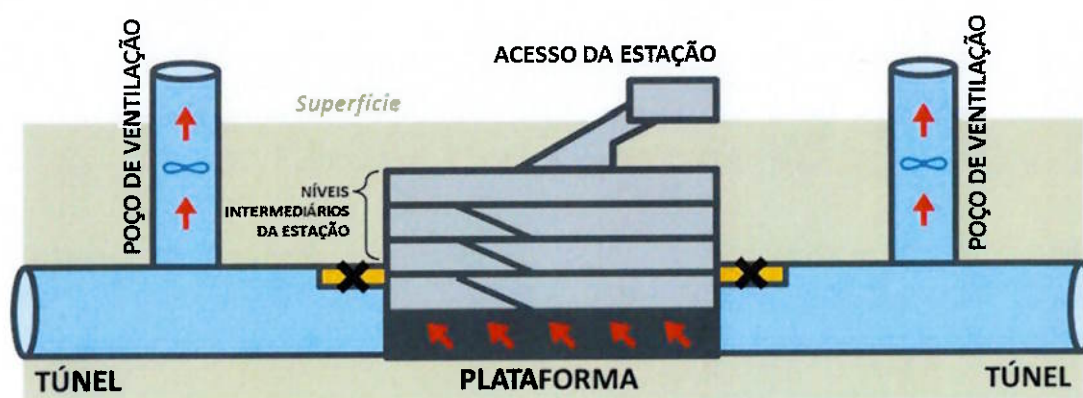


Figura 20 – Esquemático de fluxo da Rotina 2 de Ventilação (incêndio na plataforma)

Rotina 3: Situação de fumaça no trem ou em equipamentos da estação no nível da plataforma

Para o caso de haver fumaça no trem ou em equipamentos da estação no nível da plataforma, o SVP também é mantido em funcionamento normal até o final do salvamento e abandono das estações. Após essa fase, na estação, ventiladores insufladores e exaustores permanecem ligados, porém em seu nível máximo para acelerar a renovação de ar (sendo esta a diferença básica com a Rotina 2, em que não pode haver renovação de ar para não alimentar o fogo).

Nos túneis, os ventiladores trabalham em sua rotina de exaustão, exercendo uma pressão negativa nas estações e procurando extrair a maior quantidade de fumaça possível das plataformas (os ventiladores de túnel são bem mais potentes que os de estação, o que colabora para a retirada da fumaça das plataformas). A fim de maximizar o efeito dos ventiladores e evitar perdas de fluxo, os poços de alívio são fechados. O funcionamento básico dessa situação é ilustrado na Figura 21.

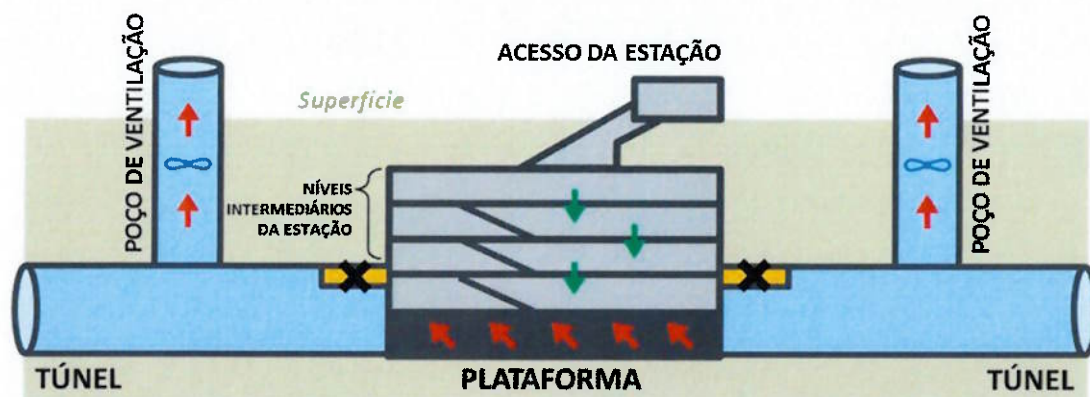


Figura 21 – Esquemático de fluxo da Rotina 3 de Ventilação (fumaça na plataforma)

Rotina 4: Situação de princípio de incêndio e/ou fumaça nos mezaninos

No caso de haver um princípio de incêndio e/ou fumaça nos mezaninos, é necessário evitar que o fogo ou a fumaça que já está dentro da estação desça ao nível da plataforma. Para tanto, a exaustão das plataformas é desligada, de forma a não transportar o fogo ou a fumaça dos níveis intermediários para a plataforma. Ao mesmo tempo, os ventiladores da estação insuflam ar de modo a fazer uma pressão positiva, expulsando o ar para as únicas saídas disponíveis: os acessos da estação à superfície.

Para completar a rotina, os poços de alívio são fechados e os ventiladores de túneis são colocados em modo de insuflamento, injetando ar nos túneis e exercendo pressão sobre as extremidades da plataforma, evitando, assim, a contaminação da plataforma com o fogo e a fumaça que estão nos níveis acima. O funcionamento básico dessa situação é ilustrado na Figura 22.

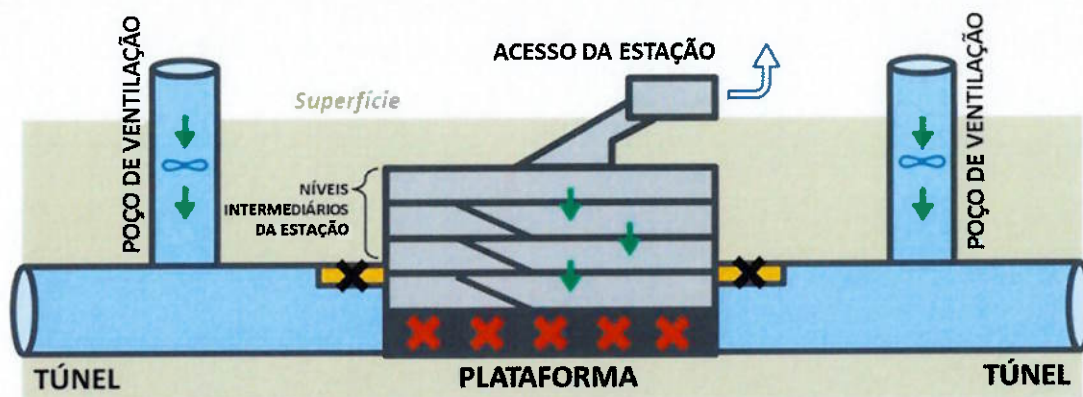


Figura 22 – Esquemático de fluxo da Rotina 4 de Ventilação (fogo ou fumaça em níveis intermediários)

Rotina 5: Situação de princípio de incêndio e fumaça nos túneis

No caso de princípio de incêndio e fumaça nos túneis, os ventiladores da estação são ligados em seu nível máximo de insuflação, exercendo pressão sobre as extremidades da plataforma, em direção aos túneis, para evitar a entrada de fogo e fumaça nas plataformas e níveis da estação.

Nos túneis, os exaustores são ligados em seu nível máximo para extrair a fumaça e impedir o desenvolvimento do incêndio. Os poços de alívio ficam abertos para possibilitar a saída de ar com fumaça, caso exista, de modo que a estação não seja afetada. O funcionamento básico dessa situação é ilustrado na Figura 23.

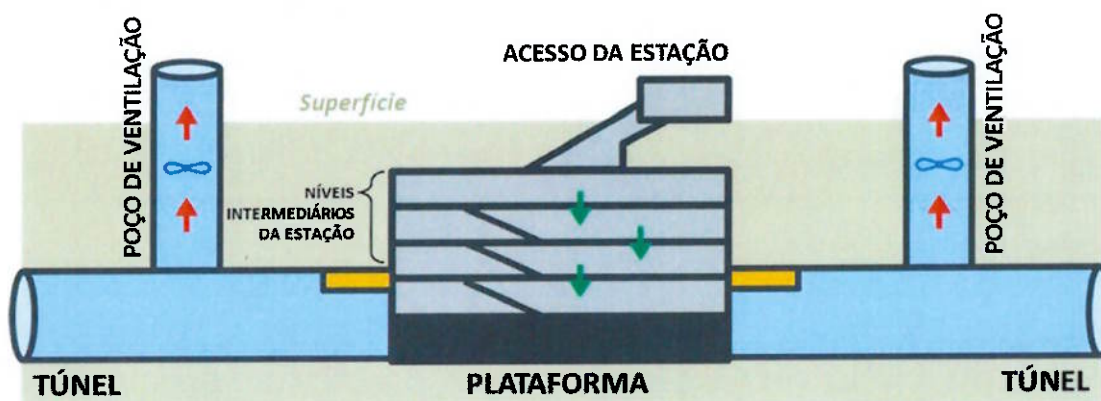


Figura 23 – Esquemático de fluxo da Rotina 5 de Ventilação (fogo ou fumaça nos túneis)

3.3.2 Sistema de Detecção de Incêndio (DI)

O Sistema de Detecção de Incêndio (DI) atualmente existente no Metrô de São Paulo possui laços de detecção nos mais diversos ambientes de uma estação: plataformas, mezaninos, áreas de circulação de usuários, corredores, acessos, salas técnicas e operacionais, porões de cabos etc. Além disso, nos pátios de manutenção e estacionamento existem sistemas semelhantes.

Atualmente, não existe sistema de detecção de incêndio em túneis no Metrô de São Paulo. Recentemente, foi apresentado um trabalho técnico com uma proposta desse sistema em túneis metroviários (MORI; PINTO, 2010).

Para este trabalho, considera-se somente a possibilidade futura de busca de registros de eventos do Sistema DI das estações como indicadores de incêndios locais.

3.4 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.

3.5 Análise do Cenário Atual

Percebem-se, por meio das figuras 14 e 16, algumas características do sistema de rotas de fuga em túneis atual que limitam sua utilização – apesar da simplicidade de operação e de arquitetura de implementação envolvida:

Característica 1: Não há automatismo, todas as placas de sinalização de rotas de fuga ficam acesas constantemente.

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.

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.

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 interface homem-máquina, 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.

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.

Com base nessa ideia, o presente trabalho visa implementar melhorias e soluções para cada uma das limitações apresentadas nas **Características de 1 a 5**.

3.6 Rotas de Fuga em Outros Metrô

3.6.1 Pesquisa Realizada

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 metrô 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.

Para tanto, foram elaboradas algumas perguntas simples, relacionadas a seguir:

1. Existe sinalização de rotas de fuga em túneis das linhas de metrô em sua cidade?
2. Para que locais as rotas de fuga instaladas em túneis dirigem as pessoas (poços de ventilação e saída de emergência, estações, outros locais etc.)?
3. As placas de indicação são iluminadas? De que forma, em termos gerais?
4. Existe sistema de detecção de incêndio implantado em túneis nas linhas de metrô de sua cidade?
5. O sistema de sinalização de rotas de fuga em túneis é capaz de decidir qual é a rota segura (qual a direção / o sentido), dada uma determinada situação de sinistro?
6. Em caso de resposta positiva à pergunta 5, o sistema de sinalização de rotas de fuga está intertravado com algum outro sistema (ventilação, detecção de incêndio, sinalização dos trens etc.)?
7. Em caso de resposta positiva à pergunta 5, o sistema de sinalização de rotas de fuga é capaz de fornecer informações de rota determinada a outros sistemas de segurança de interesse (ventilação, detecção de incêndio, sinalização dos trens etc.)?
8. Quais normas internacionais a operadora leva em consideração na elaboração de projetos de sinalização de rota de fuga?

Representantes de cinco operadoras responderam à pesquisa e, no Anexo A, encontra-se o resumo das respostas colhidas.

3.6.2 Análise Geral da Pesquisa Realizada

Percebe-se, pela pesquisa, que todas as operadoras que responderam às perguntas 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).

Desenvolve-se, a partir do próximo capítulo, a proposta deste trabalho, que visa a melhorias no sistema de sinalização de rotas de fuga existente no Metrô de São Paulo.

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.

Para a execução deste trabalho, considera-se um trecho específico de uma linha de metrô e exploram-se todas as possibilidades de sinistros, para que possam ser encontradas soluções aplicáveis aos demais trechos.

O trecho selecionado pelo estudo a seguir é completamente subterrâneo e compreende os túneis entre as Estações Saúde e Vila Mariana, considerando também as estações intermediárias Praça da Árvore e Santa Cruz, todas elas na Linha 1-Azul (vide Figura 24). A escolha foi feita basicamente por alguns fatores:

- É um trecho da linha de metrô mais antiga da capital paulista;
- Existem saídas de emergência ao longo dos túneis que não são comuns às duas vias (em direção ao norte ou ao sul), fazendo com que as duas vias sejam interpretadas como “túneis separados”. Considera-se que os usuários não podem descer aos trilhos e caminhar para a saída de emergência na parede oposta do túnel, o que poderia causar problemas de segurança elétrica e de circulação dos trens – isso inclusive é uma consideração operacional. Além disso, algumas partes dos túneis do trecho são divididas por muretas e colunas, o que dificulta a passagem de uma via à outra;
- Por ser subterrâneo em grande extensão (aproximadamente 4,5km), é um trecho crítico em termos de segurança, com maior influência do Sistema de Ventilação Principal (SVP);
- As configurações de localização de Saídas de Emergência (SEs), Poços de Ventilação (PVs) e Poços de Ventilação e de Saída de Emergência (PVSEs) nesse trecho permitem a análise completa de casos de possíveis sinistros e a extrapolação de dados (por analogia) para a Linha 1-Azul completa (da estação terminal sul Jabaquara à terminal norte Tucuruvi).



Figura 24 – Trecho de estudo da proposta do SGRF – Linha 1-Azul (Saúde a Vila Mariana, Zona Sul de São Paulo) – mapa extraído de www.google.com/maps

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. São apresentadas a seguir:

- as condições para esse desenvolvimento nos âmbitos da estação e do CCO;
- a concepção e arquitetura do SGRF Local e do SGRF Central; e
- as interfaces futuras possíveis entre o SGRF e os sistemas auxiliares.

4.1.1 Âmbito da estação

Do ponto de vista da estação, o Módulo Gerador DTMF existente não é capaz de transmitir comandos provindos de uma fonte externa. Isso significa que um software gerenciador não poderia ser integrado ao Módulo Gerador atual. Portanto, é importante considerar a necessidade de um novo gerador DTMF, sistêmico, que trabalhará em paralelo ao Módulo Gerador existente, o qual será mantido como parte do sistema em caráter de contingência/redundância e testes simples.

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.

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.

Segue a descrição da nova arquitetura do SGRF.

4.1.3 SGRF Local

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.*

Nessa função, não há interação com o usuário: o SGRF Local serve apenas de interface entre o SGRF Central e as placas de rota de fuga sob domínio daquela estação.

Conexões físicas

Existe uma conexão do tipo serial (RS232) entre o servidor que executa o SGRF Local e o gerador DTMF, que por sua vez possui uma conexão via par telefônico com as placas de rota de fuga sob o domínio da respectiva estação.

A conexão entre o servidor que executa o SGRF Local e o que executa o SGRF Central é *Ethernet*, por meio de uma rede já existente no Metrô (STD) que interliga todas as estações ao CCO.

Configuração lógica

O SGRF Local tem conhecimento de todas as placas sob seu domínio, bem como a posição de cada uma em relação à via (quilometragem da via). Ele envia o estado inicial e as alterações de estado de cada placa ao SGRF Central. Todos os comandos às placas são enviados por intermédio do SGRF Local que, por sua vez, recebe os comandos emitidos pelo SGRF Central via TCP/IP ou do próprio operador local. O SGRF Local processa as informações recebidas e as repassa às placas sob seu domínio.

Como não existe uma resposta das placas ao SGRF Local, confirmando o recebimento dos comandos de direcionamento, o SGRF Local enviará às placas sob seu domínio os comandos com as posições determinadas pelo SGRF Central ou pelo operador local, com uma periodicidade configurável, diminuindo a probabilidade de uma placa não ter recebido um comando.

Além de utilizar o protocolo TCP/IP na camada de transporte (modelo OSI), existe um protocolo de comunicação na camada de aplicação (modelo OSI) entre o SGRF Local e o SGRF Central para que o SGRF Local confirme o recebimento e execute um comando do SGRF Central. Caso o SGRF Local não confirme o recebimento do comando, o SGRF Central reenvia o comando ao SGRF Local.

Além disso, esse protocolo trata um modo de controle das placas entre o SGRF Local e o SGRF Central, pois, caso um operador tenha dado um comando local, o SGRF Central não deverá, de forma automática, dar comandos nesse SGRF Local. Neste caso, é enviado um alarme ao operador do CCO, que monitora o SGRF Central, permitindo que somente por meio de uma ação humana haja um novo comando ao SGRF Local que havia recebido um comando do operador local. Essa situação permanece até que haja a liberação por intermédio de ação humana (local ou central).

O SGRF Local gera alarmes em sua IHM quando:

- houver perda de comunicação com o SGRF Central, base de dados central ou base de dados local;
- houver um comando de ação humana disparado pelo SGRF Central ou Local.

O SGRF Local envia alarmes para o SGRF Central quando:

- houver perda de comunicação com a base de dados central ou base de dados local;
- houver um comando de ação humana disparado pelo SGRF Local.

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.*

O operador ou agente de estação, pela IHM, tem a visão das placas do trecho sob seu domínio, podendo, além de dar um comando indicando um ponto de ocorrência, apontar uma rota de fuga diferente da proposta pelo sistema e monitorar o estado dessas placas e os alarmes disparados pelo sistema.

4.1.4 SGRF Central

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.*

Nessa função, não há interação com o usuário. O sistema gerencia as rotas de fuga de toda a linha, de forma automática, por meio de interfaces com os SGRFs Locais, controlando placas de rota de fuga.

Para o gerenciamento do Sistema de Rota de Fuga de toda a linha, o SGRF Central utiliza um critério estabelecido e programado para a tomada de decisão dos caminhos a serem seguidos pelas pessoas que estiverem buscando uma saída do sistema metroviário. Numa situação normal, cada placa sempre apontará para a

saída mais próxima a ela. No caso de uma localidade ser marcada como ponto de ocorrência, o SGRF Central utiliza os critérios estabelecidos, conforme são apresentados na seção 4.2 deste Capítulo.

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.*

O operador do CCO, pela IHM, tem a visão das placas de toda a linha, podendo, além de dar um comando indicando um ponto de ocorrência, apontar uma rota de fuga diferente da proposta pelo sistema e monitorar o estado dessas placas e os alarmes disparados pelo sistema.

