Universidade Federal do Rio de Janeiro

Escola de Química

Programa de Pós–Graduação em

Tecnologia de Processos Químicos e Bioquímicos

Estudo de Sistemas Fixos de Combate a Incêndio por Agentes Gasosos

Vitor Gabriel Silva

Dissertação de Mestrado

Orientador:

Prof. Marcio Nele de Souza, D.Sc.

Co–orientador:

Prof. Carlos André Vaz Junior, D.Sc.

Agosto de 2014

Estudo de Sistema Fixo de Combate a Incêndio por Agente Gasoso

Vitor Gabriel Silva

Dissertação de Mestrado submetida ao Corpo Docente do Curso de Pós-Graduação em Tecnologia de Processos Químicos e Bioquímicos da Escola de Química da Universidade Federal do Rio de Janeiro, como parte dos requisitos necessários para obtenção do grau de Mestre em Ciências.

Aprovado por:

_____

Prof. Marcio Nele de Souza, *D.Sc.*
(Orientador - presidente da banca)

_____

Prof. Carlos André Vaz Junior, *D.Sc*.
(Co-orientador)

_____

Prof. Andrea Medeiros Salgado, *D.Sc.*

_____

Prof. Armando Celestino Gonçalves Neto, *D.Sc.*

_____

Prof. Paulo Fernando Ferreira Frutuoso e Melo, *D.Sc.*

RIO DE JANEIRO, RJ - BRASIL

Agosto de 2014

Gabriel, Vitor Silva

Estudo de Sistema Fixo de Combate a Incêndio por Agente Gasoso. / Vitor Gabriel Silva, Rio de Janeiro: UFRJ/EQ, 2014.

ii, 99 f.: i1

Dissertação (Mestrado em Tecnologia de Processos Químicos e Bioquímicos) – Universidade Federal do Rio de Janeiro – UFRJ, TPQB – Escola de Química, 2014.

Orientador: Nele, Marcio de Souza; Vaz, Carlos André Junior.

1. Sistema fixo de extinção. 2. Combate a incêndio. 3. CO_2. 4. Gás ativo. 5. Gás. 6. Estudo de caso. Estudo de Sistema Fixo de Combate a Incêndio por Agente Gasoso. I. Marcio Nele de Souza (Orient.) e Carlos André Vaz Júnior (Co-Orient.). II. Universidade Federal do Rio de Janeiro. TPQB. III. Título

COD: 542.7

A minha família pelo apoio incondicional.

Aos meus amigos que sempre tiveram paciência comigo.

Ao universo que sempre busca o equilíbrio

AGRADECIMENTOS

À vida que é o grande milagre concedido ao homem.

A minha mãe e avó por estarem comigo todos os dias.

Aos meus amigos que sempre me aconselharam e ajudaram nos momentos mais difíceis.

Aos amigos, colegas e professores da Escola de Química que desde minha graduação me ofereceram o melhor do ensino de engenharia.

Aos meus orientadores, por me instruir a ser um profissional mais qualificado e competente.

Ao apoio financeiro da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – CAPES.

"A água é submissa, mas tudo conquista. A água extingue o fogo ou, diante de uma provável derrota, escapa como vapor e se refaz. A água carrega a terra macia, ou quando se defronta com rochedos, procura um caminho ao redor. A água corrói o ferro até que ele se desintegra em poeira; satura tanto a atmosfera que leva à morte o vento. A água dá lugar aos obstáculos com aparente humildade, pois nenhuma força pode impedi-la de seguir seu curso traçado para o mar. A água conquista pela submissão; jamais ataca, mas sempre ganha a última batalha." (Tao Cheng de Nan Yeo, um estudioso taoísta do século XI)

Resumo da Dissertação de Mestrado apresentada ao Curso de Pós-Graduação em Tecnologia de Processos Químicos e Bioquímicos da Escola de Química / UFRJ como parte dos requisitos necessários para obtenção do grau de Mestre em Ciências.

ESTUDO DE SISTEMAS FIXOS DE COMBATE

A INCÊNDIO POR AGENTES GASOSOS

Vitor Gabriel Silva

Agosto/2014

Orientadores:

Prof. Marcio Nele de Souza

Prof. Carlos André Vaz Junior

Os sistemas fixos de combate a incêndio a gás vem sendo utilizado para proteger materiais de alto valor agregado como obras de artes, equipamentos eletrônicos, dinheiro, entre outros. A implementação de tipo de sistema exige um alto investimento, porém tem aumentado a demanda no mercado devido a adesão dos empreendimento de equipamentos eletrônicos de alto valor agregado e as exigências de normas de segurança. O primeiro gás de extinção para combate a incêndio foi o CO_2 do qual foi utilizado durante um longo tempo até ser substituído pelos gases Halon. Porém, devido a exigências ambientais os gases Halon foram banidos e os centros de pesquisas buscaram gases de alta eficiência e que não fossem nocivos a camada de ozônio. Esse trabalho apresenta os diferentes gases de extinção do qual detalha as suas propriedades, o potencial de extinção, os riscos gerados e os procedimentos de implementação do qual elaborou-se uma metodologia de elaboração de projeto a partir de normas e manuais. Analisou-se também as classificações dos gases em função das exigências ambientais, e as tendências do meio cientifico em busca de gases mais eficientes e que cumpra os requisitos ambientais. Por fim, elaborou-se um estudo de caso de sistema de combate a incêndio a partir do CO_2 e NOVEC 1230, onde avaliou-se as necessidades para atuação,

a viabilidade e a eficiência desses agentes extintores. Constatou que os agentes gasosos a partir de gases ativos o possuem melhor eficiência, são mais seguros e ocupam menor espaço do que CO_2. O objetivo da elaboração desse trabalho é mostrar as aplicação desse método de prevenção e combate a incêndio, discutir a viabilidade das opções de agente gasosos para sistema fixo e elaborar uma revisão bibliográfica para elaboração de um projeto de sistema fixo a partir de agente gasoso.

Abstract of a Dissertation presented to Course of Program on Technology of Chemical and Biochemical Processes) as part fulfilment of the requirements for the degree of Master of Science

Vitor Gabriel Silva

August, 2014

Supervisors:

Prof. Marcio Nele de Souza

Prof. Carlos André Vaz Junior

The extinguishing system to fire fighting by gas has been used to protect high-value materials such as works of art, electronic equipment, money, among others. The implementation of such a system requires a high investment, but has increased the demand in the market due to adhesion of electronic equipment of high value by enterprise and because the requirements of safety standards. The first gas extinguishing fire fighting was the CO_2 which was used for a long time until to be replaced by gas Halon. However, due to the environmental requirements, Halon gases were banned and research centers sought to gas with high efficiency and would not be harmful to the ozone layer. This paper presents the different gases extinction which details their properties, the extinction potential, risks generated and implementation procedures which developed a methodology of project design from standards and manuals. It was analyzed the ratings of gases according to environmental requirements, and the trends of the scientific environment in search of more efficient gas and satisfies the environmental requirements. Finally, it was elaborated a case study of fire fighting system from CO_2 and NOVEC 1230, which assessed the needs for performance, the feasibility and efficiency of these extinguishing agents. Found that the gaseous agents from the active gases have better efficiency, are safer and occupy less space than CO_2. The purpose of the preparation of this work is show the application of this method of

prevention and fire fighting, discuss the feasibility of gaseous agent options for fixed system and prepare a literature review to prepare a draft of fixed system from gaseous agent.

FIGURA

Figura 2.1 – Sistema fixo de combate a incêndio por agente gasoso.....5

Figura 3.1 – Queimadura por exposição a dióxido de carbono.....20

Figura 4.1 – Modelo padrão de *Cup-Burner*.....26

Figura 4.2 – Copo Queimador para combustível líquido 27

Figura 4.3 – Copo de Vidro.....28

Figura 5.1 – Placa de aviso para interior dos ambientes protegidos.....33

Figura 5.2 – Placa de aviso de ambientes externos aos protegidos.....33

Figura 5.3 – Cilindro de CO_2.....34

Figura 5.4 – Sistema de armazenamento baixa pressão de CO_2.....35

Figura 5.5 – Válvula do Cilindro.....37

Figura 5.6 – Coletores e mangueiras.....37

Figura 5.7 – Gráfico de conversão do fator de correção de CO_2.....41

Figura 5.8 – Vazão mássica da área efetiva por área.....43

Figura 5.9 – Difusor de CO_2.....48

Figura 5.10 – Difusor tipo “S” 48

Figura 5.11 – Área de atuação do difusor.....49

Figura 5.12 – Típico cilindro de armazenamento de agente limpo.....53

Figura 5.13 – Distância do difusor do teto.....65

Figura 5.14 – Altura limite dos difusores de agente limpos.....66

Figura 5.15 – Difusor de descarga de 180°.....66

Figura 5.16 – Difusor de descarga de 360°.....67

Figura 5.17 – Área de atuação dos Difusor 180° e Difusor 360°.....67

Figura 5.18 – Padrão de localização dos difusores.....68

Figura 6.1 – Divisão em blocos do Centro de Tecnologia. Fonte: Adaptado do Portal do Departamento de Engenharia Eletrônica e de Computação.....70

Figura 6.2 – Laboratório Multidisciplinar.....72

Figura 6.3 – Planta do Laboratório Multidisciplinar com os difusores de CO_2.....82

Figura 6.4 – Planta do Laboratório multidisciplinar.....87

Figura 6.5 – Planta do Laboratório multidisciplinar.....88

Figura 6.6 – Tubulação do sistema fixo de combate a incêndio.....89

TABELA

Tabela 2.1 – Agente limpos do tipo gases inertes.....10

Tabela 2.2 – Agentes limpos de gases ativos.....11

Tabela 2.3 – ODP das principais substâncias.....12

Tabela 2.4 – Propriedades ambientais dos agentes limpos.....14

Tabela 2.5 – Propriedades do NOVEC 1230e FM-200.....15

Tabela 3.1 – Ações tóxicas do NOVEC 1230 e do FM-200.....17

Tabela 3.2 – Tempo para exposição humana segura para determinadas concentrações FM-200.....18

Tabela 3.3 – Concentração de dióxido carbono para extinção. 19

Tabela 3.4 – Classificação NOAEL e LOAEL dos principais agentes limpos.....21

Tabela 3.5 – Produtos gerados na queima dos gases extintores.....22

Tabela 3.6 – Efeitos a exposição de ácido fluorídrico por indivíduos.....23

Tabela 3.7 – Principais produtos da combustão, sua origem e efeitos tóxicos.....24

Tabela 4.1 – Concentração mínima para extinção usando via método *Cup-Burner*.....29

Tabela 5.1 – Dimensões do cilindro de CO_2.....35

Tabela 5.2 – Concentrações de dióxido de carbono no ambiente protegido.....39

Tabela 5.3 – Fator de inundação para riscos de incêndio para concentração mínima de 40% de CO_2.....40

Tabela 5.4 – Espessura da tubulação em função da vazão mássica de CO_2.....47

Tabela 5.5 – Vazão mássica do difusores.....49

Tabela 5.6 – Área de Atuação do Difusor tipo “S” 51

Tabela 5.7 – Capacidade nominal e faixa quantidade de agente nos vasos de pressão...54

Tabela 5.8 – Especificação do agente limpo.....54

Tabela 5.9 – Concentração de NOVEC 1230 e FM-200 para Classe B.....56

Tabela 5.10 – Quantidade de Inundação total por FM-200.....58

Tabela 5.11 – Quantidade de Inundação total por NOVEC 1230.....59

Tabela 5.12 – Fator de Correção Atmosférico.....61

Tabela 5.13 – Tubulação para FM-200.....63

Tabela 5.14 – Tubulação para o NOVEC 1230.....64

Tabela 5.15 – Difusor de descarga de 360° e 180°.....69

Tabela 6.1 – Reagente químicos do Laboratório Multidisciplinar.....74

Tabela 6.2 – Quantidade de cilindros para Laboratório Multidisciplinar.....79

Tabela 6.3 – Concentração de NOVEC 1230.....83

Tabela 6.4 – Quantidade de cilindros para Laboratório Multidisciplinar.....86

Tabela 6.5 – Comparação entre os sistema CO_2 e NOVEC 1230.....90

Tabela 7.1 – Comparação de agente de extinção CO_2 e NOVEC 1230 a partir do estudo.....92

SIGLAS

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas

ANSI – American National Standards Institute

ASTM – American Society for Testing and Materials

BRE – Building Research Establishment

COSCIP – Código de Segurança Contra Incêndio e Pânico

CSTB – Centre Scientifiqueet Techniquedu Bâtiment

EPA – Environmental Protection Agency

FISPQ–ficha de informação de segurança desses produtos químicos

FRS – Fire Research Station

GWP – Global Warming Potential

IAFSS – The International Association for Fire Safety Science

IPCC – Intergovernmental Panelon Climate Change

IT – Instruções Técnicas

ITH – Integration time horizon

LOAEL–Lowest Observed Adverse Effects Level

MAM – Museu de Arte Moderna

NFPA – National Fire Protection Association

NOAEL – No Observed Adverse Effects Level

NR – Normas Regulamentadoras

ODP – Ozone Depletion Potential

SFPE – Society of Fire Protection Engineers

SNAP – Significant New Alternative Polices

SUMÁRIO

Capítulo 1 – Introdução.....1

Capitulo 2 – Agentes Extintores Gasosos.....4

2.1 – Dióxido de Carbono.....6

2.2 – Gases Halogênios.....7

2.3 – Agentes Limpos.....9

2.4 – Classificação de agentes de extinção.....12

Capitulo 3 – Riscos e Limitações de Uso dos Agentes Gasosos.....16

3.1 – Agentes Limpos.....16

3.2 – Dióxido de Carbono.....18

3.3 – NOAEL e LOAEL.....21

3.4 – Produtos da Queima.....22

Capítulo 4 – Pesquisa de Novos Agentes Extintores.....25

4.1 – Método Cup-Burner.....25

4.2 – Agente de Extinção CF_3H.....29

4.3 – Agente de Extinção BTP.....30

Capítulo 5 – Projetos de Sistema Fixos de Combate a Incêndios.....31

5.1 – Projeto de Sistema por Agente Gasoso Dióxido de Carbono.....32

5.1.1 – Identificação.....32

5.1.2 – Vasos de Pressão.....34

5.1.3 – Válvulas.....36

5.1.4 – Ambiente.....38

5.1.5 – Projeções de volume de dióxido de carbono.....38

5.1.6 – Tubulações.....46

5.1.7 – Difusores.....47

5.2 – Projeto de Sistema por Agentes Limpos.....52

5.2.1 – Identificação.....52

5.2.2 – Vasos de Pressão, Válvulas e Acessórios 52

5.2.3 – Projeções de volume de Agente Limpo.....55

5.2.4 – Tubulações.....62

5.2.5 – Difusores.....65

Capítulo 6 – Estudo de Caso.....70

Capítulo 7 – Conclusão.....92

Referência Bibliográfica 93

Capítulo 1 – Introdução

O fogo foi uma das principais descobertas da humanidade, indispensável em sua evolução por possibilitar a preparação de novos alimentos, servir para o aquecimento e a defesa. Possibilitou ainda a elaboração de utensílios e ferramentas cada vez mais complexas, trazendo com isso qualidade de vida. Enquanto o fogo sob controle é vital, a perda do seu controle, denominada como incêndio, pode ser letal.

O fogo sem controle pode gerar inúmeras vítimas fatais, como os grandes incêndios observados nos edifícios Joelma (SP), Andorinhas (RJ) e boate Kiss (RS) já deixaram claro. Incêndios são eventos que podem causar não apenas perdas de vidas humanas, mas também perdas incalculáveis através de danos em obras de arte, bens e equipamentos. Milhões de dólares são perdidos anualmente devido a incêndios em todo o mundo. Embora incêndios continuem a ocorrer, atualmente existe grande esforço em pesquisas voltadas para o desenvolvimento de técnicas e tecnologias de prevenção e combate.

Dentre as várias instituições e associações de pesquisa neste ramo destacam-se o Centre Scientifique et Technique du Bâtiment (CSTB) na França, a Building Research Establishment (BRE) e a Fire Research Station (FRS) no Reino Unido. Há ainda a International Association for Fire Safety Science (IAFSS), a National Fire Protection Association (NFPA) e a Society of Fire Protection Engineers (SFPE). Essas associações acompanham a evolução tecnológica, realizam estudos de casos e elaboram procedimentos, normas e manuais de segurança, além de fornecer treinamentos (SEITO et al., 2008).

No Brasil o contexto legal da prevenção e proteção contra incêndios pode ser dividido em três níveis: as normas técnicas da ABNT no contexto tecnológico, as normas regulamentadoras do Ministério do Trabalho e Emprego (MTE) no contexto da segurança do trabalho, e as leis estaduais que compõem o COSCIP (Código de Segurança Contra Incêndio e Pânico).

O Ministério do Trabalho e Emprego elabora e atualiza Normas Regulamentadoras (NR), que são orientações de procedimentos obrigatórios relacionados à segurança e medicina do trabalho. Dentre as 36 Normas Regulamentadores atualmente em vigor, há a NR de número 23, que trata especificamente da proteção contra incêndios. Entretanto, a NR não tem o objetivo de

tratar de forma aprofundada o assunto. Uma abordagem mais profunda é realizada pela Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), através da emissão de inúmeras normas sobre o tema. Deste modo, encontram-se disponíveis normas técnicas sobre os mais diversos aspectos, desde a fabricação de extintores de incêndio, instalação de portas corta-fogo, até sobre sinalização de emergência.

Finalmente, destaca-se que no Brasil o órgão legalmente responsável por fiscalizar os procedimentos de prevenção e combate a incêndio é o Corpo de Bombeiros Militar de cada estado. Este elabora o texto legal que compõe o Código de Segurança Contra Incêndio e Pânico (COSCIP), complementado por Instruções Técnicas (IT) e decretos complementares. Estes textos compõem a legislação estadual sobre o tema.

As normas e textos legais atualmente em vigor visam prevenir incêndios e seu rápido combate, reduzindo assim as consequências. Sabe-se que uma vez o incêndio tendo sido iniciado, este irá se expandir rapidamente, colocando em risco o patrimônio e vidas humanas. Uma pronta resposta é fundamental para evitar a formação de um cenário catastrófico. Enquanto o combate manual ao incêndio, feito com extintores e mangueiras, depende da presença de pessoas treinadas no local, sistemas fixos de combate vêm obtendo sucesso na tarefa de reduzir o tempo de resposta. Exemplo de recurso frequentemente disponível para um rápido combate a incêndios em edificações é o sistema chuveiros automáticos ou sprinklers. Trata-se de um sistema aspersor de água sobre o foco do incêndio, visando controla-lo ou mesmo apaga-lo. Os chuveiros automáticos não dependem da presença de pessoal treinado no local, agindo de modo independente a partir do momento que um incêndio é detectado.

Embora altamente eficazes na proteção de edifícios comerciais, shoppings e residências, os chuveiros automáticos baseados na aspersão de água podem não se mostrar a solução ideal para todos os ambientes a serem protegidos. Centrais de informática e bancos de dados, assim como o acervo de museus e bibliotecas, podem ser danificados pelo uso da água. Em laboratórios ou plantas industriais, substâncias químicas podem reagir violentamente quando expostas à água. Para todos esses cenários o uso dos sprinklers pode tornar-se inadequado.

Hoje, há no mercado uma série de sistemas fixos de combate a incêndio à base de gases, que podem substituir a água como agente extintor. Estes sistemas, porém, apresentam custo bastante elevado, de modo que sua instalação precisa ser avaliada cuidadosamente caso a caso.

