



## Proteção contra incêndio em túneis rodoviários e urbanos

### APRESENTAÇÃO

1) Este Projeto de Revisão foi elaborado pela Comissão de Estudo de Proteção contra Incêndio em Túneis (CE-024:102.003) do Comitê Brasileiro de Segurança contra Incêndio (ABNT/CB-024), nas reuniões de:

15.03.2017	12.04.2017	10.05.2017
07.06.2017		

a) é previsto para cancelar e substituir a edição anterior (ABNT NBR 15661:2012), quando aprovado, sendo que nesse ínterim a referida norma continua em vigor;

b) não tem valor normativo.

2) Aqueles que tiverem conhecimento de qualquer direito de patente devem apresentar esta informação em seus comentários, com documentação comprobatória.

3) Tomaram parte na sua elaboração, participando em no mínimo 30 % das reuniões realizadas sobre o Texto-Base e aptos a deliberarem na Reunião de Análise da Consulta Nacional:

#### Participante

CCRB CL4S

CPTM/SP

CORPO DE BOMBEIROS-SP

EPL/CBT

GSI/USP

HHTEC

KAPSCH

METRÔ-SP

#### Representante

Hélio Roberto S. Jacob

Luis Roberto de Oliveira

Alexandre De Raga

Eloi A. Palma Filho

Anthony Brown

José Carlos L. Pereira

Renato Moretti

Paulino Rego Neto

Erik Hoelz Colla

Fabio Mori

Hélcio Suguiyama

© ABNT 2018

Todos os direitos reservados. Salvo disposição em contrário, nenhuma parte desta publicação pode ser modificada ou utilizada de outra forma que altere seu conteúdo. Esta publicação não é um documento normativo e tem apenas a incumbência de permitir uma consulta prévia ao assunto tratado. Não é autorizado postar na internet ou intranet sem prévia permissão por escrito. A permissão pode ser solicitada aos meios de comunicação da ABNT.



MIRABIT

Ricardo Miranda

OMATIC

Felipe Andrade Lucci

SARANHA CONSULTORIA

Silvio Aranha

SICK

André Lubke Brigatti

TEKHNITES

Ferenc J. Sarkary

Rafael G. Kleimberg



## Proteção contra incêndio em túneis rodoviários e urbanos

*Fire protection in road and urban tunnels*

### Prefácio

A Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) é o Foro Nacional de Normalização. As Normas Brasileiras, cujo conteúdo é de responsabilidade dos Comitês Brasileiros (ABNT/CB), dos Organismos de Normalização Setorial (ABNT/ONS) e das Comissões de Estudo Especiais (ABNT/CEE), são elaboradas por Comissões de Estudo (CE), formadas pelas partes interessadas no tema objeto da normalização.

Os Documentos Técnicos ABNT são elaborados conforme as regras da ABNT Diretiva 2.

A ABNT chama a atenção para que, apesar de ter sido solicitada manifestação sobre eventuais direitos de patentes durante a Consulta Nacional, estes podem ocorrer e devem ser comunicados à ABNT a qualquer momento (Lei nº 9.279, de 14 de maio de 1996).

Ressalta-se que Normas Brasileiras podem ser objeto de citação em Regulamentos Técnicos. Nestes casos, os órgãos responsáveis pelos Regulamentos Técnicos podem determinar outras datas para exigência dos requisitos desta Norma.

A ABNT NBR 15661 foi elaborada no Comitê Brasileiro de Segurança contra Incêndio (ABNT/CB-024), pela Comissão de Estudo de Proteção contra Incêndio em Túneis (CE-024:102.003). O Projeto circulou em Consulta Nacional conforme Edital nº XX, de XX.XX.XXXX a XX.XX.XXXX.

O Escopo em inglês desta Norma Brasileira é o seguinte:

### Scope

*This Document specifies safety requirements for the fire prevention and protection in road and urban tunnels, where people and/or cargo transportation are involved, as follows:*

- a) protection the human life;*
- b) control the fire spread;*
- c) control the smoke spread;*
- d) reduction environment damage;*
- e) means of fire control and extinguishment and emergency response;*
- f) facilitate fire brigade access and operation to people rescue, to fight, control and extinguish the fire, by using the specified procedures;*
- g) reduction of the installation system damage and enable the system return operations as soon as possible.*



## Introdução

A Comissão de Estudo de Proteção contra Incêndio em Túneis (CE-024:102.003) do Comitê Brasileiro de Segurança contra Incêndio (ABNT/CB-024) iniciou os trabalhos de proteção contra incêndio em túneis com a publicação, em 15.01.2009, da ABNT NBR 15661.

A 2ª versão da ABNT NBR 15661 foi publicada em 26.07.2012 apresentou uma expansão nos requisitos para o projeto de túneis e na elaboração de outros Documentos referentes à melhoria da segurança em túneis. Esta versão apresentou os conceitos de luminância, sinalização e comunicação de emergência, métodos de inspeção de segurança, a possibilidade de uso de precipitadores eletroestáticos para túneis longos, critérios de visibilidade, recomendações para conscientização de usuários de túneis e uma tabela com o resumo dos sistemas de segurança a serem projetados e instalados, conforme o comprimento do túnel.

Após a publicação da 2ª versão, a Comissão iniciou os trabalhos de elaboração de um Documento específico para a proteção contra incêndio em sistemas metroferroviários (ABNT NBR 16484). Ao término desta Norma, a Comissão decidiu que a ABNT NBR 15661 deveria ter uma 3ª versão, para tratar de requisitos de segurança contra incêndio somente para túneis rodoviários e urbanos.



## Proteção contra incêndio em túneis rodoviários e urbanos

### 1 Escopo

Este Documento especifica os requisitos para a segurança da prevenção e proteção contra incêndio em túneis destinado aos transportes rodoviários e urbanos de pessoas e/ou cargas, abrangendo os aspectos relacionados a:

- a) proteção à vida humana;
- b) controle e propagação do incêndio;
- c) controle e propagação da fumaça;
- d) redução de danos ao meio ambiente;
- e) meios de controle, extinção do incêndio e atendimento a emergências;
- f) condições de acesso às operações das brigadas de salvamento e combate a incêndio, por meio de procedimentos operacionais implantados;
- g) redução de danos ao patrimônio e viabilização do retorno do sistema às condições normais de operação o mais breve possível.

### 2 Referências normativas

Os documentos a seguir são citados no texto de tal forma que seus conteúdos, totais ou parciais, constituem requisitos para este Documento. Para referências datadas, aplicam-se somente as edições citadas. Para referências não datadas, aplicam-se as edições mais recentes do referido documento (incluindo emendas).

ABNT NBR 5181, *Sistemas de iluminação de túneis – Requisitos*

ABNT NBR 7500, *Identificação para o transporte terrestre, manuseio, movimentação e armazenamento de produtos*

ABNT NBR 9050, *Acessibilidade a edificações, mobiliário, espaços e equipamentos urbanos*

ABNT NBR 10898, *Sistema de iluminação de emergência*

ABNT NBR 13434-1, *Sinalização de segurança contra incêndio e pânico – Parte 1: Princípios de projeto*

ABNT NBR 13434-2, *Sinalização de segurança contra incêndio e pânico – Parte 2: Símbolos e suas formas, dimensões e cores*

ABNT NBR 13434-3, *Sinalização de segurança contra incêndio e pânico – Parte 3: Requisitos e métodos de ensaio*

ABNT NBR 13714, *Sistema de hidrantes e de mangotinhos para combate a incêndio*



ABNT NBR 14064, *Transporte rodoviário de produtos perigosos – Diretrizes do atendimento à emergência*

ABNT NBR 15480, *Transporte rodoviário de produtos perigosos – Programa de gerenciamento de risco e plano de ação de emergência*

ABNT NBR 15775, *Sistemas de segurança contra incêndio em túneis – Ensaios, comissionamento e inspeções*

ABNT NBR 15808, *Extintores de incêndio portáteis*

ABNT NBR 15809, *Extintores de incêndio sobrerrodas*

ABNT NBR 15981, *Sistemas de segurança contra incêndio em túneis – Sistemas de sinalização e de comunicação de emergência em túneis*

ABNT NBR 16484, *Segurança contra incêndio para sistemas de transporte sobre trilhos – Requisitos*

ABNT NBR 17240, *Sistemas de detecção e alarme de incêndio – Projeto, instalação, comissionamento e manutenção de sistemas de detecção e alarme de incêndio – Requisitos*

ABNT NBR 17505-2, *Armazenamento de líquidos inflamáveis e combustíveis – Parte 2: Armazenamento em tanques, em vasos e em recipientes portáteis com capacidade superior a 3 000 L*

ABNT NBR 17505-3, *Armazenamento de líquidos inflamáveis e combustíveis – Parte 3: Sistemas de tubulações*

ABNT NBR 17505-5, *Armazenamento de líquidos inflamáveis e combustíveis – Parte 5: Operações:*

ABNT NBR 17505-6, *Armazenamento de líquidos inflamáveis e combustíveis – Parte 6: Requisitos para instalações e equipamentos elétricos*

ABNT NBR 17505-7, *Armazenamento de líquidos inflamáveis e combustíveis – Parte 7: Proteção contra incêndio para parques de armazenamento com tanques estacionários*

ABNT NBR ISO 14001, *Sistema de gestão ambiental – Requisitos com orientação para o uso*

NFPA 502, *Road tunnels, bridges and other limited access highways*

### 3 Termos e definições

Para os efeitos deste documento, aplicam-se os seguintes termos e definições.

#### 3.1

##### **abrigo de emergência**

área confinada, sinalizada, iluminada, dentro de túnel, condicionada a abrigar pessoas em condições seguras, durante tempo limitado, na ocorrência de incidente ou incêndio

#### 3.2

##### **autoridade competente**

##### **órgão competente**

organização, órgão, entidade ou associação responsável por verificar e/ou aprovar a aplicação dos requisitos de uma norma ou código, ou para aprovar ou certificar equipamentos, componentes, insta-



lação ou procedimento, emitindo as licenças de construção e/ou de operação e/ou de desativação da instalação

### 3.3

#### **interligação**

abertura entre túneis, sinalizada e provida de porta de emergência que em caso de incidente possa ser utilizada como rota de saída

### 3.4

#### **passarela de emergência**

passagem estreita para pedestres, que corre ao longo da pista do túnel, servindo exclusivamente para rota de saída, manutenção ou resgate, sendo iluminada, sinalizada e monitorada, não possuindo obstáculos à circulação de pessoas

### 3.5

#### **precipitador eletrostático**

equipamento industrial utilizado na coleta de material particulado de gases de exaustão, carregando eletrostaticamente estas partículas para depois as capturar por atração eletromagnética

### 3.6

#### **reverso de fumaça** (*backlayering*)

movimento reverso do fluxo de fumaça e dos gases quentes em relação à direção do fluxo de ar de ventilação

### 3.7

#### **rota de saída**

passagem para pessoas devidamente sinalizada e monitorada dentro do túnel, que conduz à saída segura em caso de incidente, com ou sem incêndio

### 3.8

#### **saída de emergência**

construção que interliga o ambiente interno do túnel com o ambiente externo, sinalizada, iluminada e condicionada ao abandono seguro do túnel, principalmente em caso de incêndio, não possuindo obstáculos à circulação de pessoas

### 3.9

#### **transposição**

abertura ou túnel de interligação entre túneis gêmeos, sinalizada, com pavimentação rodoviária servindo de desvio do tráfego de veículos

### 3.10

#### **túneis gêmeos**

túneis singelos interligados por transposições, para tráfego de veículos cujo acesso seja delimitado por emboques

### 3.11

#### **túnel bidirecional**

túnel singelo com tráfego nos dois sentidos

### 3.12

#### **túnel rodoviário**

estrutura pavimentada, abaixo do nível do solo, com superfície protegida por estrutura de rocha, concreto e/ou aço, destinada à passagem de veículos de passageiros e/ou transporte de carga, localizada em estradas e/ou rodovias



### 3.13

#### **túnel de serviço**

túnel de menor porte, interligado ao túnel principal, destinado a manutenção, rota de fuga e acesso de socorro

### 3.14

#### **túnel singelo**

passagem subterrânea com tubo único para tráfego de veículos ou trens, cujo acesso é delimitado por emboques

### 3.15

#### **túnel subaquático**

estrutura pavimentada, abaixo do nível do solo, com superfície protegida por estrutura de rocha, concreto e/ou aço, destinada à passagem de veículos de passageiros e/ou transporte de carga, localizada sob cursos d'água

### 3.16

#### **túnel unidirecional**

túnel gêmeo com tráfego em sentido único

### 3.17

#### **túnel urbano**

estrutura pavimentada, abaixo do nível do solo, com superfície protegida por estrutura de rocha, concreto e/ou aço, destinada a passagem de veículos de passageiros e/ou transporte de carga, localizada em perímetro urbano

## 4 Abreviaturas

Para os efeitos deste documento, aplicam-se as seguintes abreviaturas

### 4.1

#### **CFD**

*computational fluid dynamics*

### 4.2

#### **CFTV**

circuito fechado de televisão

### 4.3

#### **CONAMA**

Conselho Nacional do Meio Ambiente

### 4.4

#### **DAI**

detector automático de incidentes

### 4.5

#### **FIT**

*European Thematic Network – “Fire in Tunnels” (CE)*

### 4.6

#### **NFPA**

*National Fire Protection Association (EUA)*





#### 4.7

##### PE

precipitador eletrostático

#### 4.8

##### PMV

painel de mensagem variável

#### 4.9

##### TRRF

tempo requerido de resistência ao fogo

#### 4.10

##### VDI

*Verein Deutscher Ingenieure* (Alemanha)

## 5 Operação do túnel

### 5.1 Geral

**5.1.1** A operação do túnel é a atividade-fim da estrutura construída e, portanto, deve-se iniciar o estudo de sua implantação pela definição da sua utilização, ou seja, que tipo de serviço irá realizar, e para qual parcela da população.

**5.1.2** Os túneis têm problemas particulares em situações de emergência. Ocorrências já registradas destacam as consequências da falta de procedimentos operacionais do túnel.

**5.1.3** O conjunto de procedimentos operacionais (modelo operacional), aplicados em uma operação rodoviária, constitui o instrumento essencial para o correto gerenciamento técnico e operacional dos túneis.

**5.1.4** O elemento fundamental para a segurança do usuário que trafega pelos túneis é sempre a capacidade do(s) operador(es) do centro de controle operacional e, por este fato, a sua presença é requerida, seja para observar em tempo hábil cada evento anômalo ocorrido no túnel, ou seja para:

- a) auxiliar na diminuição de velocidade e no bloqueio do tráfego, colisões, incêndios;
- b) informar rapidamente aos usuários/condutores sobre as condições da circulação de veículos/composições;
- c) implementação, no menor tempo possível, das medidas previstas para cada situação específica.

**5.1.5** Esta Norma não impede a utilização de sistemas, métodos ou dispositivos que possuam qualidade, poder de resistência ao fogo, eficiência, durabilidade e segurança equivalentes ou superiores aos requisitos recomendados.

**5.1.6** Esta Norma não se aplica às instalações, equipamentos ou estruturas existentes ou cuja construção ou implantação tenha sido aprovada antes da data de entrada em vigor deste Documento.

**5.1.7** Esta Norma não se aplica aos sistemas de transporte metroferroviários e a túneis subaquáticos.



## 5.2 Modelo operacional e de manutenção

### 5.2.1 Geral

**5.2.1.1** A rapidez de atendimento em caso de risco de incêndio efetivo, por meio do envio dos recursos necessários, é condição essencial para o controle do evento e, portanto, para a segurança do usuário e proteção das estruturas e dos equipamentos nos túneis. O melhor dispositivo na luta contra o incêndio está baseado na rapidez do atendimento inicial, mediante os procedimentos operacionais adotados. Tudo deve ser feito para evitar que a situação torne-se crítica, controlando o incidente, antes de assumir proporções catastróficas.

**5.2.1.2** Não é suficiente dispor de sofisticados sistemas de detecção, controle e extinção de incidentes, quaisquer que sejam, sem a aplicação correta de mínimos procedimentos operacionais, previamente definidos, para as situações anormais que possam ocorrer em um trecho rodoviário ou urbano atendido por túneis.

**5.2.1.3** Dentro deste conceito apresentado em 5.2.1, a segurança atinge níveis mais altos se:

- a) os usuários/condutores forem informados das condições e das características do túnel;
- b) os usuários/condutores forem informados do comportamento adequado a ser observado durante a travessia do trecho;
- c) **houver a presença constante de fiscalização pelo órgão competente** a ser exercida no início do trecho, buscando cargas mal acondicionadas, ou dimensionadas, bem como desrespeitos às normas e procedimentos em vigor.

**5.2.1.4** Como recomendações para elaboração de procedimentos operacionais, deve-se estabelecer procedimentos mínimos para operações do túnel, provendo o tráfego de condições de segurança compatíveis. Estes procedimentos devem ser estruturados em função do objetivo de cada medida ou dispositivo adotado, se utilizados para prevenção, atenuação das consequências (abandono de local) de efetiva atuação sobre as consequências ou se medidas para o restabelecimento das condições normais de tráfego.

**5.2.1.5** Quando houver modificações nas instalações, dispositivos, equipamentos ou estruturas existentes, estas devem atender aos requisitos deste Documento.

**5.2.1.6** O planejamento e a execução dos serviços de manutenção dos sistemas instalados nos túneis são de responsabilidade da gestão de operação do túnel.

**5.2.1.7** Está proibida a adoção de abrigos de emergência no interior do túnel, portanto, as saídas de emergência sempre devem conduzir os usuários do túnel diretamente ao seu exterior.

**5.2.1.8** Esta Norma não se aplica aos serviços de manutenção dos sistemas.

### 5.2.2 Plano de gerenciamento

O gestor do túnel deve elaborar e desenvolver os procedimentos de gerenciamento específicos para as ações operacional e emergencial. Recomenda-se que as entidades reguladoras auxiliem na preparação dos procedimentos operacionais requeridos para o gerenciamento do túnel.



### 5.2.2.1 Situações de emergência

As ocorrências e situações a seguir devem ser consideradas e apresentadas durante o desenvolvimento dos procedimentos operacionais a seguir:

- a) foco de fogo ou fumaça em um ou mais veículos ou nas instalações;
- b) foco de fogo ou fumaça em regiões adjacentes às instalações;
- c) colisão envolvendo um ou mais veículos;
- d) queda da energia elétrica, resultando em perda da iluminação, ventilação ou outros sistemas de proteção à vida humana;
- e) resgate/abandono de local pelos usuários sob condições adversas, mantendo a continuidade operacional mesmo que degradada;
- f) veículos parados na pista;
- g) alagamento das pistas ou das rotas de saída;
- h) infiltração e derramamento de produtos derivados de petróleo, vapores inflamáveis, tóxicos ou irritantes, e materiais perigosos;
- i) acidentes com vítimas;
- j) danos às estruturas causados por impacto e exposição ao calor;
- k) vandalismo ou outros atos criminosos;
- l) atendimento médico e de primeiros-socorros aos usuários;
- m) condições meteorológicas extremas, que causem interrupções na operação;
- n) pedestres/ciclistas na via;
- o) operação do sistema de ventilação em caso de emergência;
- p) volume de carga por passageiro (coletivos).

### 5.2.2.2 Plano de resposta à emergência

**5.2.2.2.1** Devido à grande variação de fatores locais e características de cada túnel, os procedimentos de resposta à emergência devem ser elaborados conforme as necessidades específicas e se encontram detalhados em 5.2.2.2.2. Estes procedimentos são de responsabilidade do gestor do túnel e devem ser elaborados antes do início de operação do túnel.