4.1.5 Interfaces futuras

Em uma etapa posterior (não desenvolvida neste trabalho), pode ser prevista também a interface de informações entre os sistemas SVP, DI e SGRF por meio do STD:

- As rotinas de ventilação em operação poderiam ser conhecidas diretamente pelo SGRF por intermédio da comunicação via STD, permitindo ao SGRF a determinação da rota de fuga segura de determinado trecho;
- Poderiam ser considerados os registros de eventos do Sistema DI que, atualmente, indicam somente a existência de um sinistro em uma estação. Futuramente, com a possibilidade de implantação do DI em túneis, seria também possível a determinação de um ponto de ocorrência em qualquer lugar da via, permitindo, assim, a integração dessa informação no SGRF.

Arquitetura do Sistema de Gerenciamento de Rota de Fuga - SGRF

As interfaces poderiam ser por meio de arquivos texto ou *.xml*, base de dados ou de *webservice*; porém, recomenda-se que sejam feitas utilizando *webservice*. Segue, na Figura 25, um diagrama contendo a arquitetura proposta neste trabalho para o SGRF.

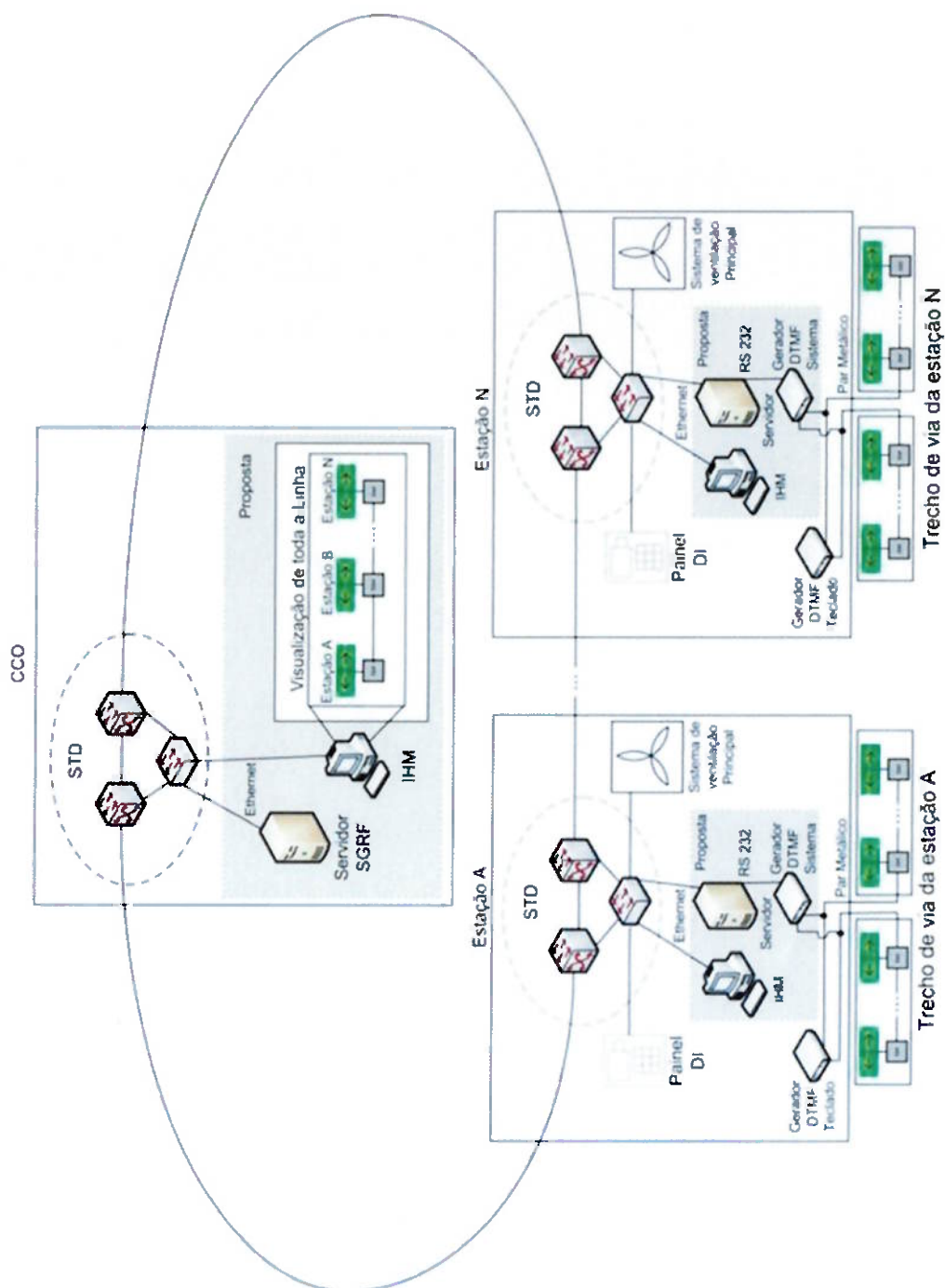


Figura 25 – Proposta de Arquitetura para o Sistema de Gerenciamento de Rotas de Fuga (SGRF)

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 1.

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.
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.	O CCO teria a capacidade de fazer o gerenciamento da rota de fuga em túneis no âmbito da Linha de metrô completa. Localmente, o operador de estação poderia acessar as informações de rota de fuga em túneis dentro da zona de controle daquela estação. 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.
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	Idem à observação anterior para a Característica 3. A IHM do CCO possuirá o esquemático da linha de metrô e permitirá a localização de todos os poços e saídas

Sistema Atual	Sistema Proposto (SGRF)
placas para selecionar trechos e sentidos, o que torna o sistema não muito amigável. 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.	de emergência, bem como das placas de sinalização de rota de fuga. Em âmbito de estação, a IHM local permitirá a visualização de informações das placas sob seu domínio. 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.

Quadro 1 – Comparativo entre Sistema de Rotas de Fuga Atual (em implantação) e SGRF proposto.

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.

A seguir, é feita uma análise breve de alguns requisitos para essa determinação, que podem ser estendidos de forma geral a diversos locais de uma linha metroviária subterrânea.

A determinação de estado das placas de sinalização de rota de fuga é uma parte do objetivo deste trabalho, que visa 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.

4.2.1 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.

Utiliza-se a seguinte legenda como base para este estudo:

l : distância ao longo do eixo da via entre a Estação A e a Estação B;

d : comprimento do túnel (ou via) entre as Estações A e B;

$l = x$: localização do poço de ventilação e saída de emergência (PVSE), ou somente de uma saída de emergência (SE).

Como não há nenhuma situação de emergência nesse caso, as placas de sinalização de rota de fuga consideram 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 26 ilustra, com flechas, o estado das placas para uma situação normal num trecho de túnel (a situação é análoga para vias elevadas), com um PVSE:

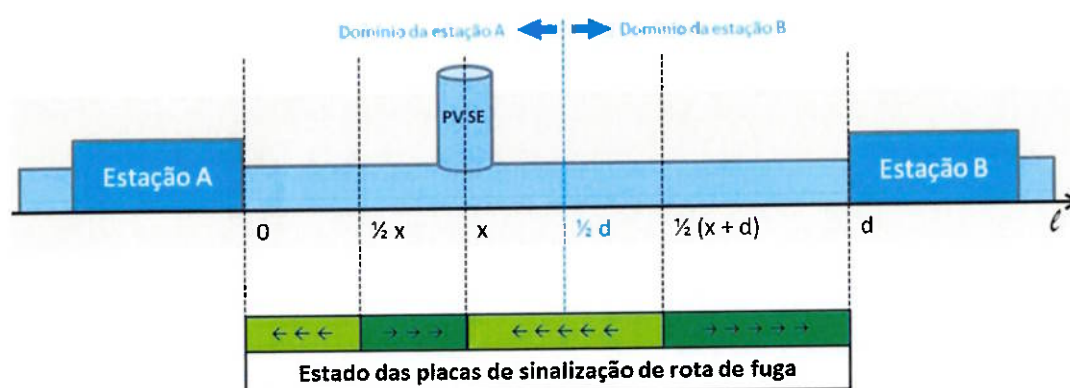


Figura 26 – Estado das placas de sinalização de rota de fuga (situação normal)

Percebe-se, pela Figura 26, que:

- As saídas possíveis estão localizadas em $\ell = 0$, $\ell = d$ (estações) e $\ell = x$ (PVSE);
- Os pontos $\ell = \frac{1}{2}x$ (metade do trecho entre a Estação A e o PVSE) e $\ell = \frac{1}{2}(x + d)$ (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 $\ell = 0$ e $\ell = \frac{1}{2}x$ 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 $x < \ell < \frac{1}{2}(x + d)$ 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.

Procede-se, a seguir, à análise de situações de sinistro relacionadas a fogo ou fumaça, que nada mais são do que modificações em relação à situação normal influenciadas pelo ponto de origem da ocorrência e pelas rotinas de ventilação existentes.

4.2.2 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 $\ell = 0$ (se for a Estação A) ou $\ell = d$ (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 27. A sinalização após a SE (ou PVSE) não sofre alteração.

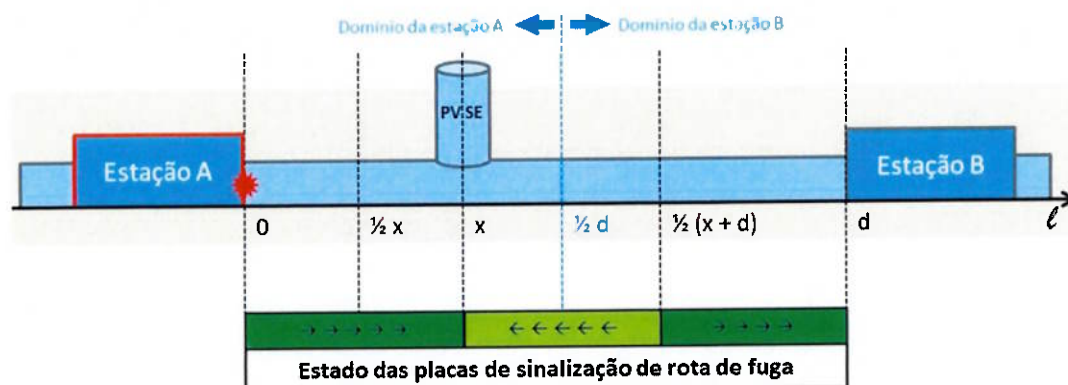


Figura 27 – Estado das placas de sinalização de rota de fuga (sinistro na Estação A)

Para o caso de sinistro na Estação B, o raciocínio é análogo e a indicação é “espelhada”, conforme Figura 28. A sinalização antes da SE (ou PVSE) não sofre alteração.

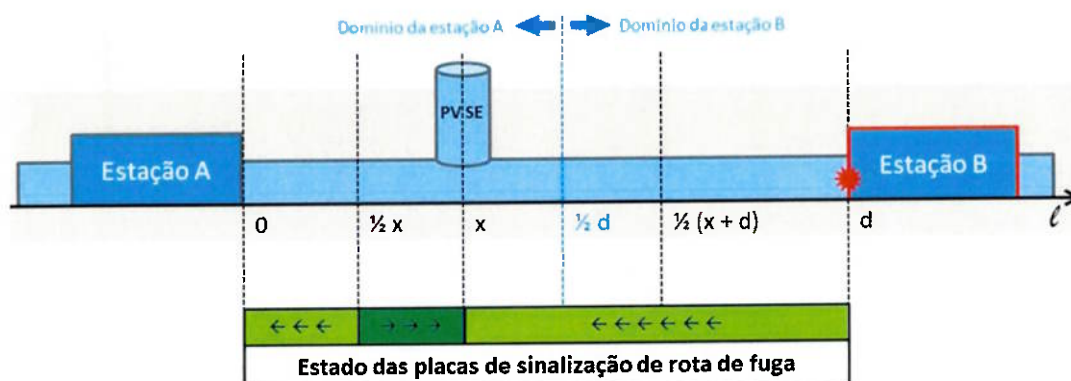


Figura 28 – Estado das placas de sinalização de rota de fuga (sinistro na Estação B)

Existe uma diferença, porém, na análise de sinistros em uma estação com o intuito de determinar trajetos seguros de rota de fuga. Ela reside basicamente na presença ou não de fumaça nos túneis. Um incêndio (ou fumaça) na plataforma poderá gerar a presença de fumaça nos túneis, cujos ventiladores são mais potentes para extrair o ar das estações. Vejamos a seguir a particularidade de cada caso.

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

Para analisar a situação de sinistro em uma estação que ocorra em qualquer pavimento, exceto a plataforma (mezaninos, acessos, salas técnicas e operacionais etc.), é necessário utilizar a Rotina de Ventilação 4, explicada na seção 3.3.1.

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

No caso da Linha 1-Azul, os ventiladores de túnel não possuem a função de insuflador. Portanto, em caso de incêndio ou fumaça nos níveis superiores da estação, eles são simplesmente desligados (deve ser notado que, caso permanecessem ligados como exaustores, a tendência era a condução da fumaça para as plataformas e interior dos túneis, devido à sua potência mais alta em relação aos exaustores de plataforma).

Dado esse cenário, pode-se perceber que 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. No caso da Figura 27, considerando sinistro no mezanino da Estação A, ter-se-ia as placas do trecho completo $0 < \ell < x$ apontando para o PVSE.

Sinistro em plataformas

Para a situação de incêndio ou fumaça nas plataformas, deve-se utilizar o que é preconizado nas Rotinas de Ventilação 2 e 3, presentes na seção 3.3.1.

Em ambas as rotinas, 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.

A única diferença entre as Rotinas 2 e 3 é que, na 3, existe insuflação de ar na estação, no intuito de renovar o ar do ambiente quando o fogo já foi eliminado.

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.

A seguir é verificado, na análise de caso do trecho Saúde – Vila Mariana, 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.

Na análise de caso da Linha 1-Azul (seção 4.2.4), é melhor explicado como chegar a uma proposta de determinação de rota segura mais adequada para esses trechos de “dúvida”, dada por uma “mescla” de critérios.

É importante destacar aqui a influência da presença de fumaça no comportamento das pessoas, conforme já explanado no Capítulo 2. Optou-se, neste trabalho, por expor as pessoas à fumaça pela menor distância possível.

4.2.3 Sinistro em trechos de túnel

Para analisar a determinação de rotas de fuga nos casos de incêndio em túnel, é necessário retomar a Rotina de Ventilação 5 da seção 3.3.1. Nela, os ventiladores de túnel funcionam como exaustores em vazão máxima, extraindo a fumaça dos túneis para a superfície.

O parágrafo acima é determinante para sabermos em que região dos túneis pode estar localizada a fumaça: ela 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.

A “dúvida” apresentada na seção anterior (sinistro em plataformas) quanto à determinação de rota de fuga em determinadas porções do túnel também ocorre e será explicado o critério de escolha na análise de caso da Linha 1-Azul (seção 4.2.4).

Cabe ressaltar que, atualmente, não existe detecção de incêndio nos túneis do metrô de São Paulo. Uma proposta de implantação desse sistema é apresentada em trabalho técnico recente (MORI; PINTO, 2010) e, caso colocada em prática, poderia determinar com maior precisão o ponto de origem do sinistro no túnel.

Para este trabalho, considera-se que é possível a determinação do ponto de origem da ocorrência por intermédio de comunicação entre funcionários da operadora, presentes no local ou próximos a ele, com atuação manual sobre o SGRF.

Percebe-se, também, que há uma diferença interessante entre:

- Casos de evacuação normal nos túneis ou incêndio/fumaça em mezaninos/acessos/pisos superiores; e
- Casos de sinistro em plataformas ou túneis.

Para o primeiro ponto, o critério de menor caminho é o mais importante para determinar as rotas de fuga segura. Para o segundo, o critério de afastamento do sinistro (baseado em rotina de ventilação e presença de fumaça) é o mais importante.

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

4.2.4 Análise de Caso: trecho Saúde – Vila Mariana, Linha 1-Azul

É apresentada nesta seção uma análise de caso de determinação de rota de fuga a partir do que foi inferido nos itens 4.2.1, 4.2.2 e 4.2.3 explicados anteriormente.

O trecho da Linha 1-Azul compreendido entre as estações Saúde e Vila Mariana, Zona Sul de São Paulo, é completamente subterrâneo e se estende por aproximadamente 4,5km. O túnel foi construído em vala a céu aberto (VCA), sendo necessária a intervenção parcial com o sistema viário na época (atualmente as avenidas Jabaquara e Domingos de Moraes) para a construção das trincheiras que formariam o corpo das estações, as paredes e o piso dos túneis (vide Figura 29).



Figura 29 – Construção dos túneis do trecho Jabaquara – Vila Mariana da Linha 1-Azul do Metrô de São Paulo, entre 1968 e 1971 – método VCA (METRÔ, 2012)

De Saúde a Vila Mariana, as vias sentido norte (Via 1, em direção a Vila Mariana) e sul (Via 2, em direção a Saúde) estão num único túnel, dividido em certos trechos por colunas de sustentação. Existem passarelas de emergência de ambos os lados do túnel. Numa situação de evacuação pelos túneis, não é adotada a possibilidade de cruzar os trilhos para caminhar de uma passarela de emergência à

outra da parede oposta, pois pode haver trens em circulação e não é uma situação segura do ponto de vista elétrico (em virtude da alimentação elétrica dos trens).

Entre as estações do trecho, ao longo do túnel, podem-se encontrar as saídas e poços (SEs, PVs e PVSEs) do Quadro 2, mostrados no mapa da figura 24:

	Via 1 (sentido VMN)	Via 2 (sentido SAU)
Saúde (SAU) – Praça da Árvore (ARV)	SE a 213m de SAU	SE a 214m de ARV PV a 350m de ARV
Praça da Árvore (ARV) – Santa Cruz (SCZ)	SE a 285m de ARV SE a 273m de SCZ	PVSE a 586m de SCZ
Santa Cruz (SCZ) – Vila Mariana (VMN)	SE a 242m de SCZ SE a 309m de VMN	PVSE a 526m de VMN

Quadro 2 – SEs, PVs e PVSEs do trecho Saúde – Vila Mariana da Linha 1-Azul do Metrô de São Paulo (METRÔ, 2009).

Percebe-se aqui que, para os subtrechos Praça da Árvore – Santa Cruz e Santa Cruz – Vila Mariana, existem três saídas possíveis: duas na Via 1 e uma na Via 2 (dotada de ventiladores – PVSE). O subtrecho Saúde – Praça da Árvore possui uma saída de emergência em cada via.

Não será estudado com detalhes em seguida o subtrecho Praça da Árvore – Santa Cruz, pois em termos de rota de fuga ele é análogo ao subtrecho Santa Cruz – Vila Mariana.