Com a disponibilidade crescente de agentes extintores cada vez mais seguros e eficazes, a escolha do agente passa a depender do risco de incêndio ao qual o ambiente está propício, da atividade exercida no local, do valor dos bens e equipamentos ali mantidos, etc. Sistemas fixos, baseados em agentes gasosos, podem mostrar-se extremamente eficazes quando corretamente especificados, projetos e instalados, mas também extremamente caros e perigosos quando empregados em locais inadequados (SEITO et al., 2008; NFPA 12, 2011; EPA, 2000).

Este estudo teve como objetivo abordar diferentes agentes extintores gasosos atualmente disponíveis no mercado, buscando levantar suas características de aplicação e suas especificações. Características do projeto de sistemas fixos baseados em gases são apresentadas de modo detalhado. Um estudo de caso foi realizado para ilustrar tais particularidades. Visa-se assim abordar, de forma estruturada e clara, um tema ainda pouco detalhado em textos nacionais.

Esta dissertação está organizada em dez capítulos, onde o Capítulo 2 apresenta diferentes gases de extinção (agentes extintores) utilizados em sistemas fixos de combate a incêndios. Analisa-se o potencial de extinção dos diferentes agentes, a viabilidade de implementação, e a classificação do seu potencial de impacto ambiental. Já o Capítulo 3 discute especificamente os riscos e limitações dos gases de extinção, o grau de toxicidade e os produtos gerados durante seu emprego.

O Capítulo 4 apresenta possíveis novos gases de extinção e os métodos de avaliação destes agentes. O Capítulo 5 apresenta a metodologia de elaboração de um projeto de sistema fixo de combate a incêndio. Finalmente, o Capítulo 6 consiste de um estudo de caso para avaliar a viabilidade do uso de sistemas fixos em ambiente laboratorial. O Capítulo 7 expõe as conclusões obtidas nesse estudo.

Capitulo 2 – Agentes Extintores Gasosos

Inúmeros agentes extintores tem a sua tecnologia bem conhecida e encontram-se disponíveis para serem empregados em sistemas fixos de combate a incêndios. Desde o tradicional e amplamente usado sistema de chuveiros automáticos (sprinklers) para aspersão de água, até sofisticados dispersores de gases, diferentes soluções podem ser adotadas. A escolha do agente deve considerar, entre outros fatores, o ambiente no qual será instalado o sistema. Deve ser avaliada a viabilidade técnica, o custo do projeto, a presença de pessoas no ambiente, e os danos esperados em caso de incêndio.

Enquanto sistemas de aspersão de água são eficazes na proteção de ambientes residenciais ou shoppings, estes sistemas podem ser inadequados para proteger uma grande central de informática, por exemplo. O projeto e instalação de caros sistemas fixos baseados em agentes gasosos revela maior viabilidade em ambientes que possuem objetos de elevado valor agregado, como produtos eletrônicos sofisticados, centrais de dados, bibliotecas, museus e acervos históricos. Ou seja, seu uso se mostra importante em locais onde a água empregada no combate ao incêndio destruiria, de modo similar ao fogo, o inventário ali instalado. A história nacional retrata um exemplo de incêndio no Museu de Arte Modena (MAM) no Rio de Janeiro, no qual houve perdas inestimáveis de 90% das obras de artes ali guardadas (NFPA 12, 2011; MAM, 2014).

Todo sistema fixo de combate a incêndio por agente gasoso consiste em um conjunto de equipamentos, entre eles: vasos de pressão contendo gás extintor, tubulação, difusores de gás, detector de incêndio e alarme, conforme apresentado na **Figura 2.1.**

Figura 2.1 – Sistema fixo de combate a incêndio por agente gasoso (TYCO, 2004)

Os pontos destacados na **Figura 2.1** são: (1) Cilindros de gás extintor de acionamento automático; (2) Cilindros de gás extintor de acionamento pneumático; (3) Distribuidor; (4) Dispositivo de atraso; (5) Difusor de Extinção; (6) Detector automático de incêndio; (7) Painel de detecção e controle do fogo; (8) Alarme visual; (9) Alarme sonoro; (10) Sirene pneumática; e (11) Acionador manual (TYPO, 2004).

As principais propriedades dos gases extintores empregados em sistemas fixos são (NFPA 12, 2011):

I. Não conduzem eletricidade;
II. Possuem rápida vaporização e não deixam resíduo;
III. Podem ser utilizados em diferentes tipos de incêndios;
IV. Após a extinção possibilitam o reinício das atividades do local com o mínimo de perdas.

Assim, sistemas fixos de combate a incêndios baseados em gases podem ser empregados em uma ampla gama de incêndios, sejam eles das classes A, B ou C. Ou seja, podem ser empregados em incêndios em combustíveis sólidos, como papéis, madeiras e plásticos (Classe A), líquidos inflamáveis (Classe B) e equipamentos

elétricos energizados (Classe C). Porém, a escolha do agente extintor não é restrita somente à ação de combater o fogo propriamente dita, devem–se avaliar os efeitos colaterais esperados durante o combate e após a extinção: (NFPA 12, 2011); SEITO et al., 2008)

I. Presença de pessoas no ambiente;
II. Equipamentos ou máquinas que possam ser danificados;
III. Tempo gasto na remoção do agente do ambiente;
IV. Tempo de retorno à utilização do ambiente.

Agentes extintores gasosos não danificam os equipamentos instalados no ambiente e permitem o rápido retorno as atividades, especialmente quando comparados aos sistemas baseados em água. Contudo, são mais caros, em geral mostrando-se viáveis economicamente apenas quando o inventário a ser protegido apresenta elevado valor monetário e/ou histórico. Usualmente os sistemas fixos são instalados em locais como salas de máquinas em embarcações, museus e sala de banco de dados, ou seja, locais onde há alto valor agregado de informações e/ou materiais. Finalmente, sistemas fixos baseados em gases não devem ser instalados em locais com presença intensiva de pessoas, como cinemas e teatros.

Atualmente há três classes de agentes gasosos com amplo emprego prático: gases halogênios (como o Halon 1301); agentes limpos (sejam gases inertes como IG-51, sejam gases ativos como o NOVEC 1230); e o dióxido de carbono.

2.1 – Dióxido de Carbono

Os primeiros sistemas fixos de combate a incêndio à base de gás utilizavam o dióxido de carbono, um gás acessível e de baixo custo. Embora tradicionalmente usado com sucesso em extintores portáteis, o uso deste gás em sistemas fixos acarreta alguns inconvenientes. Seu uso em grande quantidade em espaços fechados pode levar facilmente a asfixia as pessoas presentes no local. Isso ocorre devido à alta concentração do gás que se faz necessária para extinguir o incêndio (EPA, 2000). O dióxido de carbono age no combate ao fogo por abafamento. Ou seja, sua ação é baseada na redução do teor de oxigênio presente no meio até valores abaixo dos quais não ocorra mais combustão. Deste modo é necessário que se reduza a concentração de oxigênio até cerca de 10% a 12% em volume no meio. Este valor, porém, é bastante inferior ao

considerado seguro para a vida humana (18%). Por esta razão, seu emprego em ambientes com pessoas mostra-se de elevado risco.

A norma NFPA 12 - *Standard on Carbon Dioxide Extinguishing Systems* foi elaborada no ano de 1928 nos Estados Unidos, apresentando os procedimentos técnicos mínimos para a elaboração de projetos, instalações e manutenção de sistemas fixos de combate a incêndio por dióxido de carbono. A norma NFPA 12 vem sendo atualizada frequentemente, e sua última edição data de 2011. Essa norma é considerada o principal documento técnico atualmente disponível para o desenvolvimento de projetos de sistemas fixos por dióxido de carbono (EPA, 2000; SEITO et al., 2008).

De acordo com a NFPA 12, os tipos de ambientes onde sistemas fixos contendo gás carbônico são recomendados: locais com acúmulo de materiais líquidos inflamáveis; risco elétrico (transformadores, circuitos elétricos e eletrônicos); máquinas e motores que utilizam gasolina ou outros produtos inflamáveis; e locais de acúmulo de elevadas quantidades de material combustível sólido como papel, madeira e tecido.

Há basicamente dois modelos de sistemas fixos baseados em dióxido de carbono (NFPA 12, 2011):

1) Sistema de completa inundação, com acionamento manual e/ou automático;
2) Sistema de atuação somente onde ocorre o incêndio, no qual o gás é descarregado diretamente no foco do incêndio;

O sistema pode ser ainda classificado quanto à pressão de armazenamento do gás: baixa ou alta pressão. O sistema de baixa pressão utiliza uma massa armazenada de 3.000 kg de CO_2 ou mais, mantido a 300 psi de pressão e a uma temperatura de 18 °C. Esse modelo é empregado para proteger grandes áreas, onde o objetivo é a inundação do ambiente. Sistemas a alta pressão utilizam uma massa de até 45 kg de CO_2, mantido a 850 psi de pressão e temperatura de 21 °C. Esse modelo é aplicado para áreas pequenas, onde o objetivo é a extinção do foco do incêndio em um local específico. (EPA, 2000; SEITO et al., 2008; NAFED, 2014)

2.2 – Gases Halogênios

Os Halons empregados no combate a incêndio são hidrocarbonetos halogenados cuja estrutura contém: flúor; cloro; bromo; ou iodo. Os Halons tiveram uma grande inserção no mercado de agentes extintores na década de 60, quando foram amplamente

utilizados devido a sua elevada eficiência (REGO, 2010). Nessa época eram considerados os substitutos ideais do dióxido de carbono.

O Halon era utilizado por ser um excelente agente de extinção para ambientes especiais, como salas com equipamentos eletrônicos e banco de dados. Enquanto o dióxido de carbono age apenas por abafamento, o Halon age por interrupção da cadeia de reações químicas que compõe o fogo, reagindo com os intermediários da combustão e fazendo cessar o processo. Por não se basear no abafamento, o Halon pode ser utilizado em baixas concentrações no ambiente, bastante diferente do que ocorre com o dióxido de carbono, pois não é necessário reduzir a concentração de oxigênio no meio (ALLIANZ, 2004). Deste modo o gás Halon, usado em baixas concentrações, não se mostra tão perigoso quanto o dióxido de carbono para eventuais vítimas localizadas no ambiente (NFPA 12A, 1997; EPA, 2000).

Embora eficiente no combate a incêndios, o Halon revelou-se um problema para o meio-ambiente. A partir do Protocolo de Montreal, em 16 de Setembro de 1987, o uso do Halon 1301, 1211 e 2402 passou a ser autorizado somente para alguns casos especiais. Tal condição foi imposta porque pesquisas mostraram que estes gases são nocivos a camada de ozônio (PROTOCOLO DE MONTREAL; NFPA 12A, 1997; EPA, 2000).

Devido a essa restrição de uso, iniciou-se a busca por outros agentes extintores igualmente eficazes que pudessem substituí–los.

Atualmente a aplicação do Halon 1301 é permitida, de acordo com o regulamento (CE) N.°1005 do ano de 2009, para:

- Aeronaves: na proteção dos compartimentos da tripulação e dos motores, dos porões de carga e dos porões secos;
- Veículos militares terrestres e marítimos: na proteção dos espaços ocupados pelo pessoal e pelos motores;
- Tornar inertes os espaços ocupados em que possam ocorrer liberações de líquidos ou gases inflamáveis nos setores militar, de petróleo, gás e petroquímico;
- Tornar inertes os centros de comunicações e de comando das Forças Armadas ou outros, existentes e essenciais para a segurança nacional;

- Tornar inertes os espaços ocupados em que possa ocorrer a dispersão de materiais radioativos;

O uso do Halon 1211 é permitido, de acordo com regulamento (CE) N.°1005 do ano de 2009, para:

- Extintores portáteis de aeronaves e no sistema fixo de extinção de incêndios em seus motores;
- Nos veículos militares terrestres e marítimos, para proteção dos espaços ocupados pelo pessoal e pelos compartimentos dos motores
- Aeronaves com objetivo de proteger os compartimentos da tripulação, motores, e porões para carga;
- Extintores essenciais à segurança pessoal voltados para utilização por bombeiros;
- Extintores utilizados pelas forças militares e policiais;

Finalmente, o Protocolo de Montreal determinou que novas instalações de gases halogênicos não poderão mais ser implementadas a partir de 2015, e seu uso deve ser totalmente eliminado até 2040.

Atualmente, as alternativas mais comuns ao Halon são o dióxido de carbono e os denominados agentes limpos, compostos pelos gases ativos tais como FM-200 e o NOVEC 1230, e pelos gases inertes como Inergen e Argon.

2.3 – Agentes Limpos

Após o Protocolo de Montreal de 1987, houve um grande investimento em pesquisa de agentes extintores que pudessem substituir o Halon. Com esse propósito, surgiram inúmeros grupos de pesquisa, sendo um dos mais importante o *Significant New Alternative Polices* (SNAP) criado pela *Environmental Protection Agency* (EPA).

A partir destes estudos surgiram os denominados “agentes limpos”. Esta categoria foi então dívida em “gases inertes” e “gases ativos”. Porém, a utilização prática destes novos compostos só seria possível a partir de normas técnicas que regulassem sua aplicação. Deste modo, a NFPA, em um trabalho paralelo, elaborou a

NFPA 2001, uma norma técnica específica para os novos agentes de extinção (SEITO et al., 2008; NFPA 2001, 2012).

Gases Inertes

Os agentes extintores denominados Gases Inertes são formulados com base em argônio e nitrogênio. Possuem uma baixa eficiência, similar ao dióxido de carbono, pois agem apenas por abafamento (SEITO et al., 2008). Assim, necessitam de uma alta concentração de gás no meio para reduzir o teor de oxigênio a ponto de extinguir o fogo. Devido à alta concentração necessária, estes precisam ser injetados no meio em um volume 6 vezes maior que o dos gases ativos.

Os agentes de extinção baseados em gases inertes mais conhecidos são Inergen, Argone e Argonite, cujas características são descritas na **Tabela 2.1**.

Tabela 2.1 – Agente limpos do tipo gases inertes (SEITO et al., 2008; NFPA 2001, 2012)

NOME COMERCIAL	INERGEN	ARGON	ARGONITE
Classificação NFPA–2001	**IG–541**	**IG–01**	**IG–55**
Nome Químico	Argônio/Nitrogênio	Argônio	Argônio/Nitrogênio
Composição Química	52% Nitrogênio 40% Argônio 8% CO_2	100% Argônio	50% Nitrogênio 50% Argônio
Concentração mínima de projeto	37,5%	~37,5%	~37,5%
Tempo de descarga	60 s	60 s	60 s
Uso em área ocupadas (NFPA)	Sim	Sim	Sim

Gases Ativos

Os agentes limpos denominados “gases ativos” agem através da retirada da energia térmica do incêndio e, principalmente, da interrupção da cadeia de reações químicas da combustão (SEITO et al., 2008). Está ação os torna mais eficazes que os gases inertes, reduzindo a concentração de agente necessária para extinguir o incêndio.

Os gases ativos são misturas de compostos químicos não banidos no Protocolo de Montreal. Atualmente os mais usuais no mercado são o FM-200 e NOVEC 123, descritos na **Tabela 2.2**.

É interessante observar a diferença de concentração mínima de projeto dos gases inertes e dos ativos. Enquanto os inertes, por agirem unicamente por abafamento, dependem de uma concentração de quase 40% no meio, para os ativos essa concentração fica reduzida a 7% ou menos. Este fator influência também no tempo de descarga de gás – 1 minuto para os gases inertes e menos de 10 segundos para os gases ativos.

Tabela 2.2 – Agentes limpos de gases ativos (3M PRODUCT INFORMATION, 2009; DUPONT, 2014; NFPA 2001, 2012)

FABRICANTE	3M	DUPONT
Nome comercial	NOVEC 1230	FM-200
Nome químico	Fluoroketone (FK-5-1-12)	Hepta–fluor–propano (HFC)
Fórmula química	$C_2F_5C(O)CF(CF_3)$	CF_3CHFCF_3
Ponto de bolha a 760 mm Hg	49 °C	-16,4 °C
Ponto de congelamento	-108°C	-131°C
Concentração mínima de projeto	4–6%	7,0%
Tempo de descarga	Mínimo 5 s Máximo 10 s	< 10 seg
Uso em áreas ocupadas (NFPA)	Sim	Sim

2.4 – Classificação de agentes de extinção

A partir da adoção dos protocolos internacionais de Montreal e Kyoto foram iniciadas buscas por novos agentes de extintores. Inicialmente a pesquisa era focada unicamente sobre agentes que não fossem nocivos à camada de ozônio. Entretanto, ao longo dos anos, o aquecimento global e o efeito estufa ganharam destaque. Com isso, outro critério de seleção passou a ser avaliado: que os agentes não contribuíssem para o efeito estufa e o aquecimento global.

Foram então elaboradas classificações sobre o potencial de agressão dos compostos à camada de ozônio, sobre sua contribuição ao aquecimento global, e em relação ao tempo de vida na atmosfera.

O ODP - *Ozone Depletion Potential* é uma classificação em relação ao potencial de agressão à camada de ozônio. É um índice que informa a capacidade relativa de destruição da camada de ozônio em relação ao composto R11 ou CFC-11 (Tricloromonofluormetano), que possui um valor fixo de referência igual a 1 (um) (ODP, 1998; 3M-NOVEC 1230, 2014).

Deste modo, quanto mais elevado o ODP do agente, mais prejudicial este composto é para a camada de ozônio. Os Halon 1211, 1301 e 2402, que não são considerados agentes limpos, apresentam ODPs muito elevados, conforme a **Tabela 2.3**, por isso estão sendo banidos. Os demais compostos detalhados na tabela aparentemente não apresentam ação sobre a camada de ozônio.

Tabela 2.3 – ODP das principais substâncias (ODP, 1998; TECHNICAL INFORMATION. DUPONT FM-200, 2009; KIDDE 3 NOVE 1230, 2005)

SUBSTÂNCIA	ODP
IG–541	0
IG–01	0
IG–55	0
Halon 1211	3.0
Halon 1301	10.0
Halon 2402	6.0
NOVEC 1230	0.0
FM-200	0

O índice ODP pode ser calculado a partir da **Equação 2.1** (DANIEL, 2007).

Equação 2.1

$$ODP_i = \frac{Perda\ global\ de\ O_3\ devido\ à\ emissão\ da\ unidade\ de\ massa\ i}{Perda\ global\ de\ O_3\ devido\ à\ emissão\ da\ unidade\ de\ massa\ CFC - 11}$$

Por outro lado, o GWP - *Global Warming Potential* é um parâmetro que fornece medida relativa do impacto do agente sobre o aquecimento global. As duas principais características de atuação de um agente químico em relação ao efeito estufa são a sua capacidade de absorção de energia infravermelha e a sua persistência na atmosfera.

O parâmetro GWP foi elaborado de acordo com o *Intergovernmental Panelon Climate Change* (IPCC). Trata-se do cálculo da força radiativa integrada através da liberação de 1 kg de composto, tomada em relação ao aquecimento gerado por 1 kg de CO_2 durante um período específico de tempo – esse tempo é estabelecido como *Integration time horizon* (ITH) (IPCC, 2001; 3M RESUMO TÉCNICO, 2014; DANNY, 1993).

O cálculo potencial de aquecimento global (GWP) de um composto segue a **Equação 2.2** (DANNY, 1993).

Equação 2.2

$$GWP(t) = \frac{f_i(t)C_i(T - t')dt'}{f_c(t)C_c(T - t')dt'}$$

Onde:

f: Força radiativa por unidade de massa de um composto (a alteração no fluxo de radiação através da atmosfera devido à absorbância de infravermelho desse composto);

C: Concentração atmosférica de um composto;

T: Vida útil na atmosfera de um composto;

t: Tempo;

i: Composto sob análise;

c: Dióxido de carbono.