**5.2.2.2.2** Os procedimentos de resposta a emergência devem ser concisos e tão breves quanto possível, identificando de forma clara os papéis e responsabilidades de cada um, bem como devem apontar se há necessidade de treinamento especial a alguma equipe devendo conter o seguinte:

- a) nome do plano;
- b) nome dos técnicos responsáveis;



- c) datas de adoção e revisão;
- d) diretrizes, objetivos, âmbito de aplicação e definições;
- e) agências participantes, autoridades responsáveis e assinaturas dos diretores ou gerentes autorizados a responder por cada agência;
- f) medidas de segurança durante as operações de emergência;
- g) objetivos, operação e supervisão do centro de controle;
- h) objetivos, operação e supervisão do posto de comando auxiliar, quando necessária a ativação deste;
- i) meios de comunicação disponíveis no centro de controle e no posto de comando auxiliar bem como a descrição da operação efetiva dessas instalações;
- j) infraestruturas de acesso e fuga e de ventilação disponíveis, detalhes sobre o tipo, tamanho, localização e método de ventilação;
- k) procedimentos, conduta para as emergências e suas ocorrências;
- l) mapas do sistema viário, incluindo outros sistemas adjacentes;
- m) informações e dados adicionais que as agências participantes julgarem ser necessário incluir no plano.

**5.2.2.2.3** Os tópicos principais para a elaboração do plano de resposta à emergência em túneis são apresentados a seguir:

- a) introdução;
- b) visão geral;
- c) elementos do plano;
- d) centro de supervisão e controle;
- e) centro de supervisão e controle alternativo;
- f) sistemas de identificação de ocorrências/atividades;
- g) postos de comando emergenciais;
- h) considerações operacionais e procedimentos de emergência;
- i) tipos de ocorrências;
- j) localizações possíveis das ocorrências;
- k) ocorrências em vias de acesso (para rodovias, estradas secundárias, ruas etc.);
- l) ocorrências dentro de túneis e instalações;



- m) coordenação do trabalho com outras agências responsáveis;
- n) procedimentos operacionais de combate ao fogo;
- o) gerenciamento do tráfego;
- p) plano para evacuação de feridos e atendimento médico;
- q) plano para notificação e alerta emergencial;
- r) plano para exercícios simulados.

Considerações específicas sobre os tópicos do plano estão descritas em 5.2.2.2.4 a 5.2.2.2.14.

#### **5.2.2.2.4 Agências participantes**

Os procedimentos operacionais devem incluir, dependendo da natureza da emergência, as seguintes agências e organizações, consideradas apoiadoras:

- a) corpo de bombeiros;
- b) serviço de atendimento médico de urgência;
- c) hospitais;
- d) polícia militar;
- e) polícia militar rodoviária;
- f) defesa civil;
- g) departamento de obras públicas;
- h) companhia de saneamento ambiental;
- i) companhias prestadoras de serviços públicos (distribuidoras de gás e de eletricidade, empresas de telefonia fixa e móvel);
- j) serviço de abastecimento de água;
- k) empresas de transporte público;
- l) indústrias privadas que possuam equipamento de construção pesada disponível;
- m) departamento de controle do solo;
- n) serviços de guincho;
- o) operadores de rodovias e/ou de transporte municipal.

#### **5.2.2.2.5 Centros de controle**

##### **5.2.2.2.5.1 Centro de controle operacional**

O centro de controle operacional deve estar equipado para atender e apoiar as equipes em situações de emergência.



Quando necessário, uma agência participante que não esteja no comando pode estabelecer um posto de comando auxiliar para apoiar a supervisão e a coordenação de suas equipes de trabalho e de seus equipamentos.

É recomendável que as agências participantes, como o corpo de bombeiros, a polícia e os serviços médicos e de ambulância, possuam linhas telefônicas diretas ou números de telefone designados que devem ser utilizados nas emergências envolvendo as instalações.

#### **5.2.2.2.5.2 Centro de controle auxiliar**

Quando o centro de controle operacional estiver localizado muito distante do túnel, pode ser instalado um centro de controle auxiliar conectado ao centro de controle operacional, possuindo as mesmas características técnicas do centro de controle operacional.

#### **5.2.2.2.6 Equipe operacional**

A equipe do centro de controle deve estar totalmente familiarizada com os planos operacionais e treinada para programá-los efetivamente.

#### **5.2.2.2.7 Listas de contato**

**5.2.2.2.7.1** O operador do túnel deve manter uma lista atualizada de todos os membros das equipes de contato das agências participantes, que deve ser incluída no procedimento operacional.

**5.2.2.2.7.2** A lista das equipes de contato deve incluir o nome completo, cargo, associação à agência, números de telefone comercial e residencial dos contatos principais, bem como uma lista de contatos secundários.

**5.2.2.2.7.3** A lista das equipes de contato deve ser revisada pelo menos uma vez a cada três meses para que a atualização das informações seja garantida.

#### **5.2.2.2.8 Posto de comando**

**5.2.2.2.8.1** Em caso de emergência, deve ser estabelecido um posto de comando localizado em local conveniente para as equipes emergenciais, sendo facilmente identificável e adequado às operações de supervisão, coordenação e comunicação das agências participantes.

**5.2.2.2.8.2** Cada agência participante deve designar por escrito uma pessoa de contato para o posto de comando.

#### **5.2.2.2.9 Treinamento, exercícios e instruções**

**5.2.2.2.9.1** O operador do túnel, bem como as equipes das agências participantes, deve receber treinamento com o intuito de agirem eficientemente durante as emergências.

**5.2.2.2.9.2** As equipes de trabalho devem estar totalmente familiarizadas com todos os aspectos dos planos operacionais do túnel.

**5.2.2.2.9.3** A fim de aperfeiçoar a execução destes planos operacionais, devem ser conduzidos programas completos de treinamento para todos os membros das equipes e das agências que trabalharão nas emergências pelo menos duas vezes ao ano, sendo que após os exercícios, treinamentos e situações reais, deve-se reavaliar a conduta de trabalho.



#### 5.2.2.2.10 Vias de acesso restrito

**5.2.2.2.10.1** Em caso de vias de acesso restrito (por exemplo, rodovias), deve-se manter contato com as empresas localizadas à beira da rodovia e outros sistemas adjacentes com as pessoas responsáveis pelos moradores ao longo dessas vias, a fim de obter sua colaboração na comunicação de incêndios e outras emergências.

**5.2.2.2.10.2** O objetivo desses contatos é estabelecer um sistema positivo de comunicação de emergências, informações específicas sobre os procedimentos de comunicação e meios para a determinação e a informação do local da emergência o mais precisamente possível.

#### 5.2.2.2.11 Registros

Deve-se manter, no centro de controle, registros escritos e/ou eletrônicos, gravação de comunicações via telefone, rádio e circuito fechado de televisão (CFTV). Exercícios e treinamentos também devem ser mantidos no posto de comando auxiliar durante as emergências.

#### 5.2.2.2.12 Planejamento de emergência

**5.2.2.2.12.1** Os túneis apresentam problemas específicos de combate às situações de incêndio. Desta forma, recomenda-se a incorporação apropriada do gerenciamento das situações de incêndio e emergenciais nos procedimentos operacionais dos túneis, bem como a sua contínua revisão e atualização.

**5.2.2.2.12.2** A participação de operadores de túneis e das equipes de combate a incêndio no projeto das características de segurança do tráfego e seus usuários deve assegurar ao projeto e ao planejamento final que os requisitos dessas áreas sejam incorporadas à segurança operacional do túnel.

**5.2.2.2.12.3** Nos túneis que começam e acabam em estados distintos da união, deve existir um plano de emergência único que envolva ambos os estados, bem como um único centro de controle operacional.

**5.2.2.2.12.4** O planejamento de emergência deve ser elaborado contendo todos os dados principais que permitam identificar os responsáveis, as diretrizes, as entidades participantes, as medidas de segurança, os meios de comunicação, os equipamentos de detecção, a proteção a extinção do incêndio, os procedimentos operacionais e as demais informações julgadas necessárias pelos participantes da elaboração do plano de emergência, bem como deve estar centrado no destacamento da autoridade competente. Deve ser adotada uma estreita colaboração com a autoridade competente para disponibilizar meios e planos de intervenção nas situações de incêndios.

**5.2.2.2.12.5** Para túneis com elevado risco de incêndio, recomenda-se a criação de uma brigada de incêndio própria (de pronta ação), formada pelas equipes de operação do túnel, disponível durante as 24 h do dia. Esta equipe deve dispor de meios velozes e equipamentos adequados para efetuar os primeiros-socorros em poucos minutos após o início do incidente.

**5.2.2.2.12.6** Esta primeira atuação é indispensável quando o destacamento da autoridade competente situar-se a mais de 15 min do emboque do túnel. Deve-se dar atenção ao tempo de chegada do destacamento da autoridade competente, quanto à possível paralisação ou bloqueio do tráfego. Nestes casos, a aplicação dos procedimentos operacionais é indispensável para a rápida desobstrução das vias, reduzindo o risco de engavetamentos, até a chegada do destacamento competente para o combate ao incidente.



**5.2.2.2.12.7** A intervenção do destacamento da autoridade competente é necessária, independentemente da ação da brigada de incêndio.

**5.2.2.2.12.8** Para os eventos de particular gravidade, a brigada de incêndio deve agir de forma autônoma, conforme treinamento recebido das autoridades competentes, até a chegada do destacamento. Após a chegada da autoridade competente, a brigada de incêndio fica subordinada ao comando desta autoridade.

#### **5.2.2.2.13 Equipes de primeiros-socorros e salvamento**

Equipes de primeiros-socorros e salvamento devem ser constituídas de forma a estarem preparadas e equipadas para oferecerem aos usuários, a qualquer instante, os primeiros-socorros e salvamento nas situações de emergência. O projeto dos túneis deve prever espaços e meios suficientes que permitam o deslocamento da equipe de primeiros-socorros e salvamento até o local do acidente no menor tempo possível. As equipes de combate a incêndio, primeiros-socorros e salvamento devem ser providas de equipamentos para emergências específicos das áreas.

#### **5.2.2.2.14 Transporte de produtos perigosos**

**5.2.2.2.14.1** O túnel constitui um desafio aos sistemas de segurança contra incêndio, devido ao acesso e saídas limitadas, bem como ao seu confinamento. O transporte pelo túnel de produtos perigosos, devidamente identificados conforme a ABNT NBR 7500, aumenta consideravelmente os riscos e as condições requeridas de combate a incêndio.

**5.2.2.2.14.2** Procedimentos para minimizar estes riscos devem ser elaborados e adotados. No entanto, determinados tipos de produtos perigosos inviabilizam a adoção de qualquer sistema de proteção contra incêndio e devem, portanto, ser proibidos de serem transportados pelo túnel.

**5.2.2.2.14.3** Deve-se observar as leis e regulamentação de transporte de produtos perigosos existentes e, se determinados tipos de produtos químicos forem permitidos, uma nova análise criteriosa de riscos deve ser desenvolvida, para que medidas preventivas e sistemas adequados sejam instalados no túnel.

**5.2.2.2.14.4** O transporte destes produtos através do túnel somente deve ser admitido se não existirem alternativas de seu transporte por outro meio ou percurso. Neste caso, os procedimentos específicos e a avaliação dos riscos envolvidos na operação devem ser elaborados para o transporte de produtos considerados perigosos.

**5.2.2.2.14.5** O atendimento em caso de acidentes com transporte de produtos perigosos deve também estar de acordo com as ABNT NBR 14064 e ABNT NBR 15480.

#### **5.2.2.3 Plano de contingência**

**5.2.2.3.1** Deve ser elaborado o plano de contingência visando à garantia da segurança física e patrimonial das instalações do túnel, como, por exemplo, a subestação elétrica e o centro de controle operacional, contra atividades ilícitas (furto, roubo, vandalismo, terrorismo, etc.) que venham ocasionar danos aos sistemas operacionais dos túneis. Recomenda-se que as entidades reguladoras específicas auxiliem e apoiem na preparação dos procedimentos operacionais requeridos para este plano.

**5.2.2.3.2** Este plano é de responsabilidade do gestor do túnel e deve ser elaborado e ensaiado antes do início de operação do túnel.



#### 5.2.2.4 Plano de manutenção

**5.2.2.4.1** Os procedimentos de manutenção devem ser elaborados por meio da definição de sistemas essenciais (manutenção corretiva emergencial), equipamentos de apoio (manutenção corretiva normal) e equipamentos não essenciais (reparo junto com a manutenção preventiva).

**5.2.2.4.2** A manutenção dos equipamentos inclui a atualização do *software* e *hardware* dos sistemas.

**5.2.2.4.3** O centro de controle da manutenção (CCM) deve ser integrado ao centro de controle operacional (CCO), de modo que no momento em que o sistema apresente algum problema, o CCO (que opera ininterruptamente) faça a triagem dos eventos e defina a sua prioridade, inclusive realizando o primeiro atendimento quando a falha ocorre no CCO.

#### 5.2.2.5 Periodicidade/registro

Em função das normas existentes e manuais de manutenção dos fornecedores, deve ser estabelecido o plano de manutenção. A periodicidade das intervenções deve atender a estes documentos. As manutenções efetuadas em conformidade com o plano de manutenção devem ser registradas pelo operador do túnel.

### 5.3 Análise de riscos – Identificação dos riscos e medidas de redução

**5.3.1** As análises de risco devem ser efetuadas, na fase de projeto, como elemento de orientação e concepção, em todos os túneis, sendo elaboradas por um organismo funcionalmente independente do gestor do túnel. Antes do início de operação do túnel, deve ser efetuada a análise de conformidade para verificar a instalação dos dispositivos e/ou equipamentos de segurança recomendados pela análise de riscos.

**5.3.2** O conteúdo e os resultados das análises de risco devem ser incluídos na documentação de segurança apresentada, conforme citado na Seção 11, inclusive as medidas mitigadoras realizadas.

**5.3.3** A análise de risco deve ser específica ao túnel em estudo e naturalmente detalhada em função da complexidade do túnel em questão. A análise de risco deve considerar todos os fatores de concepção e as condições de circulação que afetem a segurança, principalmente as características do tráfego, pessoas, cargas e veículos, a extensão do túnel, o tipo de tráfego e a geometria do túnel bem como o número de veículos pesados de carga previstos por dia.

**5.3.4** A utilização da metodologia de análise de risco está detalhada no Anexo A.

**5.3.5** A análise de risco deve ser renovada anualmente, de modo que seja comprovada a permanência do estado operacional do túnel.

**5.3.6** Caso sejam encontradas alterações na operação ou nos riscos, para estes devem ser implantadas medidas mitigadoras e, se for o caso, deve-se efetuar a revisão da análise de riscos realizada anteriormente.

### 5.4 Sistemas de segurança

Os requisitos para a instalação de sistemas de segurança em túneis urbanos e rodoviários estão indicados no Anexo B.



#### 5.4.1 Sinalização (circulação, segurança e emergência)

5.4.1.1 O projeto de sinalização para fins de circulação deve ser seguido rigorosamente, conforme diretrizes técnicas contidas nas legislações e normas vigentes, como a ABNT NBR 15981.

5.4.1.2 Recomenda-se a utilização de sinalização vertical de segurança adicional àquela comumente utilizada, tendo como objetivo informar aos usuários quanto aos dispositivos e procedimentos relacionados com a segurança do tráfego no trecho em túneis.

5.4.1.3 A sinalização constitui-se, principalmente, dos seguintes avisos (aplicáveis a sistemas rodoviários e urbanos, conforme o caso):

- a) trecho sob controle rígido de velocidade e distância de segurança entre veículos;
- b) proibido veículos transportando produtos perigosos;
- c) fiscalização de todos os veículos comerciais adiante;
- d) tráfego com os faróis acesos;
- e) pare somente fora da pista;
- f) mantenha distância entre os veículos se o tráfego parar nos túneis;
- g) não obstrua a faixa para veículos de emergência, quando da existência de faixa exclusiva para veículos de emergência;
- h) desligue o motor se o tráfego parar nos túneis;
- i) atenção: cancela fechada em caso de interrupção de tráfego nos túneis;
- j) informe declividade e extensão do declive;
- k) verifique os freios;
- l) trafegue com o farol baixo aceso;
- m) distância até a próxima baía de estacionamento nos túneis, bem como saídas de emergência;
- n) extensão de cada túnel;
- o) sistema de proteção e combate ao incêndio.

5.4.1.4 O projeto também deve estar de acordo com a orientação de sinalização de emergência, conforme as ABNT NBR 13434-1, ABNT NBR 13434-2, ABNT NBR 13434-3 e ABNT NBR 15981.

#### 5.4.2 Sistemas de segurança contra incêndio

5.4.2.1 A estrutura do túnel e seus sistemas devem ser projetados para resistir, controlar, remover o calor, gases tóxicos e a fumaça gerada durante o incêndio. São considerados importantes a escolha do projeto de incêndio e os cenários que podem ocorrer nos túneis. Na elaboração dos projetos, as considerações devem ser feitas com os requisitos mínimos incluídos neste Documento.



**5.4.2.2** Os acidentes com a ocorrência de incêndios no interior de túneis são raros. No entanto, os efeitos podem ser devastadores, ocasionando elevado número de vítimas fatais, danos materiais e interrupção do tráfego por longos períodos, com prejuízos nacionais e internacionais.

**5.4.2.3** A estrutura do túnel, os sistemas de combate a incêndio, controle, remoção dos gases tóxicos e fumaça devem ser projetados considerando:

- a) tipos de veículos e cargas associadas;
- b) volume de tráfego;
- c) comprimento do túnel;
- d) quantidade de túneis - singelos ou gêmeos;
- e) sentido do tráfego – unidirecional ou bidirecional;
- f) material de construção do túnel;
- g) operação do túnel;
- h) disponibilidade de equipamentos de combate a incêndio;
- i) disponibilidade de equipamentos de detecção de incêndio;
- j) disponibilidade de equipamentos de controle e eliminação de fumaça;
- k) tempo estimado para chegada da brigada de incêndio ao local do incidente;
- l) disponibilidade de saídas;
- m) capacidade do sistema de ventilação;
- n) disponibilidade de pista de acesso de viaturas de primeiros-socorros;
- o) gradiente do túnel;
- p) potência do incêndio (MW).

**5.4.2.4** Deve-se ressaltar que o comprimento do túnel é o fator determinante para a definição dos sistemas de combate a incêndio bem como as condições do túnel durante a sua ocorrência.

**5.4.2.5** É proibida a adoção de abrigos de emergência, portanto, as saídas de emergência devem conduzir os usuários ao exterior do túnel.

### **5.4.3 Sistema de ventilação**

O sistema de ventilação deve ser projetado exclusivamente para cada túnel, atendendo às suas características operacionais, incluindo ao descrito em 5.4.3.1 a 5.4.3.7. O Anexo C apresenta informações sustentáveis para o sistema de ventilação.

#### 5.4.3.1 Potência e volume de fumaça gerada em um incêndio

**5.4.3.1.1** A potência de incêndio de 30 MW é definida para o cálculo do sistema de ventilação contra incêndio de túnel. Este incêndio atinge a sua potência máxima (30 MW) em aproximadamente 10 min e gera uma vazão de fumaça de aproximadamente 80 m<sup>3</sup>/s, com duração aproximada de 60 min. A velocidade do ar no túnel não pode ser superior a 10 m/s.

**5.4.3.1.2** Quando a potência de incêndio for superior a 30 MW, a circulação desse veículo pelo túnel deve ser realizada após a análise de risco específica e com circulação isolada dos demais veículos.

**5.4.3.1.3** A Tabela 1 apresenta os valores experimentais de geração de fumaça relacionada à potência de incêndio decorrente da queima de veículos no interior de túneis rodoviário e urbano.