Nos diagramas a seguir, utilizam-se as seguintes notações:

- As estações são representadas por suas plataformas (retângulos paralelos) com as siglas operacionais (SAU, ARV, SCZ ou VMN). Em caso de incêndio no mezanino, as siglas estão em vermelho e, em caso de incêndio nas plataformas, os retângulos estão em vermelho.
- As Vias 1 e 2 possuem suas cores próprias (laranja e marrom, respectivamente) e as marcações em linha tracejada de mesma cor projetadas em cada via indicam o ponto médio entre uma saída possível e

outra (saídas de emergência ou estações). O número indicado nessa projeção é a distância até a saída (à esquerda ou à direita).

- As saídas de emergência (SEs) são indicadas por retângulos e os números marcados à esquerda e à direita delas são as distâncias até estações, SEs, PVs ou PVSEs mais próximos (projetados em linha tracejada preta ao longo do túnel), em metros.
- Os poços (PVs ou PVSEs) estão representados por círculos e os números marcados à esquerda e à direita deles são as distâncias até as estações, em metros.
- A porção do túnel marcada com a letra "A" refere-se à área de "dúvida" apresentada no item 5.2.2 (sinistro em plataformas ou em túneis). Ela é uma parte da extensão tomada pela fumaça, extensão essa que vai desde o ponto de sinistro até o poço de ventilação (PV ou PVSE). Nesta região "A", ambos os sentidos de fuga seriam possíveis. Optou-se por aplicar o critério de menor distância de fuga dentro de uma região já preenchida pela fumaça: metade do trecho teria placas indicando a saída sentido norte, metade indicando a saída sul.

Se fosse simplesmente escolhida a rota a partir da rotina de ventilação envolvida, optar-se-ia por afastar as pessoas da ocorrência, fazendo-as caminhar no mesmo sentido do fluxo da fumaça; porém, seria possível sujeitá-las a um maior percurso dentro da fumaça e a um maior percurso total, dependendo de sua posição ao longo do túnel dentro da área "A".

Sendo assim, dentro de uma região em que é possível tanto caminhar contra a fumaça para atingir uma SE próxima, quanto caminhar a favor da fumaça por alguns metros para atingir uma região "limpa", foi adotado o critério de menor percurso de rota de fuga dentro de uma área já sob efeito da fumaça.

- O asterisco vermelho indica um ponto de origem da ocorrência (incêndio) em túnel.
- As regiões verdes (clara e escura) com setas indicam regiões determinadas de rota de fuga. Dentro dessas regiões, todas as placas de sinalização de rota de fuga indicam para o mesmo sentido, dado pela seta (verde claro – esquerda; verde escuro – direita).

A seguir, são apresentados dois Estudos de Casos, para os subtrechos Saúde – Praça da Árvore e Santa Cruz – Vila Mariana.

ESTUDO DE CASO 1: Subtrecho Saúde – Praça da Árvore

A seguir, verificam-se as possibilidades de rotas de fuga, dados alguns tipos de sinistro, no subtrecho entre Saúde e Praça da Árvore (casos 1A a 1I).

1A – 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 30).

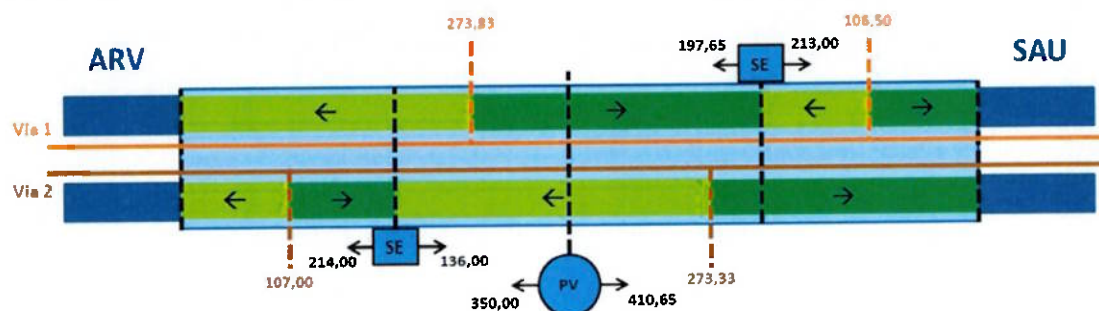


Figura 30 – Estado das placas de sinalização de rota de fuga (evacuação normal, ARV – SAU)

1B – 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 31).

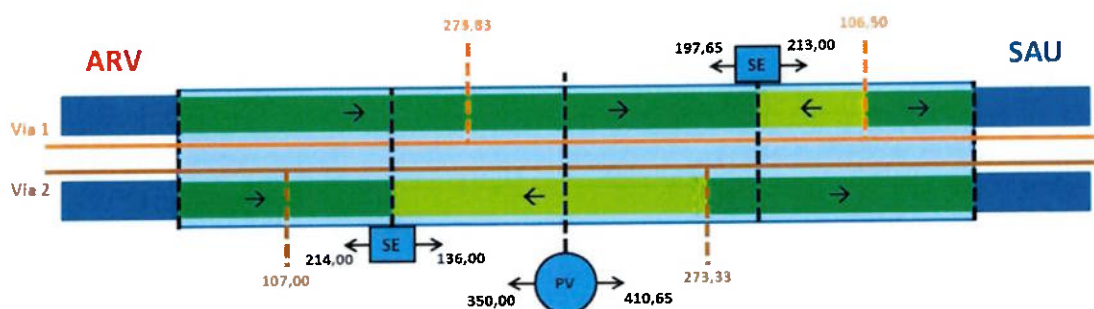


Figura 31 – Estado das placas de sinalização de rota de fuga (sinistro no mezanino de ARV, ARV – SAU)

1C – 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 32.

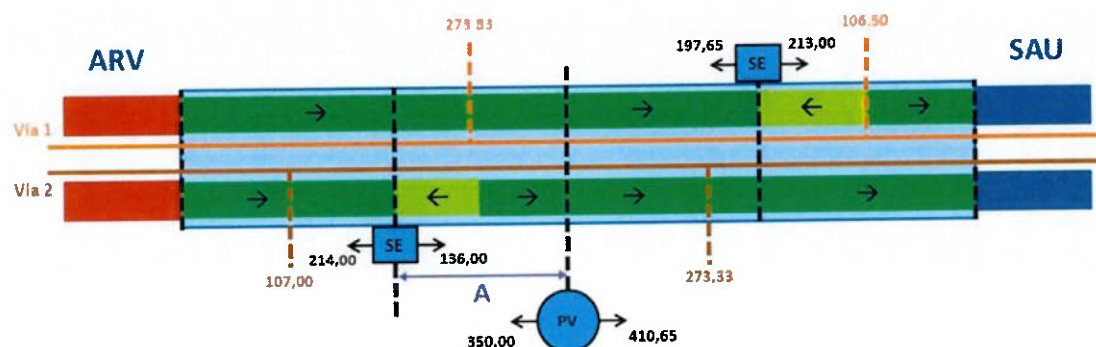


Figura 32 – Estado das placas de sinalização de rota de fuga (sinistro na plataforma de ARV, ARV – SAU)

1D – Incêndio localizado entre Praça da Árvore e a SE da Via 2

A análise é semelhante àquela do sinistro na plataforma de ARV (Figura 32). No entanto, deve-se afastar as pessoas do ponto de origem da ocorrência, conforme Figura 33.

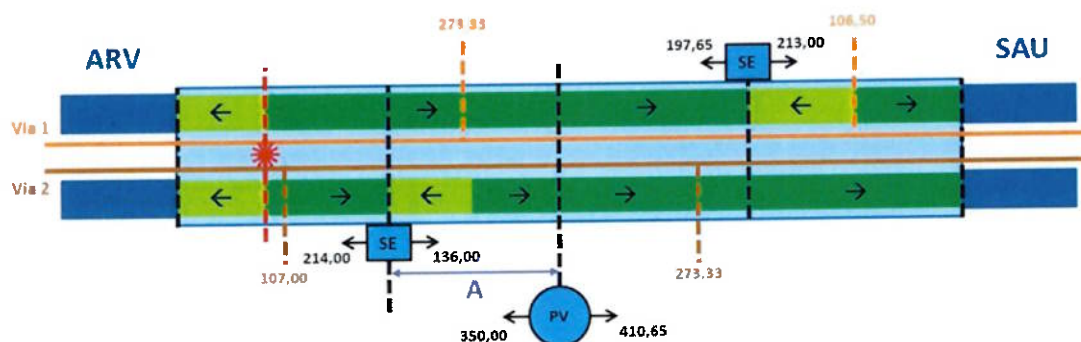


Figura 33 – Estado das placas de sinalização de rota de fuga (sinistro entre ARV e SE, ARV – SAU)

1E – 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 34).

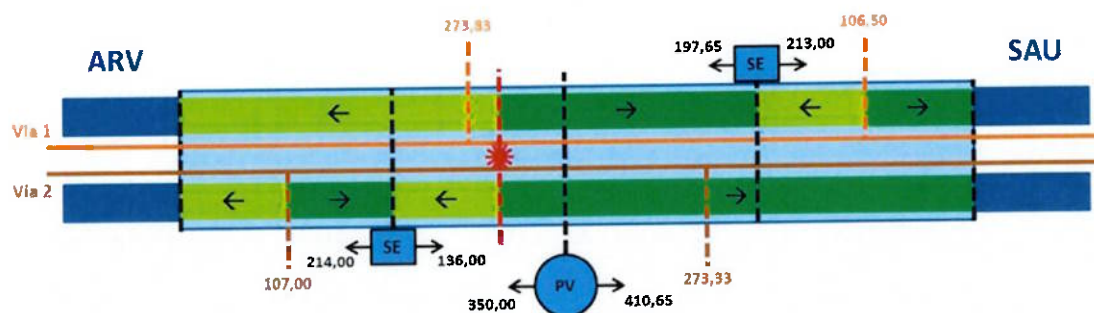


Figura 34 – Estado das placas de sinalização de rota de fuga (sinistro entre SE e PV, ARV – SAU)

1F – Incêndio localizado entre o PV e a SE da Via 1

Caso semelhante ao anterior. Deve-se considerar o afastamento das pessoas do ponto de origem da ocorrência como critério principal (vide Figura 35).

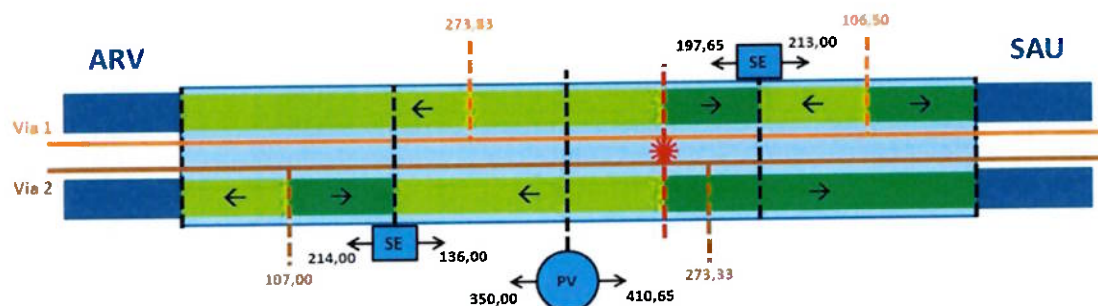


Figura 35 – Estado das placas de sinalização de rota de fuga (sinistro entre PV e SE, ARV – SAU)

1G – Incêndio localizado entre a SE da Via 1 e Saúde

A análise da área "A", marcada abaixo, torna-se novamente necessária. Deve-se considerar que nesta região as pessoas devem andar o menor percurso possível dentro da fumaça, que se desloca do ponto da ocorrência ao PV (conforme Figura 36).

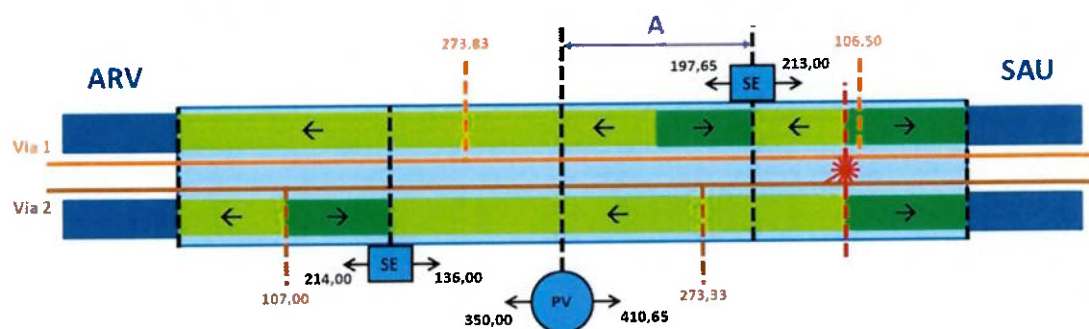


Figura 36 – Estado das placas de sinalização de rota de fuga (sinistro entre PV e SAU, ARV – SAU)

1H – Incêndio/fumaça na plataforma de Saúde

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 Saúde. A fumaça tende a se deslocar de Saúde ao PV. Na região “A”, optou-se por direcionar as pessoas de acordo com o menor trajeto possível dentro da fumaça (lembrando que entre o PV e SAU existe fumaça), conforme Figura 37.

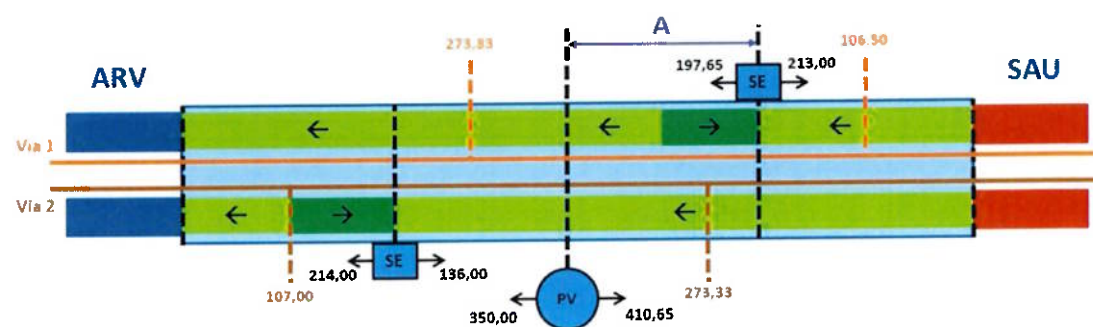


Figura 37 – Estado das placas de sinalização de rota de fuga (sinistro na plataforma de SAU, ARV – SAU)

1I – Incêndio/fumaça no mezanino de Saúde

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 Saúde (vide Figura 38).

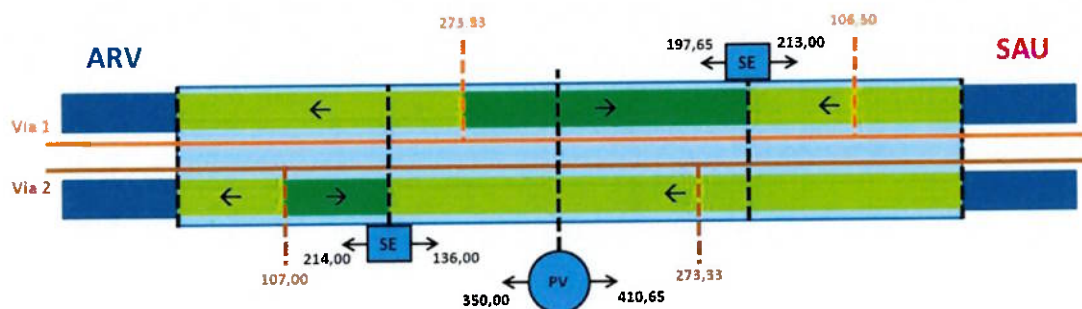


Figura 38 – Estado das placas de sinalização de rota de fuga (sinistro no mezanino de SAU, ARV – SAU)

ESTUDO DE CASO 2: Subtrecho Santa Cruz – Vila Mariana

A seguir, apresentam-se somente os diagramas de determinação de rota de fuga para o subtrecho Santa Cruz – Vila Mariana (casos 2A a 2I), considerando os mesmos critérios utilizados no subtrecho Saúde – Praça da Árvore.

Nota-se que existe uma saída a mais neste subtrecho (PVSE na Via 2 e duas SEs na Via 1). O subtrecho Praça da Árvore – Santa Cruz não será analisado, pois é análogo.