A **Tabela 2.4** apresenta valores de GWP para diferentes agentes extintores. Ressaltam-se os elevados valores observados para o Halon 1301, 1211 e FM-200. Acredita-se que os demais compostos não apresentem contribuição para o aquecimento global.

Tabela 2.4 – Propriedades ambientais dos agentes limpos (EPA – SNAP, 2014)

PROPRIEDADE	GLOBAL WARMING POTENTIAL (GWP)
NOVEC 1230	1
FM-200	3500
IG–541	0
IG–01	0
IG–55	0
Halon-1301	6900
Halon-1211	1300

Finalmente, o ITH estima o tempo de vida do composto na atmosfera. Possui índices de curto prazo (20 anos), prazo padrão (100 anos) e longo prazo (500 anos). Para os agentes limpos é considerada uma cinética da taxa de decaimento da concentração do composto na atmosfera de pseudo primeira ordem e exponencial (DANIEL, 2007; 3M PRODUCT INFORMATION, 2009).

Segundo Taniguchi (2003), o composto químico C2F5C(O)CF(CF3)2, comercialmente conhecido como NOVEC 1230, possui propriedades conforme a **Tabela 2.5**. O NOVEC 1230 não reage com radical hidroxila (OH-), e ocorre decaimento quando exposto a radiação UV (ultravioleta). A baixa permanência do composto na atmosfera é devido a sua fotólise em baixa atmosfera, uma vez que o mecanismo de remoção e eliminação do NOVEC é capaz de absorver comprimentos de onda acima de 300 nm. O cálculo da vida útil na atmosfera do composto possui como referência o composto acetaldeido (CH_3CHO), que tem vida útil na atmosfera de 3 a 4 dias. (PLUMMER, 2001; 3M PRODUCT INFORMATION, 2009) A permanência do FM-200 na atmosfera por outro lado é estimada em 34 anos, conforme a **Tabela 2.5**.

Tabela 2.5 – Propriedades do NOVEC 1230 e FM-200 (3M PRODUCT INFORMATION, 2009; IPCC, 2014; DANIEL, 2007)

COMPOSTO	VIDA ÚTIL ATMOSFÉRICA (Anos)	20 Anos ITH	100 Anos ITH	500 Anos ITH
NOVEC 1230	0,014	4	1	0
FM-200	34.2	5,310	3,220	1,040

Capitulo 3 – Riscos e Limitações de Uso dos Agentes Gasosos

Todo sistema fixo de combate a incêndio tem como objetivo reduzir o risco aos seres humanos e os prejuízos materiais em caso de incêndio. Chuveiros automáticos dispersores de água, por exemplo, mesmo quando incapazes de extinguir o incêndio em um determinado ambiente, são projetados para contê-lo. A ação dos sprinklers garante tempo para uma evacuação segura e a chegada de apoio especializado, contribuindo assim para reduzir os danos. Princípio semelhante rege os sistemas fixos de combate baseados no uso de gases. Porém, todos os sistemas fixos precisam seguir também procedimentos de segurança específicos para que não se tornem um risco adicional aos que estão presentes nos ambientes protegidos.

O principal risco na utilização de sistemas fixos com agentes gasosos é o de asfixia, especialmente para aqueles que empregam gases que agem por abafamento. No entanto, há ainda outros riscos, como a projeção de objetos devido à rápida velocidade da descarga, aumento da pressão no ambiente que pode danificar paredes e estruturas, queimaduras por *frosbite* devido à rápida evaporação do gás, e intoxicação pelos produtos gerados durante o incêndio (NFPA 12, 2011; NFPA 2001, 2012).

3.1 – Agentes Limpos

Embora os agentes limpos FM-200 e NOVEC 1230 sejam classificados como gases não-tóxicos, não se recomenda a permanência de pessoas no ambiente durante a sua descarga. Esses gases são elaborados para uma exposição segura máxima de 5 minutos nas concentrações de projeto. Efeitos adversos podem ser observados caso o tempo de permanência ou a concentração sejam superados (KIDDE NOVEC 1230, 2005)

Testes de toxicidade para o NOVEC 1230 mostraram que este possui uma baixa toxicidade. Seu uso é seguro dentro das concentrações estabelecidas no projeto do sistema de combate a incêndio, como, por exemplo, o tempo máximo de permanência e a concentração no meio.

O FM-200 também é um gás não-tóxico. Possui uma concentração mínima de projeto abaixo de 7,0%. Entretanto, isso não significa que o gás não ofereça perigos

durante a sua utilização. O FM-200 possui densidade maior que a do ar, podendo levar à morte por asfixia quando se acumula junto ao solo.

Alguns dados da ação toxicológica do NOVEC 1230 e FM-200 são apresentados na **Tabela 3.1** (KIDDE NOVEC 1230, 2005).

Tabela 3.1 – Ações tóxicas do NOVEC 1230 e do FM-200 (3M PRODUCT INFORMATION, 2009; MSDS FM-200, 2011)

PROPRIEDADE	NOVEC 1230	FM-200
Inalação aguda por 4 horas	Praticamente não tóxico	Praticamente não tóxico
Sensibilização cardíaca	Não sensível	Não sensível
Toxicidade aguda na derme	Pouco tóxico	Pouco tóxico
Irritação na pele	Sem irritação	Sem irritação
Irritação nos olhos	Irritação mínima	Irritação
Toxicidade por ingestão	Não se aplica	Não se aplica
Sensibilização da pele	Não tem	Não tem

Segundo a NFPA 2001, há uma variação do tempo máximo de exposição considerado seguro em função da concentração do agente do FM-200 (**Tabela 3.2)**. Deste modo, respeitar a concentração de projeto é fundamental para a segurança de eventuais pessoas no ambiente.

Os dados do NOVEC 1230, por ser um produto recente, ainda não constam na última edição da norma NFPA 2001.

Finalmente, vale ressaltar que nunca é recomendado permanecer no ambiente sob ação de agentes extintores gasosos. Por essa razão, um sistema de alarme eficiente é fundamental para alertar os presentes e evitar a exposição prolongada.

Tabela 3.2 – Tempo para exposição humana segura para determinadas concentrações FM-200 (NFPA 2001, 2012)

FM-200 CONCENTRAÇÃO		TEMPO MÁXIMO PERMITIDO DE EXPOSIÇÃO HUMANA (Minutos)
% v/v	**ppm**	
9,0	90,000	5,00
9,5	95,000	5,00
10,0	100,000	5,00
10,5	105,000	5,00
11,0	110,000	1,13
11,5	115,000	0,60
12,0	120,000	0,49

3.2 – Dióxido de Carbono

O principal risco na utilização do dióxido de carbono como agente de extinção é a asfixia. O poder de extinção do CO_2 é baixo, exigindo assim uma alta concentração do gás no ambiente para que ocorra a extinção do incêndio. A **Tabela 3.3** apresenta faixas típicas de concentração de dióxido de carbono para extinguir o fogo em diversos combustíveis.

Devido a essa alta concentração, o projeto do sistema fixo de combate a incêndio que emprega dióxido de carbono deve prever não apenas um sistema de alarme, mas também um tempo de espera, antes da descarga, adequando para que ocorra a evacuação do local. Treinamento daqueles que trabalham no local e placas de sinalização também são exigidos (NFPA 12, 2011).

Tabela 3.3 – Concentração de dióxido carbono para extinção (NFPA 12, 2011)

MATERIAL	CONCENTRAÇÃO MÍNIMA TEÓRICA DE CO_2 (%)	CONCENTRAÇÃO MÁXIMA TEÓRICA DE CO_2 (%)
Acetileno	55	66
Combustível de Aviação	30	36
Etano	33	40
Álcool Etílico	36	43
Gasolina	28	34
Querosene	28	34
Metano	25	34
Hidrocarboneto	28	34

Na publicação (EPA, 2010), há uma lista de acidentes fatais durante a utilização do dióxido de carbono como agente de combate a incêndio. Muitas desses acidentes ocorreram em embarcações durante manutenção e inspeção do sistema. Há também acidentes devido à falha na descarga, falha humana e falha no alarme.

A exposição a dióxido de carbono gera efeitos adversos que variam em função da concentração e tempo de exposição. A exposição acima de 17% de dióxido de carbono leva à perda de controle e consciência, convulsões e coma. A morte ocorre após 1 minuto (OSHA, 1989; CCOHS, 1990; DALGAARD et al. 1972; CATAMA, 1953; LAMBERTSEN, 1971).

A exposição a concentrações entre 10% a 15% leva a inconsciência, sonolência, espasmos musculares e tonturas em poucos minutos (WONG, 1992; CATAMA, 1953; SECHZER et al., 1960).

Minutos ou horas de exposição a concentrações entre 7% a 10% levam a inconsciência, tontura, dor de cabeça, disfunção visual e auditiva, depressão mental e falta de ar (Schulte, 1964; CATAMA, 1953; Dripps, 1947; Wong, 1992; Sechzer et al. 1960; OSHA 1989).

A exposição a concentrações na faixa de 4% a 7% resulta em dor de cabeça, distúrbios na audição e visão, aumento da pressão arterial, dificuldade de respirar, depressão mental e tremores (SCHULTE, 1964; CONSOLAZIO et al. 1947; WHITE et al. 1952; WONG, 1992; KETY, 1948; GELLHORN 1936; GELLHORN, 1934; SPIESMAN, 1935; SCHULT, 1964).

Finalmente, a exposição a concentrações abaixo de 4% por tempo superior a 30 minutos leva à dilatação dos vasos sanguíneos cerebrais, ao aumento da ventilação pulmonar e à queda da oxigenação dos tecidos (GIBBS et al. 1943, PATTERSON et al. 1955).

Além da toxicologia, a saída do gás dos difusores do sistema fixo de combate a incêndio pode causar queimaduras por frio. Segundo (FIKE, 2008) a descarga do agente de extinção a pressão ambiente apresenta saída de fluido a temperatura de -79°C. O contato direto com o difusor levará a queimadura por *frostbite*, conforme mostra à **Figura 3.1** (FIKE MANUAL CO_2, 2008).

Figura 3.1 – Queimadura por exposição a dióxido de carbono (SAHIN, et al., 2013)

3.3 – NOAEL e LOAEL

Todos os gases de extinção antes de serem empregados são analisados em relação a sua toxidade usando os índices NOAEL e LOAEL.

O *No Observed Adverse Effects Level* – NOAEL é definido como a dose em que nenhum efeito adverso é observado. É a maior concentração a exposição a um determinado agente em que não se observa reação, efeito adverso ou sintoma em seres humanos (SEITO et al., 2008).

O *Lowest Observed Adverse Effects Level* – LOAEL é dose mínima em que foi observado um efeito adverso. Esse grau é a menor concentração a exposição a um determinado agente na qual pode se observar reação, efeito adverso ou sintoma (SEITO et al., 2008).

As concentrações NOAEL e LOAEL para os agentes NOVEC 1230 e FM-200 encontram-se disponíveis na NFPA 2001, sempre considerando um tempo máximo de permanência no local de 5 minutos.

Geralmente não se classifica o NOAEL e LOAEL do CO_2 por ser um gás que necessita de altas concentrações para atuar como extintor. Devido a essa característica os projetos que utilizam CO_2 devem obrigatoriamente prever um tempo de espera para evacuação das pessoas do ambiente, antes de iniciar a liberação do gás.

Valores de NOAEL e LOAEL são apresentados na **Tabela 3.4**.

Tabela 3.4 – Classificação NOAEL e LOAEL dos principais agentes limpos (NFPA 2001, 2012; REGO, 2010)

PRODUTOS	NOAEL	LOAEL	TOXICIDADE
NOVEC 1230	10%	>10%	Não-Tóxico
FM-200	9%	10.5	Não-Tóxico
CO_2	<5%	-	Tóxico*

* O dióxido de carbono é considerado tóxico devido à concentração utilizada para extinção do incêndio.

Dentre os agentes de extinção mais utilizados, o dióxido de carbono é aquele que oferece maior risco para as pessoas, devido ao seu poder asfixiante e à exigência de elevadas concentrações. Os agentes limpos, por outro lado, exigem concentrações de projeto inferiores a NOAEL.

3.4 – Produtos da Queima

Outro risco relativo à utilização de agentes extintores gasosos é a formação de gases tóxicos gerados na combustão do próprio agente extintor. Esses gases tóxicos emanados da queima do agente extintor, juntamente com os gases provenientes da queima dos combustíveis presentes no ambiente, podem ser extremamente letais.

A análise dos gases gerados é um fator de suma importância para o desenvolvimento e aprovação dos agentes extintores. A **Tabela 3.5** apresenta alguns dos produtos da combustão dos principais agentes extintores.

Tabela 3.5 – Produtos gerados na queima dos gases extintores (NFPA 2001, 2012; KIDDE NOVEC 1230, 2005; NFPA 12, 2011)

PRODUTOS	GASES
NOVEC 1230	Haleto de hidrogênio (HX) e haletos de carbonila (COX2)
FM-200	HF (ácido fluorídrico)
CO_2	Monóxido de Carbono

A partir da queima do FM-200 pode ocorrer a formação de ácido fluorídrico, um gás tóxico. Inúmeros testes foram realizados para verificar os efeitos da exposição ao HF, conforme **Tabela 3.6** (NFPA 2001, 2012).

Além dos compostos gerados a partir da queima do agente extintor, há também a liberação de gases tóxicos formados a partir da combustão dos combustíveis presentes no ambiente. A **Tabela 3.7** indica os gases formados a partir da queima de diferentes materiais combustíveis, assim como seu potencial tóxico.

Tabela 3.6 – Efeitos a exposição de ácido fluorídrico por indivíduos saudáveis (NFPA 2001, 2012)

TEMPO DE EXPOSIÇÃO	CONCENTRAÇÃO DE FLUORETO DE HIDROGÊNIO (PPM)	REAÇÕES
2 minutos	<50	Leve irritação nos olhos e na respiração;
	50–100	Irritação moderada nos olhos e nas vias nasais;
	100–200	Irritação moderada nos olhos, na respiração e na pele;
	>200	Irritação na superfície do corpo, nos olhos e redução da capacidade de fuga da vítima;
5 minutos	<50	Irritação moderada nos olhos e nas vias nasais;
	50–100	Irritação moderada nos olhos, nas vias nasais e na pele;
	100–200	Irritação moderada nos olhos, na respiração e na pele;
	>200	Irritação na superfície do corpo e redução da capacidade de fuga da vítima;
10 minutos	<50	Irritação moderada nos olhos, nas vias nasais e na pele;
	50–100	Irritação moderada em todas as superfícies do corpo;
	100–200	Irritação na superfície do corpo, nos olhos e redução da capacidade de fuga da vítima;
	>200	Irritação na superfície do corpo, nos olhos, redução da capacidade de fuga da vítima e a permanência pode ser letal.

Tabela 3.7 – Principais produtos da combustão, sua origem e efeitos tóxicos (SERAPHIM, 2008)

NOME	FONTE	EFEITO TÓXICO
Dióxido de Carbono (CO_2)	Queima de Materiais com C	Asfixiante físico
Monóxido de Carbono (CO)	Queima com déficit de O	Asfixiante químico
Ácido Cianídrico (HCN)	Queima de Materiais com C e N	Asfixiante químico
Ácido Clorídrico (HCl)	Queima de Materiais com Cl	Irritante
Óxidos de Nitrogênio (NO e NO_2)	Queima de Materiais com N	Asfixiante físico, Irritante
Dióxido de Enxofre (SO_2)	Queima de Materiais com S	Irritante
Ácido Sulfídrico (H_2S)	Queima de Materiais com S, sem O	Irritante
Ácido Fluorídrico (HF)	Queima de Materiais com F	Irritante
Fosgênio ($COCl_2$)	Queima em hidrocarbonetos clorados	Irritante, asfixiante químico
Acroleína ($H_2C = CH - CHO$)	Queima em madeira, algodão e outros	Irritante

Capítulo 4 – Pesquisa de Novos Agentes Extintores

Desde que os agentes de extinção de base halogênica tiveram seu uso restrito por parte do Protocolo de Montreal, busca-se o desenvolvimento de agentes de extinção que não sejam nocivos à camada de ozônio. Mais recentemente iniciou-se a busca também por agentes que também não contribuíssem para o aquecimento global

Além dos requisitos ambientais, obviamente a elaboração de novos agentes se baseia ainda no seu potencial de extinção, nos produtos gerados na queima, na toxicidade do gás e nas suas propriedades termodinâmicas (JIN et al., 2013).

Realiza-se frequentemente o estudo do potencial de extinção do gás através do método *cup-burner*, descrito a seguir.

4.1 – Método *Cup-Burner*

Um dos métodos de avaliação do potencial de extinção de um agente é o modelo *cup-burner* ("copo queimador"). O objetivo desse método é avaliar a concentração mínima do agente de extinção para extinguir a chama de um combustível líquido ou gasoso.

Esse método consiste na adição, através de pontos separados, do agente de extinção e do ar. No interior do equipamento haverá a junção para a formação de um fluxo uniforme. O fluxo do agente de extinção variará até que a chama seja extinta.

Usualmente utiliza-se como combustível de referência o n-heptano (SENECAL, 2005; KATTA, 2005; NFPA 2001, 2012)

O equipamento utilizado no método deve ser construído conforme a **Figura 4.1**. A tolerância para a variação das dimensões é de ±5% das dimensões estabelecidas na norma NFPA 2001.

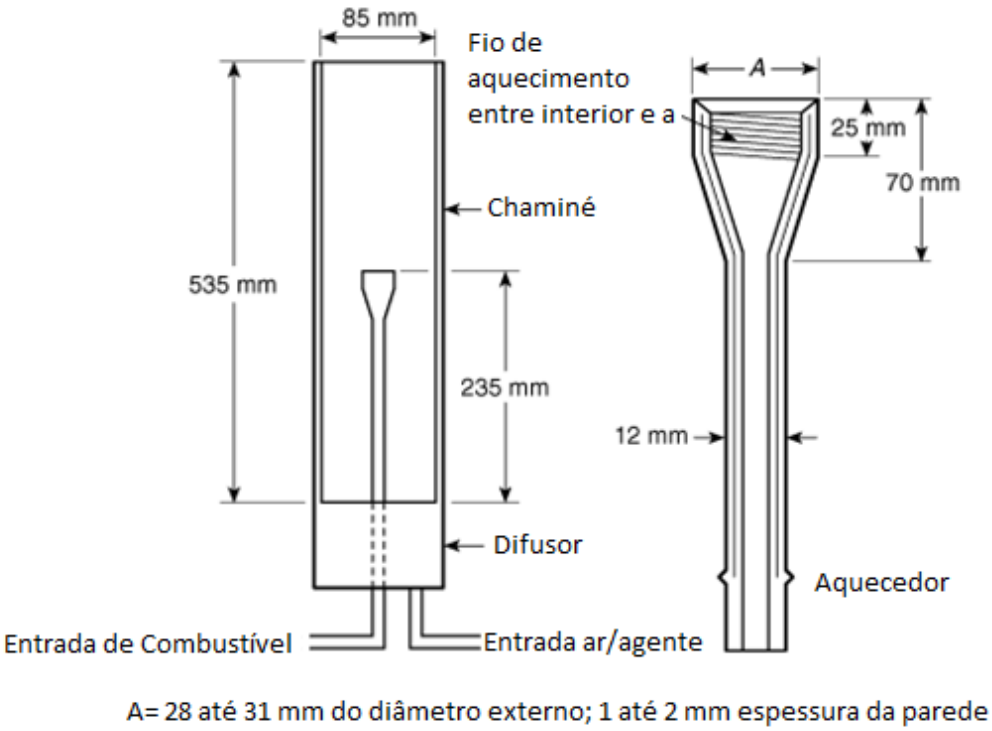

Figura 4.1 – Modelo padrão de *Cup-Burner* (NFPA 2001, 2012)

O copo deve ser circular e o seu corpo deve ser de vidro, quartzo ou metal. O diâmetro externo deve estar entre 28 mm e 31 mm, com uma espessura da parede de 1 mm até 2 mm. Deve ter um medidor de temperatura do combustível no copa numa distância de 2 mm até 5 mm do topo do copo.