**Tabela 1 – Geração de fumaça em relação à potência de incêndio de veículos rodoviários em túnel ver, [18 e 19]**

Tipo de veículo	Área de poça de combustível m <sup>2</sup>	Geração de fumaça m <sup>3</sup> /s	Temperatura máxima °C
Carro de passeio	2	20 – 30	400
Ônibus	8	60 – 80	700
Caminhão	8	60 – 80	1 000
Caminhão-tanque	30 -100	100 – 300	1 200 – 1 400

#### 5.4.3.2 Ventilação natural para túneis com comprimento ≤ 500 m

Utilizada para túneis de pequenos comprimentos, dependendo, no entanto, do tipo de tráfego unidirecional/bidirecional, da inclinação e do volume de tráfego, a ventilação natural pode ser adotada para a renovação do ar.

#### 5.4.3.3 Ventilação longitudinal, por meio de jatos ventiladores, para até 3 000 m

**5.4.3.3.1** A ventilação longitudinal mecanizada produz um fluxo de ar uniforme ao longo de toda a extensão do túnel, sempre na mesma direção. Este tipo ventilação é obtido utilizando-se em geral, jatos ventiladores. Este sistema é adequado para túnel com fluxo de veículos unidirecionais, podendo ser utilizado em situações especiais em túnel bidirecional.

**5.4.3.3.2** Neste tipo de sistema usado em túneis unidirecionais, após o início de incêndio, deve ser evitada a formação da reversão da fumaça do incêndio (*backlayering*), produzindo velocidade de ar longitudinal maior que a velocidade crítica de ar na direção do fluxo de veículos.

#### 5.4.3.4 Ventilação longitudinal, por meio de jatos ventiladores e precipitadores eletrostáticos, para túneis > 3 000 m

**5.4.3.4.1** A ventilação longitudinal mecanizada obtida pela utilização em geral de jatos ventiladores em conjunto com precipitadores eletrostáticos pode ser uma alternativa aos sistemas forçado semilongitudinal e transversal para túneis com comprimentos superiores a 3 000 m.

**5.4.3.4.2** Entretanto, este sistema pode ser utilizado em túneis rodoviários ou urbanos, usados no transporte de passageiros, sendo estes de qualquer comprimento. Em casos de congestionamento ou

acidentes, com ou sem incêndio em seu interior, estes túneis devem permitir a eliminação de gases de exaustão, material particulado e da fumaça do incêndio.

#### **5.4.3.5 Ventilação forçada, semilongitudinal, por ventiladores axiais, horizontais ou verticais**

**5.4.3.5.1** Na ventilação forçada tipo semilongitudinal, existe um poço ou aberturas intermediárias, providas de equipamentos de ventilação, por onde o ar é exaurido ou insuflado no interior do túnel.

**5.4.3.5.2** As embocaduras ou aberturas nas extremidades do túnel são as tomadas ou saídas do ar, conforme o tipo de ventilação adotada.

**5.4.3.5.3** Este tipo de ventilação é aplicável a qualquer extensão de túnel.

**5.4.3.5.4** Para este sistema, em situação de emergência, devem ser considerados:

- a) ventiladores reversíveis (fluxo);
- b) velocidade do ar em emergência;
- c) tempo necessário para operação em emergência;
- d) tempo e temperatura mínima para operação sem falhas em emergência;
- e) sistema de comando (automático, manual local e/ou remoto) de fácil acesso;
- f) procedimentos operacionais;
- g) sistema de fixação e proteção contra queda;
- h) sistema de alimentação e controle;
- i) sistema de captação e saída do ar (tipo/local);
- j) sinalização de incêndio.

#### **5.4.3.6 Ventilação transversal**

**5.4.3.6.1** A ventilação transversal é a mais recomendada para túneis. A insuflação e a exaustão atuam paralelamente juntas, não havendo, portanto, percurso de ar viciado ao longo do túnel.

**5.4.3.6.2** Em condições ideais, o ar é insuflado na parte inferior e extraído na parte superior do túnel.

**5.4.3.6.3** Em condições operacionais de emergência, considerar:

- a) ventiladores com fluxo reversível;
- b) inibição dos sensores bloqueadores da operação;
- c) sistema de comando local ou remoto de fácil acesso;
- d) tempo e temperatura mínimos para operação sem falhas em emergência;
- e) velocidade do ar.



#### 5.4.3.7 Resistência dos componentes do sistema de ventilação

O conjunto de motoventiladores e todos seus componentes críticos para a operação do controle de fumaça devem resistir no mínimo a 250 °C por 60 min.

#### 5.4.4 Sistema de bombeamento de águas pluviais, para qualquer comprimento de túnel e para água de infiltração

Este sistema não pode ser utilizado para combate a incêndio e é composto no mínimo de:

- a) bombas de recalque, tipo imersão com bomba de reserva ou auxiliar;
- b) acionamento automático (manual somente em manutenção);
- c) reservatório;
- d) alimentação e controle das bombas;
- e) sinalização de controle do sistema (nível do reservatório de água).

#### 5.4.5 Sistema de proteção contra incêndio

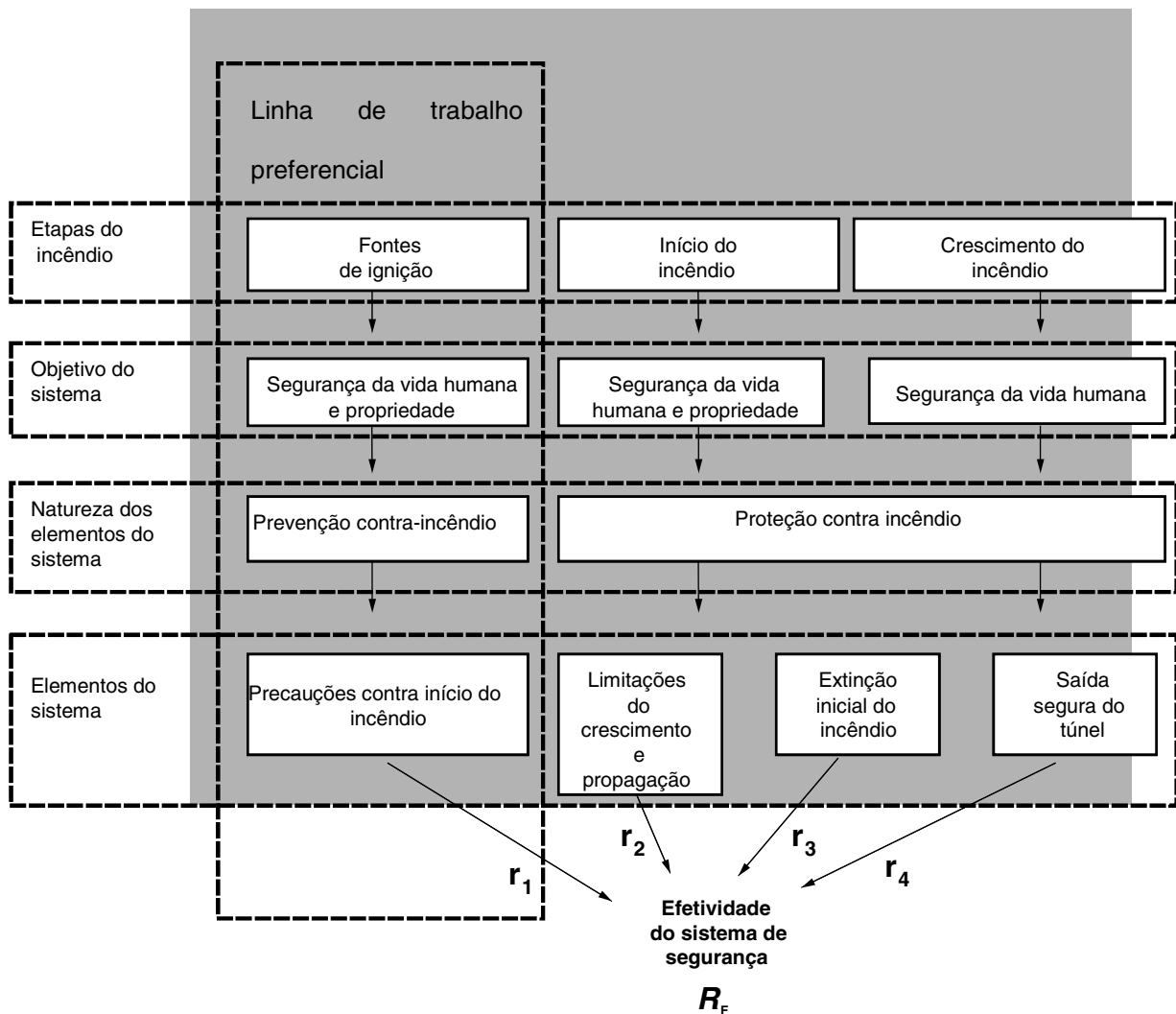
##### 5.4.5.1 Requisitos

**5.4.5.1.1** Para uma construção segura contra incêndio quando em uma situação de incêndio, há grande probabilidade dos ocupantes sobreviverem sem sofrer ferimentos e os danos à localidade se limitarem às cercanias imediatas do fogo.

**5.4.5.1.2** O projeto de proteção contra incêndio em túneis deve considerar a geração máxima de energia decorrente de incêndio de veículos, conforme o tipo de veículo em circulação pelo túnel.

**5.4.5.1.3** Para o planejamento e projeto seguro de túneis rodoviários e urbanos, deve-se considerar a geração de energia de 30 MW em caso de incêndio dentro do túnel. Esse valor também é válido para os casos de restrições de circulação de produtos perigosos em túneis, atendendo à análise de risco específica.

**5.4.5.1.4** Quando o projeto executivo do túnel tender a  $RF = 1$ , conforme a Figura 1, a estrutura civil, a infraestrutura, a operação e a manutenção devem atender ao projeto básico e também estar comprovadas no projeto executivo.



**Figura 1 – Sistema global de segurança contra incêndio**

**5.4.5.1.5** A efetividade final do sistema pode ser expressa pela seguinte equação:

$$R_F = 1 - [(1-r_1) \times (1-r_2) \times (1-r_3)] \times (1-r_4)$$

onde

$R_F$  é a efetividade do sistema de segurança (final);

$r_i$  é a efetividade de cada um de seus elementos (conforme índices  $r_1, r_2, r_3, r_4$  da Figura 1).

**5.4.5.1.6** Considerando a equação anterior, caso ocorra a efetividade de um dos elementos ( $r_i$ ) de 100 % ou 1, a efetividade total do sistema é de 100 % ou 1,0.

**5.4.5.1.7** Na Tabela 2, é apresentada a relação da carga térmica de veículos rodoviários em relação ao tempo para atingir o pico térmico devido ao incêndio provocado por veículos no interior do túnel, conforme recomendado pela NFPA 502.

Tabela 2 – Relação entre a carga térmica de veículos e o tempo para atingir o pico de queima

Tipo de veículo rodoviário	Carga térmica MW	Tempo para atingir o pico térmico min
Automóvel de passeio	5 – 10	0 – 54
2 a 4 automóveis	10 – 20	10 – 55
Ônibus	25 – 34	7 – 14
Caminhão	20 – 200	7 – 48
Caminhão-tanque inflamável	200 - 300	–

NOTA Pesquisa demonstrou que um caminhão (100 MW) em queima de 10 min gera uma temperatura de até 1 200 °C.

#### 5.4.5.2 Sistema de hidrantes para túnel com $L \geq 200$ m

5.4.5.2.1 Túneis com extensão a partir de 200 m até 500 m devem ser providos de sistema de hidrantes com tubulação que pode permanecer seca, porém com controle de abastecimento em ambas as extremidades do túnel.

5.4.5.2.2 Túneis com extensão acima de 500 m devem ser providos de sistemas de hidrantes, conforme a ABNT NBR 13714, considerando-se um sistema Tipo 3 ou maior, se determinado pela análise de incêndio, com reserva de incêndio que propicie o combate a incêndio por 30 min, com previsão de dois hidrantes funcionando simultaneamente, com uma pressão de 400 kPa no hidrante mais desfavorável.

5.4.5.2.3 Os sistemas devem possuir bomba atuante e reserva e mangotinhos, conforme o caso, com uma vazão mínima de 900 L/min.

5.4.5.2.4 A distância máxima entre dois pontos de hidrantes deve ser de 60 m, prevendo-se quatro lances de mangueira de 15 m para cada coluna de hidrante.

5.4.5.2.5 O sistema deve possuir sinalização de controle (nível, operação, bombas).

5.4.5.2.6 O sistema deve possuir sinalização de localização dos hidrantes.

5.4.5.2.7 Túneis com extensão acima de 2 000 m devem atender aos itens anteriores e ter sua proposta de proteção por hidrantes analisada por órgão competente.

#### 5.4.5.3 Extintores para túnel com $L \geq 200$ m

Os extintores em túneis devem atender ao seguinte:

- tipo ABC (classes de fogo, conforme ABNT NBR 15808 e ABNT NBR 15809);
- distância de 60 m entre os extintores;
- sinalização;
- túneis com extensão acima de 2 000 m devem atender aos itens anteriores e ter sua proposta de proteção por extintores analisada/aprovada por órgão competente.





#### 5.4.6 Saídas e passagens de emergência para túneis com qualquer comprimento

O projeto do túnel deve prever, de acordo com as características específicas de cada túnel, a necessidade de saídas e passagens de emergência, constituindo rotas de saída. As saídas de emergência em túneis devem atender às ABNT NBR 9050, ABNT NBR 9077 e ABNT NBR 15981.

**5.4.6.1** Como a ABNT NBR 9050 e a ABNT 9070 não tratam especificamente de túneis, quando de sua aplicação, o projeto das saídas de emergência do túnel deve ser considerado como um caso (aplicação) especial.

**5.4.6.2** As saídas e passagens de emergência devem ser pressurizadas em relação à área de fogo.

**5.4.6.3** O espaçamento máximo entre passagens cruzadas em túneis rodoviários e urbanos com pistas paralelas deve ser de 250 m. Esta distância é dependente do volume de tráfego, do tipo de estrutura do túnel e de seu comprimento.

**5.4.6.4** Estas devem ser mantidas livres, desimpedidas e com acesso facilitado, de forma que os passageiros não tenham dificuldades de abandonar o túnel, no caso de acidente.

**5.4.6.5** É proibida a adoção de abrigos de emergência, portanto, as saídas de emergência devem conduzir os usuários do túnel à área externa ao túnel ou a outro túnel paralelo.

#### 5.4.7 Requisitos para túneis metroferroviários

Os requisitos para túneis metroferroviários estão descritos na ABNT NBR 16484.

#### 5.4.8 Equipamentos e acessórios para sistemas de proteção auxiliares

##### 5.4.8.1 Portas

As portas de emergência devem ser corta-fogo-fumaça com as seguintes características:

- a) tipo PCF P90 – todas as portas do túnel;
- b) fecho tipo antipânico;
- c) localização e abertura sinalizadas.

##### 5.4.8.2 Corrimãos e guarda-corpos

Os corrimãos e guarda-corpos devem ser:

- a) metálicos, com no máx. 40 mm de comprimento;
- b) instalados ao longo das passarelas e saídas.

##### 5.4.8.3 Escadas metálicas

As escadas metálicas devem ter as seguintes características:

- a) ser do tipo marinheiro – só para manutenção;
- b) possuir degrau para usuários, tipo espelho antiderrapante (dimensões dos degraus convencionais).



#### 5.4.9 Sinalizações auxiliares

As sinalizações auxiliares devem ter faixas de balizamento em material fotoluminescente, ou por aplicação de perfis.

#### 5.4.10 Elementos de montagem

5.4.10.1 Os elementos de montagem devem ser:

- a) de fixação mecânica e/ou química;
- b) inseridos na estrutura civil;
- c) de material anticorrosivo;
- d) resistentes a alta temperatura.

5.4.10.2 Elaborar um projeto de engenharia consistente, que determine o método seguro de fixação dos ventiladores, considerando as condições de contorno do túnel.

#### 5.4.11 Suportes

Os suportes devem ser:

- a) de material não corrosivo;
- b) resistentes à temperatura elevada;
- c) seguros contra queda de equipamento.

#### 5.4.12 Suprimento de energia

5.4.12.1 O suprimento de energia é vital para a operação do túnel e deve ser confiável, com redundâncias múltiplas e fontes alternativas. A infraestrutura destinada ao suprimento de energia deve proteger e suportar os incidentes e situações de emergência.

5.4.12.2 Os cabos que alimentam os sistemas de emergência devem ser projetados e fabricados para suportarem elevadas temperaturas no interior do túnel, conforme descrito em 5.4.15.4.5.

5.4.12.3 Os componentes de alimentação dos equipamentos envolvidos com o sistema de proteção contra incêndio, instalados no interior do túnel, devem estar protegidos dos efeitos da combustão, de forma que permaneçam acondicionados em dutos que os protejam contra deformação ou colapso resultante do incêndio.

5.4.12.4 O suprimento de energia deve possuir múltiplas fontes alternativas que sejam redundantes, como, por exemplo, linhas distintas e independentes de distribuição de energia elétrica ou de diferentes concessionárias. Também deve ser considerada a diversidade de alimentação de energia elétrica em complementação à fornecida pela concessionária, como, por exemplo, grupo de motogerador e/ou baterias.

5.4.12.5 A alimentação fornecida pelos geradores de emergência, quando necessária, deve ser ininterrupta, com tensão estabilizada e filtrada de interferências eletromagnéticas.



**5.4.12.6** As cargas elétricas dos seguintes sistemas devem estar conectadas ao sistema de geração de energia de emergência:

- a) iluminação de emergência;
- b) sistema de fechamento do túnel e controle de tráfego;
- c) sinalização e comunicação de emergência;
- d) ventilação de emergência;
- e) detecção e alarme de incêndio;
- f) sistema de combate ao incêndio;
- g) DAI;
- h) CFTV;
- i) drenagem.

**5.4.12.7** Para os sistemas previstos em 5.3.12.6 a), b), g) e h), deve ser previsto um sistema de fornecimento ininterrupto de energia por baterias (*no-break*), que garanta a continuidade de suprimento de energia elétrica destes sistemas até a partida do motorgerador ou restabelecimento da energia elétrica.

**5.4.12.8** O tanque de óleo *diesel* para o gerador de emergência deve atender à ABNT NBR 17505 e à legislação vigente.

#### **5.4.13 Iluminação operacional e de emergência**

**5.4.13.1** O sistema de iluminação do túnel deve ser ininterrupto e atender às ABNT NBR 5181 e ABNT NBR 10898.

**5.4.13.2** O sistema operacional deve ser projetado para evitar o efeito “cegueira” no emboque do túnel. Na falha do sistema de suprimento de energia elétrica, o sistema de geração de energia de emergência deve entrar automaticamente. A interrupção no nível de iluminação não pode ser superior a 0,5 s, devendo manter o nível de iluminação médio de 10 lux, e não inferior a 1 lux, em ponto algum do pavimento e da rota de saída no interior do túnel. O sistema de iluminação ininterrupta deve ser considerado como a metade das luminárias do sistema noturno.

**5.4.13.3** A iluminação de emergência deve também ser considerada para as rotas de saída e saídas de emergência do túnel, conforme a ABNT NBR 5181.

#### **5.4.14 Sistemas eletroeletrônicos**

##### **5.4.14.1 Painéis de mensagem variável (PMV)**

**5.4.14.1.1** Para túneis rodoviários com extensão superior a 1 000 m, além da sinalização vertical adicional de segurança, convém utilizar equipamentos eletrônicos de sinalização e segurança.

**5.4.14.1.2** Em túneis urbanos com extensão superior a 500 m, deve-se instalar um PMV.

**5.4.14.1.3** Em túneis rodoviários, a cada 1 000 m de extensão, deve ser instalado um PMV. Em túneis urbanos, a cada 500 m deve ser instalado um PMV.



**5.4.14.1.4** Os painéis de mensagem variáveis permitem emitir informações aos usuários da rodovia ou de túneis urbanos em seus diferentes pontos. A operação deste importante recurso deve ser realizada pelo centro de controle operacional (CCO), no qual, por meio de um *software* aplicativo, o operador do sistema tem acesso a todos os PMV, podendo editar ou alterar mensagens de texto que são exibidas aos usuários do túnel.