2A – Situação normal (evacuação normal, Figura 39)

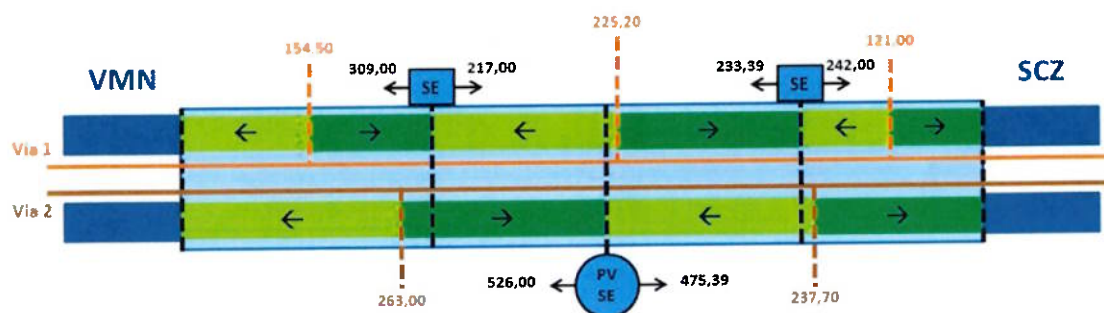


Figura 39 – Estado das placas de sinalização de rota de fuga (evacuação normal, VMN – SCZ)

2B – Incêndio/fumaça no mezanino de Vila Mariana (Figura 40)

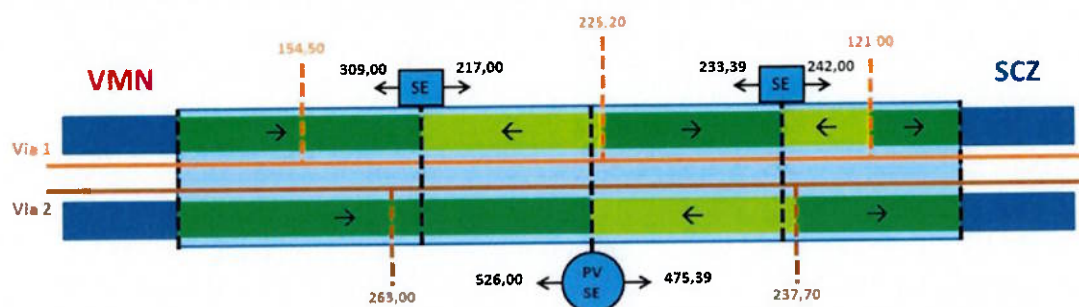


Figura 40 – Estado das placas de sinalização de rota de fuga (sinistro no mezanino de VMN, VMN – SCZ)

2C – Incêndio/fumaça na plataforma de Vila Mariana (Figura 41)

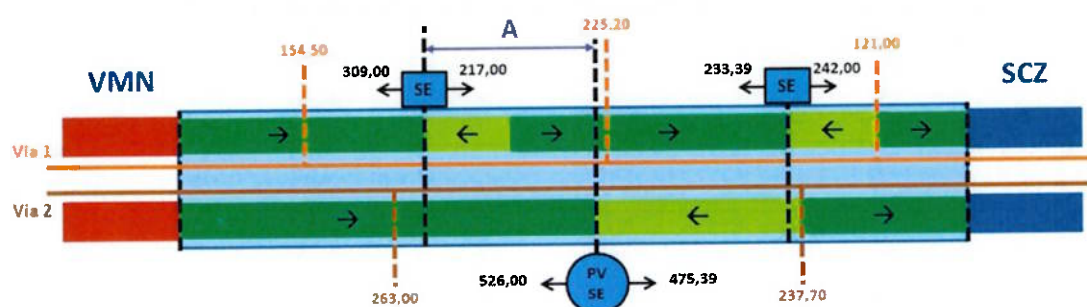


Figura 41 – Estado das placas de sinalização de rota de fuga (sinistro na plataforma de VMN, VMN – SCZ)

2D – Incêndio localizado entre Vila Mariana e a SE da Via 1 mais próxima (Figura 42)

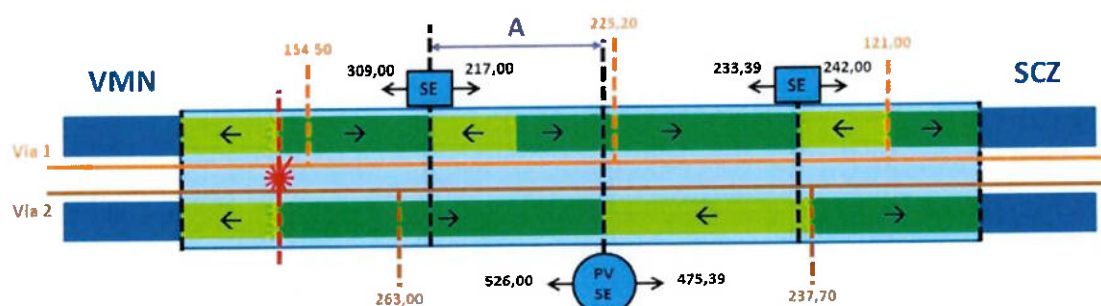


Figura 42 – Estado das placas de sinalização de rota de fuga (sinistro entre VMN e SE, VMN – SCZ)

2E – Incêndio localizado entre a SE da Via 1 (mais próxima de VMN) e o PVSE (Figura 43)

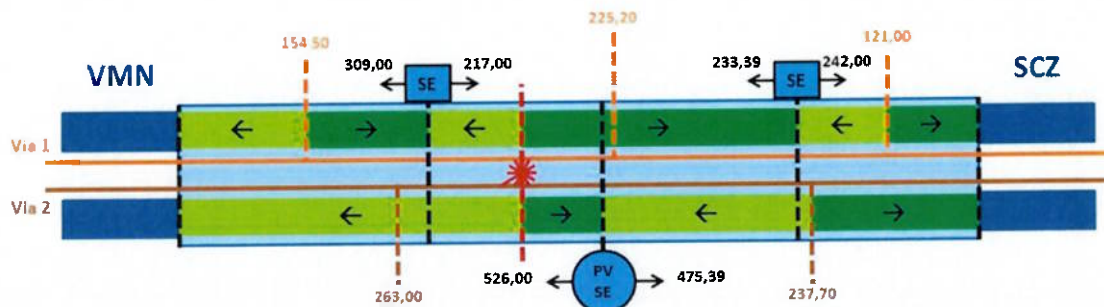


Figura 43 – Estado das placas de sinalização de rota de fuga (sinistro entre SE e PVSE, VMN – SCZ)

2F – Incêndio localizado entre o PVSE e a SE da Via 1 (mais próxima de SCZ, Figura 44)

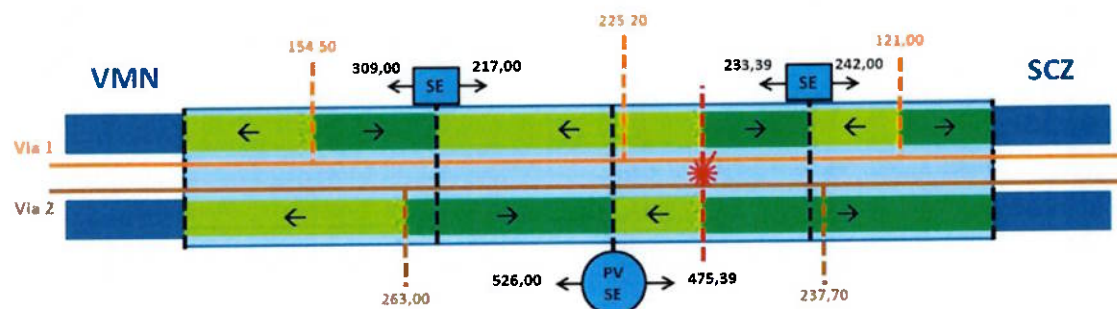


Figura 44 – Estado das placas de sinalização de rota de fuga (sinistro entre PVSE e SE, VMN – SCZ)

2G – Incêndio localizado entre Santa Cruz e a SE da Via 1 mais próxima (Figura 45)

4.2.5 Resumo do Método de Determinação de Rota de Fuga

Em resumo, após a análise de caso do trecho Saúde – Vila Mariana, pode-se considerar que o método de determinação de rota de fuga adotado neste trabalho segue os seguintes critérios:

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.

Observação: Para o caso de sinistro em mezaninos, acessos ou salas de uma estação (exceto plataforma), é adotada a menor distância como rota de fuga, porém as pessoas nunca são direcionadas à estação com problema.

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.

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

Observações:

- Diante de uma ocorrência de incêndio, existe a possibilidade de existência de fumaça nas áreas sob este critério, porém não é possível direcionar as pessoas no sentido do fogo (fonte do sinistro).
- Este critério é utilizado em caso de outros tipos de ocorrência (não relacionadas a fogo e fumaça) como, por exemplo, tumultos. No caso de tumulto em estação, a configuração das rotas é idêntica ao de incêndio/fumaça nos mezaninos/acessos.

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 (áreas “A”, explicadas acima).

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 no Capítulo 2, bem como evitar as consequências da intoxicação.

Os estudos e considerações apresentados surgiram após uma série de discussões em grupo com diversos especialistas de projeto, operação e segurança do trabalho da CMSP. Também houve a base de toda a experiência adquirida pela pesquisa de acidentes passados (Capítulo 2), da literatura disponível sobre o assunto e das tendências de funcionamento dos sistemas de ventilação em estações subterrâneas, que se observam em testes operacionais e culminam na adoção das rotinas de ventilação estudadas. Por fim, avalia-se como mais adequada a utilização dos três critérios acima na determinação do sentido das placas de sinalização de rota de fuga.

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.

Do ponto de vista de manutenção, a concepção do SGRF explicada neste capítulo exige uma baixa taxa de falha dos componentes, principalmente das placas eletrônicas e do novo módulo gerador DTMF. Algumas políticas de manutenção preditiva, preventiva e corretiva, as quais não são desenvolvidas neste trabalho, deveriam ser elaboradas de modo a garantir um bom desempenho do sistema.

A seguir, é desenvolvida uma proposta de solução de software a partir da concepção e arquitetura do SGRF explanadas neste Capítulo e dos critérios de determinação de rota de fuga estudados. Como a solução de determinação de rotas é feita por software, pode-se destacar que as possibilidades de flexibilizar o sistema são grandes. Com a experiência de testes mais aprofundados, é plenamente possível a utilização de outros critérios que se julguem necessários para determinar as rotas de fuga a partir do sistema atual, em acréscimo aos considerados neste trabalho.

5 IMPLEMENTAÇÃO DE SOLUÇÃO POR SOFTWARE

O software apresentado neste capítulo é o elemento que permitirá ao SGRF fazer a automatização e gerenciamento do Sistema de Sinalização de Rotas de Fuga atual, bem como fará com que este possa ser “visto” pelo CCO como um sistema único, conforme apresentado na seção 4.1.

Esse software é baseado em uma arquitetura cliente-servidor em que, para determinadas funções, ambos (SGRF Central e SGRF Local) assumem o papel de cliente e de servidor.

No desenvolvimento deste software, houve uma preocupação em atender, principalmente, aos requisitos de segurança, usabilidade e ergonomia.

Como principal fator para o atendimento aos requisitos de ergonomia, optou-se por utilizar, no desenvolvimento do software, cores leves e objetos estáticos. Com a finalidade de se obter destaque, somente em casos de ocorrências ou falhas do sistema, o software apresentará, em sua tela, mensagens e alarmes com cores mais fortes.

Como principal fator para o atendimento aos requisitos de 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 poderá operá-lo sem dificuldades.

Como principais fatores para o atendimento aos requisitos de 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.

O SGRF, conforme exposto na seção 4.1, é composto pelo SGRF Central e por SGRFs Locais, distribuídos nas respectivas estações. Em cada estação e no CCO haverá uma IHM desenvolvida em *Delphi*, rodando em *Windows*, para interface

com o operador da respectiva localidade, além de um servidor com uma base de dados criada em *MySQL*.

5.1 Características Gerais do Software

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

5.1.1 Funcionamento

Inicialmente, ao ligar as IHMs e servidores do SGRF, o sistema verifica em suas bases de dados locais (estações) qual o seu modo de controle e qual o último estado de cada placa de sinalização de rotas de fuga gravado. Após esta verificação, o sistema entra em sua rotina estável, adotando como critério de direcionamento das placas o exposto na seção 4.2 deste trabalho, e fica aguardando que algum evento ocorra. 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 expostos na seção 4.2.4, 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 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. Esse procedimento visa melhorar o desempenho do sistema, de forma que ele não necessite ficar consultando o tempo todo a base de dados; também permite que a informação trocada seja feita por mensagem diretamente entre o SGRF Central e o SGRF Local de onde a alteração seja necessária. Porém, nesse modo, corre-se o risco de uma mensagem, por um motivo qualquer, nunca chegar ao seu destino. Para solucionar esse problema, mantendo-se a segurança e desempenho, chegou-se à configuração desse procedimento, fazendo com que o sistema só recorra à base de dados quando não houver recebido a mensagem do CCO por um determinado período.

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 (demonstrados no item 4 da Figura 48) e pelas localidades dentro de um trecho sob o domínio da respectiva estação.

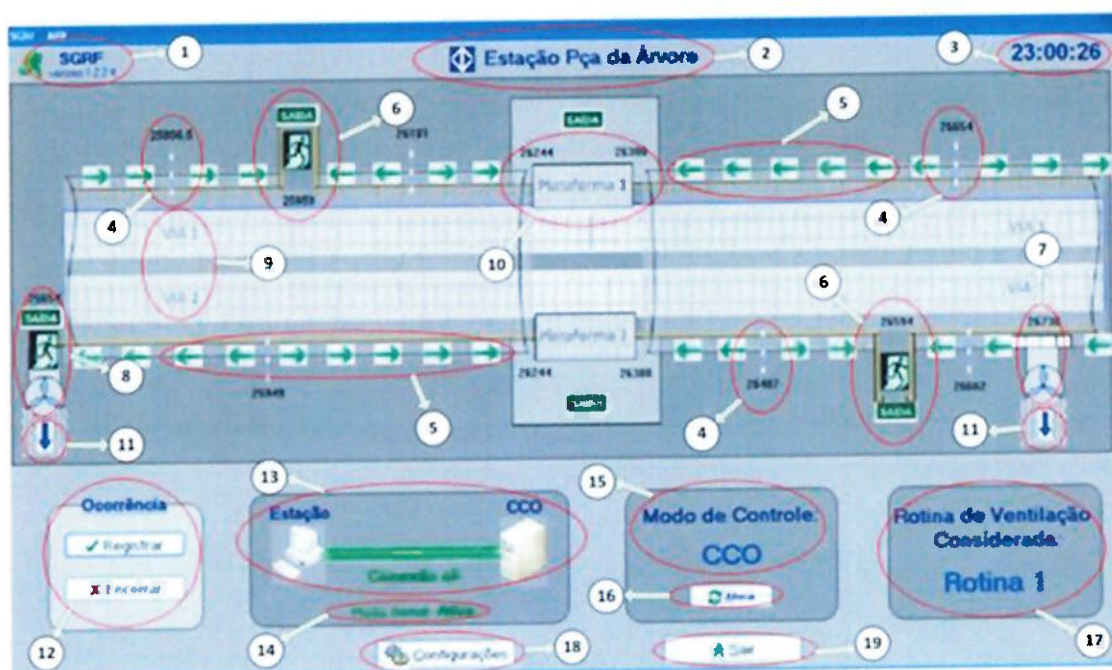


Figura 48 - Tela principal da IHM Local do SGRF da Estação Praça da Árvore

Dentre as possíveis ações do operador, destacamos a possibilidade de que ele clique em um determinado grupo de placas e altere o seu direcionamento. No instante em que isso ocorrer, o sistema passará o modo de controle automaticamente para manual (CCO ou Estação).

5.1.2 Apresentação da IHM de uma estação-tipo

Apresenta-se, a seguir, a IHM de uma estação-tipo. Neste caso, foi considerada a IHM da Estação Praça da Árvore (ARV). As funcionalidades das outras estações são exatamente as mesmas utilizadas na estação-tipo. As funcionalidades da IHM do CCO, com pouquíssimas e não relevantes exceções, também são as mesmas da estação-tipo. O que diferencia as telas de cada estação é o *layout*, pois são utilizados, em cada tela, os pontos reais (coordenadas quilométricas de estações, PVs, SEs, PVSEs etc.) de cada localidade. A tela do CCO apresenta a junção das telas de todas as estações da respectiva linha do Metrô. Neste trabalho, foi utilizado o trecho Saúde – Vila Mariana da Linha 1-Azul do Metrô de São Paulo.

A tela principal do SGRF Local apresenta as SEs, os PVs, os PVSEs e as plataformas, bem como as placas de sinalização de rotas de fuga do trecho sob o domínio da respectiva estação. Ela apresenta também o *status* da comunicação serial (porta RS 232) entre SGRF Local e Módulo DTMF (item 14 da Figura 48).

A tela principal do SGRF Central apresenta as SEs, os PVs, os PVSEs, as plataformas, bem como as placas de sinalização de rotas de fuga de todas as estações da respectiva linha de metrô.

A tela principal do SGRF, de forma geral (Central e Local), apresenta os seguintes componentes, visualizados na Figura 48:

- Nome do sistema e indicação da versão do software (item 1), possibilitando um controle sobre eventuais atualizações do sistema.
- Nome da respectiva localidade (item 2).
- Relógio (item 3), que além de informar o horário ao operador, possibilita a certificação de que o software não esteja travado ou com a tela congelada, pois, o sistema pode ficar estático por longos períodos, sem

apresentar alterações na tela. Portanto, um eventual congelamento de tela poderia fornecer ao operador uma informação incorreta da situação e levar um período considerável de tempo para ser detectado.

- Marcadores das divisões dos grupos de placas de sinalização de rotas de fuga, indicando a posição (quilômetro) em relação à via (item 4).
- Placas de sinalização de rotas de fuga (item 5). Esses elementos são dinâmicos e representam o estado real das placas de sinalização de rotas de fuga do respectivo trecho. O sentido das placas é alterado pelo SGRF.
- SEs (item 6).
- PVs (item 7).
- PVSEs (item 8).
- Vias (item 9).
- Plataformas (item 10).
- Indicação do fluxo de ar dos ventiladores do SVP (item 11). Essa indicação é dinâmica e representa o estado dos ventiladores que pode ser: Insuflador (ar entrando no sistema metroviário); Exaustor (ar saindo do sistema metroviário); ou Desligado, conforme apresentado na seção 3.3.1. No caso da Linha 1-Azul do Metrô de São Paulo, são apenas dois estados: Ligado (Exaustor) e Desligado, pois não existe a condição de Insuflador (conforme explicado na seção 4.2.2).
- Botões para abertura e encerramento de ocorrência pelo operador (item 12).
- Indicação do *status* da comunicação (conexão física e lógica) entre SGRF Central e SGRFs Locais (item 13). Essa é uma indicação dinâmica que pode assumir dois estados: conexão "OK" ou falha na conexão.
- Indicação do *status* do modo de controle. Essa indicação é dinâmica e pode assumir os estados: CCO Automático; CCO Manual; Local Automático; ou Local Manual (item 15).
- Botão de alteração do modo de controle (item 16). Após a ocorrência de um evento, automático ou não, que tenha levado o sistema aos modos de controle Locais (automático ou manual), o sistema só retornará aos modos CCO (automático ou manual) por ação humana.

- Indicador da rotina operacional do SVP (item 17). Essa indicação é dinâmica e demonstra a rotina do SVP considerada pelo SGRF para a tomada de decisão da melhor rota de fuga adotada, conforme os critérios apresentados na seção 4.2. Essa indicação auxilia o operador, possibilitando uma comparação com a tela do SVP, permitindo a verificação de possíveis inconsistências existentes entre a tomada de decisão automática (programada) no SGRF e a ação humana adotada e informada para o SVP (comando de rotina operacional do SVP).
- Botão de configurações (item 18). Por meio desse botão, o operador tem acesso a todas as configurações do sistema, tais como configuração dos tempos de envio de mensagens às placas de sinalização de rotas de fuga ou informações de conexão com os servidores.
- Botão Sair (item 19). Por meio desse botão, o operador encerra o software (IHM).

5.2 Requisitos Considerados

A seguir, são apresentados os requisitos não funcionais e funcionais do software desenvolvido. Os fluxogramas, telas do sistema e sua base de dados são disponibilizados nos Anexos B, C e D deste trabalho.