O local de armazenamento do combustível gasoso ou líquido deve ter um meio de controlar a vazão do combustível para o equipamento.

A chaminé deve ser de vidro redonda ou em forma de quartzo, deve ter um diâmetro interior de 85 mm ±2 mm, a espessura da parede de 2 mm até 5 mm e uma altura de 533 mm ± 10 mm.

Os fluxos de ar e de agente extintor devem ter um meio de controle de vazão. O ar deve ser limpo, seco, isento de óleo, e sua concentração de oxigênio deve ser de 20,9 ± 0,5% volume por volume. O fluxo de ar e de gás extintor se misturam no difusor e são injetados na chaminé.

Um modelo de *cup-burner* utilizado para combustíveis líquidos é o apresentado na **Figura 4.2**. Esse modelo segue os procedimentos estabelecidos na NFPA 2001. Nele é possível visualizar a operação do equipamento (NFPA 2001, 2012)

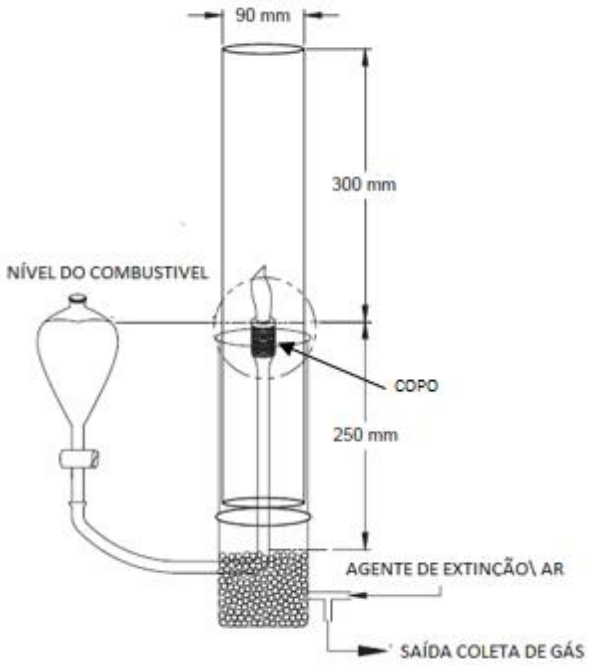

Figura 4.2 – Copo Queimador para combustível líquido (SENECAL, 2005)

Esse equipamento de escala laboratorial possui um copo de vidro de diâmetro de 31 mm localizado no centro da chaminé, conforme a **Figura 4.3**, e uma chaminé de vidro com 550 mm de altura e 90 mm de diâmetro interno. Para obter um fluxo constante da mistura de ar e agente extintor, a base da chaminé foi preenchida com partículas de vidro de 6 mm e o queimador foi coberto com uma tela de 15.8-mesh/cm (SENECAL, 2005; KATTA, 2005).

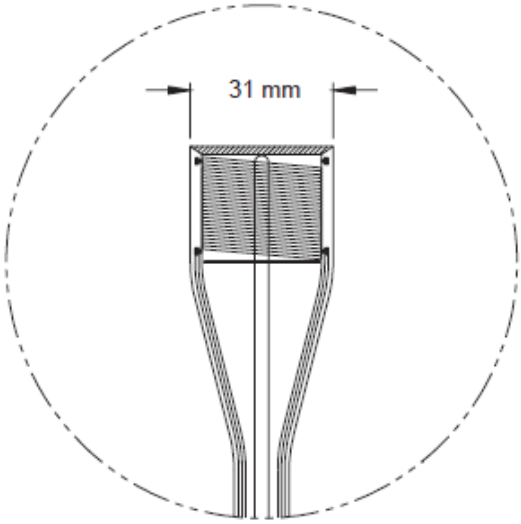

Figura 4.3 – Copo de Vidro (SENECAL, 2005)

O cálculo da concentração de extinção segue a **Equação 4.1**.

Equação 4.1

$$C = 100 * (1 - \frac{O_2}{O_{2(sup)}})$$

Onde:

C: Concentração de extinção (%v/v)

O_2: Concentração de oxigênio na chaminé (%v/v)

$O_{2(sup)}$: Concentração da vazão de oxigênio

A **Tabela 4.1** apresenta os valores encontrados no método *cup-burner* para alguns agentes.

Tabela 4.1 – Concentração mínima para extinção usando via método *Cup-Burner* (NFPA 2001, 2012)

GÁS DE EXTINÇÃO	CONCENTRAÇÃO EXTINÇÃO DA CHAMA CUP-BURNER (%V)
NOVEC 1230	4,5
FM-200	6,7

4.2 – Agente de Extinção CF_3H

Um dos caminhos para o desenvolvimento de novos agentes é entender os mecanismos de extinção realizados pelo agente Halon 1301, ou CF_3Br.

Os estudos com CF_3Br mostraram que o CF_3 também atua como agente de inibição, embora se saiba que o bromo seja, na verdade, o principal atuante. A partir da similaridade química, passou-se a analisar o potencial de extinção do CF_3H, um composto que, ao contrário do Halon 1301, atenderia as exigências ambientais atuais (KATTA, 2005).

A avaliação do potencial de extinção do CF_3H através do método *cup-burner* revelou que concentrações acima de 10,1 % extinguem a chama (KATTA, 2005).

Esse gás foi então patenteado pela Du Pont, adotando o nome comercial de HFC-23. O CF_3H possui NOAEL e LOAEL acima de 50 %, ODP zero, GWP (100 anos) 12 e tempo na atmosfera de 264 anos. Seu elevado tempo de permanência na atmosfera pode contribuir para o aquecimento global.

A queima deste agente gera os seguintes compostos: CF_3, H_2, OH e HF. Há ainda a formação de outros subprodutos, porém em menor concentração. (FALLON, G.S.; CHELLIAH, H., 1996)

4.3 – Agente de Extinção BTP

O 2-bromo-3,3,3-trifluorpropeno ($CF_3CBr=CH2$ ou BTP) é outra alternativa de agente de extinção (ZHOU et al., 2013). O estudo sobre esse composto é recente, com isso há poucos dados sobre suas características técnicas, especialmente sobre a sua queima e mecanismo de ação. Esse composto foi cogitado como agente de extinção devido a sua similaridade química com os outros agentes de extinção já conhecidos.

Estudos preliminares mostram que os compostos gerados na queima deste agente de extinção, na faixa de temperatura de 25-800°C, são CF_3CCH (trifluorpropeno) e CF_3Br (bromotrifluormetano).

O tempo de vida do BTP na atmosfera é de 4,3 a 6 dias. O potencial na camada de ozônio (ODP) é entre 0,0028 a 0,0052 e o GWP (100 anos) é entre 0,0028 a 0,0050. (ORKIN et al., 2002)

O método *cup-burner* indicou uma concentração extremamente baixa, de apenas 4,6%. Destaca-se inclusive que está concentração é superior Halon 1301 (3,6%) e Halon 1011 (4,1%), porém inferior a FM-200 (6,7%).

O composto possui toxicidade de NOAEL é igual a 0,5% e LOAEL é igual a 1,0%, essas toxicidade são abaixo da do Halon 1211, igual à do Halon 1211 e superior ao do Halon 1011. (GRIGG, J.; CHATTAWAY A., 2014)

Capítulo 5 – Projetos de Sistema Fixos de Combate a Incêndios

Os projetos de sistemas fixos de combate a incêndio por uso de gás devem seguir rigorosamente os procedimentos estabelecidos em normas técnicas e nos manuais elaborados pelos fabricantes. Não há no Brasil uma norma específica para essa atividade. A Instrução Técnica Nº 26 do Corpo de Bombeiros do estado de São Paulo referência algumas normas:

- ABNT 12232 de 2005 – Execução de sistemas fixos automáticos de proteção contra incêndio com gás carbônico (CO_2) por inundação total para transformadores e reatores de potência contendo óleo isolante.
- NFPA 12 de 2011 – "*Standard on carbon dioxide extinguishing systems.*"
- NFPA 2001 de 2004 – "*Standard on clean agent fire extinguishing systems.*"

Segundo a IT Nº 26, a utilização de agentes gasosos de extinção é recomendável para situações onde o uso de água ou outro agente extintor pode causar danos adicionais aos objetos ou equipamentos presentes no ambiente, onde houver risco pessoal envolvido, e quando os resíduos gerados no incêndio não podem ser controlados, trazendo danos ao meio ambiente.

Conforme a Instrução Técnica Nº 26, no projeto técnico de proteção contra incêndios devem ser apresentadas as seguintes informações:

a) Norma adotada;

b) Tipo de sistema fixo;

c) Agente extintor empregado;

d) Forma de acionamento (manual ou automático);

e) Se automático, indicar em planta a localização do ponto de acionamento alternativo do sistema;

f) Localização em planta do ponto de desativação do sistema;

g) Indicar o tempo de retardo para evacuação do local protegido antes do acionamento do sistema fixo;

h) Indicar em planta o local ou equipamento a ser protegido;

i) Indicar em planta a localização da central de alarme e baterias do sistema de detecção;

j) Indicar em planta os pontos de detecção;

k) Indicar em planta a localização dos cilindros de gás;

l) Apresentar especificações do agente utilizado, como NOAEL e LOAEL, concentração de projeto, volume total armazenado nos cilindros, e outras, conforme necessário.

A Instrução Técnica aplica-se tanto para sistemas à base de dióxido de carbono quanto agentes limpos (I. T. Nº 26, 2004).

Neste capítulo estão descritas as caraterísticas de projeto usando dióxido de carbono e agentes limpos.

5.1 – Projeto de Sistema por Agente Gasoso Dióxido de Carbono

Dentre os sistemas fixos que empregam gases, aqueles utilizando gás carbônico são os mais frequentemente observados, especialmente em empreendimentos que possuem objetos de alto valor agregado.

O projeto detalhado do sistema deve seguir os procedimentos estabelecidos nas normas e manuais específicos. Há alguns modelos de sistemas fixos usando CO_2: sistema com ventilação forçada, sistema com ambiente completamente fechado e com área abertas. Cada empreendimento terá um projeto específico, em função de suas particularidades.

5.1.1 – Identificação

Os ambientes protegidos por sistema fixo de extinção por dióxido de carbono devem ser claramente identificados, os trabalhadores presentes no local devem ser treinados sobre o plano de evacuação, e os visitantes devem ser informados que o local é protegido por esse método de extinção. A elaboração do projeto deve prever meios de rápido abandono da edificação. (NFPA 12, 2011)

O interior dos ambientes protegidos deve possuir a placa indicada na **Figura 5.1**.

Figura 5.1 – Placa de aviso para interior dos ambientes protegidos (Tradução do Autor, Fonte: NFPA 12, 2011)

O exterior dos ambientes protegidos deve possuir placas informando sobre a existência do sistema, conforme a **Figura 5.2**.

Figura 5.2 – Placa de aviso de ambientes externos aos protegidos (Tradução do Autor, Fonte: NFPA 12, 2011)

Estas identificações são obrigatórias. Há ainda outras identificações complementares, de uso opcional, encontradas na NFPA 12.

5.1.2 – Vasos de Pressão

O dióxido de carbono deve ser armazenado em um vaso de pressão vertical de aço, recarregável e fabricado de acordo com as exigências da norma ABNT 12639 de 2005. O cilindro deve possuir: válvula de descarga; tubo sifão; dispositivo de segurança do tipo disco de ruptura projetado para romper a uma pressão entre 16,5 Mpa e 20,7 Mpa, e tampa de proteção para válvula de descarga. Cada cilindro deve ter um suporte de maneira que possa ser pesado isoladamente. (ABNT 12232, 2005)

No sistema de combate a alta pressão o cilindro, conforme a **Figura 5.3**, deve ser projetado para armazenar dióxido de carbono em forma de gás liquefeito com pressão em torno de 5860 kPa à temperatura ambiente de 21°C.

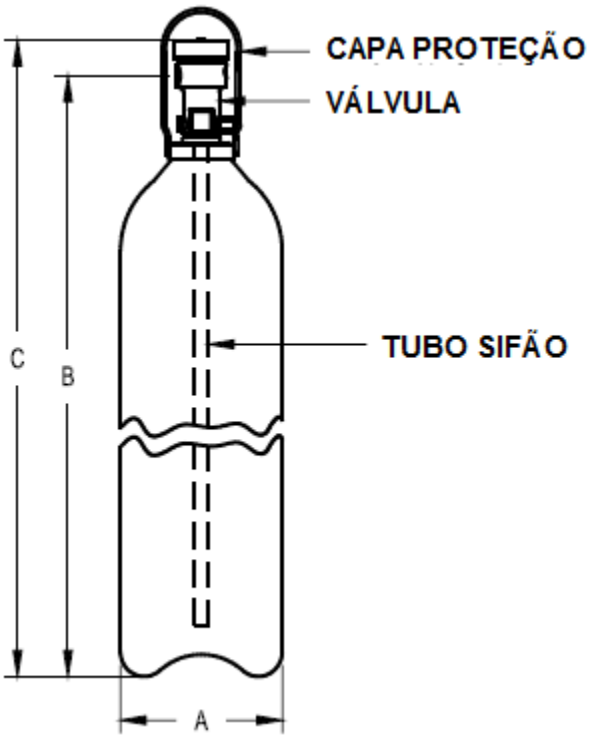

Figura 5.3 – Cilindro de CO_2 (FIKE MANUAL CO_2, 2008)

A massa armazenada no cilindro segue a necessidade do projeto. Os fabricantes possuem cilindros com capacidades mássicas diferentes. A **Tabela 5.1** apresenta os cilindros disponibilizados por um fabricante de acordo com a capacidade mássica de CO_2. A massa total do cilindro é a massa da estrutura metálica do vaso de pressão com a massa do gás armazenado.

Há também o sistema de combate a baixa pressão (2068 kPa) onde o gás é armazenado com uma unidade autônoma de refrigeração à temperatura de –18°C (**Figura 5.4)** (NFPA 12, 2011).

Figura 5.4 – Sistema de armazenamento baixa pressão de CO_2 (GIFEL ENGENHARIA DE INCÊNDIOS, 2014)

O dióxido de carbono é armazenado na forma líquida e os vasos devem permanecer a uma temperatura ambiente entre o máximo de 54°C e mínimo de –18°C. Os cilindros de armazenamento do gás devem ser aprovados em um teste hidrostático a cada 5 (cinco) anos, tendo vida útil de 12 anos (NFPA 12, 2011).

Tabela 5.1 – Dimensões do cilindro de CO_2 (FIKE MANUAL CO_2, 2008)

CILINDROS			
Capacidade Preenchimento (kg)	22,7	34	45,4
A (cm)	21,6	23,5	26,7
B (cm)	129,5	142,2	147,3
C (cm)	143,8	156,5	161,6
Massa Total (kg)	72,6	99,8	149,7

Há algumas exigências quanto à qualidade do gás carbônico a ser utilizado. Este deve ser isento de agentes contaminantes corrosivos. O gás deve apresentar no mínimo 99,5% de dióxido de carbono, na fase gasosa. O teor de água na fase líquida não deve ser maior que 100 ppm em massa, enquanto o teor de óleo não deve ser maior que 10

ppm em massa. Recomenda–se instalar um odorizador de CO_2 no coletor das baterias, para ocorrer percepção do gás via olfato no caso de um possível vazamento (NFPA 12, 2011).

O sistema deve possui cilindro piloto de dióxido de carbono com as mesmas características dos outros cilindros do conjunto. Esse cilindro piloto tem o objetivo de acionar o sistema através da inserção do gás o coletor da linha de tubulações. As baterias que possuam mais de 3 cilindros devem ter no mínimo 2 cilindros pilotos. O sistema deve ter uma válvula de descarga no cilindro piloto que é acionada por um dispositivo de comando destinado a estabelecer o fluxo inicial do gás, com a finalidade de ocorrer a descarga dos demais cilindros através do diferencial de pressão (NFPA 12, 2011).

Em caso de utilização de cilindros reservas, eles devem possuir as mesmas características e capacidades dos cilindros principais. Todas os cilindros devem estar conectados ao mesmo sistema para fácil comutação (NFPA 12, 2011).

As baterias de cilindros devem estar localizadas o mais próximo possível dos equipamentos a serem protegidos, porém, em caso de incêndio, não podem ficar expostas ao fogo ou explosão. A localização das baterias também deve considerar que as mesmas não podem ficar expostas a intempéries, danos mecânicos e agentes químicos (NFPA 12, 2011).

5.1.3 – Válvulas

A parte superior dos cilindros deve possuir válvulas, conforme apresentado na **Figura 5.5**, com dispositivos de acionamento manual. As válvulas devem estar ligadas ao coletor de distribuição através de uma tubulação flexível, de maneira que a retirada de um cilindro não impossibilite a operação dos outros.

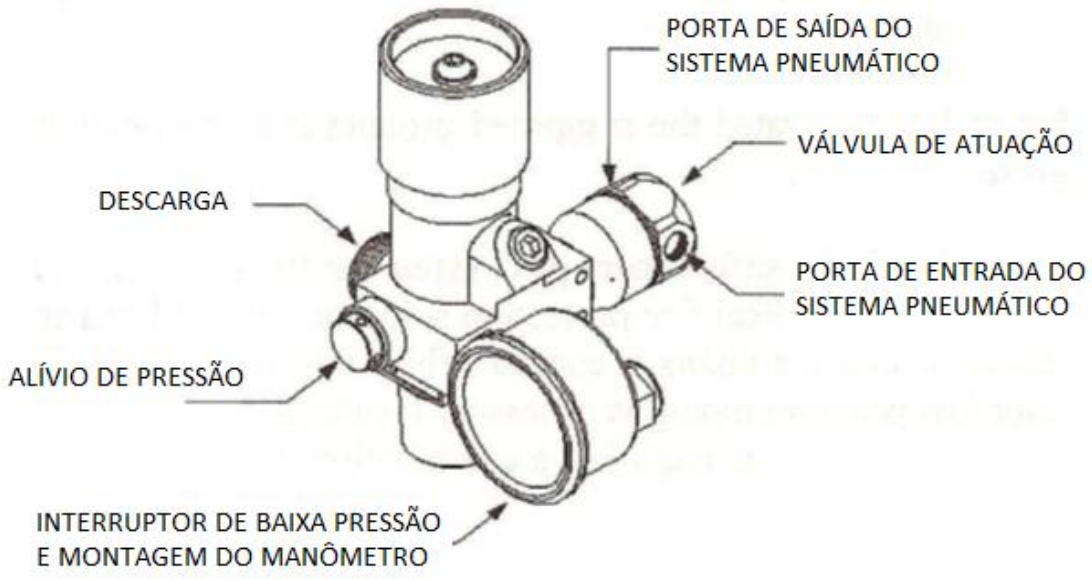

Figura 5.5 – Válvula do Cilindro (REGO, 2010)

As válvulas devem ser localizadas de modo a serem de fácil acesso para operação manual e manutenção, e não podem estar sujeitas a danos mecânicos ou por agentes químicos.

O conjunto de cilindros deve possuir um sistema para conectá-los à mesma linha de escoamento do qual é chamado de coletor de cilindros, mostrado na **Figura 5.6**.