#### **5.4.14.2 Triedros**

Convém que os painéis de mensagem variáveis mecânicos, quando necessários, sejam instalados em locais operacionais estratégicos, contemplando a possibilidade de apresentação de avisos dinâmicos predefinidos sobre a situação operacional do túnel, com monitoração a partir do centro de controle operacional, possibilitando a alternância de três mensagens definidas.

#### **5.4.14.3 Megafonia**

**5.4.14.3.1** Este sistema tem por objetivo apresentar instruções e informações sonoras durante a ocorrência de eventos de emergência ao longo do túnel. O operador do centro de controle operacional veicula avisos e informações por meio de alto-falantes instalados dentro dos túneis e em suas imediações.

**5.4.14.3.2** Este sistema deve ser dimensionado para ser audível e inteligível em situação de emergência, ou seja com o fluxo de veículos parado.

#### **5.4.14.4 Balizadores de faixa e indicação de limite de velocidade**

**5.4.14.4.1** Balizadores podem ser instalados como sinalizadores eletrônicos do tipo seta/xis para fechamento da faixa de rolamento (verde e vermelho) e seta inclinada para direcionamento de desvio (amarelo) em caso de veículos ou obstáculos parados sobre a faixa, indicando a interdição da faixa para o condutor do veículo.

**5.4.14.4.2** Os balizadores de faixa e de indicação de limite de velocidade devem ser instalados a cada 400 m em túneis rodoviários e urbanos com extensão > 1 000 m.

**5.4.14.4.3** Os balizadores de faixa devem ser instalados no emboque do túnel e em seu interior de acordo com a Tabela B.1.

#### **5.4.14.5 Cancelas**

Equipamentos destinados a bloquear os emboques dos túneis e a saída de emergência do túnel, quando existir, para os casos de acidentes ocorridos no seu interior, ou qualquer outro tipo de incidente, a fim de não permitir a entrada de veículos, até o total controle da situação e posterior liberação do trecho envolvido ao tráfego normal. A instalação no emboque deve permitir a passagem de veículos de emergência, mesmo quando fechadas.

#### **5.4.14.6 Sinalização de abandono do local**

Convém que os painéis de sinalização luminosa sejam instalados no máximo a 1,50 m do piso da rota de saída, no sentido do tráfego, informando aos usuários, em caso de emergência, o sentido do emboque ou da saída de emergência mais próxima para abandono do local, bem como a respectiva distância de segurança até esta saída de emergência. Esta sinalização deve atender à ABNT NBR 15981.



#### 5.4.14.7 Sistemas de comunicação

##### 5.4.14.7.1 Geral

**5.4.14.7.1.1** O projeto para túneis acima de 500 m deve prever um sistema de comunicação instalado no interior e exterior do túnel, de forma a permitir a troca de dados e informações entre o usuário, pessoal de serviço e equipes de emergência com os centros de controle e operação do túnel (CCO), atendendo à ABNT NBR 15981.

NOTA Devido à complexa natureza dos túneis, os recursos de comunicação são de fundamental importância aos usuários e operadores.

**5.4.14.7.1.2** O sistema de comunicação do túnel deve ser projetado com um elevado nível de confiabilidade e redundância. Nas situações de emergência, as facilidades de comunicação disponíveis são o único vínculo entre os usuários e o pessoal que se encontra no lado externo do túnel. Desta forma, a infraestrutura de comunicação deve ser instalada no interior do túnel, de forma a garantir uma operação contínua do sistema.

**5.4.14.7.1.3** O sistema de comunicação deve ser dividido em:

- a) a comunicação do usuário e o centro de controle e operação do túnel (CCO),
- b) a comunicação das equipes de emergência e o centro de controle e operação do túnel (CCO),
- c) a rede de comunicação de dados.

##### 5.4.14.7.2 Comunicação do usuário e CCO

Este sistema deve ser instalado a cada 60 m, no máximo, juntamente com o hidrante e um extintor, localizados no lado direito do fluxo de tráfego regular.

##### 5.4.14.7.3 Comunicação das equipes de emergência e CCO

Este sistema deve possibilitar a comunicação entre as equipes de emergência e o CCO ao longo do túnel.

##### 5.4.14.7.4 Rede de comunicação de dados

A rede de comunicação de dados do túnel deve estar de acordo com a ABNT NBR 15981.

##### 5.4.14.8 Detecção e alarme de incêndio

**5.4.14.8.1** Em função do tráfego de veículos pelo túnel, dependendo do tipo de fogo, devem ser definidos a característica das fumaças possíveis de serem produzidas e o melhor sistema de detecção.

**5.4.14.8.2** Recomenda-se a detecção do tipo linear nos túneis rodoviários e urbanos.

**5.4.14.8.3** O projeto, a instalação, o comissionamento e a manutenção de sistemas de detecção e alarme de incêndio devem atender à ABNT NBR 17240.

**5.4.14.8.4** Como a ABNT NBR 17240 não trata especificamente de túneis, quando de sua aplicação, o sistema de detecção e alarme de incêndio em túneis deve ser considerado como um caso (aplicação) especial.



**5.4.14.8.5** Complementarmente pode ser previsto um sistema de detecção automático de incidentes (DAI), composto por câmeras de circuito fechado de televisão, interligadas por um *software* que permita verificar o trajeto de veículos no interior do túnel.

#### **5.4.14.9 Acionamento do sistema de extinção de incêndio**

**5.4.14.9.1** O projeto deve prever um sistema de acionamento de extinção adequado às características do túnel, para controle do desenvolvimento do incêndio, possibilitando uma evacuação segura dos usuários, bem como deve permitir que as brigadas de incêndio se aproximem o máximo possível do local e deve oferecer a oportunidade de controle e extinção do incêndio.

**5.4.14.9.2** O acionamento do sistema manual ou automático deve minimizar os efeitos adversos do incêndio no interior do túnel, criando um maior tempo para evacuação dos usuários, manutenção das proteções das estruturas e diminuição dos riscos de uma prolongada interrupção dos negócios devido à propagação do incêndio.

**5.4.14.9.3** Incêndios em túneis que não possuem sistemas de extinção de incêndio podem produzir efeitos catastróficos.

#### **5.4.14.10 Controle da fumaça**

**5.4.14.10.1** O projeto deve prever um sistema de controle de fumaça adequado às características do túnel, para extração de fumaça, possibilitando uma evacuação segura dos usuários, bem como deve permitir que a brigada de incêndio se aproximem o máximo possível do local e deve oferecer a oportunidade de controle e extinção do incêndio. O Anexo D apresenta informações experimentais sobre a geração de fumaça da queima de veículos em túneis.

**5.4.14.10.2** A atuação do sistema manual ou automático deve minimizar os efeitos adversos do incêndio no interior do túnel, criando um maior tempo para evacuação dos usuários, manutenção das proteções das estruturas e diminuição dos riscos de uma prolongada interrupção dos negócios pela propagação do incêndio.

**5.4.14.10.3** Para os túneis, é requerida atuação automática acionada por detectores de fumaça ou sistema similar, sendo que o sistema de controle de fumaça deve permitir a manobra de exaustão e insuflação de ar.

#### **5.4.14.11 Controle de níveis de CO/NOx e visibilidade**

**5.4.14.11.1** Os níveis-limite de concentração de CO/NOx e visibilidade no interior do túnel devem ser monitorados por detectores ao longo do túnel e atender aos níveis ambientais permitidos pela legislação ambiental.

**5.4.14.11.2** O projeto deve prever um sistema de controle dos níveis de CO/NOx e visibilidade adequada às características do túnel, para extração destes gases.

**5.4.14.11.3** O projeto deve considerar os seguintes valores-limite operacionais para CO/NOx e de visibilidade, conforme apresentado na Tabela 3. Os limites de exposição são apresentados no Anexo C.

**Tabela 3 – Valores-limite de concentração para CO/NOx e de visibilidade em túnel**

<b>Gases / visibilidade</b>	<b>Concentração ppm Nível de operação normal</b>	<b>Concentração ppm Nível operacional em congestionamento</b>
CO	70	90
NOx	1	1
Visibilidade	0,005 m <sup>-1</sup>	0,007 m <sup>-1</sup>

#### **5.4.15 Dimensionamento para componentes estruturais e equipamentos de infraestrutura**

##### **5.4.15.1 Requisitos gerais**

**5.4.15.1.1** A resistência ao incêndio de uma estrutura/equipamento deve ser definida como o tempo decorrido entre o início do incêndio e o momento em que a estrutura/equipamento não exerce mais a função para a qual foi projetada, devido ao excesso de deformação ou colapso.

**5.4.15.1.2** A estrutura principal de todos os túneis em que um colapso local da estrutura possa ter consequências catastróficas, como, por exemplo, túneis subaquáticos e túneis que ao colapsar podem levar ao colapso de estruturas vizinhas importantes, devem apresentar tempos requeridos de resistência ao fogo adequado a estas situações, considerando a análise de risco e atendendo no mínimo aos requisitos apresentados em 5.4.15.1.4 a 5.4.15.1.8.

**5.4.15.1.3** Os equipamentos instalados no interior do túnel não podem produzir gases tóxicos nem grande quantidade de fumaça.

**5.4.15.1.4** Os equipamentos de segurança devem ser projetados e construídos de forma a suportarem temperaturas adequadas nas situações de incêndio e devem permanecer em funcionamento nestas condições por períodos prolongados.

**5.4.15.1.5** Os componentes de alimentação dos equipamentos envolvidos com o sistema de proteção contra incêndio, instalados no interior do túnel, devem estar protegidos dos efeitos da combustão, de forma que permaneçam acondicionados em dutos que os protejam contra deformação ou colapso resultante do incêndio.

**5.4.15.1.6** Os seguintes tempos requeridos de resistência ao fogo (TRRF) devem ser adotados:

- 120 min para revestimento estrutural do túnel e outros elementos estruturais em concreto;
- 120 min para revestimento estrutural do túnel e outros elementos estruturais em aço;
- 120 min para dutos metálicos (sistemas de ventilação);
- 120 min para vedação de aberturas destinadas a passagem de cabos/tubos;
- 60 min para bandejamento de cabos elétricos e de controle (ventilação e iluminação de emergência).

**5.4.15.1.7** Todos os sistemas e equipamentos dos túneis destinados à proteção contra incêndio devem atender às possibilidades tecnológicas, objetivando manter as funções de segurança necessárias em caso de sinistro.



**5.4.15.1.8** Todas as características preconizadas na concepção e projeto devem ser evidenciadas por certificados e ensaios efetuados por laboratórios e institutos credenciados e específicos para cada aplicação, e devem atender aos seguintes requisitos:

- a) quanto à resistência ao calor, a concepção do revestimento dos túneis, das estruturas e dos demais sistemas a eles vinculados deve garantir um tempo de suporte do maciço suficiente para o abandono da área sinistrada. Durante este período de tempo não pode ocorrer colapso com queda de setores do revestimento do túnel. O TRRF deve ser no mínimo de 120 min;
- b) para garantir o desempenho, o revestimento dos túneis bem como as demais estruturas a ele vinculadas devem ser considerados, nas fases de projeto, construção e operação/manutenção, medidas e soluções que visem eliminar ou controlar patologias como infiltrações e falhas nos sistemas de impermeabilização, corrosão de armadura, fissuras em geral, falhas em juntas e seus elementos de vedação e proteção, falhas e degradação de elementos auxiliares de suporte do revestimento, falhas e degradação de elementos de drenagem do maciço, lixiviação do concreto, degradação de elementos de ligação no caso de revestimentos segmentados, degradação de elementos de fixação e suporte de equipamentos, entre outras;
- c) o revestimento e as estruturas secundárias a ele vinculadas, principalmente as contínuas, devem ser concebidos para que, no caso de rupturas ou do colapso de ligações, provocados por sinistros como colisões e incêndios, essas estruturas não se transformem em sobrecarga para a estrutura ou a região do revestimento adjacente e contígua, provocando ruptura e queda sucessivamente dessas estruturas (efeito “dominó”);
- d) equipamentos de infraestrutura que transmitam esforços dinâmicos (por exemplo, ventiladores) ou outros de carga relevante devem ter elementos de suporte engastados diretamente na estrutura do revestimento (insertos) ou em estruturas secundárias;
- e) estruturas que pela sua posição de implantação estejam sujeitas a impactos frontais de veículos desgovernados devem ser dimensionadas para suportar e manter a estabilidade do túnel, mesmo na condição degradada em função de impacto de veículo típico na velocidade de projeto ou, ainda, o conjunto dos elementos estruturais na região em que tal condição é possível deve garantir a estabilidade do túnel, considerando a supressão total ou parcial dos elementos sujeitos ao impacto frontal. Esta condição deve ser associada ao requisito em a). Podem ser consideradas estruturas de sacrifício que visem proteger estas estruturas ou amortecer os impactos, de forma a atender a este requisito;
- f) para garantia de desempenho da estrutura bem como de todos os sistemas operacionais, a drenagem de água proveniente, por exemplo, de sistemas de drenagem dos maciços, água de infiltração, água de lavagem, água pluvial conduzida através do túnel, deve-se considerar, nas fases de projeto, construção e operação/manutenção, medidas e soluções que visem garantir o encaminhamento da água (separação de líquidos provenientes de vazamentos por acidente);
- g) a condição ambiental do túnel (agressividade), considerando a presença de umidade no revestimento, umidade relativa do ar, percolação de água de infiltração, gases de motores de combustão, fuga de corrente elétrica (provenientes de sistemas externos ou internos ao empreendimento), deve ser considerada na especificação dos materiais das estruturas e de todos os componentes dos demais sistemas, ou, por outro lado, deve ser obtida condição ambiental ou proteção adequada aos componentes da estrutura e do conjunto de sistemas, para cada potencial vetor de agressividade;
- h) como parte integrante do empreendimento, em sua fase de implantação, deve ser elaborado com base em considerações de projeto executivo, inclusive relativo ao exposto em a) a g), o manual



de manutenção das estruturas (do revestimento secundário, de suporte de equipamentos). O manual identifica todos os elementos e as respectivas ações de inspeção e intervenção, de forma a garantir o atendimento aos itens anteriores, pelas equipes de manutenção. Os arquivos dos relatórios e registros das intervenções de manutenção preventiva, corretiva, ocorrências e relatórios de inspeção devem ser mantidos em sistemas informatizados;

- i) na fase operacional, em caso de acidentes, é necessário efetuar a avaliação e restabelecimento das condições e premissas originais (conforme itens anteriores), antes do reinício das operações.

#### **5.4.15.2 Considerações sobre soluções para obtenção do TRRF**

**5.4.15.2.1** O objetivo da proteção estrutural contra incêndios é minimizar substancialmente efeitos negativos na capacidade de suporte (inclusive do teto do túnel, forro, teto falso, teto de serviço) durante e após incêndios, bem como o desprendimento de partes (lascamento) que possam atingir as pessoas durante o abandono do túnel.

**5.4.15.2.2** Existem várias possibilidades técnicas que podem ser desenvolvidas para este objetivo, desde o uso de materiais intrinsecamente resistentes, passando pela adição de elementos de reforços na composição da matriz de produção do material (compostos ou compósitos), até a aplicação de elementos de proteção independentes (que garantam o TRRF) sobre os elementos estruturais menos resistentes.

**5.4.15.2.3** Analisando os elementos estruturais e de infraestrutura do projeto, a viabilidade caso a caso, os aspectos de concepção estrutural, o método construtivo, a manutenção da estrutura e a análise de risco podem indicar a aplicação de diferentes soluções para cada sistema estrutural ou de infraestrutura, ou ainda para cada componente isoladamente.

#### **5.4.15.3 Estrutura com material de matriz composta resistente ao fogo**

**5.4.15.3.1** Dentro da possibilidade da adição de elementos de reforços na matriz de produção do material, abordando o concreto, como o principal material utilizado na produção de túneis, está-se desenvolvendo a produção de concretos estruturais para revestimento de túneis (projetado ou para anéis pré-moldados), que não requerem qualquer tipo de proteção e não são sujeitos a lascamento.

**5.4.15.3.2** Pode ser utilizada a proteção passiva ou adição de fibras. As adições de fibras de polipropileno, sempre associadas a uma seleção otimizada de agregados, no conjunto do estudo de traço, devem ser desenvolvidas especificamente para cada projeto.

**5.4.15.3.3** A armadura principal das estruturas deve ser protegida para que não atinja 300 °C.

#### **5.4.15.4 Aplicação de materiais de proteção para as estruturas e equipamentos de infraestrutura**

**5.4.15.4.1** Alternativamente, pode ser considerada a implantação de revestimentos de proteção ao fogo à base de minerais em forma de placas, segmentos e aplicações *in loco* de argamassas e compostos (argamassa projetada com base de cimento Portland).

**5.4.15.4.2** Os materiais de proteção são instalados nas partes estruturais e não podem impedir que a estrutura de suporte do túnel seja vistoriada, sendo recomendada a implantação considerando mecanismos de ventilação (por trás das placas ou segmentos de proteção, forros técnicos).

**5.4.15.4.3** Placas e segmentos devem ser removidos para permitir a inspeção da estrutura, bem como intervenções de manutenção preventiva ou corretiva das anomalias (fissuras, infiltrações de água em juntas, umidade, desagregação do concreto, armaduras expostas/corroídas etc.).

**5.4.15.4.4** Os materiais de proteção devem estar adequados às estruturas ou equipamentos existentes.



#### 5.4.16 Aspectos para os sistemas de proteção

##### 5.4.16.1 Proteção para estruturas de concreto (inclusive revestimento do túnel)

**5.4.16.1.1** Revestimentos de proteção ao fogo à base de minerais, em forma de placas, segmentos e aplicações *in loco* de argamassas e compostos (argamassa projetada com base de cimento Portland), são instalados sobre a superfície do concreto, visando garantir a temperatura de interface (concreto/material de revestimento) máxima de 380 °C.

**5.4.16.1.2** Toda a proteção contra incêndio a ser aplicada sobre o concreto deve ser ancorada neste, evitando-se assim a queda de material durante a operação do túnel e durante o incêndio.

**5.4.16.1.3** A escolha da ancoragem deve atender às recomendações do fabricante do material isolante, requerendo-se no mínimo, para chumbadores em aço inoxidável e adicionalmente para argamassas, o uso de telas galvanizadas com cobertura em PVC, ou telas em aço inoxidável.

##### 5.4.16.2 Proteção para estruturas de aço (inclusive revestimento do túnel)

**5.4.16.2.1** O aumento da temperatura nos elementos estruturais em aço, em consequência da ação térmica, causa redução da resistência, redução da rigidez e aparecimento de esforços solicitantes adicionais nas estruturas hiperestáticas.

**5.4.16.2.2** Verificando-se que ocorre significativa redução da capacidade de suporte, deformação e consequente colapso do aço, quando sujeito a uma temperatura acima de 550 °C, é de fundamental importância para a proteção contra incêndio de sua superfície aparente, contribuindo para a estabilidade estrutural durante o TRRF especificado em projeto.

**5.4.16.2.3** O aço deve ser protegido por materiais intumescentes (*coats*), placas, isolantes térmicos para altas temperaturas (superiores à 1 100 °C), ou argamassas projetadas, desenvolvidas especificamente para este fim.

**5.4.16.2.4** Os materiais de revestimento devem ser especificados de acordo com o tipo e com as características de cada perfil metálico, ou seja, de acordo com a massividade específica dos perfis e elementos.

##### 5.4.16.3 Proteção para bandejamentos de cabos

**5.4.16.3.1** Visando manter a integridade e o funcionamento de cabos elétricos, de controle e de detecção em situação de incêndio, é importante que os bandejamentos/leitões que os contêm atendam ao TRRF especificado em projeto.