5.2.1 Requisitos não funcionais

O SGRF deve:

- Operar em plataforma *Windows* (*Windows XP* e *Windows 7*);
- Utilizar a base de dados *MySQL* versão 5 ou superior;
- Fazer sincronismo horário com o servidor NTP da CMSP;
- Utilizar os protocolos de transporte (camada 4 do modelo OSI) TCP/IP e UDP;
- Possuir interfaces simples e amigáveis;
- Possuir um relógio que permita a verificação de que não houve congelamento de tela;

- Permitir ao operador efetuar as configurações disponíveis no sistema;
- Atender aos seguintes requisitos mínimos de hardware:
 - As IHMs deverão possuir processadores de dois núcleos de 2,0GHz, memória RAM de 2GB, HD de 500GB, 3 interfaces USB, 2 interfaces *Fast Ethernet*, placa de vídeo dedicada de 2GB, monitor de 22 polegadas, placa de som, caixas acústicas, teclado, mouse e leitor/gravador de CD e DVD.
 - Os servidores deverão possuir processadores de quatro núcleos de 2,5GHz, memória RAM de 8GB, 3 HDs de 2TB cada (funcionando em RAID 5), 4 interfaces USB, 1 interface serial do tipo RS232 (poderá ser utilizado adaptador USB / Serial), 2 interfaces *Ethernet* Gbps, placa de vídeo dedicada de 2GB, placa de som, caixas acústicas, console KVT (*Keyboard, Video e Touchpad*) para rack de 19 polegadas, leitor/gravador de CD e DVD e fontes redundantes.

5.2.2 Requisitos funcionais:

O SGRF deve:

- Funcionar como um sistema único;
- Atender os requisitos de direcionamento das placas de rotas de fuga, conforme apresentado na seção 4.2;
- Enviar periodicamente o último comando registrado no sistema para as placas reais de sinalização de rotas de fuga, de modo a minimizar a possibilidade de não recebimento do comando pelas placas;
- Implementar um modo de controle do sistema, de forma a garantir que, num determinado instante, somente uma entidade (SGRF Central ou SGRF Local, de forma automática ou por meio de ação humana) comande as placas de sinalização de rotas de fuga de uma determinada localidade;
- Deverá passar automaticamente para modo de controle manual, caso seja dado um comando por um operador (ação humana), enviando essa

informação e mantendo-a na tela, tanto para o SGRF Central, quanto para o SGRF Local da respectiva estação;

- Exigir a confirmação de qualquer comando a ser realizado pelo sistema, o qual tenha sido disparado por meio de ação humana;
- Apresentar, na tela, a rotina do SVP considerada para a determinação do sentido das placas de sinalização de rotas de fuga;
- Apresentar, na tela, a posição real das placas de sinalização de rotas de fuga;
- Apresentar, na tela, o *status* dos ventiladores do SVP;
- Apresentar, na tela, o *status* da conexão entre o SGRF Central e o SGRF Local da respectiva estação;
- Quando se tratar de SGRFs Locais, apresentar, na tela, o *status* das respectivas portas seriais (porta de conexão com o Módulo Gerador DTMF);
- Informar aos operadores, por meio de alarmes sonoros e visuais, quando houver:
 - Falhas de comunicação;
 - Anormalidades no sistema;
 - Novas ocorrências;
- Permitir ao operador:
 - Registrar ou encerrar uma ocorrência;
 - Alterar a posição de qualquer placa de sinalização de rotas de fuga;
 - Alterar o modo de controle do sistema.

5.3 Fluxogramas

Os fluxogramas de software do SGRF podem ser verificados no Anexo B.

5.4 Telas

As telas desenvolvidas para as IHMs do SGRF podem ser verificadas no Anexo C.

5.5 Bases de Dados

As bases de dados consideradas neste trabalho para o trecho Saúde – Vila Mariana, conforme seção 4.2.4 deste trabalho, podem ser verificadas no Anexo D.

5.6 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 CONCLUSÃO E COMENTÁRIOS FINAIS

6.1 Conclusão

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:

- 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.

6.2 Propostas de Trabalhos Futuros

Como sugestões de trabalhos futuros, são apresentadas algumas propostas de continuidade nesta linha de pesquisa:

- Complementação da proposta apresentada neste trabalho, integrando informações do DI das estações ao SGRF e viabilizando a completa interface com um futuro sistema de detecção de incêndio em túneis;
- Integração das informações do SVP ao SGRF proposto, de forma automática, com a disponibilização da informação sobre as rotinas de ventilação aplicadas instantaneamente, possibilitando a verificação de inconsistências entre a rotina utilizada e a rotina considerada ideal para a situação de emergência (conforme estudado neste trabalho);
- Integração do SGRF proposto com o Sistema de Sinalização de trens, de forma a obter as posições de cada trem ao longo da via em caso de necessidade de evacuação, e possivelmente com o sistema de monitoração eletrônica (câmeras), para facilitar a localização da ocorrência e acompanhamento dos usuários em situação de emergência;
- Estudo de disponibilidade e confiabilidade do sistema de sinalização de rotas de fuga atual e proposta de políticas de manutenção preditiva, preventiva e corretiva para o SGRF proposto;
- Simulação do SGRF proposto com a aplicação de testes em túneis e elaboração de possíveis critérios adicionais de determinação de rota de fuga, a partir dos resultados dos testes, conforme necessidade;
- Instalação de placas de rota de fuga compostas de painéis de LED com interfaces *Ethernet* para projetos de novas linhas de metrô. Tais placas indicariam um sentido ou outro de rota de fuga no mesmo painel (e não em painéis diferentes, como hoje), possibilitando maior inteligência e facilidade de comunicação com os sistemas controladores;
- Concepção, projeto e implantação de um SGRF dualizado (Estações e CCO), de forma a aumentar sua disponibilidade.

6.3 Recomendações

Vista a importância de se localizar com maior precisão o ponto de origem do sinistro ou o foco de incêndio ao longo da malha metroviária, considera-se como um avanço importante a especificação e implantação de um sistema de detecção de incêndio nos túneis. Uma proposta interessante desse sistema em túneis é

apresentada em um trabalho técnico recente por parte do Metrô de São Paulo (MORI; PINTO, 2010).

Com a possibilidade de se determinar pontualmente um foco de sinistro ao longo de um trecho de via, a integração desse sistema com o SGRF proposto neste trabalho é um recurso importante, que complementa a visão de uma situação de emergência na linha metroviária como um todo (tanto estações e pátios quanto vias).

Considera-se importante, também, como sequência deste trabalho, a implementação de um protótipo do SGRF e a realização de testes com o software proposto para ele, tanto no trecho de estudo considerado (Saúde – Vila Mariana), quanto na Linha 1-Azul como um todo, para a verificação de comportamento do sistema e simulações integradas aos testes de ventilação e fumaça. Em tal ocasião, seria possível avaliar a necessidade de critérios adicionais de determinação de rotas de fuga e a aplicabilidade do modelo proposto para outras linhas do metrô de São Paulo.

7 REFERÊNCIAS

7.1 Referências Citadas no Texto

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.

BBC NEWS. **Austria tunnel fire blamed on heater**. BBC News Europe, Sept. 6, 2001. Disponível em: <<http://news.bbc.co.uk/2/hi/europe/1528917.stm>>. Acesso em: 21 out. 2012.

_____. **History of train tunnel tragedies**. BBC News World Edition, Feb. 18, 2003. Disponível em: <<http://news.bbc.co.uk/2/hi/europe/2775245.stm>>. Acesso em: 21 out. 2012.

_____. **1987: 'There but for the grace of God go I'**. BBC Witness, 2008. Disponível em: <http://news.bbc.co.uk/onthisday/hi/witness/november/18/newsid_3739000/3739840.stm>. Acesso em: 21 out. 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.

GUARDIAN. 16 cleared over ski train fire. **The Guardian**, Feb. 19, 2004. Disponível em: <<http://www.guardian.co.uk/world/2004/feb/19/austria>>. Acesso em: 21 out. 2012.

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.

MORI, F.; PINTO, W.C.T. **Deteção 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.

MOSEMAN, A. 10 lessons learned from past rail accidents. **Popular Mechanics**, Oct. 1, 2009. Disponível em: <<http://www.popularmechanics.com/science/4322631>>. Acesso em: 21 out. 2012.

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

7.2 Demais Referências Consultadas

METRÔ – COMPANHIA DO METROPOLITANO DE SÃO PAULO.

_____. Documento interno CS-9.83.TD.XX/3XX-001 **Concepção do Sistema de Transmissão de Dados das Linhas 1, 2 e 3 – STD**, 2007.

_____. Documento interno DE-9.84.50.XX/699-001 **Placa de Sinalização de Rota de Fuga em Saída de Emergência**, 2012.

_____. Documento interno DE-9.84.50.XX/699-002 **Placa de Sinalização de Rota de Fuga em Escadas Ascendentes em Saída de Emergência**, 2012.

_____ Documento interno DE-9.84.50.XX/699-003 **Placa de Sinalização de Rota de Fuga em Escadas Descendentes em Saída de Emergência**, 2012.

_____ Documento interno DE-9.84.50.XX/699-004 **Placa de Sinalização e Distanciamento do Sistema de Rota de Fuga**, 2012.

_____ Documento interno DE-9.84.50.XX/699-006 **Módulo de Sinalização de Balizamento do Sistema de Rota de Fuga**, 2012.

_____ Documento interno DE-9.84.50.XX/699-011 **Painel de Controle de Sinalização do Sistema de Rota de Fuga (PCRF)**, 2012.

_____ Documento interno DE-9.89.50.XX/699-015 **Placa de Sinalização de Saída em Saída de Emergência**, 2012.

_____ Documento interno DE-9.84.50.XX/699-022 **Caixa da Placa de Sinalização e Distanciamento do Sistema de Rota de Fuga em Trecho a Céu Aberto**, 2012.

_____ Documento interno DG-9.84.50.XX/699-002 **Diagrama Unifilar das Placas de Sinalização e Distanciamento do Sistema de Rota de Fuga**, 2012.

_____ Documento interno DS-1.84.50.DA/699-001 **Dossiê das Distâncias das Placas de Sinalização Sentido/Distância e Plaquetas de Identificação das Caixas de Alimentação e Controle do Sistema de Rota de Fuga da Estação São Judas**, 2012.

_____ Documento interno DS-1.84.50.EA/699-001 **Dossiê das Distâncias das Placas de Sinalização Sentido/Distância e Plaquetas de Identificação das Caixas de Alimentação e Controle do Sistema de Rota de Fuga da Estação Saúde**, 2012.

_____ Documento interno DS-1.84.50.FA/699-001 **Dossiê das Distâncias das Placas de Sinalização Sentido/Distância e Plaquetas de Identificação das Caixas de Alimentação e Controle do Sistema de Rota de Fuga da Estação Praça da Árvore**, 2012.

_____ Documento interno DS-1.84.50.GA/699-001 **Dossiê das Distâncias das Placas de Sinalização Sentido/Distância e Plaquetas de Identificação das Caixas de Alimentação e Controle do Sistema de Rota de Fuga da Estação Santa Cruz**, 2012.

_____ Documento interno DS-1.84.50.HA/699-001 **Dossiê das Distâncias das Placas de Sinalização Sentido/Distância e Plaquetas de Identificação das Caixas de Alimentação e Controle do Sistema de Rota de Fuga da Estação Vila Mariana**, 2012.

_____ Documento interno DS-1.84.50.IA/699-001 **Dossiê das Distâncias das Placas de Sinalização Sentido/Distância e Plaquetas de Identificação das Caixas de Alimentação e Controle do Sistema de Rota de Fuga da Estação Ana Rosa**, 2012.

_____ Documento interno EQ-1.84.50.EA/699-001 **Esquema Unifilar do PCRF da Estação Saúde**, 2012.

_____ Documento interno EQ-1.84.50.FA/699-001 **Esquema Unifilar do PCRF da Estação Praça da Árvore**, 2012.

_____ Documento interno EQ-1.84.50.GA/699-001 **Esquema Unifilar do PCRF da Estação Santa Cruz**, 2012.

_____ Documento interno EQ-9.84.50.XX/699-001 **Placa de Alimentação e Controle do Sistema de Rota de Fuga**, 2012.

_____ Documento interno PT-9.84.50.XX/699-002 **Procedimento de Testes de Aceitação em Campo (Comissionamento) das Instalações do Sistema de Rota de Fuga**, 2012.

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

ANEXO A: PESQUISA – ROTAS DE FUGA EM TÚNEIS DE OUTRAS OPERADORAS METROVIÁRIAS

1) Existe sinalização de rotas de fuga em túneis das linhas de metrô em sua cidade?

Operadora 1: Sim.

Operadora 2: Há placas de localização ao longo das paredes dos túneis que mostram as direções e distância até o próximo local de saída. Porém, os usuários não devem se mover pelos túneis e encontrar as rotas por si próprios: devem contar com a assistência dos funcionários.

Operadora 3: Não. A rede metroviária possui passarelas de emergência em três setores. O procedimento de evacuação de trens passa por autorização do centro de controle operacional, que permite a saída dos usuários pelas escadas (próximo ao engate entre carros e à cabine) para a via ou passarela. Se não houver passarela de emergência no trecho, é imperativo o desligamento da energia de tração dos trens. Os agentes de segurança são orientados a conduzir as pessoas à estação mais próxima e há um equipamento especial para transporte de pessoas com deficiência, com mobilidade reduzida ou idosos.

Operadora 4: Não. O condutor do trem é responsável por organizar e coordenar ações de evacuação enquanto um inspetor – chefe de estação ou profissional de autoridade – não estiver presente. Neste ínterim, o condutor do trem mantém contato constante com o centro de controle operacional, que determina as primeiras instruções e coordena o apoio aos usuários.

Operadora 5: Sim, nas vias subterrâneas. Nas vias elevadas, existem grades com portões de acesso em intervalos regulares, identificados por meio de um número que poderá ser dado como referência pelo operador que conduz as pessoas.

2) Para que locais as rotas de fuga instaladas em túneis dirigem as pessoas (poços de ventilação e saída de emergência, estações, outros locais etc.)?

Operadora 1: Principalmente para escadas fixas nas estações, pois escadas rolantes e elevadores não são considerados no evento de evacuação.

Operadora 2: Geralmente para as estações, mas também para poços de saída de emergência ou de manutenção e saídas de túneis.

Operadora 3: Não há sinalização de rota de fuga nos túneis, porém os agentes de segurança são responsáveis por conduzir as pessoas para as estações mais próximas ou poços de saída de emergência.

Operadora 4: Geralmente para as estações.

Operadora 5: As placas indicam a direção das estações e a distância até a próxima plataforma. Além disso, em uma das linhas, composta por túneis paralelos, cada qual com sua via, existem passagens de interligação que promovem certo isolamento da área afetada, permitindo acesso seguro às plataformas da estação mais próxima. Na mesma linha, existem rotas de fuga através de acessos de serviço.

3) As placas de indicação são iluminadas? De que forma, em termos gerais?

Operadora 1: Sim. Existem alguns modelos de placas com iluminação traseira e suporte da alimentação elétrica de emergência e outros fotoluminescentes.

Operadora 2: Não possuem iluminação própria, mas os túneis possuem luminárias de emergência que foram projetadas para iluminar também as placas de rota de fuga.

Operadora 3: Não se aplica.

Operadora 4: Não se aplica.

Operadora 5: As placas de rota de fuga são fotoluminescentes. Os túneis são equipados com iluminação normal, que permanece ligada todo o tempo, bem como iluminação de emergência.

4) Existe sistema de detecção de incêndio implantado em túneis nas linhas de metrô de sua cidade?

Todas as operadoras responderam que não há sistema de detecção de incêndio em túneis, sendo que ele existe nas estações, salas de equipamentos, pátios e locais administrativos. A Operadora 5 respondeu que em duas de suas linhas existem sistemas de controle de fumaça que são ativados automaticamente em determinadas situações e podem ser isolados manualmente.

5) O sistema de sinalização de rotas de fuga em túneis é capaz de decidir qual é a rota segura (qual a direção / o sentido), dada uma determinada situação de sinistro?

Todas as operadoras responderam “Não”. Os sistemas de rota de fuga existentes nas operadoras são estáticos e não estão intertravados a nenhum outro sistema de segurança.

6) Em caso de resposta positiva à pergunta 5, o sistema de sinalização de rotas de fuga está intertravado com algum outro sistema (ventilação, detecção de incêndio, sinalização dos trens etc.)?

A pergunta não se aplicou a nenhuma operadora.

7) Em caso de resposta positiva à pergunta 5, o sistema de sinalização de rotas de fuga é capaz de fornecer informações de rota determinada a outros sistemas de segurança de interesse (ventilação, detecção de incêndio, sinalização dos trens etc.)?

A pergunta não se aplicou a nenhuma operadora.

8) Quais normas internacionais a operadora leva em consideração na elaboração de projetos de sinalização de rota de fuga?

Operadora 1: Nenhuma em particular. Somente utiliza normas existentes no país.

Operadora 2: Nenhuma em particular. Somente utiliza normas existentes no país.

Operadora 3: Não se aplica.

Operadora 4: Não se aplica.

Operadora 5: Nenhuma em particular. Somente utiliza normas existentes no país e internacionais de modo a orientar seus projetos.

ANEXO B: FLUXOGRAMAS DE SOFTWARE DO SGRF

Para desenvolver o software do SGRF, foram desenvolvidos os fluxogramas das Figuras B1, B2, B3, B4, B5, B6 e B7 a seguir.