Figura 5.6 – Coletores e mangueiras (FIKE MANUAL CO_2, 2008)

5.1.4 – Ambiente

Na elaboração do projeto de um sistema fixo devem ser avaliados os possíveis ambientes que podem estar sujeitos a incêndios simultâneos. Isso ocorre devido à proximidade entre os espaços ou à presença da interligações. Cada um dos ambientes deve ser protegido por um sistema próprio de dióxido de carbono.

Os ambientes protegidos devem ser vedados o máximo possível. Para aqueles que possuam aberturas, estas devem estar o mais próximo possível do teto. As portas e janelas devem, de preferência, apresentar fechamento automático. O fechamento deve ser acionado pouco antes ou junto ao início da descarga do gás. Todavia, é importante que as portas possuam a opção de abertura manual.

A elaboração do projeto do sistema fixo de combate a incêndio baseia-se fundamentalmente em um estudo aprofundado do ambiente a ser protegido. Com isso, a catalogação dos combustíveis presentes, o potencial de inflamabilidade, a arquitetura do ambiente e as atividades ali exercidas, são de fundamental importância para a correta operação do sistema.

5.1.5 – Projeções de volume de dióxido de carbono

O volume necessário de dióxido de carbono para ser empregado nos ambientes protegidos é função do risco presente e da arquitetura do ambiente. A concentração mínima de CO_2 a ser atingida é aquela necessária para extinguir o fogo por abafamento. Essa concentração é função dos combustíveis presentes, conforme apresentado na **Tabela 5.2**. A concentração mínima teórica de CO_2 para os combustíveis é estabelecida através do método *Cup-Burner*. Porém, é a concentração mínima de projeto, sempre superior à teórica, a que efetivamente deve ser utilizada no cálculo de vazão do gás possui fator de segurança de 20% em relação a concentração mínima teórica.

Tabela 5.2 – Concentrações de CO_2 no ambiente protegido (NFPA 12, 2011)

COMBUSTÍVEL	CONCENTRAÇÃO MÍNIMA DE CO_2 (Teórica) %V/V	CONCENTRAÇÃO MÍNIMA DE CO_2 (Projetada) %V/V
Dissulfeto de Carbono	60	72
Hidrogênio	62	75
Etileno	41	49
Éter Etílico	38	46
Etanol	36	43
Propano	30	36
Acetona	27	34
Hexano	29	35
Benzeno	31	37
Metano	25	34

Após a análise dos combustíveis presentes no ambiente, é elaborado o cálculo com o objetivo de quantificar a massa necessária de CO_2 para extinguir o fogo no ambiente protegido. Segundo a norma NFPA 12 (2011), o sistema instalado deverá ter o potencial de inundar todo o ambiente na concentração de projeto no tempo máximo de 30 segundos. E o gás deverá ficar retido no ambiente inundado no mínimo por 60 segundos.

A quantidade básica requerida de CO_2 é calculada de acordo com a **Equação 5.1** (NFPA 12, 2011; ABNT 12232, 2005). O fator de inundação é obtido a partir da **Tabela 5.3**, e varia conforme o volume do ambiente inundado (ABNT 12232, 2005).

Equação 5.1

$$\boldsymbol{Q_b = V_a . F_i}$$

Onde:

Q_b: Quantidade mássica básica requerida de CO_2 (kg)

V_a: Volume do ambiente inundado (m^3)

F_i: Fator de inundação de CO_2 (kg/m^3)

Devido à grande parte dos combustíveis necessitar de cerca de 40% de CO_2, estabeleceu-se um padrão de cálculo de fator de inundação considerando essa concentração mínima de CO_2 (ABNT 12232, 2005). É este padrão que se encontra apresentado na **Tabela 5.3**.

Tabela 5.3 – Fator de inundação para riscos de incêndio para concentração mínima de 40% de CO_2 (ABNT 12232, 2005)

VOLUME DO AMBIENTE PROTEGIDO (m^3)	FATOR DE INUNDAÇÃO (m^3/kg CO_2)	FATOR DE INUNDAÇÃO (kg CO_2/m^3)
Até 3,96	0,72	1,38
3,97 – 14,15	0,78	1,28
14,16 – 45,28	0,83	1,21
45,29 – 127,35	0,93	1,08
127,36 – 1415,0	1,04	0,96
Mais de 1415,0	1,15	0,92

Essa quantidade básica de CO_2 obtida na **Equação 5.1** deve inundar o ambiente protegido em um tempo mínimo de 30 segundos. A vazão mássica básica de CO_2 no ambiente é obtida a partir da **Equação 5.2**.

Equação 5.2

$$\boldsymbol{W_b = Q_b \cdot \frac{1}{0,5\ min}}$$

Onde:

W_b: Vazão mássica básica de CO_2requerida (kg/min)

Q_b: Quantidade mássica básica requerida de CO_2 (kg)

Porém, existem combustíveis que necessitam de uma concentração mínima de dióxido de carbono maior que 40%. Para esses casos, emprega-se o gráfico da **Figura 5.7**, que possibilita a obtenção do fator de inundação a partir da concentração mínima de projeto do dióxido de carbono. Multiplica-se o fator de conversão obtido na **Figura 5.7** pela massa final requerida de CO_2.

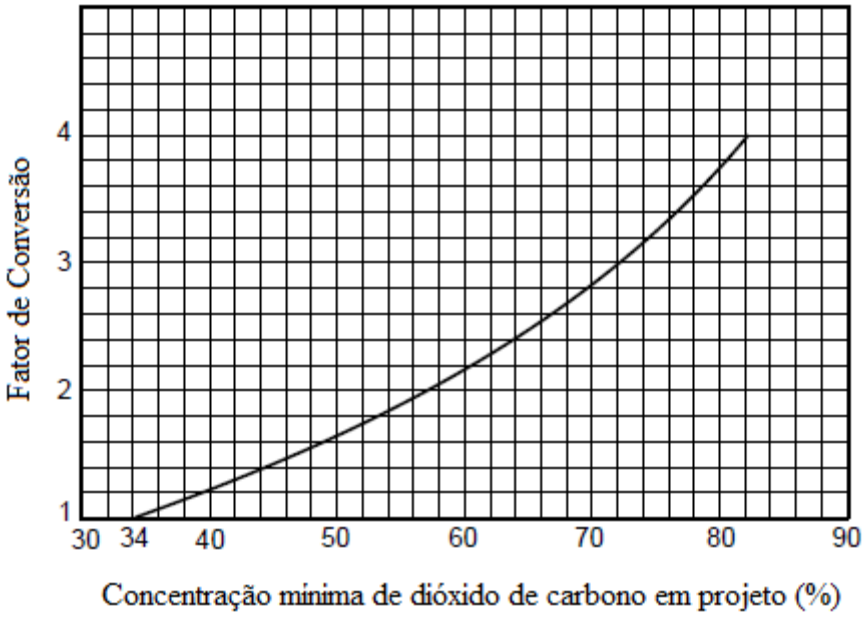

Figura 5.7 – Gráfico de conversão do fator de correção de CO_2 (Tradução do Autor, Fonte: NFPA12, 2011)

As estimativas obtidas até este ponto consideram um ambiente fechado, sem contato com o meio externo. Contudo, há ambientes que não oferecem a possibilidade de serem herméticos, permanecendo abertos para o meio externo. Isso representa perda de parte do gás injetado. Para suprir essa perda, adiciona–se uma quantidade extra de CO_2 (NFPA 12, 2011).

O método mais usual para o cálculo dessa massa de CO_2 adicional é a partir da área efetiva aberta, conforme a **Equação 5.3** (NFPA 12, 2011).

Equação 5.3

$$A_L = \frac{A_O}{2}$$

Onde:

A_L: Área aberta efetiva (m^2)

A_o: Área aberta (m^2)

O cálculo da vazão mássica da área da área efetiva (W_L) segue a **Equação 5.4**.

Equação 5.4

$$W_L = L \, . \, A_L$$

Onde:

W_L: Vazão mássica da área efetiva (lb CO_2/min)

L: Vazão mássica da área efetiva por área (lb CO_2/min/ft^2)

A_L: Área aberta efetiva (ft^2)

Onde L é em função da altura do centro da abertura até o topo do ambiente e da concentração de extinção de CO_2 – conforme **Figura 5.8**.

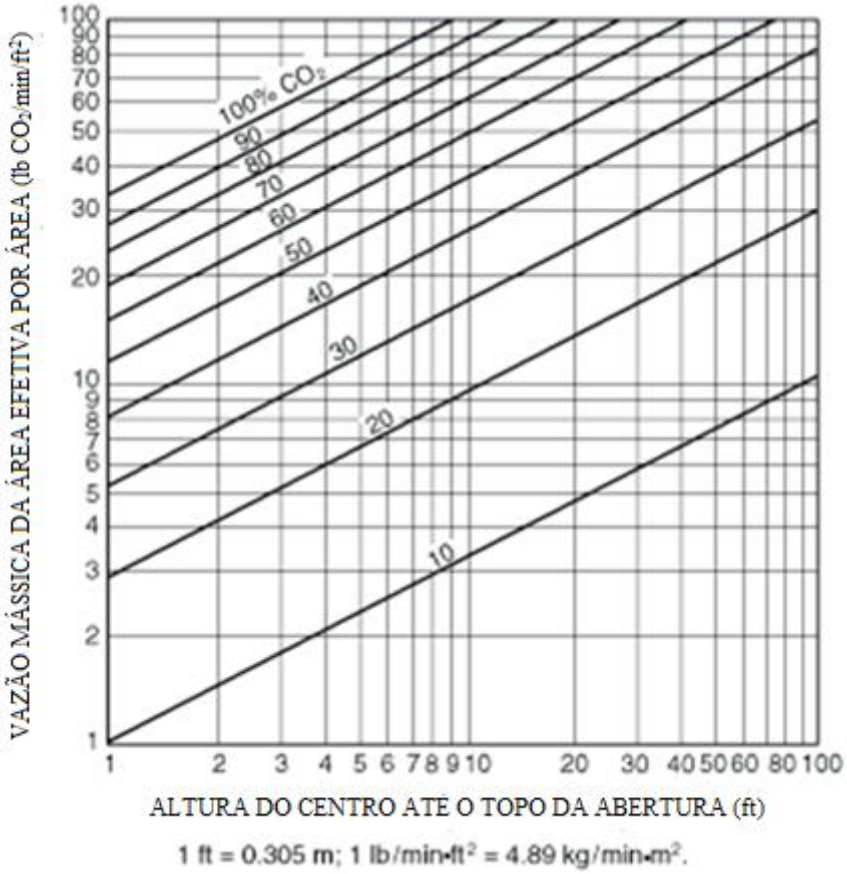

Figura 5.8 – Vazão mássica da área efetiva por área (Tradução do Autor, Fonte: NFPA 12, 2011)

Após o cálculo de W_L, calcula-se a massa de CO_2 adicional para compensar a abertura (Q_L) usando a **Equação 5.5**. Conforme NFPA 12 (2011), o tempo mínimo de permanência do CO_2 no ambiente é de 1 minuto.

Equação 5.5

$$Q_L = W_L \cdot t_p$$

Onde:

Q_L: Quantidade mássica de CO_2 para compensar a perda por áreas abertas (kg)

W_L: Vazão mássica da área efetiva (kg/min)

t_p: Tempo de permanência do CO_2 no ambiente (min)

A massa total de CO_2 para inundação do ambiente protegido é estimada a partir da **Equação 5.6**.

Equação 5.6

$$\boldsymbol{Q_{Total} = Q_b + Q_L}$$

Onde:

Q_{Total}: Quantidade mássica total de CO_2 (kg)

Q_b: Quantidade mássica básica requerida de CO_2 (kg)

Q_L: Quantidade mássica de CO_2 para compensar a perda por áreas abertas (kg)

Assim, a vazão mássica total de CO_2 para inundar o ambiente em 30 segundos é dada pela **Equação 5.7**.

Equação 5.7

$$\boldsymbol{W_{Total} = Q_{Total} \cdot \frac{1}{0,5\ min}}$$

Onde:

W_{Total}: Vazão mássica total de CO_2 (kg/min)

Q_{Total}: Quantidade mássica total de CO2 (kg)

A ABNT 12232 (2005) recomenda um tempo máximo de descarga de 60 segundos para sistemas de inundação total. Por outro lado a norma NFPA 12 (2011) indica o tempo máximo de descarga de 30 segundos. Com isso, adota-se a NFPA 12 por ser tratar de uma norma de atualização mais recente.

A NFPA 12 (2011) apresenta outros métodos de cálculo para quantidade adicional de CO_2 em ambientes aberto, porém a ABNT 12232 (2005) apresenta somente um método de cálculo adicional para ambientes com áreas abertas. Isso por que a norma foi elaborada para ambientes que possuem alto poder de inflamabilidade, como salas de

transformadores. Por este método, a quantidade adicional de dióxido de carbono é estimada pela **Equação 5.8**.

Equação 5.8

$$\boldsymbol{Q_a = \sum T_e . t}$$

Onde:

Q_a: Quantidade mássica adicional de CO_2 (kg);

T_e: Vazão mássica de escape (vazamento) de CO_2 através de cada abertura(kg/min);

T: Tempo de descarga da quantidade básica de CO_2 = 60 segundos.

O cálculo da vazão de escape de CO_2 da **Equação 5.8** avalia cada abertura. Para tanto deve ser usada a **Equação 5.9**.

Equação 5.9

$$\boldsymbol{Te = 5,59 . C . \rho 1 . A \sqrt{\frac{2 . g(\rho 2 - \rho 3) . h}{\rho 2}}}$$

Onde:

C: Fração da concentração de CO_2;

$\boldsymbol{\rho 1}$: Massa específica da fase gasosa do CO_2, em kg/m^3;

$\boldsymbol{\rho 2}$: Massa específica da atmosfera do recinto, em kg/m^3;

$\boldsymbol{\rho 3}$: Massa específica da atmosfera exterior, em kg/m^3;

A: Área de abertura (m^2), com coeficiente de vazão incluído;

g: Aceleração da gravidade = 9,81m/s^2;

h: Altura entre a linha do centro da abertura e o teto do recinto(m).

A NFPA 12 (2011) apresenta ainda outros métodos de cálculo de quantidade adicional de CO_2, que variam de acordo com as condições apresentadas pelo ambiente protegido. A escolha do método de cálculo baseia-se no estudo da arquitetura e da atividade exercida no ambiente.

Uma vez estimada a massa total de CO_2 necessária para inundar o ambiente, calcula-se a quantidade de cilindros de CO_2 necessários. Este cálculo é realizado a partir das opções fornecidas pelo fabricante. A **Tabela 5.1** exemplifica aos opções oferecidas pelo fabricante FIKE.

5.1.6 – Tubulações

O sistema de tubulações permite o transporte do agente extintor do cilindro até os difusores instalados nos ambientes protegidos. Tubos e acessórios devem ser de material metálico zincado ou galvanizado, e resistente às condições operacionais decorrentes de um incêndio, como o aumento de pressão e bruscas variações de temperatura. O padrão de fabricação das tubulações deve seguir as prescrições ANSI B.31.10 e ASTM A106 (Schedule 40, para tubos até ¾ in, e Schedule 80, para diâmetros maiores).

O cálculo do projeto das tubulações deve ser realizado com base nas vazões requeridas em cada difusor. As vazões irão determinar o fluxo em cada ramal e na linha principal.

Além do diâmetro das linhas, o projeto deve considerar outros fatores. Os tubos não podem ser instalados sobre os equipamentos a serem protegidos e devem ser instalados, preferencialmente, de forma visível. No projeto de instalação devem ser observadas as distâncias entre os tubos e os sistemas elétricos. Todo o sistema de tubulação deve ser aterrado (NFPA 12, 2011; ABNT 12232, 2005).

a) Cálculo de tubulações

O correto dimensionamento das tubulações é de fundamental importância para o funcionamento do sistema fixo de combate a incêndio. Um erro de cálculo do diâmetro pode levar ao congelamento do agente no interior da tubulação, excesso de velocidade do fluxo de gás na linha, perda de eficiência, etc (NFPA 12, 2011).

O dióxido de carbono sai do cilindro de armazenamento no estado líquido à pressão de saturação. Porém, há a redução da pressão durante o percurso do fluido no interior da tubulação.Com isso, ocorre a vaporização, e a formação de uma mistura bifásica. Devido à formação de duas fases no interior da tubulação, o volume da mistura aumenta (NFPA 12, 2011).

O comprimento da tubulação é subjetivo a arquitetura do ambiente protegido do qual deve ser o necessário para transportar o gás desde os vasos de pressão até os difusores (KIDDE MANUAL CO_2, 2007).

A espessura da tubulação é especificada de acordo com a vazão mássica de dióxido de carbono naquele trecho da tubulação, conforme a **Tabela 5.4**. Essa tabela é uma sugestão emitida pelo fabricante KIDDE, de modo que cada fabricante fornecerá as estimativas adequadas (KIDDE MANUAL CO_2, 2007).

Tabela 5.4 – Espessura da tubulação em função da vazão mássica de CO_2 (KIDDE MANUAL CO_2, 2007)

VAZÃO MÁSSICA	ESPESSURA DA TUBULAÇÃO	PADRÃO DE TUBULAÇÃO
(kg/min)	(mm)	(Schedule 40 ou 80)
Até 50	10	40
51 – 6 0	15	40
61 – 125	20	40
126 – 180	25	80
181 – 365	32	80
366 – 545	40	80
546 – 1045	50	80
1046 – 1635	65	80

5.1.7 – Difusores

Os difusores são válvulas que ficam no fim da tubulação, conforme a **Figura 5.9**. São os responsáveis pela saída do gás. O material que compõe o difusor é de metal não–ferroso, com resistência compatível com as temperaturas e pressões que serão aplicadas na utilização do sistema. Deve ser ainda resistente a danos físicos e as substâncias químicas empregadas no ambiente onde está instalado (NFPA 12, 2011; ABNT 12232, 2005).

Os difusores devem garantir a saída do dióxido de carbono sem que ocorra congelamento. É importante que haja a gaseificação e o espalhamento uniforme do dióxido de carbono através dos orifícios.

Figura 5.9 – Difusor de CO_2 (SMH, 2014)

Há diferentes modelos de difusores de CO_2: “S”; “Vent”; “Baffle”; radial; e com filtro. O difusor mais usual no mercado é o Tipo “S”, representado na **Figura 5.10** (KIDDE MANUAL CO_2, 2007).

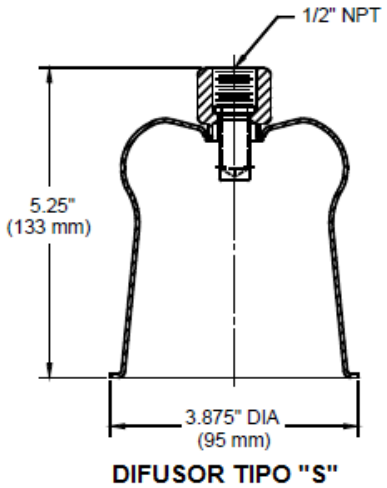

Figura 5.10 – Difusor tipo “S” (KIDDE MANUAL CO_2, 2007)

Cada difusor apresenta uma vazão recomendada de acordo com seu modelo, conforme a **Tabela 5.5**.

O diâmetro dos difusores está de acordo com o diâmetro final da tubulação: 10, 15, 20, 25, 32, 40, 50 ou 65 mm.