**5.4.16.3.2** Materiais isolantes do tipo manta flexíveis incombustíveis encapsuladas por um filme de alumínio de 50 µm de espessura devem ser reforçados internamente por trama de fibra de vidro (proporciona melhor manuseio e integridade ao sistema), podem atender ao TRRF mínimo de 60 min.

**5.4.16.3.3** O tempo de proteção aos cabos permite o funcionamento dos demais sistemas, fazendo com que a energia e os dados destes sistemas não sejam afetados com o incêndio;

##### 5.4.16.4 Proteção para dutos metálicos

**5.4.16.4.1** Os dutos metálicos de ventilação e de extração de ar convencionais normalmente não possuem resistência ao fogo por um período em que seja permitida a extinção do incêndio, sendo um caso típico para solução por aplicação de proteção.



**5.4.16.4.2** A proteção deve permitir a funcionalidade com TRRF mínimo de 120 min.

**5.4.16.4.3** Durante este período são estabilizadas as funções de ventilação e de extração de ar, que são de grande importância ao progresso da extinção do incêndio;

#### **5.4.16.5 Selagens corta-fogo**

**5.4.16.5.1** Em cenário de incêndio é fundamental que existam sistemas capazes de conter a propagação do fogo e de compartimentar os ambientes, com ganho de tempo para sua extinção.

**5.4.16.5.2** As aberturas destinadas à passagem de cabos, dutos, tubos e bandejamentos devem ser seladas com material corta-fogo de TRRF mínimo de 120 min.

**5.4.16.5.3** Esta vedação deve garantir bloqueio à passagem de gases, chama ou fumaça entre o ambiente em que ocorreu o sinistro e os demais ambientes interligados.

#### **5.4.17 Abastecimento de água**

Uma fonte confiável de abastecimento de água para o combate ao incêndio é vital, de forma que em qualquer local do túnel o sistema de abastecimento possa fornecer a quantidade e a pressão necessárias ao combate do incêndio.

#### **5.4.18 Sistema de coleta de líquidos**

**5.4.18.1** O projeto do túnel deve prever um sistema de drenagem para coleta, armazenagem e descarga ou combinação entre quaisquer destas funções de líquidos efluentes no interior do túnel.

**5.4.18.2** Os efluentes podem ser, por exemplo, águas do sistema de proteção anti-incêndio, líquidos provenientes de acidentes nos veículos, águas de limpeza e águas de infiltração.

**5.4.18.3** O sistema de drenagem de líquidos, em toda a extensão do túnel, deve ser feito por meio de grelhas de escoamento, situadas nas laterais da pista, possibilitando o rápido escoamento do interior do túnel para bacias de contenção.

**5.4.18.4** As bacias de contenção devem ser projetadas de modo que tenham capacidade para conter no mínimo 15 m<sup>3</sup>, associadas a um sistema de bombeamento de no mínimo 45 m<sup>3</sup>/h, ou capacidade para conter até 45 m<sup>3</sup>, no mínimo.

**5.4.18.5** Com referência ao descrito em 5.4.18.4, este sistema deve possibilitar a retirada de líquidos das bacias de contenção por meio de caminhões-tanque, evitando danos ao meio ambiente.

#### **5.4.19 Sistema de circuito interno de TV**

**5.4.19.1** Para os túneis com extensão superior a 1 000 m, deve ser instalado sistema de comunicação e sistema interno de TV, com a instalação de câmeras no interior do túnel. Deve haver manutenção preventiva periódica nos sistemas de câmeras para evitar acúmulo de fuligem em suas lentes.

**5.4.19.2** As câmeras devem estar a uma distância que permita a perfeita identificação do usuário, do veículo e de detalhes do acidente, cujo objetivo é visualizar e gerenciar ocorrências da central de TV.



## 6 Sequência de desenvolvimento do empreendimento

### 6.1 Geral

**6.1.1** Os requisitos e recomendações desta Norma, quando não evidenciada a fase de aplicabilidade, devem ser considerados desde os estudos de viabilidade, como também estudos de concepção, projeto básico, projeto executivo, acompanhamento das obras, comissionamento e operação e manutenção (avaliação em testes e simulados), recuperações ou readequações.

**6.1.2** A análise de risco deve ser efetuada em todas as etapas de projeto, em maior ou menor profundidade, de acordo com o nível de detalhamento requerido para atendimento deste documento, observando-se o disposto na Tabela A.1.

### 6.2 Geometria do túnel

Deve-se prestar atenção à segurança ao conceber a geometria da seção transversal do túnel e o seu alinhamento horizontal e vertical e das respectivas rodovias de acesso, dado que estes parâmetros têm grande influência na probabilidade e gravidade dos acidentes.

### 6.3 Túneis rodoviários e urbanos

**6.3.1** Não permitir declives longitudinais superiores a 5 % nos novos túneis.

**6.3.2** Nos túneis com declives superiores a 3 %, devem ser tomadas e registradas medidas adicionais para melhorar a segurança do sistema, como, por exemplo, a inclusão do sistema DAI, rampa de escape na saída do túnel e ampliação na potência de incêndio.

## 7 Ensaios de equipamentos e sistemas em laboratório e no próprio túnel

**7.1** Os ensaios devem ser realizados e registrados individualmente com todos os equipamentos e sistemas operacionais, de modo a comprovar o atendimento dos projetos e das especificações técnicas e da ABNT NBR 15775.

**7.2** Os ensaios realizados nos equipamentos utilizados no túnel consistem na verificação das condições de conservação e funcionamento, tendo como objetivo padronizar os procedimentos para avaliação e análise dos sistemas, além de eliminar pendências, de modo a viabilizar o comissionamento. Devem ser ensaiados os sistemas críticos, inclusive os planos de trabalho alternativos (contingências), simulando casos de falhas nos sistemas, inclusive falta de energia elétrica.

**7.3** Os ensaios nos sistemas devem ser realizados sistematicamente, mesmo após a liberação comercial do túnel, de modo que a manutenção do sistema seja verificada, nos mesmos moldes do início da operação comercial.

**7.4** Os ensaios normalmente são realizados em laboratórios habilitados e acreditados pelo instalador dos equipamentos e/ou sistemas, no caso de infraestrutura mecânica, elétrica e eletrônica; no caso da estrutura civil, são realizados pelo consórcio construtor.



## 8 Comissionamento do túnel

### 8.1 Geral

**8.1.1** O comissionamento dos sistemas de segurança de um túnel é ditado pela natureza dos sistemas instalados e deve atender à ABNT NBR 15775. Todos os sistemas devem ser comissionados individualmente antes do início da operação do túnel.

**8.1.2** Os cenários relevantes e a sequência de eventos definidos pela análise de riscos e que melhor represente uma situação de emergência devem ser simulados de forma que se possa efetuar o comissionamento dos procedimentos aplicados nessa situação emergencial e nas diversas combinações de eventos prováveis de ocorrerem em situações de emergência.

### 8.2 Ensaios de comissionamento

**8.2.1** Todos os equipamentos principais, sistemas operacionais e ensaios simulados de incidentes do túnel devem ser submetidos a ensaios de comissionamento, de forma que seja apresentado aos órgãos competentes um laudo técnico assinado por especialista, comprovando que os equipamentos, sistemas operacionais e ensaios simulados de incidentes estão de acordo com os critérios do projeto, de suas especificações técnicas e dos manuais técnicos.

**8.2.2** Os órgãos competentes podem indicar representantes para acompanhar os ensaios de comissionamento.

### 8.3 Ensaio simulado de incêndio

**8.3.1** A realização de ensaios de incêndio no interior do túnel com a potência do incêndio de projeto podem causar danos nos equipamentos e estruturas do túnel. Este ensaio pode ser efetuado com produção de fumaça fria, com volume de fumaça gerado igual ou superior ao volume estimado de fumaça produzida pela potência de incêndio de projeto. O comportamento da fumaça fria gerada e as velocidades do ar no interior do túnel devem ser observados e medidos com o sistema de ventilação projetado operando de acordo com o programa automático operacional de combate a incêndio.

**8.3.2** O relatório técnico com os resultados dos ensaios deve ser elaborado e apresentado, quando for solicitado pelo cliente ou pelo órgão competente. Na ocasião da realização dos ensaios simulados, o cliente ou o órgão competente pode indicar representantes para acompanhar os ensaios simulados de incêndio.

### 8.4 Ensaios de atualização das equipes de salvamento e manutenção dos sistemas

**8.4.1** As equipes de combate a incêndio, emergência e primeiros-socorros devem ser submetidas a constantes treinamentos e atualizações teóricas e técnicas de seus equipamentos. Anualmente deve-se realizar um ensaio simulado operacional de um incidente no interior do túnel.

**8.4.2** Os sistemas operacionais e seus equipamentos devem ser mantidos em perfeito estado de funcionamento, através de um rigoroso cronograma de manutenção.

**8.4.3** Relatórios específicos dos ensaios, avaliações técnicas das equipes de combate a incêndio e das ocorrências durante o processo de manutenção devem ser elaborados e arquivados por um período mínimo de cinco anos.



## 8.5 Operação simulada

**8.5.1** É importante estabelecer uma comunicação entre os operadores do túnel, os serviços de emergência, o usuário e a comunidade local, com o objetivo de informar sobre os procedimentos em caso de emergência e familiarização com os sistemas de proteção e segurança disponíveis no túnel.

**8.5.2** Recomenda-se que um programa de instrução e treinamento da comunidade local seja montado e implementado antes da abertura do túnel e que um programa seja colocado em ação assim que o túnel for aberto ao público.

## 9 Entrada em serviços

### 9.1 Requisitos

**9.1.1** A abertura de um túnel ao tráfego público (entrada em serviço) deve ser sujeita à autorização do órgão competente, segundo o procedimento definido por este órgão.

**9.1.2** Esta rotina é igualmente aplicável à abertura dos túneis ao tráfego público depois de qualquer alteração importante na sua construção e funcionamento, ou de qualquer modificação substancial que possa alterar significativamente qualquer dos componentes da documentação de segurança.

### 9.2 Responsabilidades

**9.2.1** O gestor do túnel deve transmitir a documentação de segurança referida a Seção 11 ao órgão licenciador ou órgão competente local que dá o seu parecer quanto à abertura do túnel ao tráfego público.

**9.2.2** O gestor do túnel deve remeter a documentação de segurança à autoridade administrativa juntamente com o parecer do órgão licenciador. A autoridade administrativa decide se autoriza ou não a abertura do túnel ao tráfego público, ou se o fará com restrições, e notificará a sua decisão ao gestor do túnel, com cópia para os serviços de emergência.

## 10 Gestão dos riscos de incêndio do túnel após a liberação operacional

O gestor do túnel deve elaborar o programa de gestão de riscos do túnel para manter a operação segura do túnel. Esse programa deve conter no mínimo os seguintes assuntos: revisão de riscos, sistemas de gestão de modificações, manutenção e inspeção de segurança dos sistemas críticos para a segurança do túnel, programa de treinamento de operadores, de usuários e da comunidade local, plano de resposta às emergências e sistema de auditoria do túnel.

### 10.1 Alterações da estrutura do túnel

**10.1.1** Para qualquer alteração substancial da estrutura, equipamento ou funcionamento do túnel, suscetível de modificar de forma significativa qualquer dos componentes da documentação de segurança, o gestor do túnel deve solicitar uma nova autorização de funcionamento ao órgão competente da região ou local onde está instalado o túnel.

**10.1.2** O gestor do túnel deve informar aos órgãos competentes de licenciamento do túnel sobre qualquer outra modificação ao nível da construção e do funcionamento do túnel. Além disso, antes de qualquer obra de modificação no túnel, o gestor deve fornecer aos órgãos competentes de licenciamento do túnel toda a documentação necessária para análise da modificação a ser implantada.



**10.1.3** Os órgãos competentes de licenciamento do túnel devem analisar as consequências da modificação e, em qualquer caso, comunicar o seu parecer ao gestor do túnel, que enviará uma cópia a outras autoridades administrativas municipais ou estaduais ou federais e aos seus respectivos serviços de emergência.

## **10.2 Exercícios periódicos de emergência (simulados)**

**10.2.1** O gestor do túnel e os serviços de emergência, em colaboração com os órgãos competentes devem organizar conjuntamente exercícios periódicos (ensaios simulados) destinados ao pessoal do túnel, usuários e comunidade local e aos serviços de emergência.

**10.2.2** Esses exercícios de emergência devem:

- a) corresponder aos cenários de incidente definidos pela análise de riscos do túnel;
- b) produzir resultados e avaliações;
- c) evitar danos no túnel;
- d) ser parcialmente realizados por ensaio de simulação em gabinete ou em computador, para resultados complementares.

## **10.3 Exercícios periódicos conforme cronograma definido pelo gestor do túnel**

De quatro em quatro anos devem ser realizados exercícios completos em cada túnel em condições tão reais quanto possíveis. O encerramento do túnel só será exigido se for possível realizar adaptações aceitáveis para o desvio do tráfego. Entretanto, devem ser realizados anualmente exercícios parciais e/ou de simulação. Em zonas onde existam vários túneis com distâncias muito próximas, o exercício completo deve ser realizado em pelo menos um desses túneis.

## **10.4 Elaboração do relatório referente ao exercício de emergência**

O gestor do túnel, membros dos órgãos competentes, inspetores de segurança independentes e os serviços de emergência avaliam conjuntamente esses exercícios, redigem o relatório e, se necessário, apresentam propostas para melhorias da segurança do túnel.

# **11 Documentação de segurança**

## **11.1 Documentação**

**11.1.1** A documentação de segurança para atender a esta Norma deve ser composta de no mínimo os seguintes documentos:

- a) análise de risco;
- b) procedimentos operacionais e de manutenção;
- c) projetos executivos aprovados;
- d) licenças ambientais (quando aplicáveis);
- e) planos de emergência e de contingência;



- f) auto de vistoria do corpo de bombeiros (AVCB);
- g) auditoria de segurança viária (ASV).

**11.1.2** O gestor do túnel deve reunir e manter permanentemente atualizada a documentação de segurança para cada túnel, e transmitir uma cópia desta documentação aos órgãos competentes pelo licenciamento do túnel.

**11.1.3** A documentação de segurança deve descrever as medidas de prevenção e salvaguarda necessárias para garantir a segurança dos usuários e do patrimônio, tendo em conta as pessoas com mobilidade reduzida e as pessoas com deficiência, a natureza do percurso rodoviário, a configuração da estrutura, o seu entorno, a natureza do tráfego e a capacidade de intervenção dos serviços de emergência.

## **11.2 Fase de projeto**

A documentação de segurança para um túnel na fase de projeto deve incluir:

- a) estudo de previsão do tráfego, especificando e justificando as condições previstas para o transporte de mercadorias perigosas, juntamente com a análise de riscos exigida em 5.3 e detalhada no Anexo A;
- b) análise específica dos riscos conforme 5.3, descrevendo os eventuais acidentes que possam ocorrer durante a fase de funcionamento e que possam afetar a segurança dos usuários nos túneis, bem como a natureza das suas possíveis consequências; esta análise deve especificar e fundamentar medidas para reduzir a probabilidade de acidentes e as suas consequências, conforme metodologia apresentada no Anexo A;
- c) parecer sobre segurança, elaborado por um perito ou organização especializada e independente neste domínio, podendo ser a entidade inspetora.

## **11.3 Fase de entrada de serviço do túnel**

Para um túnel na fase de entrada em serviço, a documentação de segurança deve incluir, além dos elementos relativos à fase de projeto:

- a) descrição da organização, dos recursos humanos e materiais e das instruções que o gestor do túnel especificar para assegurar o funcionamento e a manutenção do túnel;
- b) plano de resposta de emergência, elaborado em conjunto com os serviços de emergência, que também considere a existência de pessoas com mobilidade reduzida e de pessoas com deficiência;
- c) descrição do sistema de recolha permanente dos dados da experiência, que permita registrar e analisar incidentes e acidentes significativos.

## **11.4 Túneis em funcionamento**

A documentação de segurança de um túnel em funcionamento deve incluir além dos elementos relativos à fase de entrada em serviço, o seguinte:

- a) relatório de análise sobre os incidentes e acidentes significativos;
- b) lista dos exercícios de segurança realizados, juntamente com uma análise das suas conclusões.





## 12 Controle das situações de emergência

A equipe de atendimento às situações de emergência deve possuir no mínimo as seguintes informações:

- a) planejamento de emergência;
- b) cenários acidentais ou situações de emergência (considerados);
- c) estrutural organizacional – atribuições e responsabilidades;
- d) equipe de emergência ou salvamento;
- e) equipe de primeiros-socorros;
- f) equipe de apoio (Corpo de Bombeiros, Defesa Civil, Órgão Ambiental, PM, DERSA, Rodovia, Hospital, etc.);
- g) fluxograma de acionamento;
- h) reações de resposta às situações de emergência;
- i) recursos materiais;
- j) posto de comando de emergência;
- k) sinalização de emergência e alarmes;
- l) equipamentos de combate;
- m) equipamentos de proteção individual (EPI);
- n) rotas de saída e pontos de encontro;
- o) saídas de emergência;
- p) implantação, manutenção, auditoria e revisão do plano de resposta à emergência;
- q) comunicação da emergência;
- r) treinamento e simulados de emergência;
- s) anexos:
- t) lista de telefones de emergência (interna e externa);
- u) listas de equipamentos e de alarmes;
- v) desenhos do túnel.

## 13 Fiscalização do túnel

**13.1** Se for verificado que um túnel não cumpre o disposto nesta Norma, o órgão competente deve notificar o gestor do túnel da necessidade de tomar as medidas pertinentes para aumentar a segurança



e informar aos órgãos competentes pelo licenciamento ou o órgão competente da região onde fica o túnel.

**13.2** Todos os sistemas críticos para segurança da operação do túnel devem permanecer operacionais.

## 14 Conscientização

**14.1** O gestor do túnel deve desenvolver e divulgar um programa de conscientização para os usuários do túnel, principalmente para motoristas de caminhões que transportem produtos perigosos, a respeito dos potenciais riscos e de medidas de segurança a serem adotadas e/ou seguidas em casos de acidentes ou fogo ocorridos no interior do túnel.

**14.2** Algumas recomendações estão sugeridas no Anexo E, e são preferencialmente dirigidas para usuários de túneis urbanos e rodoviários.

## 15 Gestão da saúde, segurança ocupacional e ambiental

**15.1** Durante o desenvolvimento do projeto do túnel, aspectos de gestão da saúde, segurança ocupacional e ambiental devem ser observados conforme as ABNT NBR18801 e ABNT NBR 14001, respectivamente, e legislações locais.