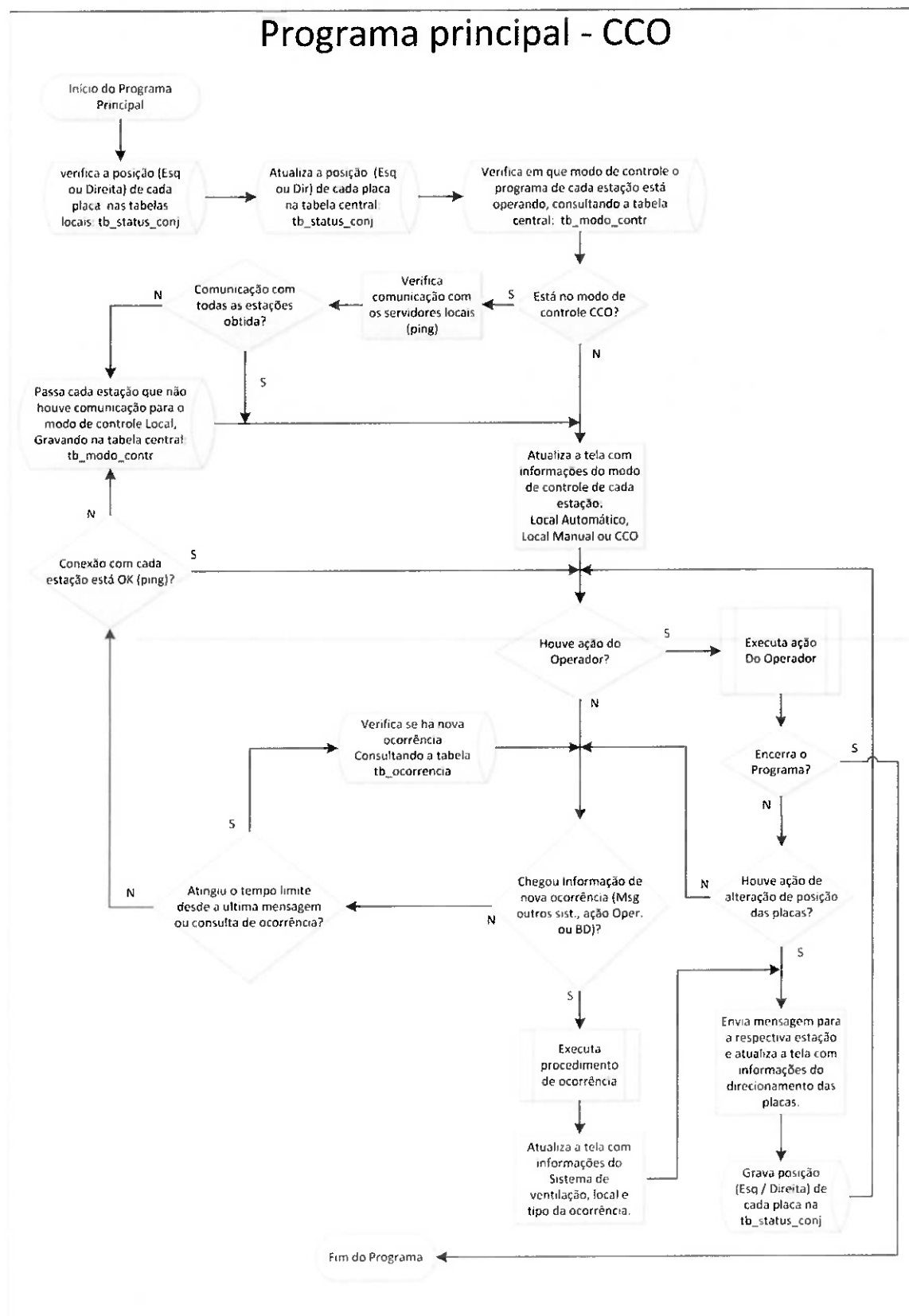


Figura B1 – Fluxograma de software do programa principal do SGRF (CCO)

Procedimento ocorrência - CCO

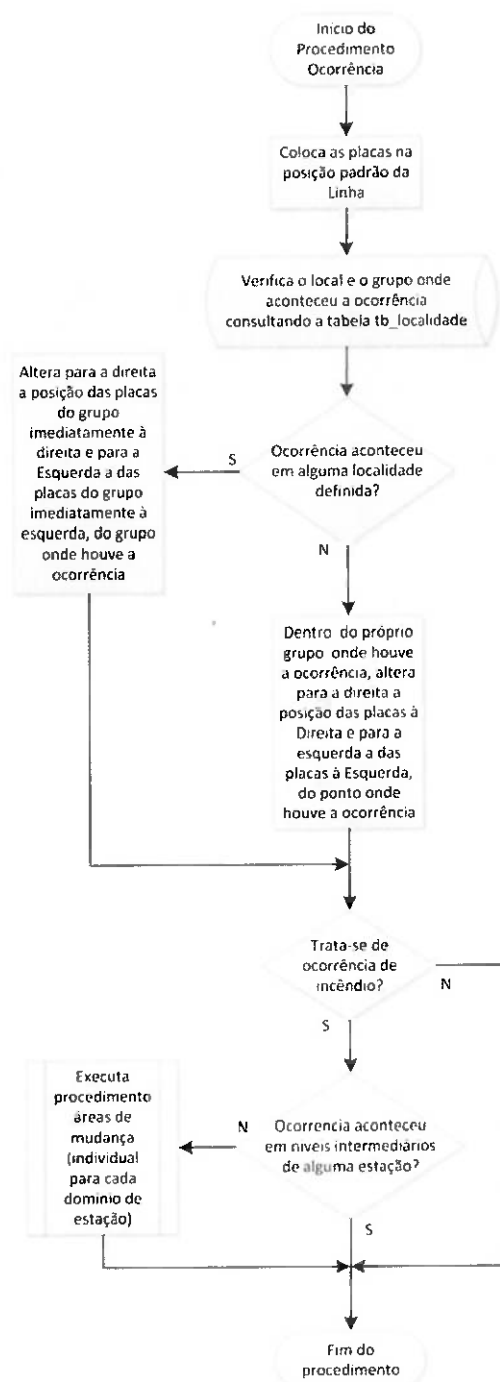


Figura B2 – Fluxograma de software do procedimento de ocorrência no SGRF (CCO)

Executa ação do operador - CCO

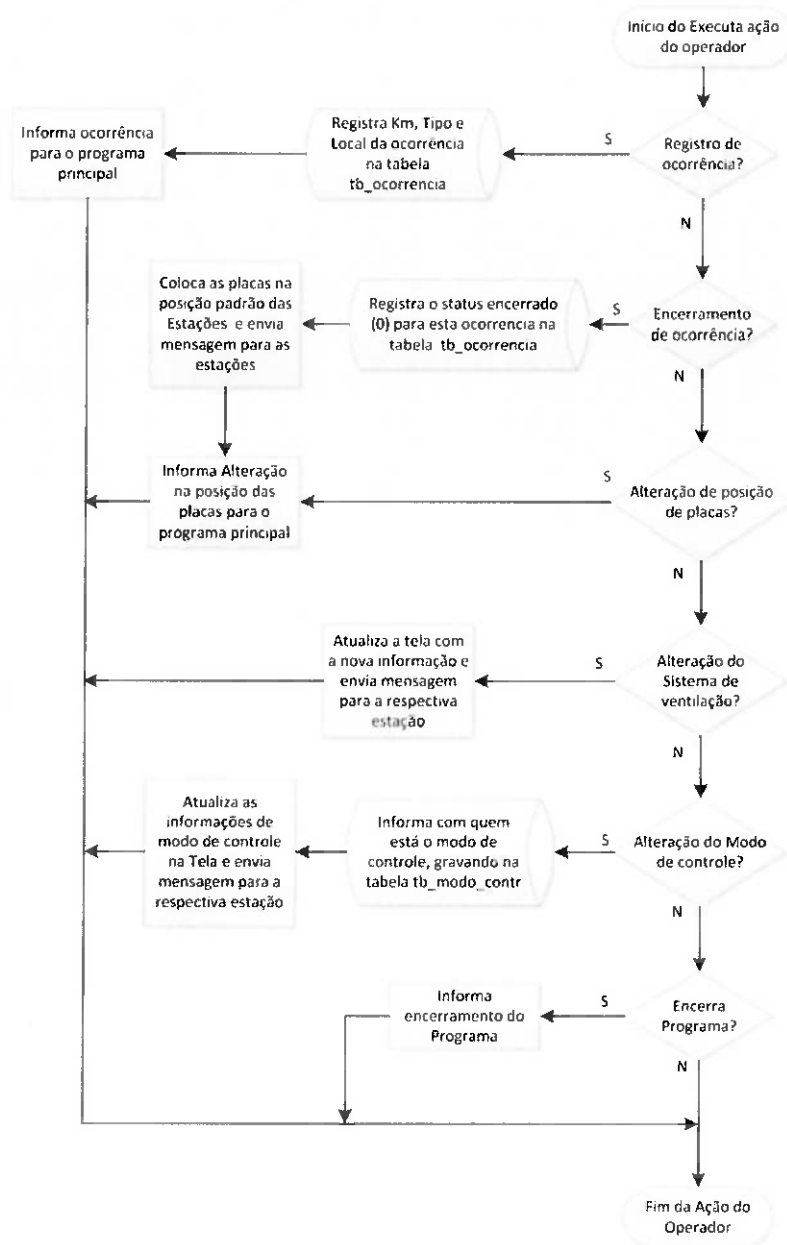


Figura B3 – Fluxograma de software para executar ação do operador no SGRF (CCO)

Programa principal - Estação tipo

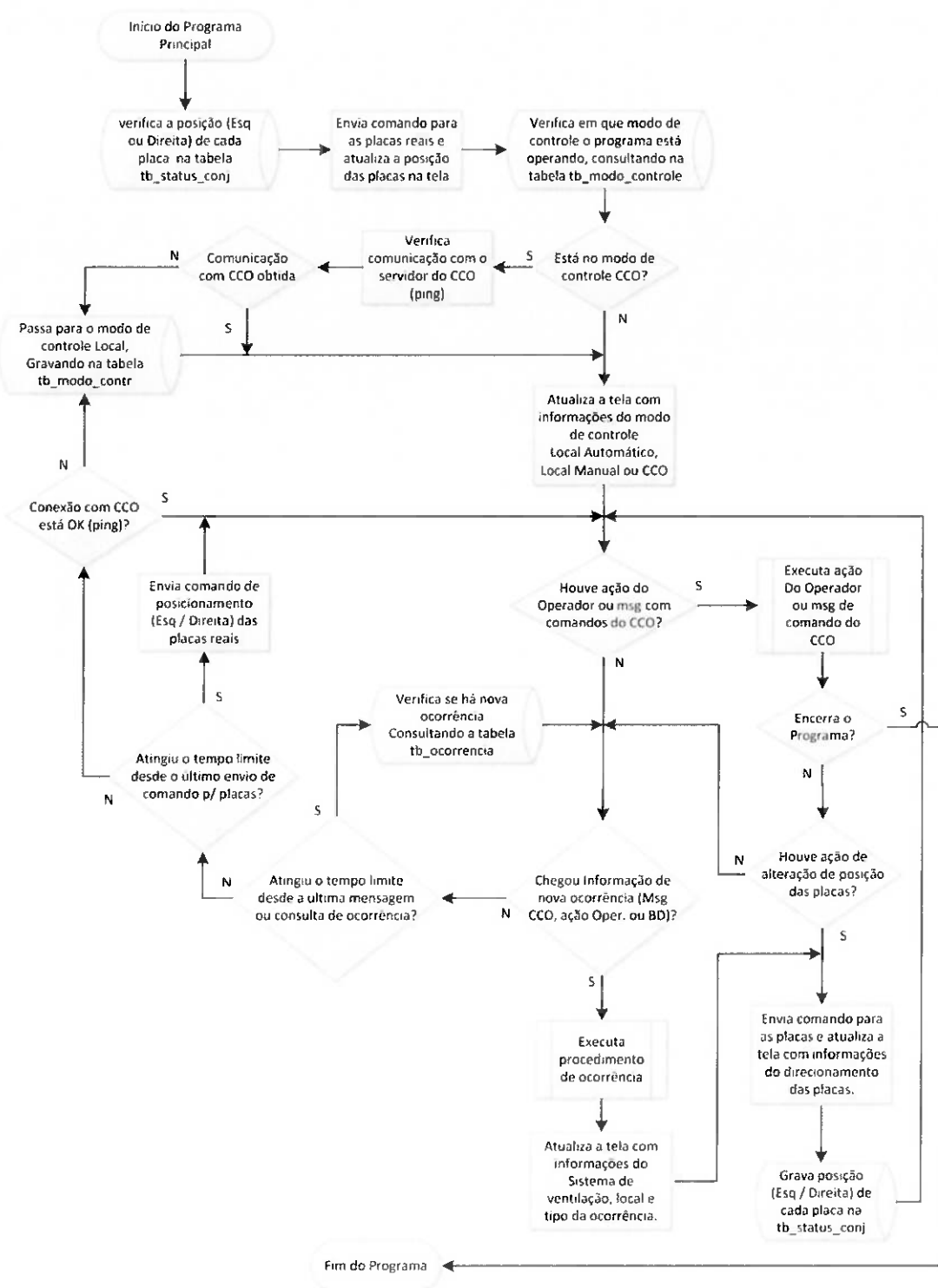


Figura B4 – Fluxograma de software do programa principal do SGRF (estação-tipo)

Procedimento ocorrência - Estação tipo

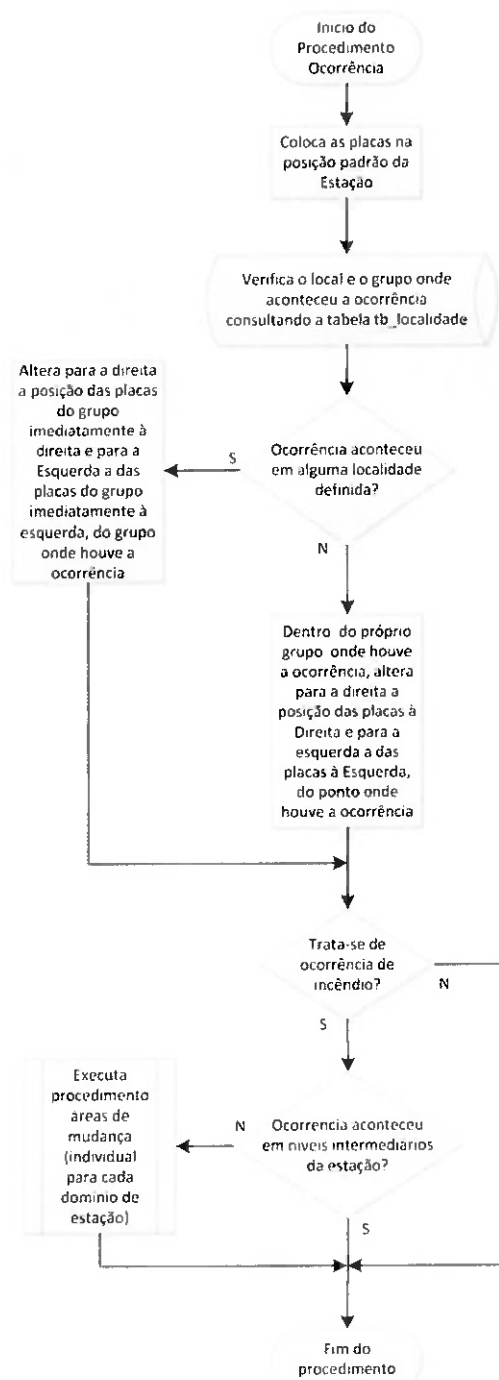


Figura B5 - Fluxograma de software do procedimento de ocorrência no SGRF (estação-tipo)

Executa ação do operador / msg CCO - Estação tipo

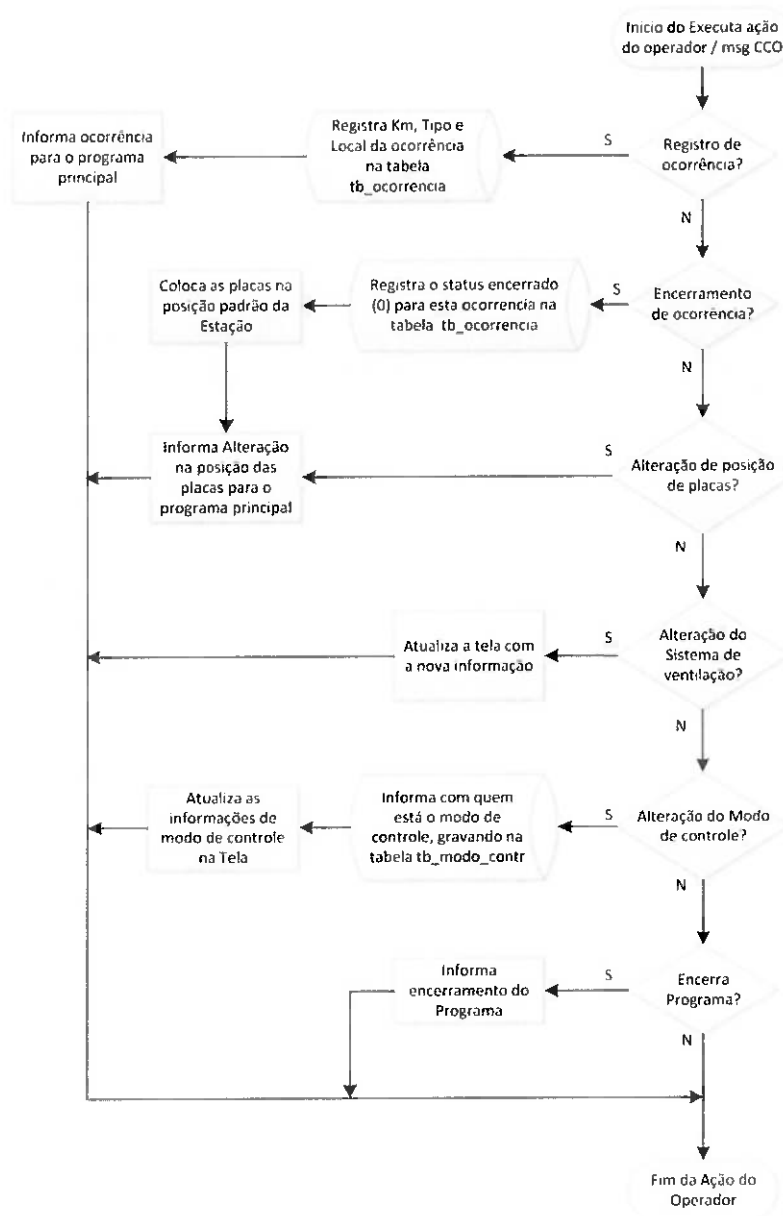


Figura B6 - Fluxograma de software para executar ação do operador no SGRF (estação-tipo)

Procedimento áreas de mudança - Estação ARV

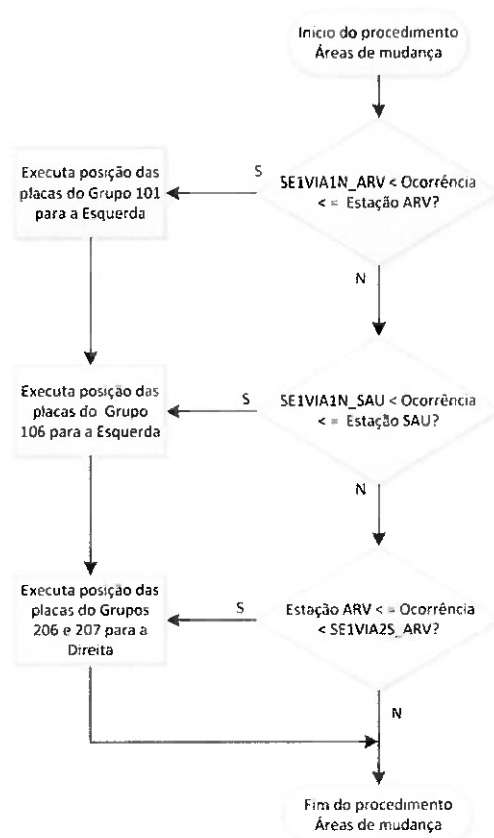


Figura B7 – Fluxograma de software do procedimento de áreas de mudança (Estação Praça da Árvore)

ANEXO C: EXEMPLOS DE TELAS DO SGRF

As figuras a seguir refletem a tela da IHM Local do SGRF na Estação Praça da Árvore (estação-tipo), com a simulação de algumas situações de emergência estudadas neste trabalho e de falhas de comunicação entre Estação e CCO.