Tabela 5.5 – Vazão mássica do difusores (KIDDE MANUAL CO_2, 2007)

MODELO DO DIFUSOR	VAZÃO MÁSSICA		
	MÁXIMO	MÍNIMO	RECOMENDADO
"Baffle"	11,3 kg/min	72,6 kg/min	34,0 kg/min
"Vent"	4,5 kg/min	54,4 kg/min	27,2 kg/min
Radial	11,3 kg/min	72,6 kg/min	45,4 kg/min
"S"	6,7 kg/min	59,0 kg/min	34,0 kg/min

A quantidade e localização dos difusores são especificadas de acordo com a altura em que o difusor se encontra em relação ao solo, o tipo de difusor, e a superfície protegida. A **Figura 5.11** apresenta um esquema da área protegida por um difusor modelo S. O ângulo do difusor também é um fator que influencia a área de atuação.

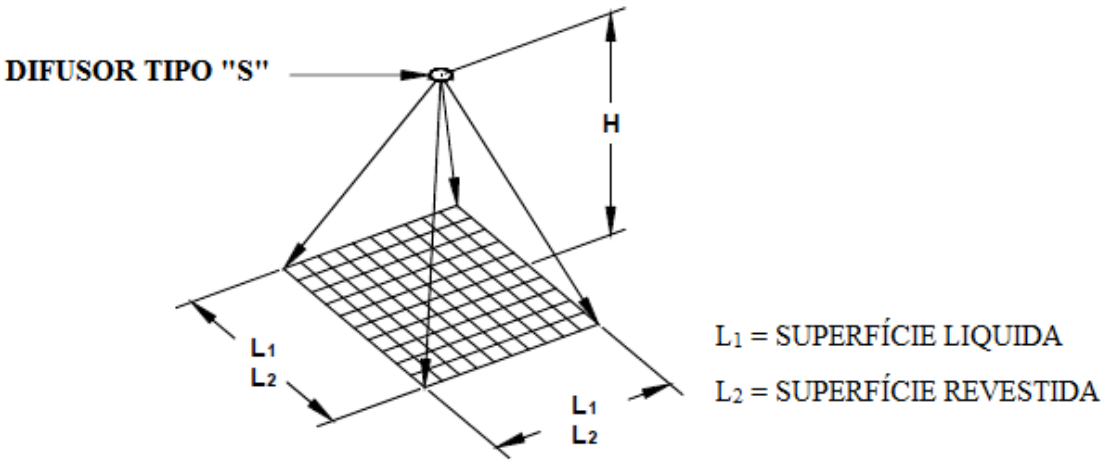

Figura 5.11– Área de atuação do difusor (FIKE MANUAL CO_2, 2008

Definem-se as superfícies protegidas: L_1 como superfície liquida, onde a superfície do combustível seja de no mínimo 6 mm ou mais de profundidade, usualmente caracterizado em locais que armazenam líquido como motores com tanques de combustível; e L_2 como superfície revestida, onde a superfície do combustível pode ter uma profundidade de até 6 mm e que não seja uma área maior ou igual a 10% da

área protegida, usualmente caracterizado em equipamentos do qual em caso de incêndio não acumule líquido e não armazene líquido inflamável, como os produtos eletrônicos. A superfície revestida possui uma área de atuação 40% maior do que a superfície líquida (FIKE MANUAL CO_2, 2008).

A **Tabela 5.6** mostra a área de atuação do difusor modelo "S".

Estabelecendo que o comprimento do ambiente protegido é representado pelo eixo X, e a largura pelo eixo Y, tem-se:

O número de difusores no eixo X é a razão do comprimento do ambiente protegido C_L pelo comprimento da superfície liquida L_1 ou pelo comprimento da superfície revestida L_2:

$$\frac{C_L}{L_1} = \textbf{Número de Difusores X}$$

$$\frac{C_L}{L_2} = \textbf{Número de Difusores X}$$

O número de difusores no eixo Y é a razão do comprimento L_r pelo o comprimento superfície liquida L_1 ou comprimento superfície revestida L_2:

$$\frac{L_r}{L_1} = \textbf{Número de Difusores Y}$$

$$\frac{L_r}{L_2} = \textbf{Número de Difusores Y}$$

Assim, o número total de difusores é superfície liquida ou superfície revestida:

$$\frac{L_r}{L_1} . \frac{C_L}{L_1} = \textbf{Número Total de Difusores}$$

$$\frac{L_r}{L_2} . \frac{C_L}{L_2} = \textbf{Número Total de Difusores}$$

Tabela 5.6 – Área de Atuação do Difusor tipo "S" (KIDDE MANUAL CO_2, 2007))

ÁREA DE ATUAÇÃO DO DIFUSOR			
ALTURA DIFUSOR (m)	**VAZÃO MÁSSICA (kg/min)**	**L_1 COMPRIMENTO SUPERFÍCIE LÍQUIDA (m)**	**L_2 COMPRIMENTO SUPERFÍCIE REVESTIDA (m)**
0,30	8,80	0,53	0,64
0,38	9,80	0,56	0,67
0,46	10,90	0,59	0,71
0,53	12,10	0,62	0,75
0,61	13,40	0,66	0,79
0,69	15,20	0,69	0,84
0,76	17,00	0,73	0,88
0,84	18,70	0,77	0,93
0,91	20,50	0,82	0,98
0,99	22,20	0,85	1,02
1,07	24,00	0,88	1,06
1,14	25,70	0,92	1,10
1,22	27,50	0,95	1,15
1,30	29,20	0,98	1,18
1,37	31,00	1,01	1,22
1,45	32,80	1,05	1,26
1,52	34,50	1,08	1,30
1,60	34,70	1,08	1,30
1,68	36,10	1,08	1,30
1,75	37,40	1,08	1,30
1,83	38,80	1,08	1,30
1,91	40,50	1,08	1,30
1,98	41,90	1,08	1,30
2,06	43,20	1,08	1,30
2,13	44,90	1,08	1,30
2,20	46,30	1,08	1,30
2,29	47,60	1,08	1,30
2,36	49,00	1,08	1,30
2,44	50,00	1,08	1,30

5.2 – Projeto de Sistema por Agentes Limpos

O projeto de sistemas fixos que empregam agentes limpos é semelhante àquele adotado para dióxido de carbono.

Os agentes limpos mais usuais no mercado são o NOVEC 1230 e o FM-200. A elaboração do projeto deve sempre seguir os procedimentos estabelecidos nas normas técnicas em vigor e manuais do fabricante. No caso, foi empregada a norma NFPA 2001 (2012), na ausência de norma equivalente no Brasil.

5.2.1 – Identificação

Devem ser instalada sinalização de advertência nas entradas e no interior das áreas protegidas, informando que o ambiente é protegido por um sistema fixo de combate a incêndio por meio de agente gasoso. Além desta sinalização, o ambiente protegido e as rotas de fuga devem possuir iluminação de emergência e sinalização de rota de fuga conforme necessário para garantir rápida e segura evacuação. Os funcionários que trabalham no local devem ser treinados sobre o procedimento de evacuação e os visitantes informados sobre a existência desse sistema.

5.2.2 – Vasos de Pressão, Válvulas e Acessórios

Encontra-se no mercado modelos de vasos de pressão para agente limpo de capacidades mássicas de 10 lb até 900 lb de gás, conforme as faixas de massa dos vasos apresentado na **Figura 5.12**.

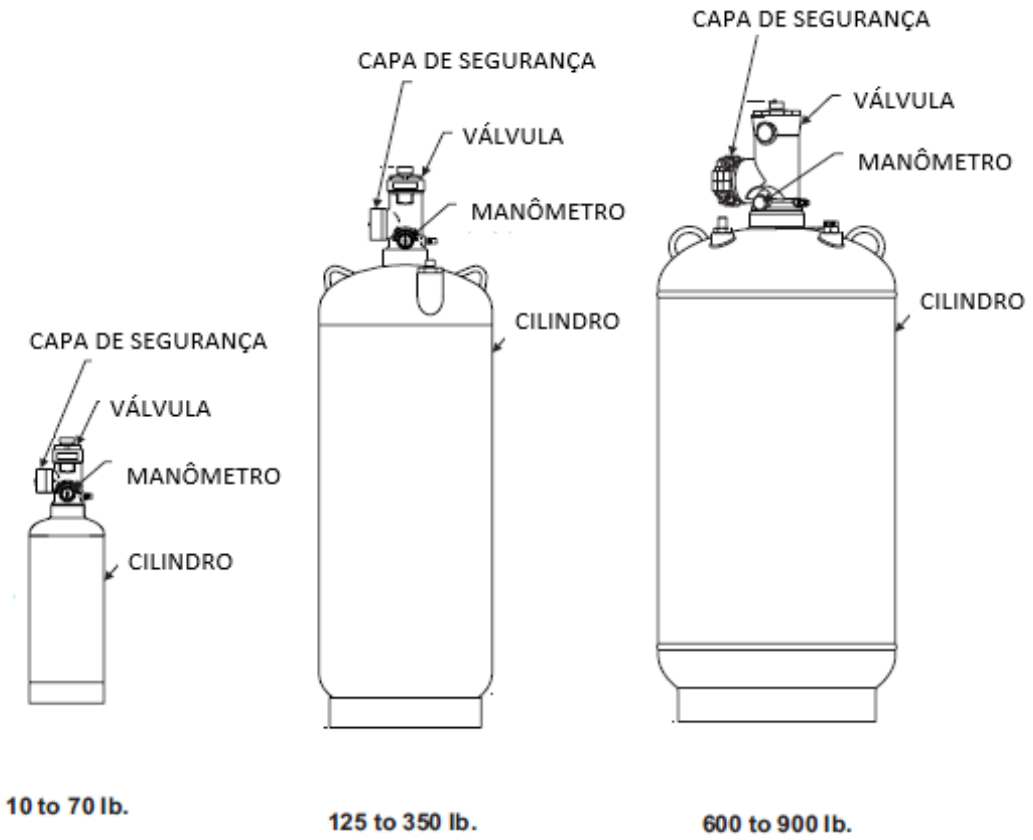

Figura 5.12 – Típico cilindro de armazenamento de agente limpo

(1 lb = 0,45 kg) (KIDDE NOVEC 1230, 2005)

Como exemplo, o fabricante de cilindros SAPPHIRE fornece a massa nominal do cilindro e sua faixa de operação, conforme apresentado na **Tabela 5.7**. Com isso é possível o cálculo da quantidade total de cilindros a ser empregada.

Para a correta atuação do sistema e a extinção segura do incêndio, é importante garantir qualidade do agente de extinção empregado. O gás armazenado deve seguir um padrão de qualidade estabelecido pela norma em vigor, no caso a NFPA 2001. Exemplo de especificação é apresentado na **Tabela 5.8**. Deve-se avaliar a qualidade do gás a cada manutenção. Especial atenção é dada à concentração de água no mesmo. Altas concentrações de água no sistema podem levar ao congelamento durante a descarga, impedindo o correto funcionamento.

Tabela 5.7– Capacidade nominal e faixa quantidade de agente nos vasos de pressão (SAPPHIRE, 2009)

MASSA NOMINAL DO TANQUE (kg)	FAIXA QUANTIDADE DE AGENTE (kg)
9,1	4 até 9
22,7	9,1 até 21
40,8	17 até 40
63,5	26 até 62,6
127	52,6 até 127
177	73 até 176
204	88 até 204
386	170 até 386

Tabela 5.8 – Especificação do agente limpo (NFPA 2001, 2012)

PROPRIEDADE	ESPECIFICAÇÃO
Agente puro, mol %, mínimo	99,0
Acidez, ppm (equivalente a massa de HCl), máximo	3,0
Concentração de água, massa %, máximo	0,001
Resíduos não voláteis, g/100 ml, máximo	0,05

É obrigatório que o cilindro possua um medidor de pressão (manômetro), válvula de segurança manual para interromper o fluxo de gás, disco de ruptura de segurança, e uma tampa de proteção. A tampa deve estar fixada no cilindro sempre que este não estiver conectado à tubulação e, principalmente, durante o transporte (NFPA 2001, 2012).

Os equipamentos e acessórios devem ser elaborados para atuar na faixa de temperatura de -29°C a 54°C. Devem possuir ainda a opção de acionamento e desligamento manual, apresentando fácil acesso ao comando deste sistema. Todos os equipamentos devem ser instalados de maneira que não sofram danos mecânicos, influência de agentes químicos ou qualquer outro dano que os torne inoperantes. Finalmente, o interior do cilindro deve ser compatível com o gás de extinção utilizado, não podendo sofrer corrosão ou outra ação química (NFPA 2001, 2012).

Os cilindros devem estar armazenados de maneira que tenham fácil acesso, permitindo inspeção, teste, recarga e qualquer outra atividade de manutenção sem que seja necessária a interrupção ou desmonte do sistema.

Os recipientes devem ser instalados de maneira que fiquem fixos, seguindo as instruções do fabricante. Devem apresentar claramente a identificação do gás, volume e a pressão de armazenamento (NFPA 2001, 2012).

5.2.3 – Projeções de volume de Agente Limpo

O cálculo da concentração necessária de gás no ambiente para extinguir o incêndio é função dos combustíveis presentes. Por razões de segurança deve-se sempre basear tal estimativa no combustível que requeira a maior concentração de agente extintor. Para os combustíveis que não possuam classificação de concentração do agente extintor, tal concentração deve ser estimada via método do *cup-burner*.

A quantidade mínima de gás deve ser suficiente para proteger até 95% do ambiente protegido no tempo de 10 segundos. O cálculo deve seguir os procedimentos descritos no manual do fabricante e nas normas técnicas pertinentes.

É importante ressaltar que embora o mercado disponha de diferentes agentes extintores atualmente em uso, não é permitida a descarga, no mesmo ambiente, de agentes com composições diferentes.

Para facilitar o projeto o manual de instrução do fabricante e a norma NFPA 2001 possuem uma lista de combustíveis e a respectiva quantidade necessária do agente para extingui-lo, conforme resumidamente apresentado na **Tabela 5.9**. Essa tabela expõe somente alguns combustíveis, focando-se em incêndios da classe B. Entretanto, o agente limpo pode extinguir também incêndios das classes A e C (KIDDE NOVEC 1230, 2005; FM-200, 2004).

Tabela 5.9 – Concentração de NOVEC 1230 e FM-200 para Classe B (KIDDE NOVEC 1230, 2005; FM-200, 2004)

COMBUSTÍVEL	NOVEC 1230		FM-200	
	Concentração de Extinção (%V/V)	**Concentração de Projeto com Segurança de 30% (%V/V)**	**Concentração de Extinção (%V/V)**	**Concentração de Projeto com Segurança de 30% (%V/V)**
1-Butanol	4,90	6,37	7,6	9,9
1 - Propanol	5,40	7,02	7,7	10,0
Acetona	4,30	5,59	6,9	9,0
n-heptano	4,50	5,85	6,7	8,7
Diesel	3,4	4,42	6,7	8,7
Metanol	6,5	8,45	10,4	13,5
Propano	5,80	7,54	6,7	8,7

Após identificar os combustíveis presentes no ambiente e a concentração de projeto necessária, realiza-se o cálculo da massa. A estimativa da quantidade de gás necessária para inundar o ambiente protegido é realizada através da **Equação 5.10** (NFPA 2001, 2012).

Equação 5.10

$$\boldsymbol{Q = \frac{V}{S} * (\frac{C}{100 - C})}$$

Onde:

Q: Massa do agente limpo (kg);

V: Volume real, calculado através do volume total do ambiente protegido subtraído do volume das partes fixas não comburentes (m^3);

S: Volume específico de vapor sobreaquecido do agente limpo (m^3/kg);

C: Concentração em volume do agente limpo em ar na temperatura do projeto (concentração %)

O valor de S pode ser estimado a partir da **Equação 5.11** apresentada na norma NFPA 2001.

Equação 5.11

$$\mathbf{S = 0,1269 + 0.0005t}$$

Onde:

S: Volume específico de vapor sobreaquecido do agente limpo (m^3/kg);

t: Temperatura de projeto do ambiente protegido (°C)

A estimativa realizada na **Equação 5.11** prevê a perda de agente limpo por vazamento, uma vez que o ambiente real protegido não é hermético.

Após o cálculo da massa de agente limpo necessária para inundar o ambiente, calcula-se então o volume de agente. Para tanto empregam-se as **Tabelas 5.10** e **5.11** e a **Equação 6.12**. O volume do ambiente limpo é de acordo com massa de agente limpo e a massa requerida por volume do ambiente protegido obtido na **Tabela 5.10** (NFPA 2001, 2012).

Equação 5.12

$$\boldsymbol{V = Q \cdot \frac{1}{Q/V}}$$

Onde:

V: Volume do agente limpo (m^3);

Q: Massa do agente limpo (kg);

Q/V: Massa requerida por Volume do Ambiente Protegido (kg/m^3), obtido na **Tabela 5.10** para FM-200 e T**abela 5.11** para NOVEC 1230

Tabela 5.10 – Quantidade de Inundação total por FM-200 (NFPA 2001, 2012)

MASSA REQUERIDA POR VOLUME DO AMBIENTE PROTEGIDO Q/V (Kg/m³)											
TEMP. t (°C)	**VOLUME DO VAPOR ESPECÍFICO (m^3/kg)**	**CONCENTRAÇÃO DE PROJETO (% por Volume)**									
		6	**7**	**8**	**9**	**10**	**11**	**12**	**13**	**14**	**15**
-10	0,1215	0,5254	0,6196	0,7158	0,8142	0,9147	1,0174	1,1225	1,2301	1,3401	1,4527
0	0,1268	0,5936	0,6858	0,7800	0,8763	0,9748	1,0755	1,1785	1,2839	1,3918	0,0000
5	0,1294	0,5816	0,6719	0,7642	0,8586	0,9550	1,0537	1,1546	1,2579	1,3636	5,0000
10	0,1320	0,5700	0,6585	0,7490	0,8414	0,9360	1,0327	1,1316	1,2328	1,2264	10,000
15	0,1347	0,4740	0,5589	0,6457	0,7344	0,8251	0,9178	1,0126	1,1096	1,2089	1,3105
20	0,1373	0,4650	0,5483	0,6335	0,7205	0,8094	0,9004	0,9934	1,0886	1,1859	1,2856
25	0,1399	0,4564	0,5382	0,6217	0,7071	0,7944	0,8837	0,9750	1,0684	1,1640	1,2618
30	0,1425	0,4481	0,5284	0,6104	0,6943	0,7800	0,8676	0,9573	1,0490	1,1428	1,2388
35	0,1450	0,4401	0,5190	0,5996	0,6819	0,7661	0,8522	0,9402	1,0303	1,1224	1,2168
40	0,1476	0,4324	0,5099	0,5891	0,6701	0,7528	0,8374	0,9230	1,0124	1,1029	1,1956
45	0,1502	0,4250	0,5012	0,5790	0,6586	0,7399	0,8230	0,9080	0,9950	1,0840	1,1751
50	0,1527	0,4180	0,4929	0,5694	0,6476	0,7276	0,8093	0,8929	0,9784	1,0660	1,1555
55	0,1553	0,4111	0,4847	0,5600	0,6369	0,7156	0,7960	0,8782	0,9623	1,0484	1,1365
60	0,1578	0,4045	0,4770	0,5510	0,6267	0,7041	0,7832	0,8641	0,9469	1,0316	1,1183
65	0,1604	0,3980	0,4694	0,5423	0,6167	0,6929	0,7707	0,8504	0,9318	1,0152	1,1005
70	0,1629	0,3919	0,4621	0,5338	0,6072	0,6821	0,7588	0,8371	0,9173	0,9994	10,834
75	0,1654	0,3859	0,4550	0,5257	0,5979	0,6717	0,7471	0,8243	0,9033	0,9841	10,668
80	0,1679	0,3801	0,4482	0,5178	0,5890	0,6617	0,7360	0,8120	0,8898	0,9694	10,509
85	0,1704	0,3745	0,4416	0,5102	0,5803	0,6519	0,7251	0,8000	0,8767	0,9551	10,354
90	0,1730	0,3690	0,4351	0,5027	0,5717	0,6423	0,7145	0,7883	0,8638	0,9411	10,202