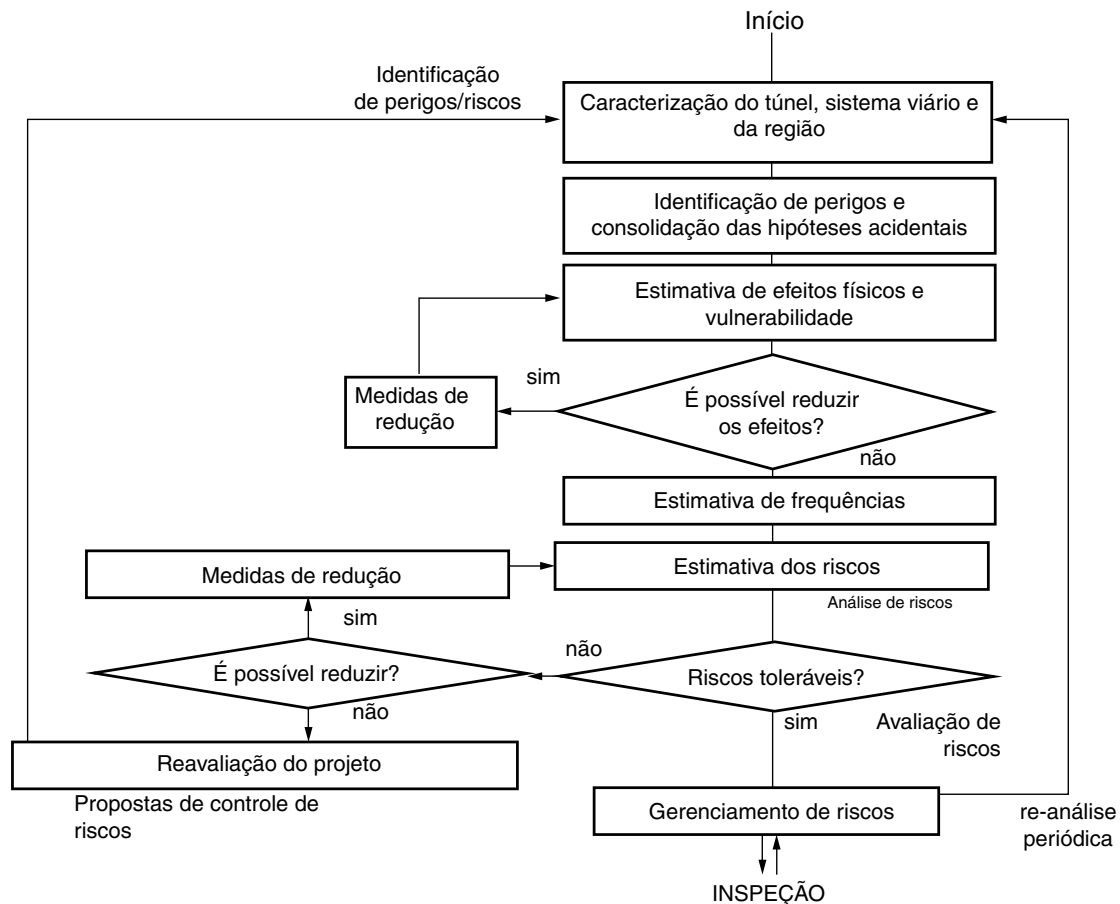
**15.2** O gestor do túnel deve desenvolver, divulgar e manter atualizado um programa de saúde, segurança ocupacional e ambiental para o túnel, antes do início de sua operação.

## Anexo A (informativo)

### Tópicos de análise de riscos para túneis

#### A.1 Metodologia

- a) A metodologia de análise de riscos para túneis (MART) deve ser aplicada para túneis viários e deve ser efetuada pelo projetista do túnel a partir da fase de viabilidade de projeto e construção do túnel. Túneis já em operação também devem ser submetidos à metodologia de análise de riscos para túneis. Para os túneis já em operação, essa metodologia deve ser aplicada a partir da fase de projeto de modificação do túnel;
- b) A metodologia MART, quando necessária, deve ser aplicada por entidade independente com relação ao empreendimento. Seu conteúdo e resultados devem estar descritos em forma de relatório e desenhos, e devem fazer parte da documentação de segurança, a ser encaminhada às autoridades constituídas para análise e aprovação do empreendimento. Na Figura A.1 são apresentadas as principais fases da metodologia de análise de riscos para túneis (MART);



**Figura A.1 – Estudo de análises de riscos**



c) As fases da MART, técnicas da MART e as suas relações com as fases de projeto do túnel em análise estão descritas em A.1 a A.5.

**A.1.1** A identificação de perigos e riscos em túneis é qualitativa e tem o objetivo de:

- a) caracterizar o sistema viário;
- b) identificar os perigos que podem de ocorrer dentro de túneis;
- c) definir os parâmetros iniciais de cenários de acidentes maiores;
- d) indicar medidas de segurança para mitigar os níveis de risco identificados pela análise;
- e) estimar a frequência de incidentes e acidentes.

**A.1.2** A análise dos riscos tem por objetivo identificar o cenário acidental de consequências mais severas para a estrutura do túnel e seus usuários.

**A.1.3** A avaliação de risco em túneis é quantitativa e tem o objetivo de:

- a) selecionar os cenários de acidentes mais severos identificados anteriormente;
- b) determinar o nível de consequências referentes à radiação térmica de um incêndio, as sobrepresões de uma explosão e os níveis de concentração tóxica emitida durante o desenvolvimento do cenário acidental selecionado;
- c) desenvolver a sequência de ocorrência ou o mecanismo do cenário acidental;
- d) quantificar a frequência de ocorrência do cenário em análise;
- e) apresentar medidas mitigadoras de risco para a redução dos efeitos da ocorrência do cenário.

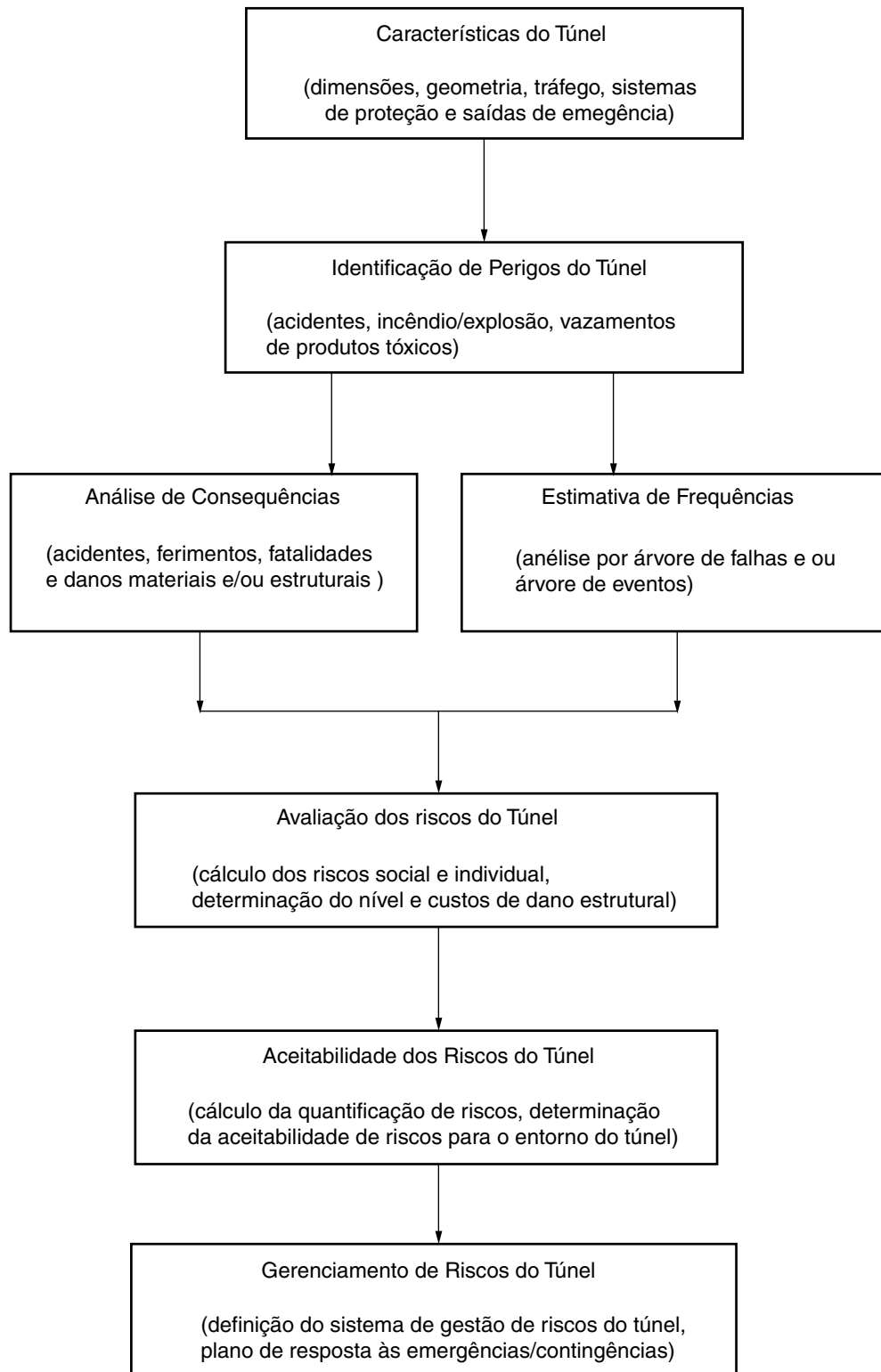
**A.1.4** Para a proposta de controle dos riscos em função dos riscos inerentes, propor sistema ou procedimentos que supervisionem e controlem esses riscos.

**A.1.5** O gerenciamento de risco em túneis tem como objetivo:

- a) selecionar atividades de gestão para controlar os riscos da possível ocorrência dos cenários analisados;
- b) implantar procedimentos de gestão de riscos;
- c) transformar os resultados pontuais da análise e avaliação de riscos em atividades dinâmicas de gestão de riscos;
- d) desenvolver plano de ação de emergência e auditorias periódicas de segurança.

## **A.2 Etapas da metodologia**

**A.2.1** A metodologia de análise de riscos para túneis (MART) é composta das etapas apresentadas na Figura A.2.



**Figura A.2 – Etapas da metodologia de análise de riscos para túneis – MART**

**A.2.2** Em A.2.2.1 a A.2.2.10 é apresentado um resumo das etapas da metodologia de análise de risco para túneis.



#### A.2.2.1 Caracterização do empreendimento do túnel (CT)

Na caracterização do empreendimento do túnel é importante descrever a localização geográfica, a meteorologia local, população usuária do túnel, acessos, descrição física/dimensões do túnel, geometria do túnel, produtos em circulação, sistemas de segurança e de resposta a emergências/contingências do túnel.

#### A.2.2.2 Identificação de perigos em túneis (IPT)

A identificação de perigos potenciais em túneis é realizada pelo emprego de técnicas de análise de risco, como: APP (análise preliminar de perigos), *What-if* (questionamentos do tipo o que aconteceria se...) e FMEA (análise de modos de falhas e seus efeitos). Os perigos identificados são classificados com relação à sua gravidade e probabilidade de ocorrência, conforme uma matriz de risco previamente elaborada para a análise de risco. É nessa fase que se definem os potenciais perigos encontrados no túnel e que serão objetos de estudos quantitativos posteriores, se necessários.

#### A.2.2.3 Análise de consequências e vulnerabilidade (ACV)

Com base na classificação de perigos realizada na etapa de identificação de perigos, selecionam-se cenários potenciais de acidente. Com os cenários definidos, realizam-se as simulações de ocorrência de cenários, por meio de programas de computador para se determinar a extensão dos efeitos danosos à vida, meio ambiente e patrimônio do empreendimento. Nesta fase também avalia-se a vulnerabilidade das pessoas e dos materiais/estruturas aos efeitos desses acidentes. Essa avaliação é efetuada para se determinar o nível de radiação térmica absorvida durante um incêndio e o nível de sobrepressão recebido durante uma explosão no interior do túnel em análise. Estudos de dispersão atmosférica de nuvens tóxicas devem ser elaborados para os casos de produtos tóxicos emitidos durante o acidente no interior do túnel. Ferramentas computacionais do tipo CFD (estudo de fluido dinâmico para túneis) podem ser utilizadas na ACV.

#### A.2.2.4 Estimativa de frequências (EF)

**A.2.2.4.1** A análise de riscos até aqui efetuada tem características qualitativas e com a estimativa de frequências de riscos se inicia a quantificação de seus riscos. A quantificação de riscos é realizada pelo emprego de técnicas do tipo árvore de falhas (AAF) e de eventos (AAE). A técnica de árvore de falhas considera a probabilidade de ocorrência do evento topo (acidente indesejável) e de suas causas. A construção da árvore de falhas se baseia na determinação de portas de ocorrência de causas do tipo E/OU. Para essa quantificação, usam-se conceitos de álgebra *Booleana* para a determinação da frequência de ocorrência do evento topo a ser estudado. A árvore de eventos estuda a sequência de ocorrência de um evento indesejável, aplicando a teoria de *Delphi*.

**A.2.2.4.2** Os dados utilizados neste estudo devem ser compatíveis com estruturas já existentes, ou que possuam a mesma vulnerabilidade (volume de veículos, carga transportada, geometria do túnel).

#### A.2.2.5 Avaliação de riscos (AR)

A avaliação dos riscos é determinada através do cálculo dos riscos sociais e individuais decorrentes do potencial de acidente. Para essa avaliação é necessário o uso de programa de computador de última geração.

#### A.2.2.6 Aceitabilidade de riscos (ACR)

O nível de segurança do túnel deve atender ao critério de aceitabilidade de riscos adotado pela legislação vigente de segurança. A conformidade de segurança do túnel às medidas mitigadoras de riscos recomendadas anteriormente deve ser efetuada nessa etapa.



#### **A.2.2.7 Gerenciamento de riscos (GR)**

Ao terminar o estudo de análise de riscos, deve-se criar um sistema de gestão de riscos para transformar o estudo MART em um sistema dinâmico. No gerenciamento de riscos é importante definir a política de segurança, saúde ocupacional e meio ambiente da empresa proprietária do túnel e, em seguida, estabelecer e implantar os procedimentos internos dos seguintes sistemas: política SSMA (segurança, saúde ocupacional e de meio ambiente) da empresa responsável pelo túnel, análise e revisão de riscos do túnel, análise de modificações, análise de sistemas críticos para a segurança, sistemas de manutenção de sistemas de segurança, projeto de modificação no túnel, programa de investigação de acidentes, treinamento pessoal e reciclagem em segurança, ações de respostas às emergências/ contingências e sistema de auditorias de segurança no túnel.

#### **A.2.2.8 Resposta a emergências/contingências (REC)**

Estabelecer o plano de ação de emergências através da definição dos cenários de emergência, da equipe de emergência (inclusive organograma), suas funções e responsabilidades, procedimentos de emergência, descrição dos sistemas de combate, sistema de comunicação de emergências, estabelecimento de rotas de fuga, saídas de emergência, pontos de encontro e telefones importantes para situações de emergências no túnel.

#### **A.2.2.9 Medidas mitigadoras de riscos (MMR)**

O encerramento da aplicação da metodologia de análise de riscos para túneis se dá pela recomendação de medidas de segurança que mitigam os perigos encontrados ao longo do trabalho. Essas medidas podem ser de caráter administrativo ou técnico. Sua implementação é vital para garantir a redução dos riscos encontrados no túnel e deve ser feita antes do início da operação do túnel. Nos casos dos túneis em operação, as medidas de segurança resultantes da aplicação do MART ao túnel, por ocasião de modificações no túnel, devem ser implantadas ao túnel antes que ele entre novamente em operação.

#### **A.2.2.10 Análise de conformidade de segurança (ACS)**

A segurança implantada em túneis, resultante das recomendações de segurança descritas na aplicação das técnicas de análise de riscos em túneis, deve ser verificada “*in loco*” por meio de uma auditoria técnica de segurança antes do início de operação do túnel.

### **A.3 Aplicação das técnicas da metodologia**

A aplicação da metodologia *MART* nas fases do projeto do túnel é apresentada na Tabela A.1.



Tabela A.1 – Aplicação da metodologia de análise de riscos para túneis em relação às fases de projeto do túnel

Etapas MART	Fases de projeto do túnel				
	Estudo de viabilidade técnica	Estudo conceitual	Projeto básico	Detalhamento/ construção	Operação/ manutenção/ modificação
Técnicas de análise de riscos para túneis					
“Check list” de segurança	Sim	–	–	–	–
“What-If” (E se)	–	Sim	–	–	–
APP	–	–	Sim	–	Sim
ACV	–	–	Sim	–	Sim
EF (AAE, AAF)	–	–	Sim <sup>a</sup>	Sim <sup>a</sup>	Sim <sup>a</sup>
Avaliação de riscos	–	–	–	Sim	Sim
Aceitabilidade de riscos	–	–	–	Sim <sup>a</sup>	Sim <sup>a</sup>
Gerenciamento de riscos	–	–	–	Sim	Sim
Plano de emergência/ contingências	–	–	Sim <sup>b</sup>	Sim <sup>b</sup>	Sim <sup>b</sup>
Medidas de segurança	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim
Conformidade de segurança	–	–	–	Sim	Sim

<sup>a</sup> A análise de frequência e a estimativa de aceitabilidade de riscos só devem ser aplicadas para os casos de acidentes maiores determinados pela APP e análise de consequências.

<sup>b</sup> O plano de emergência/contingências deve ser iniciado no projeto básico e concluído no detalhamento, antes do início da operação do túnel.

### A.3.1 Descrição da técnica “check-list”

É importante a verificação do nível de segurança de itens do túnel a serem projetados. A seguir são apresentados alguns dos itens que devem ser verificados sob a ótica da segurança:

- extensão do túnel;
- número de galerias e faixas, inclusive largura das faixas;
- geometria de corte transversal;
- alinhamento vertical e horizontal;





- e) tipo de construção do túnel;
- f) características do tráfego, inclusive idade da frota, velocidade e risco de congestionamento;
- g) presença de veículos a passeio, pesados e de cargas perigosas;
- h) características das rodovias de acesso ao túnel;
- i) situação geográfica e meteorológica;
- j) serviços de infraestrutura do túnel, por exemplo: ventilação, controle de fumaça, drenagem, alimentação de água, sistema de energia elétrica (inclusive de emergência), iluminação, sistemas de comunicação e supervisão do túnel, centro de controle do túnel, sinalização rodoviária e de segurança, resistência das estruturas ao incêndio, sistemas de proteção contra incêndio, saídas, áreas e postos de emergências e tempo de acesso dos serviços de emergência.

### A.3.2 Descrição da técnica APP

A planilha a ser utilizada neste método é composto das seguintes colunas:

- a) 1ª coluna - HIPÓTESES: contém o ponto notável (o que causou o risco) e o ponto de controle (como se sabe que ocorreu);
- b) 2ª coluna - PERIGO: contém os perigos que possam causar dano ao túnel em função da hipótese, aos usuários, ao meio ambiente, e à comunidade identificada para o sistema em estudo;
- c) 3ª coluna - CAUSAS POSSÍVEIS: são os eventos ou sequência de eventos que dão origem ao perigo;
- d) 4ª coluna - CONSEQUÊNCIAS: tipo de degradação de origem humana e/ou material;
- e) 5ª coluna - CATEGORIA DE PROBABILIDADE (1 - Baixa; 2 - Média; 3 - Alta);
- f) 6ª coluna - CATEGORIA DE SEVERIDADE: nível de severidade das consequências do evento:
  - A - desprezível (sem vítimas ou ferimentos leves);
  - B - marginal (vítimas com ferimentos leves);
  - C - crítica (vítimas com ferimentos graves);
  - D - catastrófica (fatalidades).
- g) 7ª coluna - Risco (alto – RA, médio - RM e baixo - RB);
- h) 8ª coluna - MEDIDAS MITIGADORAS: medidas de prevenção e/ou proteção para evitar o evento ou minimizar as suas consequências e que devem ser estudadas no decorrer do projeto. A implantação das ações de segurança é priorizada conforme a sua categoria de severidade.

Na Tabela A.2 são apresentados os significados e os níveis de categorias de severidade. Na Tabela A.3 é apresentada a matriz de riscos e na Tabela A.4 é apresentado o modelo da planilha APP. O critério de probabilidade (frequência) de ocorrência é apresentado na Tabela A.7.