Considerando uma situação normal de operação (ou evacuação simples nos túneis, devido a falha em equipamento, por exemplo), utiliza-se o critério de menor distância para determinar as rotas de fuga nos túneis (conforme seção 4.2.5). A Figura C1 indica a tela do SGRF referente a essa situação, em que pode ser observado o aviso sobre a adoção da Rotina de Ventilação 1 (conforme seção 3.3.1).

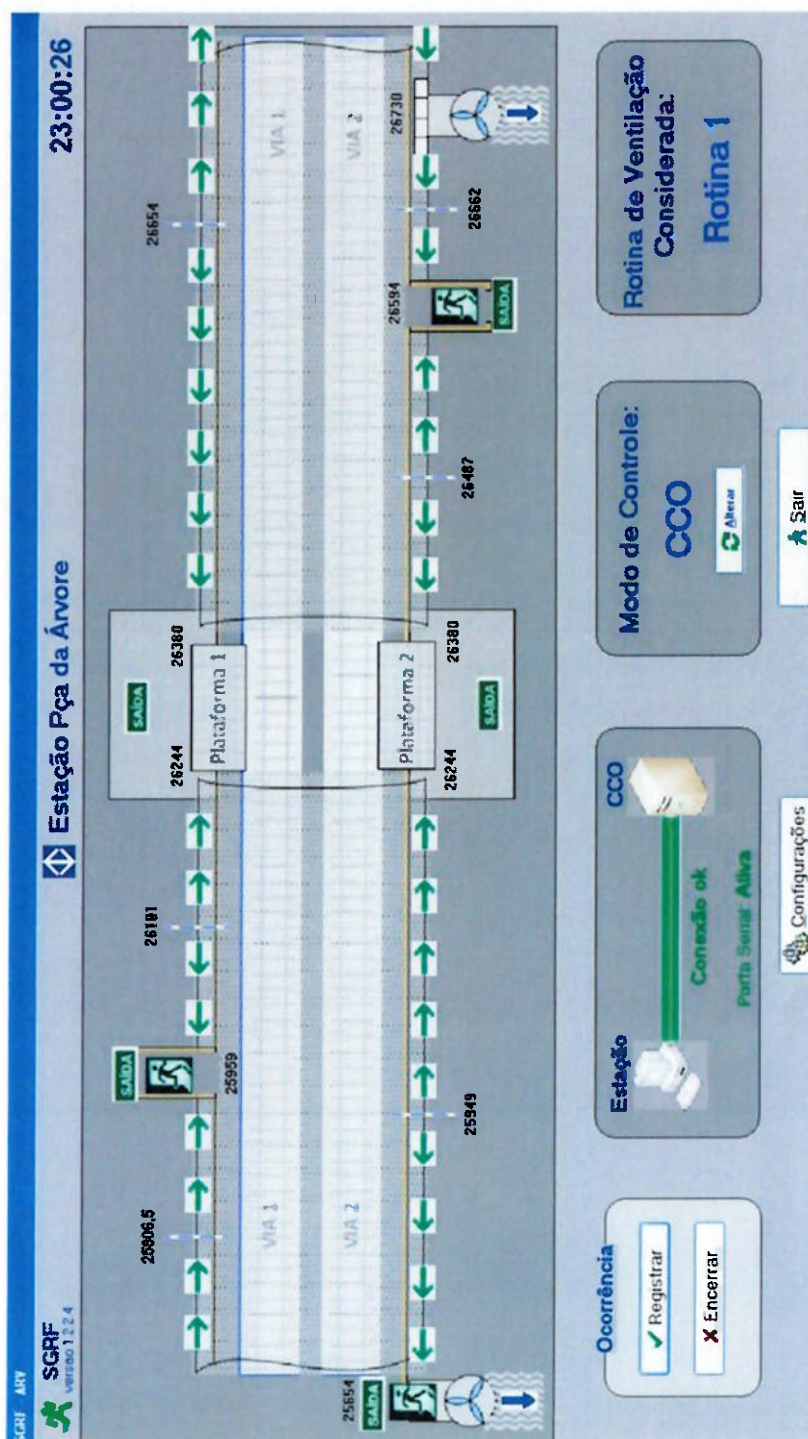


Figura C1 – Tela do SGRF em situação normal de operação

Caso o operador local deseje registrar uma ocorrência de incêndio na plataforma da Estação Praça da Árvore, o SGRF mostrará a opção de registro na tela destacada na Figura C2.

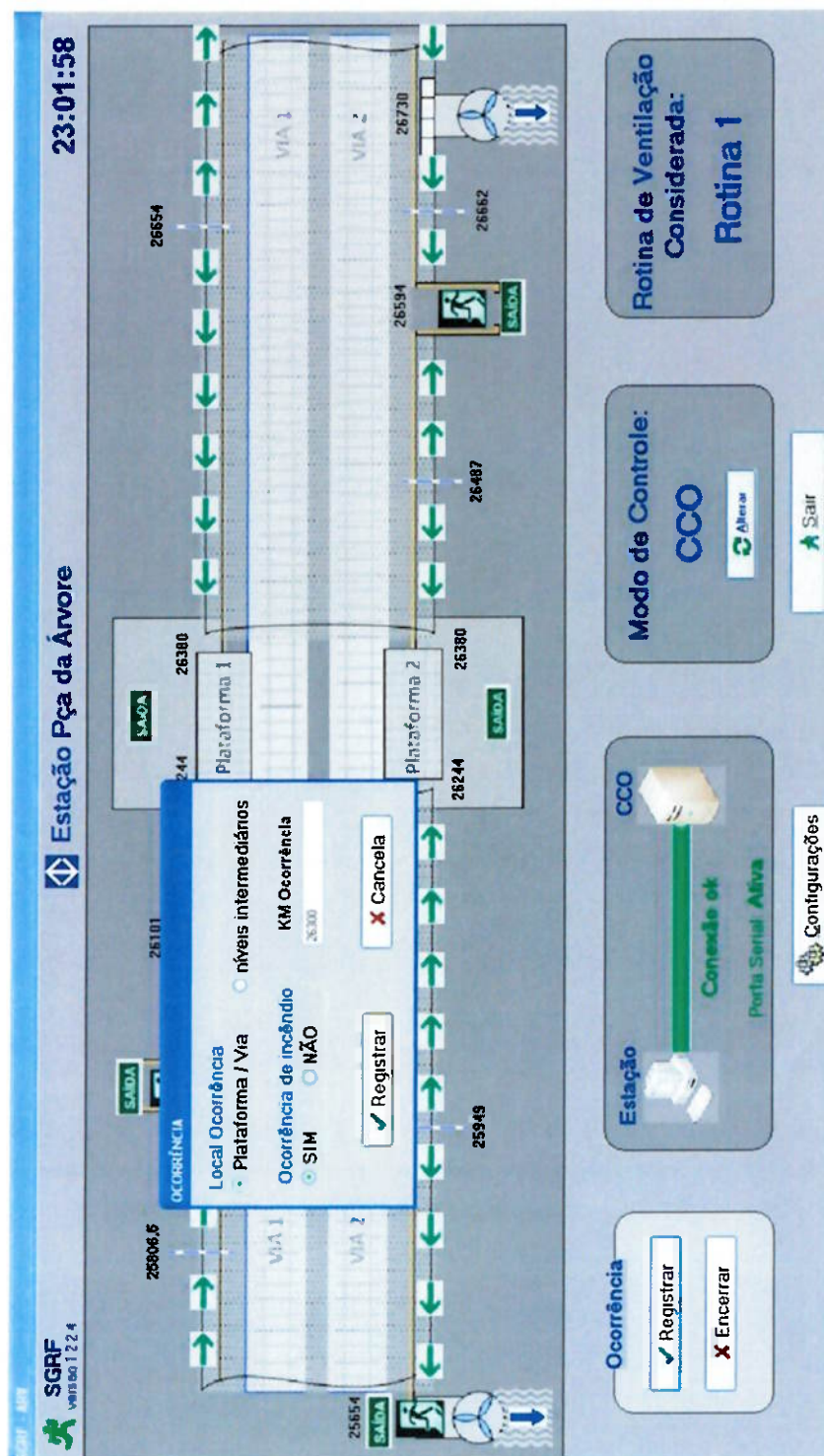


Figura C2 – Tela do SGRF correspondente à operação de registro de incêndio em plataforma

Em caso de incêndio ou fumaça informado pelo CCO em um determinado local do túnel, uma mensagem de alerta permanece na tela até que o operador reconheça o alarme. O SGRF utiliza os mesmos critérios da seção 4.2.5 para determinar as rotas de fuga envolvidas e a Rotina de Ventilação utilizada nesse caso é a Rotina 5, conforme seção 3.3.1 e Figura C4.

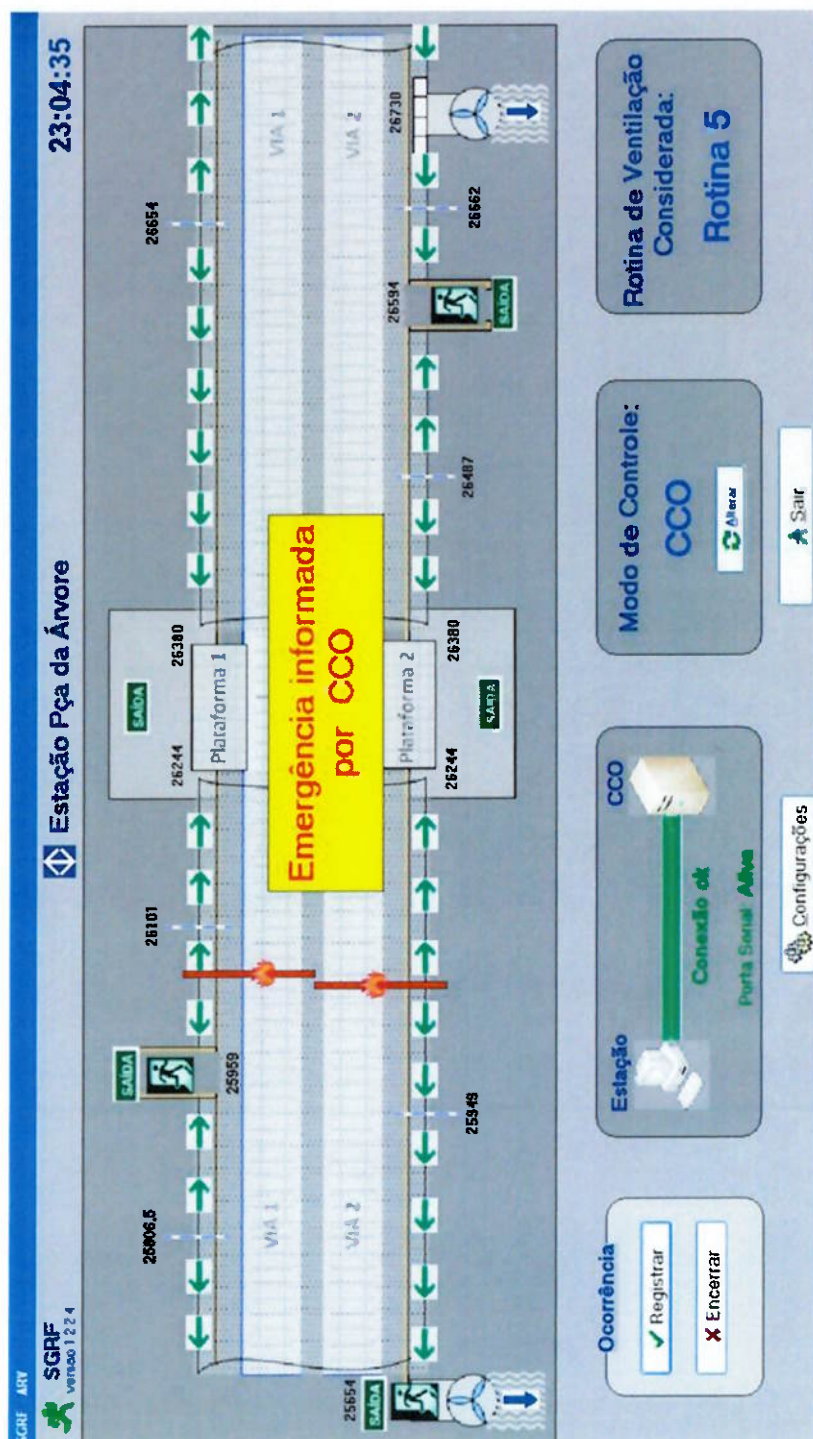


Figura C4 – Tela do SGRF para ocorrência registrada de incêndio/fumaça em túnel

Considerando que o operador local registre uma ocorrência de incêndio em níveis intermediários de uma estação (mezaninos, acessos, salas técnicas etc.), a tela do SGRF mostra a configuração da Figura C5. Percebe-se a indicação da Rotina de Ventilação 4 (conforme seção 3.3.1); como na Linha 1-Azul os ventiladores de túnel não exercem insuflação, eles são desligados nessa Rotina.

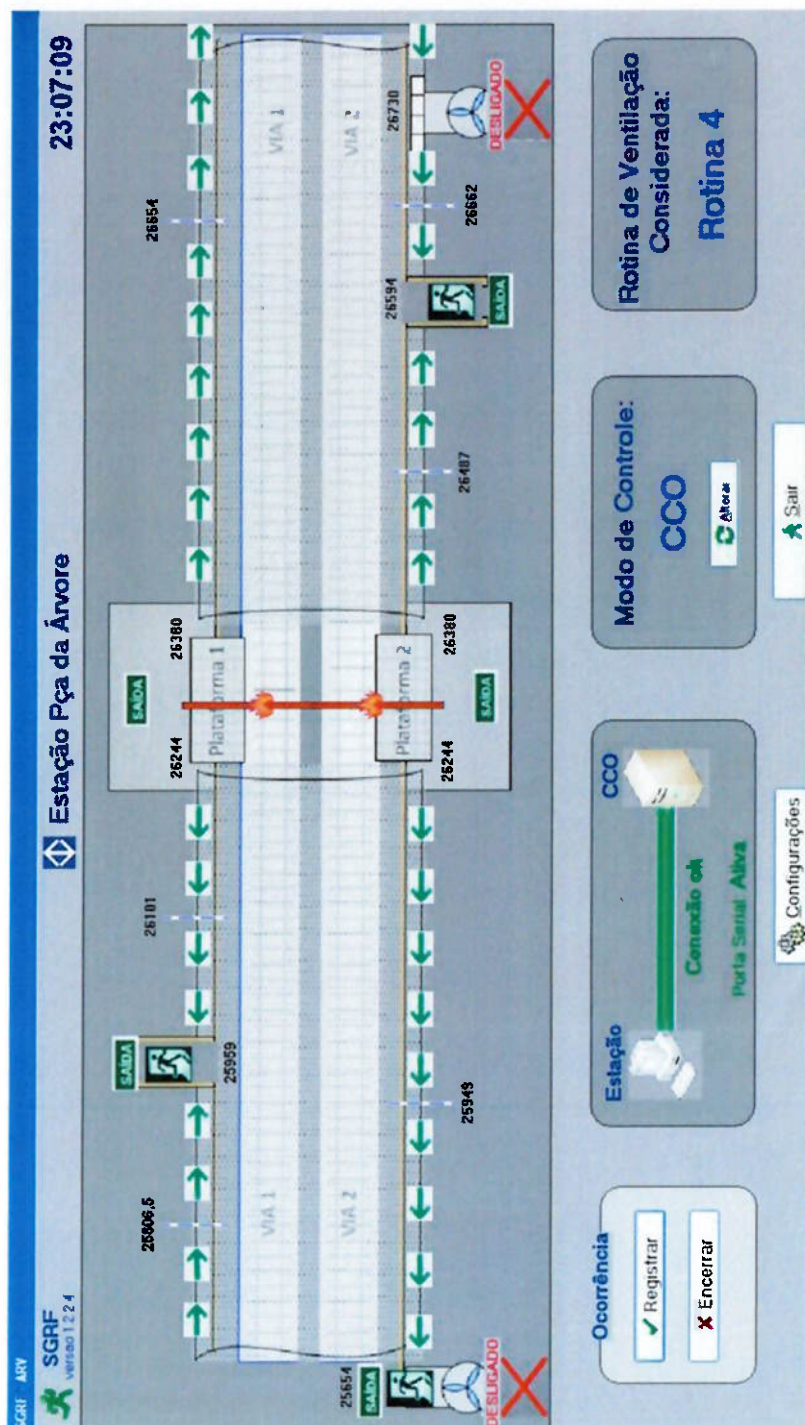


Figura C5 – Tela do SGRF para ocorrência de incêndio/fumaça em nível intermediário de estação

Caso haja alguma ocorrência não relacionada a incêndio ou fumaça, o SGRF utiliza os critérios de menor distância e afastamento do ponto de ocorrência (conforme seção 4.2.5) e a Rotina de Ventilação 1, equivalente às situações normais de operação (sem incêndio ou fumaça). A Figura C6 reflete essa situação.