Tabela 5.11 – Quantidade de Inundação total por NOVEC 1230 (NFPA 2001, 2012)

MASSA REQUERIDA POR VOLUME DO AMBIENTE PROTEGIDO Q/V (Kg/m^3)												
TEMP (°C)	**VOLUME DO VAPOR ESPECIFICO (m^3/k)**	**CONCENTRAÇÃO DE PROJETO (% por Volume)**										
		3,0	**4,0**	**4,2**	**5,0**	**5,7**	**6,0**	**7,0**	**8,0**	**9,0**	**10,0**	**11**
-20,00	0,06	0,51	0,68	0,72	0,86	1,00	1,05	1,24	1,43	1,62	1,82	2,02
-15,00	0,06	0,50	0,67	0,70	0,85	0,97	1,02	1,21	1,40	1,59	1,78	1,98
-10,00	0,06	0,49	0,65	0,69	0,83	0,95	1,00	1,18	1,37	1,55	1,75	1,94
-5,00	0,07	0,48	0,64	0,67	0,81	0,93	0,98	1,16	1,34	1,52	1,71	1,90
0,00	0,66	0,47	0,63	0,66	0,79	0,91	0,96	1,13	1,31	1,49	1,67	1,86
5,00	0,07	0,46	0,61	0,65	0,78	0,90	0,94	1,11	1,28	1,46	1,64	1,82
10,00	0,07	0,45	0,60	0,63	0,76	0,88	0,92	1,09	1,26	1,43	1,61	1,78
15,00	0,07	0,44	0,59	0,62	0,75	0,86	0,91	1,07	1,23	1,40	1,58	1,75
20,00	0,07	0,43	0,58	0,61	0,73	0,84	0,89	1,05	1,21	1,38	1,55	1,71
25,00	0,07	0,42	0,57	0,60	0,72	0,83	0,87	1,03	1,19	1,35	1,52	1,68
30,00	0,07	0,41	0,56	0,59	0,71	0,81	0,86	1,01	1,17	1,33	1,49	1,65
35,00	0,08	0,41	0,55	0,58	0,69	0,80	0,84	0,99	1,14	1,30	1,46	1,62
40,00	0,08	0,40	0,54	0,57	0,68	0,78	0,83	0,97	1,12	1,28	1,44	1,59
45,00	0,08	0,39	0,53	0,56	0,67	0,77	0,81	0,96	1,04	1,26	1,41	1,56
50,00	0,08	0,39	0,52	0,55	0,66	0,76	0,80	0,94	1,09	1,23	1,39	1,54
55,00	0,08	0,38	0,51	0,54	0,65	0,74	0,78	0,92	1,07	1,21	1,36	1,51
60,00	0,08	0,37	0,50	0,53	0,64	0,73	0,77	0,91	1,05	1,19	1,34	1,49
65,00	0,08	0,37	0,49	0,52	0,62	0,72	0,76	0,89	1,03	1,17	1,32	1,46
70,00	0,09	0,36	0,49	0,51	0,61	0,71	0,75	0,88	1,02	1,16	1,30	1,44
75,00	0,09	0,36	0,48	0,50	0,61	0,70	0,73	0,87	1,00	1,14	1,28	1,42
80,00	0,09	0,35	0,47	0,50	0,60	0,69	0,72	0,85	0,98	1,12	1,26	1,39
85,00	0,09	0,34	0,46	0,49	0,59	0,68	0,71	0,84	0,97	1,10	1,24	1,37
90,00	0,09	0,34	0,46	0,48	0,58	0,67	0,70	0,83	0,95	1,09	1,22	1,35
95,00	0,09	0,33	0,45	0,47	0,57	0,66	0,69	0,81	0,94	1,07	1,20	1,33
100,00	0,09	0,33	0,44	0,47	0,56	0,65	0,68	0,08	0,93	1,05	1,18	1,31

Essa quantidade de gás deve ser suficiente para preencher até 95% do ambiente protegido, sendo projetada para inundar o ambiente protegido em no máximo de 10 segundos.

A vazão mássica de agente limpo segue a **Equação 5.13**.

Equação 5.13

$$\boldsymbol{W_m = \mathrm{Q} \cdot \frac{1}{t}}$$

Onde:

W_m: Vazão mássica de agente limpo (kg/s);

Q: Massa do agente limpo (kg);

t: Tempo para inundação do ambiente (s)

Por sua vez, a vazão volumétrica é obtida da **Equação 5.14**.

Equação 5.14

$$\boldsymbol{W_v = W_m \cdot \frac{V}{Q}}$$

Onde:

W_v: Vazão volumétrica de agente limpo (kg/s);

W_m: Vazão mássica de agente limpo (kg/s);

Q/V: Massa requerida por Volume do Ambiente Protegido (kg/m^3), obtido na **Tabela 5.10** para FM-200 e T**abela 5.11** para NOVEC 1230

Há ainda o fator de correção atmosférica de acordo com a altitude do local. Esse fator é apresentado na **Tabela 5.12**. O fator de correção é multiplicado pela vazão mássica de agente limpo (NFPA 2001, 2012).

Tabela 5.12 – Fator de Correção Atmosférico (NFPA 2001, 2012)

ALTITUDE (Km)	PRESSÃO DO AMBIENTE (mm Hg)	FATOR DE CORREÇÃO ATMOSFÉRICO
-0.92	840	1.11
-0.61	812	1.07
-0.30	787	1.04
0.00	760	1.00
0.30	733	0.96
0.61	705	0.93
0.91	678	0.89
1.22	650	0.86
1.52	622	0.82
1.83	596	0.78
2.13	570	0.75
2.45	550	0.72
2.74	528	0.69
3.05	505	0.66

5.2.4 – Tubulações

As tubulações do sistema fixo são responsáveis pela distribuição do gás de extinção desde o local de armazenamento até os difusores. Essa tubulação deve ser de material não-combustível, não-metálico, resistente à corrosão e com características físicas e químicas que garantam a sua resistência. O seu interior deve ser livre de partículas ou qualquer outro material que possa vir a entupir ou danificar os difusores.

O sistema deve ainda ter seções de alívio para evitar o depósito de líquidos ao longo dos tubos.

A dimensão da tubulação é um fator importante para certificar que a inundação do ambiente será completa, no tempo adequado, e com a concentração mínima exigida. Deve garantir ainda que o fluxo de gás seja uniforme. As falhas mais frequentes observadas em sistemas reais são a condensação e/ou rompimento de tubos junções e difusores.

O comprimento dos tubos é função da arquitetura local, porém o seu diâmetro é em função da vazão mássica necessária - conforme as **Tabelas 5.13** e **5.14**.

O manual de instalação do FM-200, fornecido pelo fabricante CHEMETRON, e do NOVEC, fornecido pelo fabricante KIDDE, oferecem o diâmetro da tubulação em função da vazão mássica mínima na tubulação com a opção de modelo de tubulação de Schedule 40 para o FM-200 e Schedule 40 ou 80 para NOVEC 1230, onde o Schedule é um padrão adotado referente a espessura da parede da tubulação. Esse cálculo do diâmetro prevê fatores que podem afetar a vazão do escoamento do gás, como turbulência, perda de carga e queda de pressão que podem ser ocasionados durante o escoamento e devido aos “Tês” na linha de tubulação. Entretanto, na seção final da tubulação, onde fica o difusor, pode-se reduzir a vazão mássica mínima para 60%, contanto que seja uma linha de tubo sem curvas e “Tês” (KIDDE NOVEC 1230, 2005).

Tabela 5.13 – Tubulação para FM-200 (CHEMETRON MANUAL FM-200, 2004)

DIÂMETRO DA TUBULAÇÃO (mm)	TUBO DE SCHEDULE 40	
	Vazão mássica mínima para toda seção com T (kg/s)	60% da vazão mássica mínima para todas as seções com difusor (kg/s)
10	0,705	0,42
15	1,17	0,71
20	2,06	1,24
25	3,31	1,99
32	5,75	3,45
40	7,94	4,76
50	13,56	8,13
65	20,03	12,02
80	32,43	19,46
100	58,76	32,26
125	93,50	56,10
150	130,25	78,15

Tabela 5.14 – Tubulação para o NOVEC 1230 (KIDDE NOVEC 1230, 2005)

DIÂMETRO DA TUBULAÇÃO (mm)	**TUBO DE SCHEDULE 40**		**TUBO DE SCHEDULE 80**	
	Vazão mássica mínima para toda seção com T (kg/s)	**60% da vazão mássica mínima para todas as seções com difusor (kg/s)**	**Vazão mássica mínima para toda seção com T (kg/s)**	**60% da vazão mássica mínima para todas as seções com difusor (kg/s)**
9	0,31	0,19	0,14	0,08
10	0,70	0,42	0,48	0,29
15	1,17	0,70	0,88	0,53
20	2,05	1,23	1,67	1,00
25	3,31	1,98	2,76	1,65
32	5,75	3,45	4,91	2,95
40	7,92	4,75	6,83	4,10
50	13,53	8,12	11,78	7,07
65	19,99	11,99	17,47	10,48
80	32,36	19,42	28,56	17,13
90	44,60	26,76	39,67	23,80
100	58,64	35,18	52,56	31,53
125	93,31	55,99	84,96	50,98
150	12,97	77,98	119,19	71,51

5.2.5 – Difusores

Os difusores são válvulas que ficam no fim da tubulação, conforme a **Figura 5.13**. São os responsáveis pela saída do gás. Os difusores utilizados para agentes limpos possuem exigências similares àqueles utilizados para CO_2, onde o material que compõe o difusor é de metal não–ferroso, com resistência compatível com as temperaturas e pressões que serão aplicadas na utilização do sistema. Deve ser ainda resistente a danos físicos e as substâncias químicas empregadas no ambiente onde está instalado

Entretanto, diferente dos difusores de CO_2 que possuem uma área de atuação de acordo com a sua distância até o chão, os difusores para agentes limpos possuem uma distância limite do teto. O máximo são 23,5 cm, porém o recomendado é que fique ainda mais próximo do teto, conforme mostra a **Figura 5.13**. A área de atuação dos difusores de agentes limpos é função do modelo de difusor que pode ser 180° e 360°.

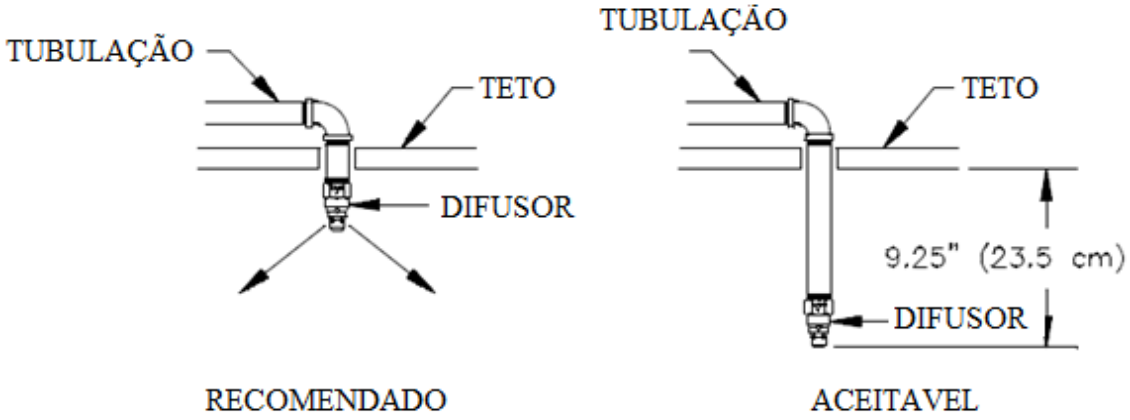

Figura 5.13 – Distância do difusor do teto (CHEMETRON MANUAL FM-200, 2004)

Especial atenção é dada ao posicionamento dos difusores. A alta vazão de descarga pode acarretar projeção de objetos no interior do ambiente protegido. Existe ainda o risco de ocorrer queimaduras por frio em pessoas próximas.

Os difusores possuem altura máxima de operação em função da localização da válvula de saída dos vasos de pressão, conforme a **Figura 5.14**. A área de atuação do difusor não se altera em função da variação da altura dentro dos limites estabelecidos nas **Figura 5.13** e **Figura 5.14**.

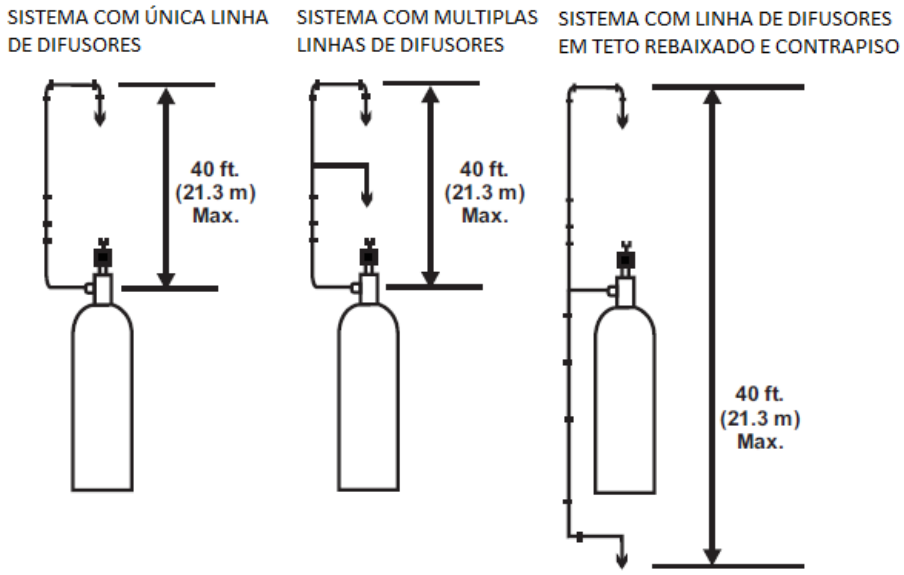

Figura 5.14 – Altura limite dos difusores de agente limpos (KIDDE NOVEC 1230, 2005)

Os dois modelos de difusores: 180° e 360°, são apresentados nas **Figuras 5.15** e **5.16**.

Os difusores disponíveis no mercado apresentam os seguintes diâmetros: 15, 20, 25, 32, 40 ou 50 mm. O diâmetro do difusor é estabelecido de acordo com o da tubulação.

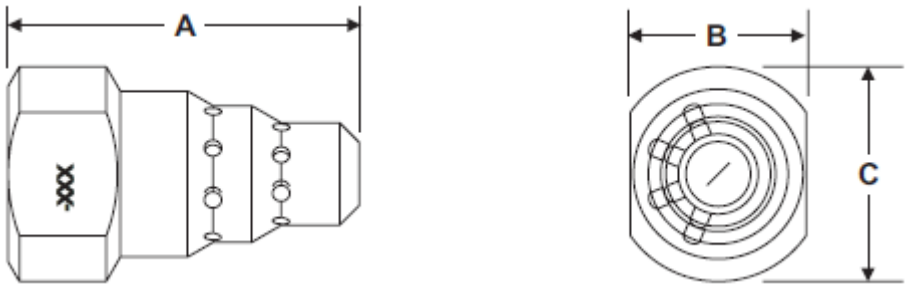

Figura 5.15 – Difusor de descarga de 180° (KIDDE NOVEC 1230, 2005)

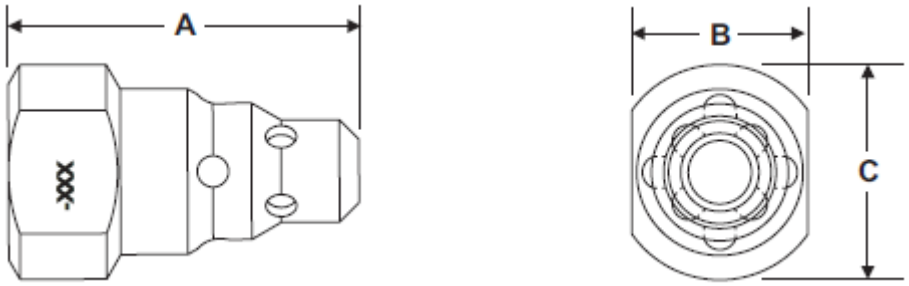

Figura 5.16 – Difusor de descarga de 360° (KIDDE NOVEC 1230, 2005)

A área de atuação dos difusores é função do modelo adotado (180° e 360°). A **Figura 5.17** ilustra a área de atuação é de acordo com o fabricante KIDDE.

Difusores modelo 360° são instalados no teto e de forma centralizada no ambiente protegido, e não podem ser instalados em cantos ou quinas. O modelo 360° possui uma área máxima de atuação da descarga igual à de um círculo de raio 8,11 m. Já difusores do modelo 180° são usualmente instalados a partir das paredes com uma distância mínima de (0,3 m ± 0,05 m) e possuem uma área de atuação igual à de um quadrado de 11,4 m de lado.

Ambos os modelos são projetados para inundar por completo o ambiente protegido, porém o difusor de modelo 360° possui o objetivo de proteger o ambiente como um todo a partir da área central, e o modelo 180° tem o objetivo de extinguir rapidamente um perigo especifico pré-determinado.

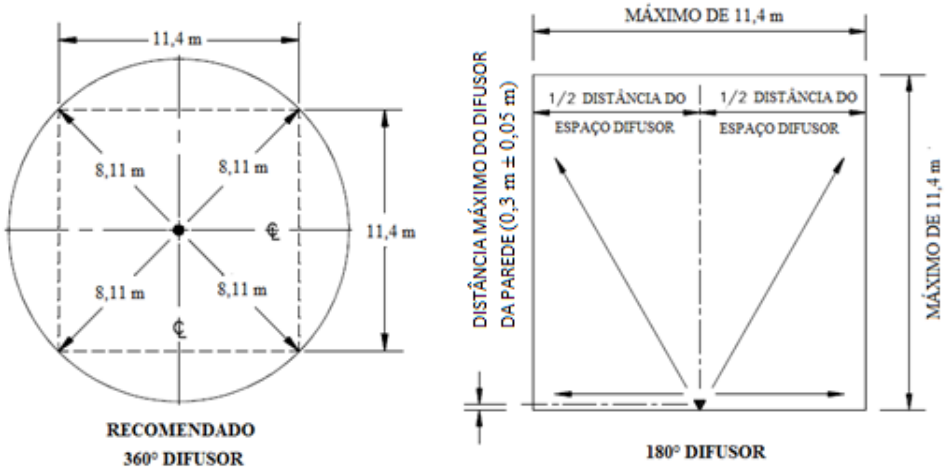

Figura 5.17 – Área de atuação dos Difusor 180° e Difusor 360° (CHEMETRON MANUAL FM-200, 2004)

Os difusores devem ser localizados de maneira que sua área de atuação abranja todo o ambiente protegido. A **Figura 5.18** representa essa situação. Na imagem da esquerda os dois difusores apresentam-se instalados de modo adequado, com seus raios de atuação cobrindo todo o ambiente. Porém, na imagem da direita, o espaçamento grande demais entre os difusores faz com que uma parte do ambiente não esteja adequadamente coberta, fazendo com que essa instalação não seja aceitável. Os difusores devem ser instalados com uma separação mínima de 3,3 m.