**Tabela A.2 – Categorias de severidade**

<b>Categoria de severidade</b>	<b>Descrição</b>
A Desprezível	Nenhum dano ou dano não mensurável
B Marginal	Danos irrelevantes aos usuários do túnel, ao meio ambiente e à comunidade mais próxima ao túnel
C Crítica	Danos pesados ao túnel, lesões graves e morte dos usuários do túnel, danos ao meio ambiente devido a liberações de substâncias químicas, tóxicas ou inflamáveis, alcançando até áreas externas ao túnel. Pode provocar lesões de gravidade moderada na população externa ao túnel ou impactos ambientais com reduzido tempo de recuperação
D Catastrófica	Destruição do túnel. Impactos ambientais devido a liberações de substâncias químicas, tóxicas ou inflamáveis, atingindo áreas externas às instalações do túnel; mortes ou lesões graves na população externa ou impactos graves ao meio ambiente, com tempo de recuperação elevado

**Tabela A.3 – Matriz de risco**

<b>Categorias de probabilidade</b>	<b>Categorias de severidade</b>			
	<b>A</b>	<b>B</b>	<b>C</b>	<b>D</b>
1 Baixa	RB	RB	RM	RA
2 Média	RB	RM	RA	RA
3 Alta	RM	RM	RA	RA

**Tabela A.4 – Modelo de planilha usada na técnica APP**

<b>Hipótese</b>		<b>Perigo (Ponto crítico)</b>	<b>Causas possíveis</b>	<b>Consequências</b>	<b>Categoria de probabilidade</b>	<b>Categoria de consequência</b>	<b>Risco</b>	<b>Medidas mitigadoras</b>
<b>Ponto notável</b>	<b>Ponto de controle</b>							
Exemplo: motorista	Perdeu o controle do carro	Chocou-se com outro veículo e depois com o hidrante	Embriaguez	Inutilização do hidrante e incêndio	Média	Crítica	Alto	Descrever medidas adotadas

### A.3.3 Descrição da técnica *What-If* (E se)

A técnica *What-If* é um procedimento de revisão de riscos em túneis que se desenvolvem por meio de reuniões de questionamento de procedimentos, instalações, sistemas etc. de um túnel, gerando também soluções para os problemas levantados. Seu principal objetivo é a identificação de potenciais de riscos que passaram despercebidos em outras fases do estudo de segurança. O conceito é conduzir um exame sistemático de uma operação ou processo por meio de perguntas do tipo “O que aconteceria se...?”.

Os riscos, causas, consequências, ações existentes e recomendações de segurança correspondentes às questões *What-If* (E se) devem ser registrados em planilha de trabalho. As questões de segurança também devem ser anotadas durante a análise. A implantação dessas ações de segurança é priorizada conforme a sua categoria de severidade. A planilha de trabalho é mostrada na Tabela A.5.

Tabela A.5 – Modelo de planilha usada na técnica *What-If* (E se)

Questão <i>What – If</i> (E se)	Causas possíveis	Consequências	Categoria de severidade	Medidas preventivas ou corretivas	
				Existentes	A implantar

### A.3.4 Descrição da técnica FMEA (“*fail mode & effect analysis*”)

Essa técnica permite analisar o modo de falha, ou seja, como podem falhar os componentes de um equipamento ou sistema do túnel, estimar as taxas de falhas, determinar os efeitos que poderão advir e, conseqüentemente, estabelecer mudanças a serem realizadas para aumentar a confiabilidade do sistema ou do equipamento em análise para que funcione realmente de maneira satisfatória e segura.

Os seus principais objetivos são:

- revisar sistematicamente os modos de falhas de componentes para garantir danos mínimos ao sistema do túnel;
- determinar os efeitos dessas falhas em outros componentes do sistema do túnel;
- determinar a probabilidade de falha com o efeito crítico na operação do sistema do túnel;
- apresentar medidas que promovam a redução dessas probabilidades, pelo uso de componentes mais confiáveis, redundâncias etc.

A FMEA é geralmente efetuada de forma qualitativa na forma de planilha de trabalho mostrada na Tabela A.6. As consequências de falhas humanas no sistema em estudo não são consideradas, uma vez que podem ser examinadas em análise de erro humano e em ergonomia. A quantificação da FMEA é utilizada para estabelecer o nível de confiabilidade de um sistema ou subsistema do túnel.

**Tabela A.6 – Modelo de planilha usada na técnica FMEA**

Modos de falha	Causas da falha	Consequências da falha	Categoria de frequência	Medidas preventivas ou corretivas	
				Existentes	A implantar

Para aplicar a FMEA, é necessário conhecer em detalhes e compreender a missão do sistema no túnel, suas restrições e seus limites de falha e sucesso. O sistema em análise pode ser dividido em subsistemas que possam ser controlados. Na Tabela A.7, são traçados os diagramas de blocos funcionais do sistema e de cada subsistema, a fim de determinar o seu inter-relacionamento e de seus componentes, e são preparadas listas completas dos componentes de cada subsistema e suas funções e, finalmente, pela análise do projeto e diagrama são estabelecidos os modos de falhas que poderiam afetá-los e suas respectivas gravidades e as taxas de falhas, e são propostas medidas de segurança. As taxas de falhas podem ser classificadas nos seguintes grupos: pouco provável e frequente, conforme indicado na Tabela A.7. A estimativa das taxas de falhas é obtida em banco de dados de confiabilidade desenvolvidos em testes realizados por fabricantes de componentes ou pela comparação com sistemas semelhantes.

**Tabela A.7 – Critério de Frequência**

Categoria	Frequência (oc./ano)	Descrição
1 Pouco provável	$f < 10^{-4}$	Ocorrência teoricamente possível, porém tecnicamente improvável
2 Provável	$10^{-1} > f > 10^{-4}$	Provável de ocorrer durante a vida útil do túnel
3 Frequente	$f > 10^{-1}$	Possível de ocorrer mais de uma vez durante a vida útil do túnel

Os modos de falhas a serem considerados são operação prematura, falha operacional e cessar operação no momento devido a falha humana durante a operação etc. Frequentemente existem vários modos de falha para um único componente. Qualquer uma delas pode ou não gerar acidentes. Cabe ao grupo de análise determinar quais dessas falhas são importantes para a segurança do sistema do túnel e analisá-las separadamente.

### A.3.5 Descrição da técnica de árvore de eventos

É apresentado na Figura A.3 um exemplo geral de uma árvore de eventos para o caso de vazamento de produto inflamável.

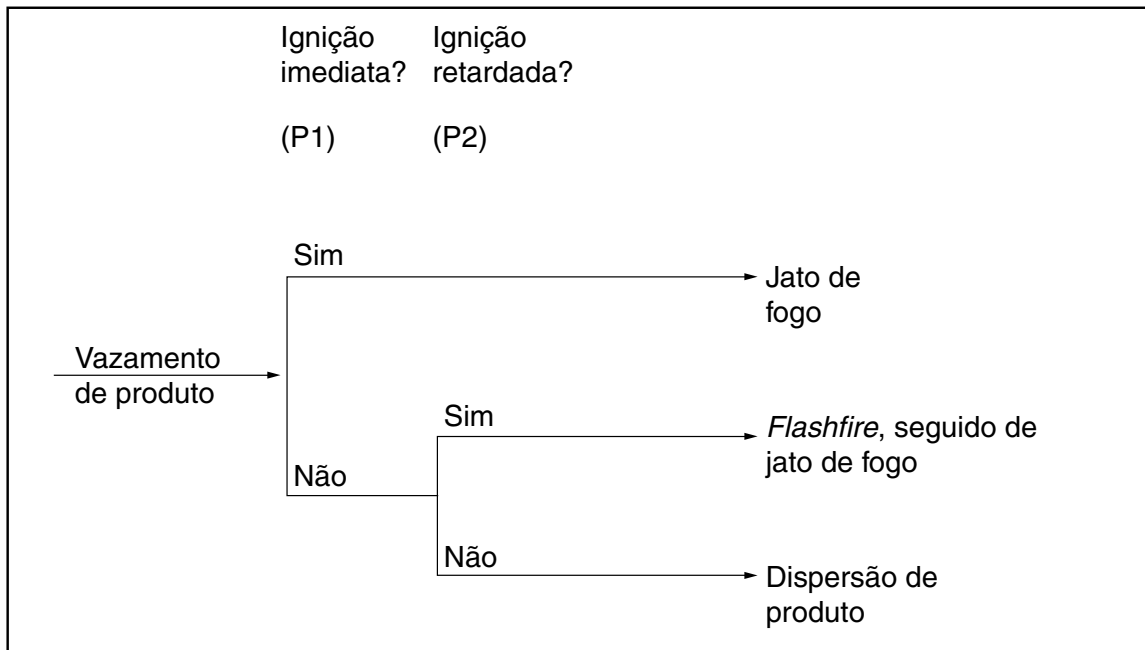


Figura A.3 – Esquema da técnica de árvore de eventos

### A.3.6 Descrição da técnica de árvore de falhas

Esta descrição tem como objetivo a análise das causas de um só evento por exemplo, incêndio ou explosão ou vazamento de produto tóxico, inflamável/explosivo no interior do túnel. Na Figura A.4, é apresentado um exemplo geral de árvore de falhas em túnel.

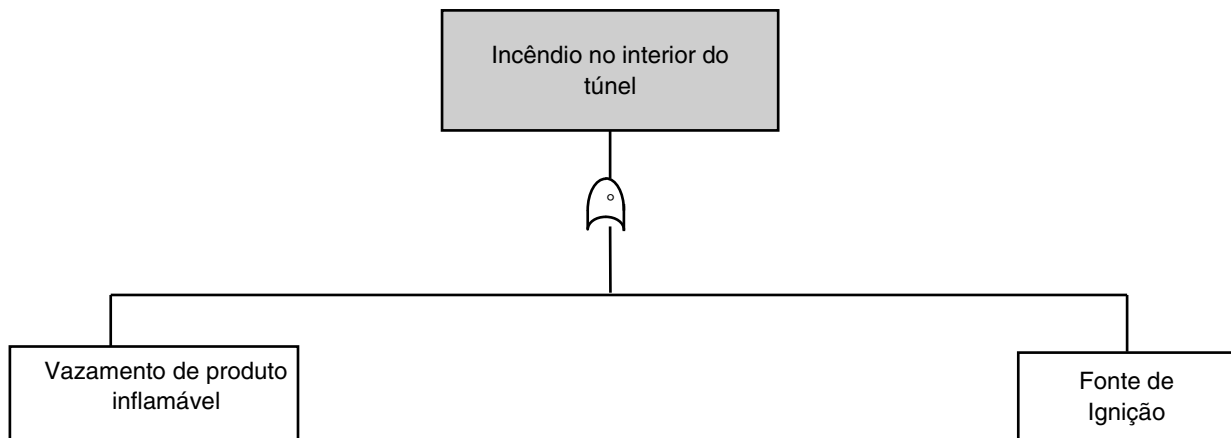


Figura A.4 – Árvore de falhas – Incêndio no interior do túnel

### A.3.7 Disponibilidade dos sistemas de proteção e de segurança

Para efeito de análise de risco em túneis, é necessário estabelecer o nível de disponibilidade do sistema de proteção e dispositivos de segurança da unidade que está sendo estudada.

Entende-se por sistema de proteção todos os equipamentos, malhas de controle, instrumentação e intertravamentos que têm como função atuar na supervisão do túnel.

No caso de ocorrência de uma emergência no interior do túnel, os sistemas de segurança considerados são as redundâncias, intertravamentos e alarmes de segurança.

A determinação da disponibilidade destes sistemas fornece a probabilidade destes estarem em condições de funcionamento quando requeridos.

A indisponibilidade (falha não autoevidenciável) pode ser obtida por meio da seguinte equação:

$$\bar{T} = \lambda (\theta/2 + \text{MTTR})$$

onde

$\bar{T}$  é a indisponibilidade;

$\lambda$  é a taxa de falha do equipamento em estudo (número de falhas/ano);

$\theta$  é o período entre ensaios, expresso em meses;

MTTR é o tempo médio de reparo, expresso em horas (h).

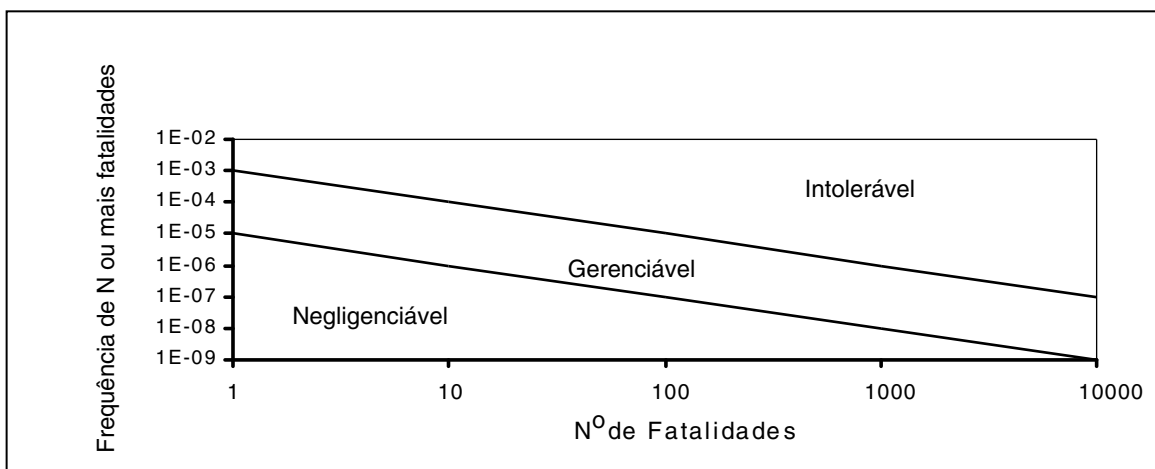
### A.3.8 Aceitabilidade de riscos

O critério de aceitabilidade de riscos é baseado no cálculo do risco social e pode ser demonstrado pela Figura A.5.

Define-se risco social como sendo o risco da população presente na área de abrangência do acidente, que indica o grau do dano catastrófico e é normalmente representado por meio de diagramas  $F \times N$ , onde  $F$  é a frequência acumulada ou ocorrências acidentais e  $N$  é o número de fatalidades.

Como critério para a avaliação do risco social, utiliza-se a curva  $F-N$ . São duas retas que definem três regiões de aceitabilidade de riscos em túneis: região “intolerável”, região “gerenciável” e região “negligenciável”.

Os riscos situados na região entre as curvas-limite dos riscos intoleráveis e negligenciáveis, embora situados abaixo da região de intolerabilidade, devem ser reduzidos tanto quanto praticável por meio de medidas de segurança.



**Figura A.5 – Gráfico da aceitabilidade de riscos em túneis**

## Anexo B (normativo)

### Requisitos para instalação de sistemas de segurança em túneis

Os requisitos para a instalação de sistemas de segurança em túneis rodoviários e urbanos são apresentados na Tabela B.1.

**Tabela B.1 – Requisitos para instalação de sistemas de segurança em túneis rodoviários e urbanos (continua)**

Categoria do equipamento	Tipo de equipamento	Comprimento do túnel (m)				Observações
		> 3 001	> 1 001 ≤ 3 000	> 500 ≤ 1 000	Até 500	
Energia elétrica	Suprimento de energia	●	●	●	☀	
	Energia de emergência	●	●	●	○	
Iluminação	Iluminação permanente	●	●	●	☀	
	Iluminação de emergência	●	●	●	☀	A cada 100 m e 1,1 m a 1,5 m acima do nível da passarela
Ventilação	Ventilação normal	●	●	☀	○	
	Ventilação de emergência	●	●	○	○	
Comunicação	Telefone de emergência	●	●	●	☀	
	Emissoras de rádio	☀	☀	☀	☀	
	Alto-falantes	●	●	☀	☀	
	Circuito de TV (CFTV)	●	●	☀	○	Somente para túneis com mais de 1 000 m
	Painéis de mensagens variáveis (PMV)	●	●	☀	○	A cada 500 m no interior do túnel



Tabela B.1 (continuação)

Categoria do equipamento	Tipo de equipamento	Comprimento do túnel (m)				Observações
		> 3 001	> 1 001 ≤ 3 000	> 500 ≤ 1 000	Até 500	
Controle do tráfego	Equipamentos para fechamento do túnel	●	●	☀	○	Somente para túneis com mais de 1 000 m
	Equipamento para parar o veículo no interior do túnel	☀	☀	○	○	
	Equipamento para controle da altura do veículo e/ou balizadores de faixa/limite de velocidade	●	●	☀	○	Controle de altura no emboque e balizadores a cada 400 m
	Centro de controle operação (CCO)	●	●	☀	○	
Detecção de incidente e incêndio	Detecção automática de incidente (DAI)	●	●	☀	○	No mínimo a cada 100 m
	Detecção de incêndio	●	●	☀	○	
	Alarme manual	●	●	●	●	
	Alarme automático	●	●	☀	○	
	Detecção de fumaça	●	●	☀	○	
	Detecção de CO/NO <sub>x</sub>	●	●	☀	○	





Tabela B.1 (continuação)

Categoria do equipamento	Tipo de equipamento	Comprimento do túnel (m)				Observações
		> 3 001	> 1 001 ≤ 3 000	> 500 ≤ 1 000	Até 500	
Controle de incêndio	Extintores	●	●	●	☀	No mínimo a cada 30 m
	Hidrantes	●	●	●	☀	No mínimo a cada 60 m
	Bombas de incêndio	●	●	☀	○	
	Sistema automático de supressão	○	○	○	○	
	Suprimento de água	●	●	●	○	
	Portas corta-fogo	●	●	●	○	
	Sinalização de rota de fuga e saída de emergência	●	●	●	○	
	Plano de emergência	●	●	●	○	
	Brigada de emergência no emboque	●	●	○	○	
Drenagem		●	●	☀	○	Bacias de contenção com capacidade mínima de 45 m <sup>3</sup> Caixas sifonadas no mínimo a cada 200 m
Análise de riscos		●	●	☀	○	Na fase do projeto básico Análise de conformidade na fase "as built"
Plano de contingência		●	●	☀	☀	

**Tabela B.1 (conclusão)**

Categoria do equipamento	Tipo de equipamento	Comprimento do túnel (m)				Observações
		> 3 001	> 1 001 ≤ 3 000	> 500 ≤ 1 000	Até 500	
<b>Resistência</b>	Resistência das estruturas e equipamentos contra incêndio	●	●	☼	○	
<b>Medidas estruturais</b>	Passarela de emergência para pedestres	●	●	●	☼	Somente para túneis urbanos
	Saídas de emergência	●	●	●	☼	No mínimo a cada 500 m
	Passagem para serviços de emergência	●	●	☼	○	No mínimo a cada 1 500 m para túneis paralelos
	Galeria de emergência	●	☼	○	○	
	Baias de emergência	●	☼	○	○	No mínimo a cada 1 000 m
	Pista de emergência	☼	☼	○	○	
	Abrigos de emergência	--	--	--	--	<b>Proibido</b>
●	Obrigatório					
☼	Recomendado					
○	Opcional					



## Anexo C (informativo)

### Ventilação

#### C.1 Informação geral

O objetivo deste Anexo é prover orientações para a possível compatibilidade do sistema de ventilação de emergência com o sistema utilizado para ventilação normal de túneis e estações. Este Anexo não apresenta todos os fatores a serem considerados em um critério de ventilação normal. Para a ventilação normal, utilizar o ASHRAE *Handbooks – Fundamentals, applications, and systems and equipment*.

A tecnologia atual utiliza programas específicos capazes de analisar e avaliar todas as condições únicas de cada propriedade para prover ventilação adequada para condições normais de operação e pré-identificar condições de emergência. Os mesmos dispositivos de ventilação podem ou não servir a ambas as condições normais de operação e às condições de emergência pré-identificadas. Os objetivos do sistema de ventilação em túneis rodoviários e/ou urbanos, além de abordar fogo e fumaça, são para ajudar na contenção e retirada de gases e particulados perigosos e aerossóis, como aqueles que poderiam resultar de uma liberação química/biológica.

#### C.2 Ambientes seguros

##### C.2.1 Condições ambientais

Fatores que devem ser considerados na manutenção das condições aceitáveis para ambientes seguros em períodos de curta duração estão definidos em C.2.1.1 a C.2.4.