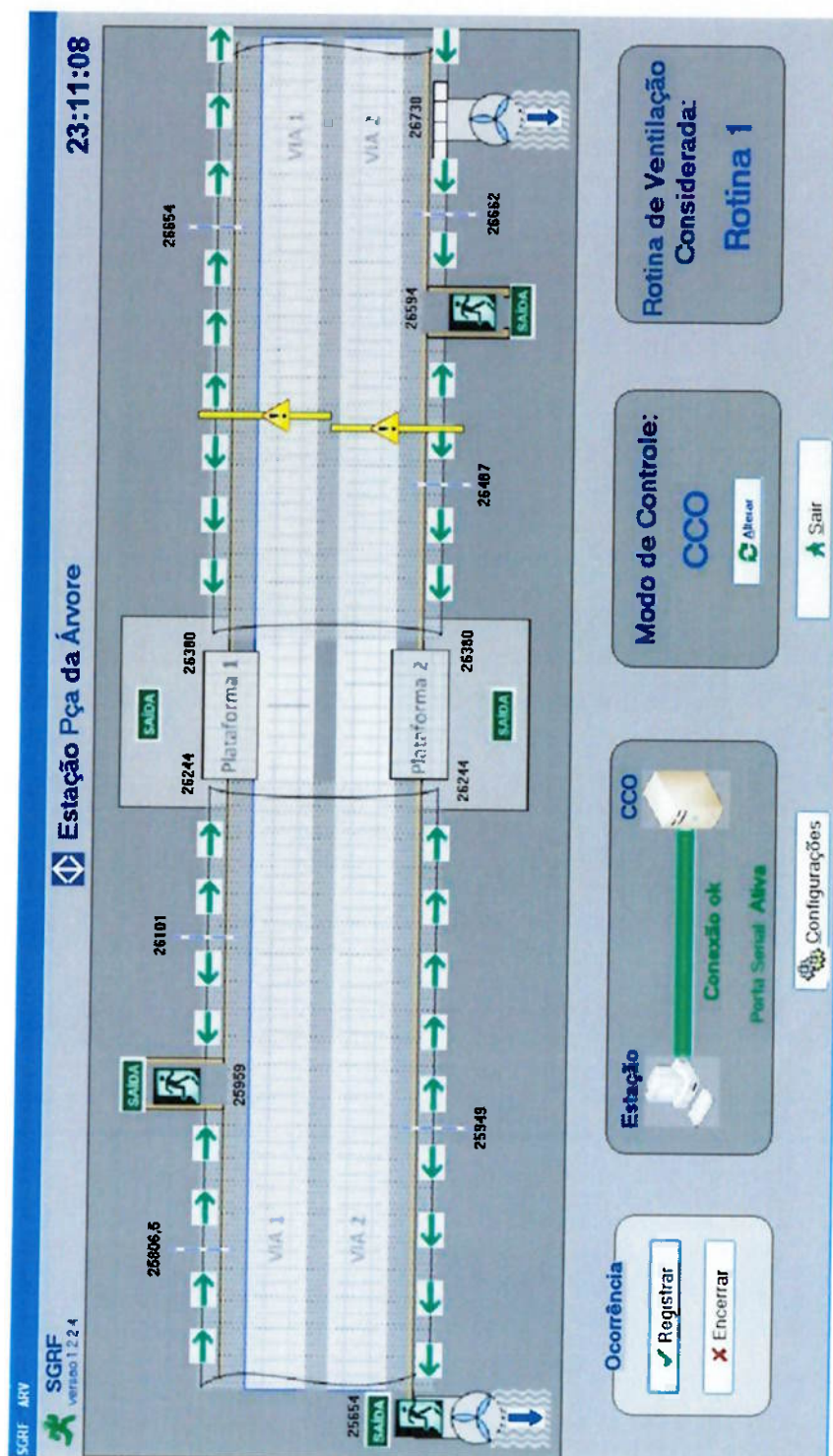


Figura C6 – Tela do SGRF para ocorrências não relacionadas a incêndio

O SGRF prevê a identificação de falhas de comunicação entre o CCO e a Estação. Nesse caso, o controle do SGRF passa automaticamente para modo Local. A Figura C7 mostra essa situação: podem ser verificados na tela a indicação “Falha na conexão” e o campo “Modo de Controle” como “LOCAL” (ao invés de “CCO”).

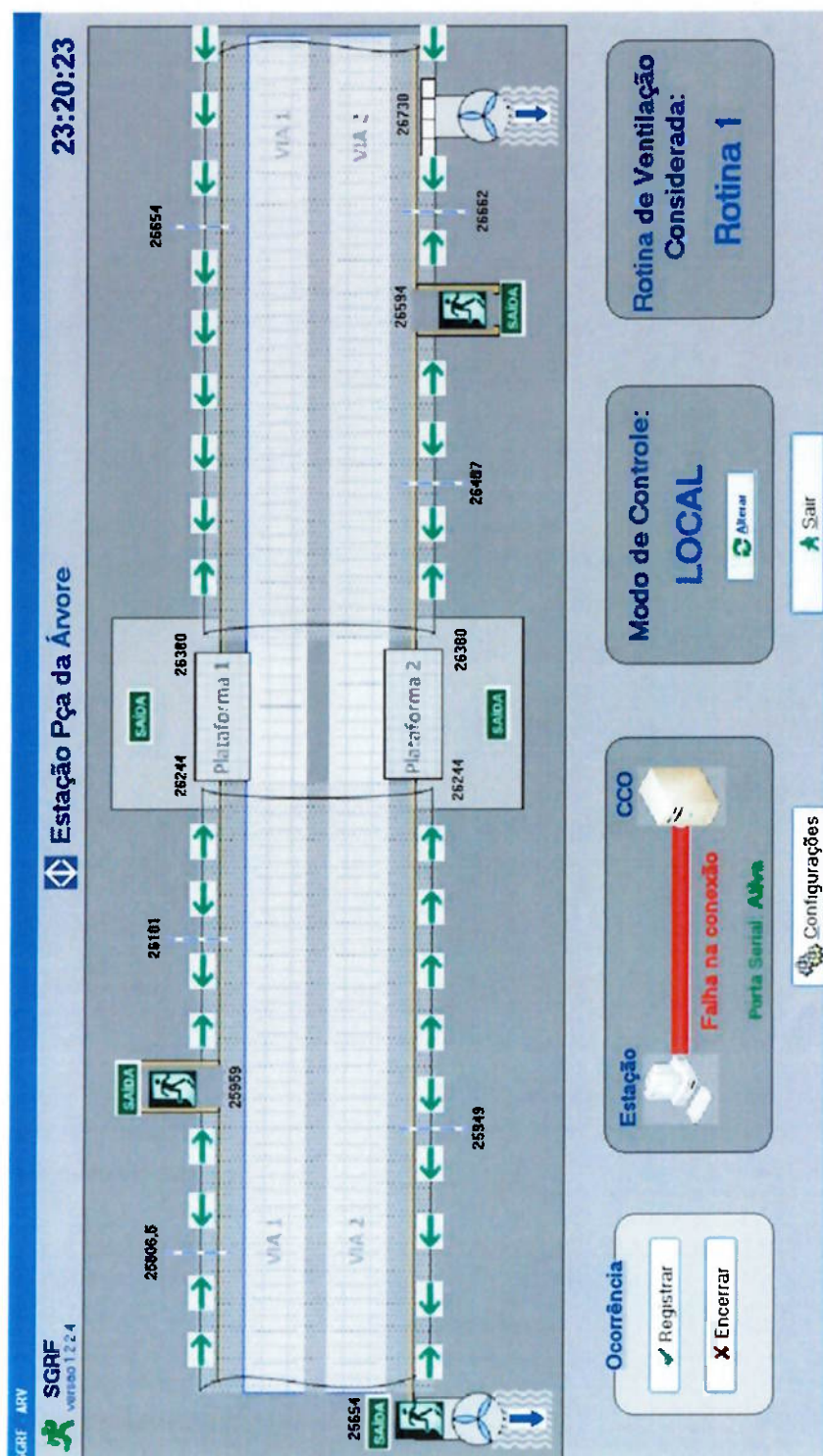


Figura C7 – Tela do SGRF indicando falha de conexão entre CCO e Estação

Após o retorno da conexão entre o CCO e a Estação, a tela ilustrada na Figura C8 indica o retorno do “Modo de Controle” para “CCO”. Essa mudança de Modo de Controle só ocorre com a confirmação do operador local daquela estação.

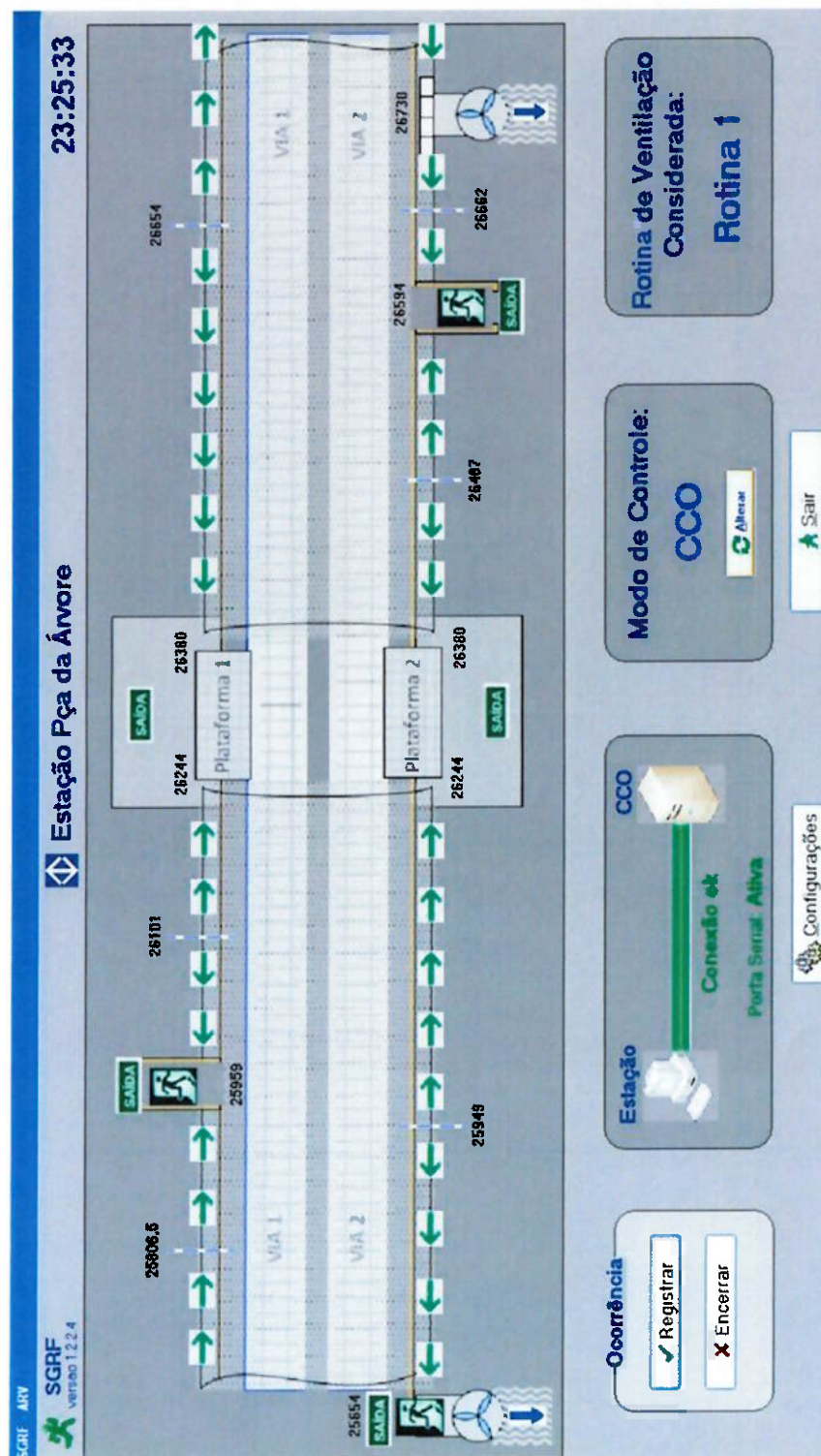


Figura C8 – Tela do SGRF após retorno de conexão entre CCO e Estação

O SGRF também prevê uma indicação em tela de falha na porta serial (comunicação entre o computador da Estação e o módulo DTMF). A mensagem "Porta Serial: Inativa" aparece na tela, conforme Figura C9.

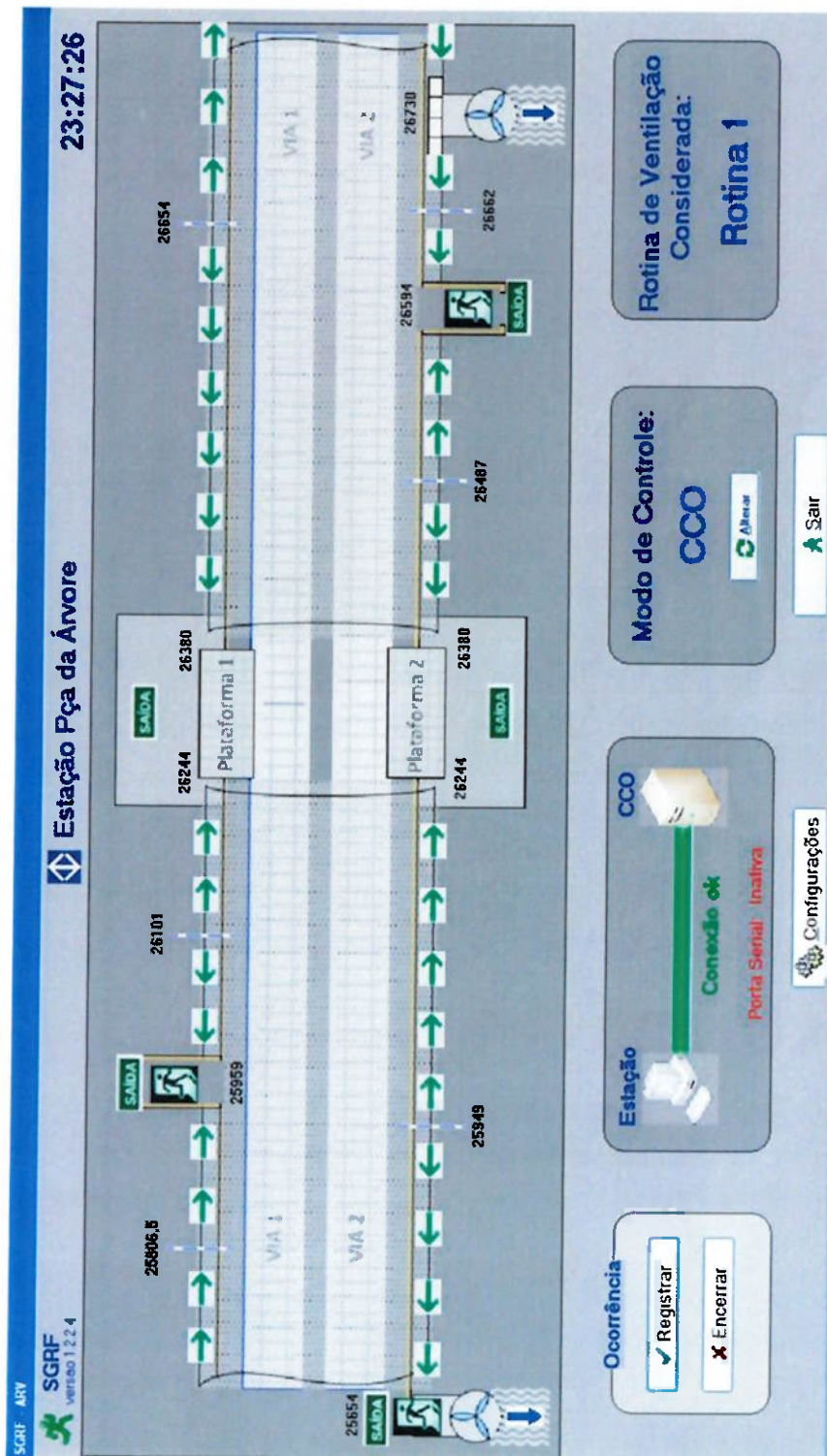


Figura C9 – Tela do SGRF com indicação de falha na porta serial

ANEXO D: BASES DE DADOS

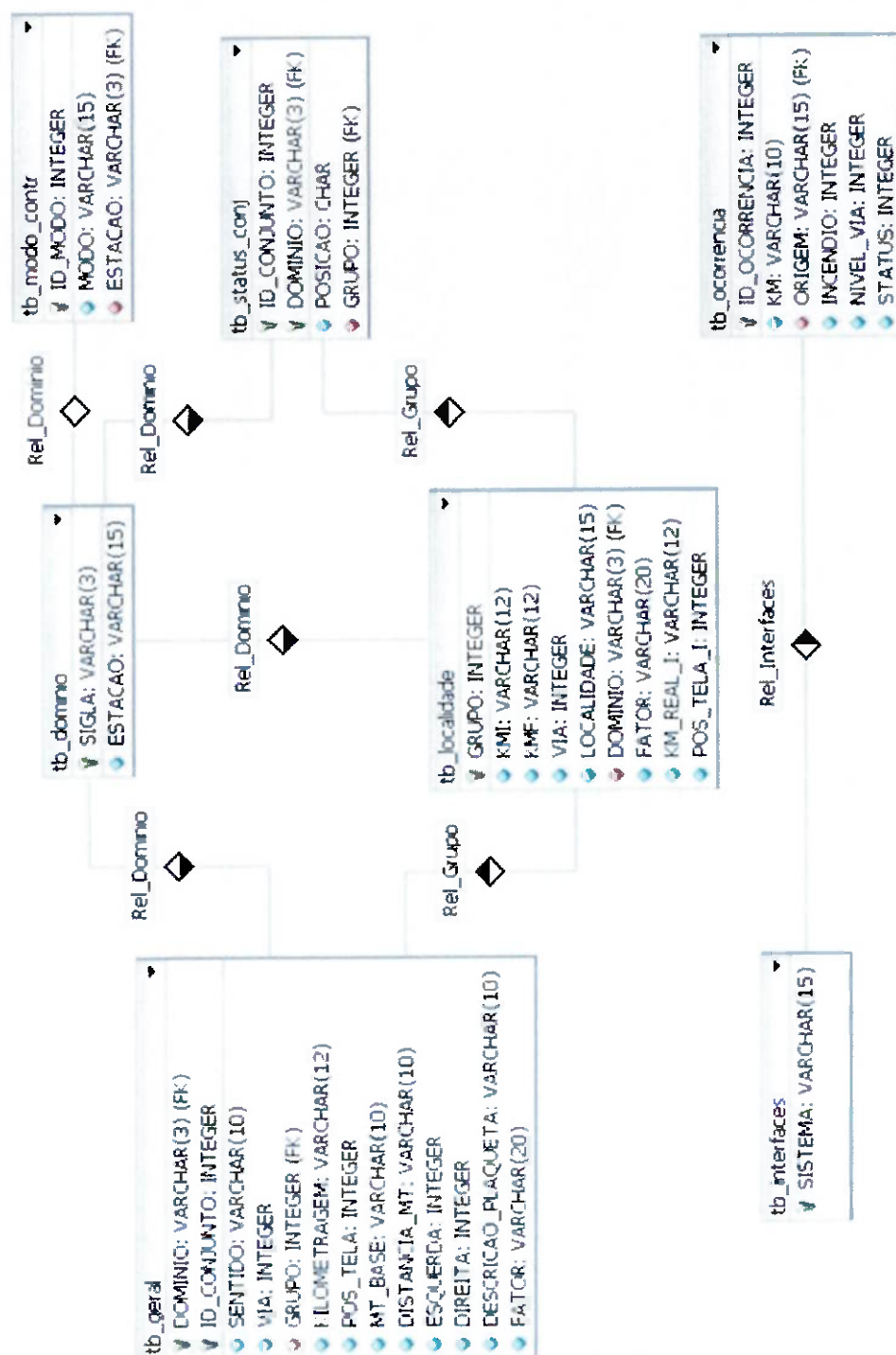


Figura D1 – Bases de dados do SGRF (Central e Local)