##### C.2.1.1 Efeitos do calor

A exposição ao calor pode levar a ameaça à vida nas seguintes principais condições:

- a) hipertermia;
- b) queimaduras superficiais do corpo;
- c) queimadura do trato respiratório.

Para uso no cálculo do risco de vida devido à exposição ao calor de incêndios, é necessário considerar apenas dois critérios: o limite de queimadura da pele e da exposição ao calor, no qual a hipertermia é suficiente para causar deterioração mental e, assim, ameaçar a sobrevivência.

Nota-se que as queimaduras no trato respiratório por inalação de ar, contendo menos que 10 % de volume de vapor de água, não ocorrem sem queimaduras da pele ou do rosto, assim, os limites, no que diz respeito ao valor aceitável de queimaduras na pele, normalmente são inferiores para queimaduras no trato respiratório. No entanto, queimaduras para o trato respiratório podem ocorrer por inalação de ar superior a 60 °C, que é saturado com vapor de água.



O limite de aceitação para exposição da pele a uma radiação de calor é aproximadamente  $2,5 \text{ kW/m}^2$ . Abaixo deste nível, o fluxo de calor incidente na exposição da pele pode ser tolerado durante 30 min ou mais, sem afetar significativamente o tempo disponível para escape. Acima desse valor-limite, o tempo de queima de pele devido ao calor radiante diminui rapidamente de acordo com a seguinte equação:

$$t_{rad} = 4,0 \times q^{-1,35}$$

onde

$t_{rad}$  é o tempo de queima, expresso em minutos (min);

$q$  é o fluxo de radiação de calor, expresso em quilowatts por metro quadrado ( $\text{kW/m}^2$ ).

Da mesma forma que por uma intoxicação por gases tóxicos, uma pessoa exposta ao calor pode ser considerada intoxicada com uma dose de calor radiante ao longo de um intervalo de tempo.

Os dados de tolerância térmica para a pele humana não protegida sugerem um limite de aproximadamente  $120 \text{ }^\circ\text{C}$  para calor convectivo. Acima deste valor, há muita dor, junto com o aparecimento de bolhas na pele. Dependendo do tempo de exposição, abaixo deste valor de temperatura também pode haver hipotermia.

Normalmente, o corpo humano exposto ao calor pode ser considerado como tendo recebido uma dose de calor durante um período de tempo (fração de dose equivalente - FDE). Portanto, o tempo mínimo de exposição pode ser calculado pela seguinte equação:

$$t_{exp} = (1,125 \times 10^7) T^{-3,4}$$

onde

$t_{exp}$  é o tempo mínimo de exposição para atingir uma FDE de 0,3, expresso em minutos (min);

$T$  é a temperatura de calor recebido na exposição, expressa em graus Celsius ( $^\circ\text{C}$ ).

Os cálculos usando esta equação resultam nos valores apresentados na Tabela C.1, que indica o tempo máximo de exposição para pessoas em relação à radiação térmica de um incêndio.

**Tabela C.1 – Tempo máximo de exposição**

Temperatura de exposição $^\circ\text{C}$	Tempo máximo sem incapacitação min
80	3,8
75	4,7
70	6,0
65	7,7
60	10,1
55	13,6
50	18,8
45	26,9
40	40,2

### C.2.1.2 Concentração de monóxido de carbono (CO)

Uma pessoa exposta ao monóxido de carbono pode tolerar uma dose desse gás por um intervalo de tempo, de acordo com a Tabela C.2.

**Tabela C.2 – Exposição máxima por monóxido de carbono (CO)**

Tempo min	Concentração-limite de CO ppm	
	30 %	50 %
4	1 706	2 844
6	1 138	1 896
10	683	1 138
15	455	758
30	228	379
60	114	190
240	28	47

Os valores-limite do somatório do FDE de 50 % são típicos para pessoas adultas e saudáveis [43], enquanto que o valor de 30 % é típico para proporcionar a fuga das pessoas mais sensíveis [43], suscetíveis a graves efeitos irreversíveis ou outros efeitos de longa duração [44].

A seleção do valor-limite FDE deve ser escolhida adequadamente para os objetivos do projeto de segurança contra incêndio. Um valor de 30 % é típico. Entretanto, critérios mais conservadores podem ser empregados para o uso com pessoas especialmente suscetíveis. Informações adicionais estão disponíveis nas referências [43] e [45].

### C.2.2 Níveis de visibilidade pela fumaça

É considerado aceitável o nível de visibilidade no túnel com fumaça, onde for perceptível, a uma distância de 30 m, visualizar um ponto iluminado com 80 lux (7,5 cd) ou com uma luminância de 8,6 cd/m<sup>2</sup> e perceptível a uma distância de 10 m de portas e paredes.

### C.2.3 Velocidade do ar

O projeto de ar de conforto para estações deve considerar a velocidade do ar provocada pelo movimento de trens, conforme as ANSI/AMCA 300 e ASHRAE *Handbooks – Fundamentals, applications, and systems and equipment*.

**C.2.3.1** A velocidade do ar em túneis deve ser  $\geq 0,75$  m/s.

**C.2.3.2** A velocidade do ar em túneis que estão sendo usados para o abandono de emergência ou pelos socorristas não pode ser superior a 11 m/s, de acordo com a escala Beaufort de velocidade de ventos.

### C.2.4 Nível de ruído

Os níveis de ruídos podem estar no máximo a 115 dB(A) por alguns segundos e no máximo a 92 dB(A) para o restante da exposição.



### **C.2.5 Túnel em solo com gás inflamável e/ou tóxico**

**C.2.5.1** Na construção de túnel em solos com possibilidade de conter gases inflamáveis e/ou tóxicos, como metano ( $\text{CH}_4$ ) e gás sulfídrico ( $\text{H}_2\text{S}$ ), a ventilação deve ser projetada para atender ao seguinte:

- a) evitar a formação de bolsões de gases inflamáveis e/ou tóxicos no local;
- b) diluir a emissão dos gases inflamáveis e/ou tóxicos durante a escavação e a construção do túnel.

**C.2.5.2** O projeto do sistema de ventilação deve conter sistemas de detecção de gases e de alarme que sejam ativados em níveis selecionados importantes para a segurança ocupacional das pessoas. O projeto deve considerar os seguintes critérios:

- a) requisitos de ventilação periódica ou contínua para controlar o fluxo destes gases;
- b) reação a um aumento abrupto da concentração destes gases no ambiente de trabalho do túnel, devido a condições externas, como clima adverso, terremotos ou construções próximas.

### **C.2.6 Geometria do túnel**

A rota de escape do túnel deve estar livre de fumaça. Métodos de cálculo, usados como modelos matemáticos, indicam uma altura de no mínimo 2,5 m livre de fumaça em toda a rota de escape.

## Anexo D (informativo)

### Geração de fumaça em túnel

A Tabela D.1 apresenta os valores experimentais de geração de fumaça correspondente à potência de incêndio decorrente da queima de veículos dentro do túnel urbano e rodoviário.

**Tabela D.1 – Geração de fumaça relacionada à potência de incêndio de veículos rodoviários em túnel ver, [18] e [19]**

Tipo de veículo	Potência de incêndio MW	Área de poça de combustível m <sup>2</sup>	Geração de fumaça m <sup>3</sup> /s	Temperatura máxima °C
Carro de passeio	5 – 6	2	20 – 30	400
Ônibus	20 – 30	8	60 – 80	700
Caminhão	50 – 150	8	60 – 80	1 000
Carreta-tanque	200 – 300	30 – 100	100 – 300	1 200 – 1 400

## Anexo E (informativo)

### Recomendações de segurança para usuários de túneis

A Tabela E.1 apresenta recomendações para conhecimento de usuários que estejam dentro do túnel urbano e rodoviário por ocasião de emergências ou acidentes que resultem em incêndio e/ou explosão.

**Tabela E.1 – Recomendações de segurança para usuários de túneis (continua)**

<b>Atitude</b>	<b>Recomendações</b>
<b>Entrar com o veículo no túnel com segurança</b>	Nunca entrar em túnel quando houver fumaça saindo pelo emboque do túnel
	Acender o farol do veículo e não usar os óculos escuros
	Obedecer à sinalização do túnel e às marcas do piso
	Não estacionar o veículo na pista. Em casos de emergências, estacionar na área reservada para emergências e sinalizar o local
	Manter-se a uma distância segura do veículo a sua frente
	Nunca entrar em túnel com o veículo com princípio de fogo ou emitindo muita fumaça ou gases de exaustão em excesso
	Ter rádio sintonizado em notícias locais (túnel)
<b>Em congestionamentos dentro do túnel, manter-se seguro</b>	Manter-se a uma distância segura do veículo a sua frente quando houver lentidão dentro do túnel
	Obedecer às instruções dos funcionários do túnel ou indicadas no painel de mensagem variável (PMV) do túnel
	Observar a localização de extintores portáteis de saídas de emergência do túnel
	Sintonizar o rádio em notícias locais (túnel)





Tabela E.1 (conclusão)

Atitude	Recomendações
<b>Em caso de incêndio dentro do túnel, manter-se em segurança</b>	Se houver fogo no veículo, procurar, se possível, sair do túnel em segurança
	Se não for possível, desligar o motor, ligar o pisca-alerta e abandonar imediatamente o veículo no local
	Deixar no veículo a chave e os objetos pessoais
	Localizar o telefone de emergência mais próximo e pedir socorro
	Após chamar o socorro, se puder, tentar dar início ao combate ao incêndio com o extintor portátil ou mangotinho mais próximo, que esteja pendurado na parede do túnel
	Se não houver extintor portátil ou mangotinho próximo pendurado na parede do túnel, procurar a saída de emergência mais próxima ao local e imediatamente abandonar o túnel a pé
<b>LEMBRAR QUE FOGO, FUMAÇA E EXPLOSÃO PODEM MATAR. SALVAR-SE E ABANDONAR SEU VEÍCULO.</b>	

## Anexo F (informativo)

### Unidades

#### F.1 Sistema SI

As unidades métricas de medida utilizadas nesta Norma seguem o Sistema Internacional de Unidades (SI). A Tabela F.1 fornece as unidades e os fatores de conversão apropriados.

NOTA A unidade litro (L), apesar de não ser uma unidade métrica, é reconhecida pelo SI, e é normalmente utilizada pela área de proteção contra incêndios.

Tabela F.1 – Fatores de conversão

Descrição	Unidade	Valor de conversão
1 polegada	in	= 25,40 mm
1 pé	ft	= 0,3048 m
1 pé quadrado	ft <sup>2</sup>	= 0,09290304 m <sup>2</sup>
1 pé/min	fpm	= 0,00508 m/s
1 pés/s	ft/sec <sup>2</sup>	= 0,3048 m/s <sup>2</sup>
1 pé cúbico/s	ft <sup>3</sup> /min	= 0,000472 m <sup>3</sup> /s
1 galão/min	gpm	= 0,063090200 L/s
1 libra	lb	= 0,45359237 kg
1 libra/pé cúbico	lb/ft <sup>3</sup>	= 16,01846 kg/m <sup>3</sup>
1 polegada de coluna d'água	in.wg	= 0,249089 kPa
1 libra/polegada quadrada	psi	= 6,894757 kPa
1 grau Fahrenheit	°F	= (°F – 32)/1,8 °C
1 grau Rankine	°R	= 1/1,18 °K
1 Btu/s	Btu/sec	= 1,055056 MW
1 pé-vela	fc	= 10,76391 lx

#### F.2 Valor equivalente

Se logo após a um determinado valor de medida estabelecido nesta Norma houver um valor equivalente expresso em outra unidade, o primeiro valor deve ser considerado como o padrão. Podem-se exprimir aproximações para os valores equivalentes.



## Bibliografia

- [1] Resolução nº 3214 de 08/06/1978 – Estabelece as Normas Regulamentadoras - NR, relativas à segurança e Medicina do Trabalho, Ministério do Trabalho (DOU 06/07/1978)
- [2] Decreto Estadual nº 56.819, de 10/03/2011 – Regulamento de Segurança contra Incêndios – Estado de São Paulo, 2011
- [3] Instrução Técnica nº 35/11 – Túnel Rodoviário - Corpo de Bombeiros – Polícia Militar do Estado de São Paulo, 2011
- [4] Resolução nº 297 de 26/02/2002 – Estabelece os limites para emissões de gases poluentes por ciclomotores, motocicletas e veículos similares novos – CONAMA – Ministério do Meio Ambiente (DOU nº 051, de 15/03/2002, p. 86-88)
- [5] DI-2053:1986 - *Raumlufttechnische Anlagem für Garagen um Tunnel*, Verein Deutscher Ingenieure (VDI), Alemanha
- [6] Diretiva 54/2004/CE - Segurança em Túneis na Comunidade Europeia, 30/04/2004
- [7] PIARC (“*Permanent International Association Roadways Congress*”) - 05.05.B - *Fire and Smoke Control in Road Tunnels*, 288 p., 1999
- [8] PIARC/OECD – 21.46.B – *Transport of dangerous goods through road tunnels*, 2001
- [9] PIARC/OECD – 05.16.B – *Systems & equipments for fire & smoke control in road tunnels*, 2006
- [10] *Fires in transport tunnels; Report on full-scale tests*; EUREKA-Project EU 499 FIRETUN; editor: Studiengesellschaft Stahlanwendung e. V., Düsseldorf, Juli 1998
- [11] NFPA 14, *Standard for the installation of standpipe and hose systems*
- [12] NFPA 130, *Standard for fixed guide way transit and passenger rail systems*
- [13] Tan, G.L., *Fire fighting in tunnels*; TUST 17, p. 179-180, 2002
- [14] Haack, A., *Current Safety issues in traffic tunnels*; TUST 17; p.117-127, 2002
- [15] Haack, A., *General thoughts to the safety of traffic tunnels*; Bauingenieur 77; p. 421-430, 2002
- [16] Haack, A., *Commentary on the newly developed fire protection for single-shell tunnel linings*; Tunnel 20/6; p. 23-31, 2001
- [17] Haack, A., *Subsequent fire protection measures in tunnels – technical and economic aspects*; report on STUVA-Conference '93; Tunnel 13/3; p. 49-60, 1994
- [18] Ingason, H., *Design Fires in Tunnels*, Safe & Reliable Tunnel, 2006



- [19] Ingason, H., *Design Fires in Tunnels*, Conf. Proceed. of Asianflam 95, p. 777-86, Hong Kong, 15-16 March 1995
- [20] Dahl, J., Richter, E., *Fire protection: new development to avoid concrete splintering*; Tunnel 20/6; pp 10-22, 2001
- [21] Kirkland, C.J., *The fire in the Channel Tunnel*; TUST 17; p. 129-132, 2002
- [22] Bryant, K., *Who are you designing your tunnel for?* TUST 17; p. 133-138, 2002
- [23] Gabay, D., *Fire safety: A short history in the Paris subway*, TUST 17; p. 139-144, 2002
- [24] Vuilleumier, A Weatherill, A., Crausaz, B., *Safety aspects of railway and road tunnel: example of the Lötschberg railway tunnel and Mont-Blanc road tunnel*; TUST 17; p. 153-158, 2002
- [25] Bendelius, A. G., *Tunnel fire and life safety within the world road association (PIARC)*; TUST 17; p. 159-162, 2002
- [26] Mashimo H., *State of the road tunnel safety technology in Japan*, Tunneling and Underground Space Technology 17, p. 145–152, In: ITA - Open Session: Fire and Life Safety, The 28<sup>th</sup> ITA General Assembly and World Tunnel Congress, 2–8 May 2002, Sydney, Australia
- [27] Teichmann, G., *Fire protection in tunnels and subsurface transport facilities*; Tunnel 17/5; p. 41-46, 1998
- [28] Reher, R., *Hydraulically bonded fire protection plates made of glass fiber light concrete*; Tunnel 18/7; p. 38-45, 1999
- [29] *Vergleichende Untersuchung herkömmlicher Brandmeldesysteme mit neuen digitalen Auswertesystemen auf ihre Eignung zur schnellen und sicheren Detektion von Stör – und Brandfällen in Straßentunneln*; Forschungsprojekt FE 03.344/2002/FRB des Bundesministeriums für Verkehr, Bau- und Wohnungswesen, durchgeführt von der STUVA und der RWTH Aachen, Lehrstuhl für Straßenwesen, Erd- und Tunnelbau B, 2002
- [30] *Draft European Directive on minimum safety requirements for tunnels located on the Trans-European Road Network*; 2002
- [31] European Thematic Network Fire in Tunnels (ETNFT), *Fire in tunnels tech. rept. Part 2, Fire design – Metro tunnels*, 329p., 2007
- [32] Khoury, G.A., *EU tunnel fire safety action*; Tunnels & Tunneling 35; p. 20-23v, 2003
- [33] Lees, F. P., *Loss Prevention in the Process Industries*. Heinemann, 3<sup>o</sup> vol., 2<sup>a</sup> edição, Londres, UK, 1996
- [34] Brown, A.E.P., *Segurança contra incêndios em túneis - À visão da análise de riscos*; 1<sup>o</sup> Congresso Brasileiro de Túneis e Estruturas e *International Seminar South America Tunneling*; São Paulo, SP, 2004
- [35] Brown, A.E.P, *Risk Analysis – An improvement to tunnel safety design*, *Proceedings of the World Tunnel Congress 2014 – Tunnels for a better Life*. Foz do Iguaçu, Brazil, 2014



- [36] Scabbia, A.L.G., Túneis rodoviários - Proposta de avaliação de conformidade para liberação ao uso e operação comercial, 164p. Tese de Doutorado, Programa Engenharia Mecânica, Escola de Engenharia de São Carlos – USP, São Paulo, SP, 2007
- [37] SÃO PAULO. Decreto nº 46.076, de 31 de agosto de 2001. Institui o Regulamento de Segurança contra incêndio das edificações e áreas de riscos para os fins da Lei nº 684, de 30 de setembro de 1975, e estabelece outras providências. Diário Oficial Poder Executivo, Seção I. Volume 111- Número 166, São Paulo, 01 de setembro de 2001
- [38] SÃO PAULO. AGÊNCIA REGULADORA DE SERVIÇOS PÚBLICOS DELEGADOS DE TRANSPORTE - ARTESP. Portaria 11, de 06 de dezembro 2002. Regulamenta o Tráfego de Veículos de Carga (caminhões, reboques e semireboques), Veículos Mistos e Veículos de Transporte de Passageiros (Micro ônibus e Ônibus) na Pista Descendente da Rodovia dos Imigrantes SP-160. Poder Executivo Estado de São Paulo Seção I Volume 112 - Número 234 - São Paulo, 07 de dezembro de 2002
- [39] SÃO PAULO. AGÊNCIA REGULADORA DE SERVIÇOS PÚBLICOS DELEGADOS DE TRANSPORTE -ARTESP. Portaria 21, de 29 de novembro de 2004 Aprova as Especificações Técnicas de Veículos Automotores de Transporte Coletivo de Passageiros Rodoviário e Urbano Intermunicipal; Diário Oficial Poder Executivo Estado de São Paulo, Seção I, Volume 114 - Número 224 - São Paulo, 30 de novembro de 2004
- [40] Maevski, I., *Recommended AASHTO guidelines for emergency ventilation smoke control in roadway tunnels*, AASHTO Standing Committee on Highways, 115 p., NY, USA, 2016
- [41] ASHRAE Handbooks – Fundamentals, applications, and systems and equipment
- [42] ANSI/AMCA 300, Reverberant room method for sound testing of fans
- [43] ISO/DIS 13571, Life threat from fires – Guidance on the estimation of time available for escape using fire data, 2006
- [44] *Acute exposure guideline levels for selected airborne chemicals*, Volume 8,” Committee on Acute Exposure Guideline Levels, Committee on Toxicology, National Research Council. National Academies Press, Washington DC, USA, 2010
- [45] Kuligowski, E. D., *Compilation of data on the sub-lethal effects of fire effluent*, Technical Note 1644, National Institute of Standards and Technology, 2009