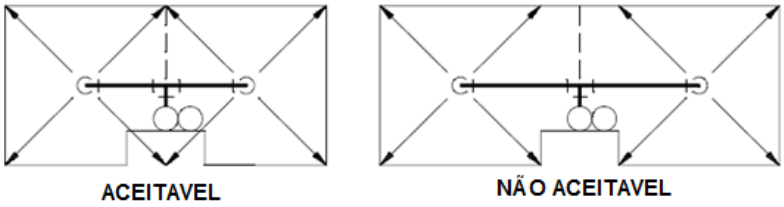

Figura 5.18 – Padrão de localização dos difusores (CHEMETRON MANUAL FM-200, 2004)

As dimensões dos difusores seguem recomendação do fabricante. O padrão estabelecido pelo fabricante KIDDE para modelos 360° e 180° consta da **Tabela 5.15**. As letras “A”, “B” e “C” estão detalhadas nas **Figuras 5.15 e 5.16**.

Tabela 5.15 – Difusor de descarga de 360° e 180° (KIDDE NOVEC 1230, 2005)

DIÂMETRO DO TUBO (MM)	DIMENSÃO		
	A (mm)	B (mm)	C (mm)
6	49	26	22
10	52	25	30
13	57	29	35
19	68	35	41
25	73	41	49
32	83	51	60
38	92	57	68
51	114	76	89

Capítulo 6 – Estudo de Caso

Este estudo de caso tem como objetivo ilustrar a implantação de um sistema fixo de combate a incêndio baseado no uso de agente de extinção gasoso. O ambiente para o qual o sistema fixo foi projetado é um laboratório de aula de graduação de engenharia química. A partir do estudo de caso torna-se possível comparar os diferentes projetos de sistemas fixos usando CO_2 e agente limpo.

O local escolhido para a realização do estudo foi a Laboratório Multidisciplinar da Escola de Química da UFRJ. Trata-se de um laboratório de ensino usado por inúmeros alunos de graduação. O laboratório apresenta especial interesse devido a sua localização. O mesmo possui somente uma saída e estar localizado no subsolo. O laboratório localiza-se no subsolo do Bloco I, alinhado ao Bloco E, conforme **Figura 6.1**.

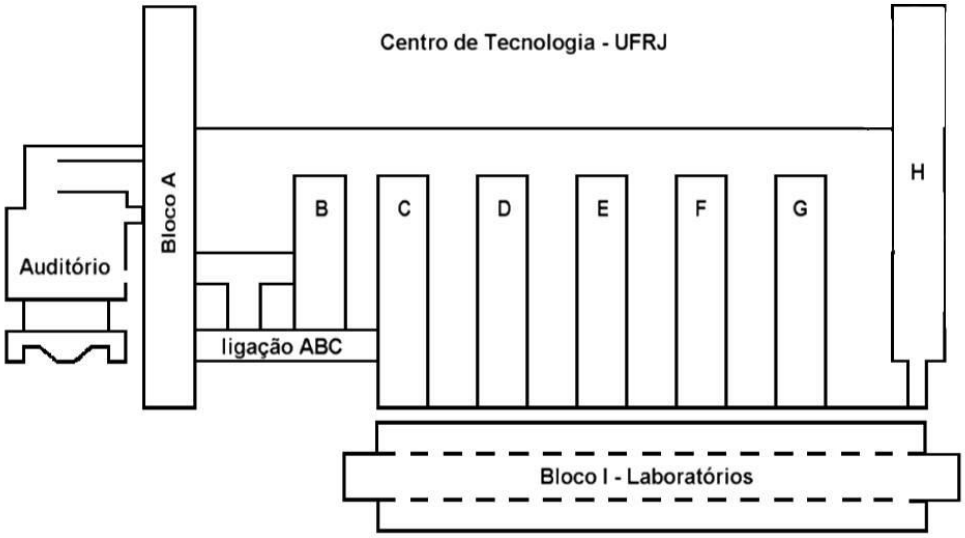

Figura 6.1 – Divisão em blocos do Centro de Tecnologia. Fonte: Adaptado do Portal do Departamento de Engenharia Eletrônica e de Computação

O laboratório é utilizado para ministrar aulas práticas dos cursos de graduação em Engenharia Química, Engenharia de Bioprocessos, Engenharia de Alimentos e Química Industrial.

O laboratório possui 17 m de comprimento (C_L), 4,67 de largura (Lr) e 2 m de altura (H_L). Sua área total é de 79 m^2 e o volume, 158 m^3. Uma planta baixa simplificada do laboratório é apresentada na **Figura 6.2**.

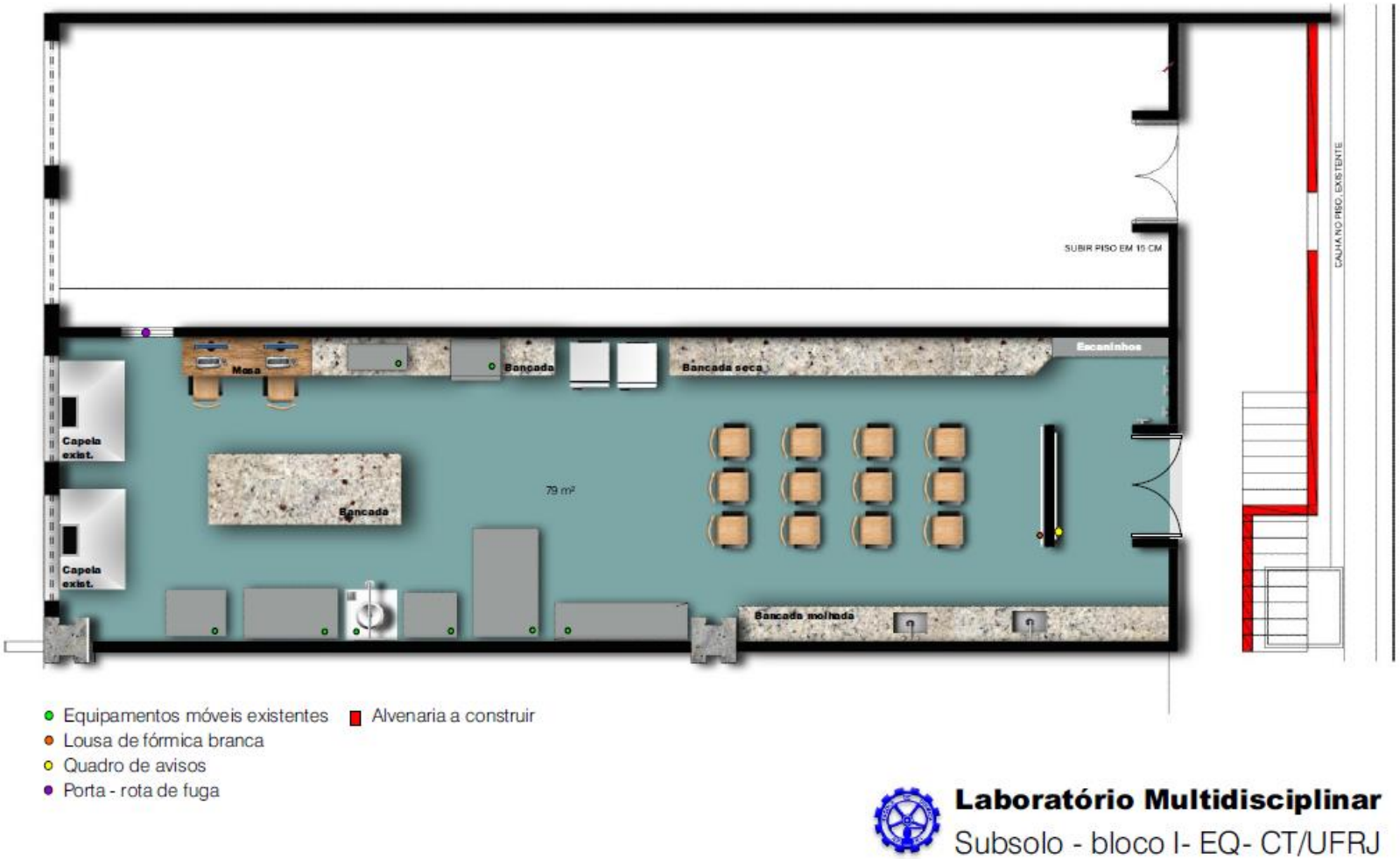

Figura 6.2 – Laboratório Multidisciplinar (Fonte: Escola de Química/UFRJ)

A partir das informações extraídas dos roteiros das práticas ali realizadas, e de visitas ao Laboratório Multidisciplinar, foram listados os agentes químicos de uso mais frequente naquele ambiente. Os reagentes mais usuais empregados no laboratório são: Acetato de etila, Acetato de sódio, Carbonato de cálcio, Diclorometano, Etanol, Fenolftaleína e Soda cáustica.

Os reagentes químicos são armazenados em garrafas de vidro ou plástico. São estocadas fechadas, exceto durante seu uso nas práticas de ensino. Alguns reagentes localizam-se nas bancadas, enquanto outros são guardados nos armários. Há também equipamentos elétricos e eletrônicos no ambiente.

É importante destacar que existem algumas restrições na utilização dos agentes limpos. O ambiente protegido, por exemplo, não pode ter produtos químicos que possuam característica de rápida reação na ausência de ar.

O laboratório possui uma arquitetura simples, sendo composto por paredes de alvenaria e somente uma área aberta onde se encontra a porta de acesso. Para este estudo foram desconsideradas as aberturas referentes às duas capelas localizadas ao fundo do ambiente.

a) Projeto de sistema fixo usando dióxido de carbono

A concentração mínima de CO_2 necessária para extinguir um incêndio neste espaço depende dos reagentes e materiais presentes em seu interior. Ou seja, depende dos combustíveis presentes no local, que alimentarão um possível incêndio.

A partir da norma NFPA 12 obtém-se a concentração de CO_2 necessária para cada combustível, conforme a **Tabela 6.2**.

Tabela 6.1 – Concentrações de dióxido de carbono no ambiente protegido (EPA, 2000; NFPA 12, 2011)

COMBUSTÍVEL	CONCENTRAÇÃO MÍNIMA DE CO_2 (TEÓRICA)	CONCENTRAÇÃO MÍNIMA DE CO_2 (PROJETADA)
Acetato de etila	Não há	Não há
Acetato de sódio	Não há	Não há
Carbonato de cálcio	Não há	Não há
Diclorometano	Não há	Não há
Etanol	36	43
Fenolftaleína	Não há	Não há
Propileno	30	36
Soda caustica	Não há	Não há

Alguns compostos presentes no laboratório não estão na lista de produtos químicos avaliados na NFPA 12. Na ausência dessa informação existem alguns procedimentos para estimar a concentração mínima de CO_2 necessária: seja através da FISPQ do produto; através de um agente semelhante já avaliado; ou mesmo realizando a determinação pelo método de *cup-burner*.

Dentre os agentes presentes no ambiente apenas o etanol e o propileno têm suas concentrações mínimas de dióxido de carbono apresentadas na norma NFPA. Contudo, a concentração mínima do etanol é maior, resultando em um projeto mais conservador.

Assim, a partir da avaliação das FISPQ de cada reagente constatou-se que alguns são inflamáveis. Dentre os agentes avaliados, o etanol apresenta maior poder de inflamabilidade, sendo considerado o composto de referência para o projeto do sistema fixo de combate a incêndio.

Após estabelecer a concentração mínima de CO_2 para extinção dos materiais presente no ambiente, determina-se o fator de inundação em função do volume do ambiente protegido. Usualmente, o agente extintor CO_2 necessita de uma concentração

mínima de 40%. Assim, foi elaborada uma tabela com esse parâmetro já determinado (**Tabela 5.3)**.

Essa concentração de 40% garante a extinção de incêndios dos mais variados combustíveis.

Porém, está concentração pode não ser adequada para todos os combustíveis. No caso específico do Laboratório Multidisciplinar, a presença de etanol exige uma concentração mínima de dióxido de carbono maior que 40% para garantir a eficiência do sistema fixo de extinção. Deste modo, é necessário realizar uma correção no cálculo da massa necessária para inundação do ambiente protegido. Essa correção é implantada apenas ao final do cálculo.

O volume do ambiente protegido (laboratório) é de 158 m^3. De acordo com a tabela de cálculo do fator de inundação, esse ambiente exige uma quantidade mínima de CO_2 de 113,5 kg.

O cálculo da quantidade básica de CO_2 é obtida a partir (**Equação 5.1)**.

Equação 5.1

$$\boldsymbol{Q_{\mathrm{b}} = V_a . F_i}$$

$$\boldsymbol{Q_{\mathrm{b}} = 158 m^3 \,.\, 0,96 \frac{kgCO_2}{m^3}}$$

$$\boldsymbol{Q_{\mathrm{b}} = 151,68 kgCO_2}$$

Conforme exigência normativa, essa quantidade de CO_2 deve inundar o ambiente no tempo de 30 segundos. A vazão mássica de CO_2 então é obtida a partir (**Equação 5.2)**.

Equação 5.2

$$\boldsymbol{W_{\mathrm{b}} = Q_{\mathrm{b}} \cdot \frac{1}{0,5\, min}}$$

$$\boldsymbol{W_{\mathrm{b}} = 151,68\, kgCO_2 \cdot \frac{1}{0,5\, min}}$$

$$\boldsymbol{W_{\mathrm{b}} = 303,36 \frac{kgCO_2}{min}}$$

Entretanto, o laboratório possui uma porta de entrada com dimensões de 2,77 m de largura por 2 m de altura, ou área 5,54 m^2. Em função desta porta é necessário difundir uma quantidade adicional de CO_2 no ambiente, pois durante a inundação do local a porta poderá estar aberta. Considerar essa perda de agente extintor garante o correto funcionamento e eficiência do sistema fixo de combate.

Inicialmente, calcula-se a "área aberta efetiva", usando (**Equação 5.3)**.

Equação 5.3

$$A_L = \frac{A_O}{2}$$

$$A_L = \frac{5,54\ m^2}{2}$$

$$A_L = 2,77\ m^2$$

Ou,

$$A_L = 29,82 ft^2$$

A vazão mássica da área efetiva por área é em função da altura do centro da abertura até o topo da porta do laboratório que é de 1 m (3,28 ft). A concentração de extinção adotada é 40%. Assim, a partir da (**Figura 5.8)** obtém-se o parâmetro L da equação de W_L.

O cálculo da vazão de CO_2 por área efetiva (W_L) a partir (**Equação 5.4).**

Equação 5.4

$$W_L = L\ .A_L$$

$$W_L = 15\ \frac{lb\ CO_2}{min.ft^2}\ .29,82 ft^2$$

$$W_L = 447,3\ \frac{lb\ CO_2}{min}$$

$$W_L = 223,65 \frac{kg\ CO_2}{min}$$

Finalmente, a massa de CO_2 adicional para a abertura é obtida a partir (**Equação 5.5)**.

Equação 5.5

$$\boldsymbol{Q_L = W_L \, . \, t_p}$$

$$\boldsymbol{Q_L = 223,65 \frac{kg\ CO_2}{min} \, . \, 1\ min}$$

$$\boldsymbol{Q_L = 223,65\ kg\ CO_2}$$

A massa total de CO_2 para inundação do ambiente protegido é estimada usando (**Equação 5.6)**.

Equação 5.6

$$\boldsymbol{Q_{Total} = Q_{\mathrm{b}} + Q_L}$$

$$\boldsymbol{Q_{Total} = 151,68\ kgCO_2 + 223,65\ kg\ CO_2}$$

$$\boldsymbol{Q_{Total} = 375,33\ kg\ CO_2}$$

A vazão mássica total de CO_2 para inundação é obtida através (**Equação 5.7)**.

Equação 5.7

$$\boldsymbol{W_{Total} = Q_{Total} \cdot \frac{1}{0,5\ min}}$$

$$\boldsymbol{W_{Total} = 375,33\ kg\ CO_2 \cdot \frac{1}{0,5\ min}}$$

$$\boldsymbol{W_{Total} = \frac{750,66\ kg\ CO_2}{min}}$$

Conforme apresentado anteriormente, um dos combustíveis presentes no ambiente em estudo é o etanol, para o qual se especifica uma concentração mínima de dióxido de carbono de 43% CO_2 – superior aos 40% padrões. Deve-se assim ajustar a massa total de CO_2 e a vazão total de CO_2 a partir do fator (**Figura 5.7)**.

O fator de conversão é multiplicado na massa total de CO_2 necessária para inundação da sala. A partir (**Figura 5.7)** obtém-se o valor do fator:

$$F_{c\,(43\%)} = 1,3$$

A massa total de CO_2 para inundação corrigida com fator de correção:

$$Q_{Total\ Corrigido} = Q_{Total} \cdot F_{c\,(43\%)}$$

$$Q_{Total\ Corrigido} = 375,33\ kg\ CO_2 . 1,3$$

$$Q_{Total\ Corrigido} = 487,929\ kg\ CO_2$$

A vazão total de CO_2 para inundação corrigida com fator de correção:

$$W_{Total\ Corrigido} = W_{Total} \cdot F_{c\,(43\%)}$$

$$W_{Total} = \frac{750,66\ kg\ CO_2}{min} . 1,3$$

$$W_{Total} = \frac{975,858 kg\ CO_2}{min}$$

A partir da massa total corrigida de 487,929 kg CO_2 calcula-se a quantidade de cilindros de gás necessária. Usando três tamanhos de cilindros típicos, a **Tabela 6.4** apresenta a quantidade de cilindros necessária. Nota-se que é necessário uma grande quantidade de cilindros de CO_2 para inundar um ambiente de apenas 158 m^3.

Tabela 6.2 – Quantidade de cilindros para Laboratório Multidisciplinar

CILINDROS			
Capacidade Preenchimento (kg)	22,7	34	45,4
Quantidade de Cilindros	22	15	11

Difusores

A quantidade e localização dos difusores é em função da altura e modelo do difusor utilizado, e do tipo de material a ser protegido que pode ser caracterizado como superfície líquida ou superfície revestida. O modelo de difusor mais usual é o tipo "S", conforme (**Figura 5.11)**.

Para o estudo de caso assumiu-se instalação do difusor tipo "S" próximo ao teto do laboratório (altura de 1,98m).

A área de atuação do difusor tipo "S" instalado em uma altura de 1,98 conforme (**Tabela 5.6)**.

Considerou-se que os reagentes comportam-se como L_1. Assim, a altura do difusor é:

$$\boldsymbol{H = 1,98\ m}$$

O comprimento superfície líquida é:

$$\boldsymbol{L_1 = 1,08\ m}$$

O ambiente protegido possui 17 m de comprimento (C_L) e 4,67 de largura (L_r):

$$\boldsymbol{C_L = 17\ m}$$

$$\boldsymbol{L_r = 4,67\ m}$$

O número de difusores no eixo X é a razão entre o comprimento C_L e o comprimento de superfície liquida L_1:

$$\frac{\boldsymbol{C_L}}{\boldsymbol{L_1}} = \frac{\boldsymbol{17\ m}}{\boldsymbol{1,08\ m}}$$

$$\frac{\boldsymbol{C_L}}{\boldsymbol{L_1}} = \boldsymbol{15\ Difusores}$$

Já o número de difusores no eixo Y é a razão entre o comprimento L_r e o comprimento da superfície revestida L_2:

$$\frac{\boldsymbol{L_r}}{\boldsymbol{L_1}} = \frac{\boldsymbol{4,67\ m}}{\boldsymbol{1,08\ m}}$$

$$\frac{\boldsymbol{L_r}}{\boldsymbol{L_1}} = \boldsymbol{5\ Difusores}$$

O total de difusores para proteger o ambiente é:

$$\frac{\boldsymbol{L_r}}{\boldsymbol{L_1}} . \frac{\boldsymbol{C_L}}{\boldsymbol{L_1}} = \boldsymbol{Número\ Total\ de\ Difusores}$$

$$\boldsymbol{75\ Difusores}$$

A planta simplificada do Laboratório Multidisciplinar com os 75 difusores para CO_2 posicionados é apresentada na **Figura 6.3**. Essa quantidade de difusores é devido a ineficiência do CO_2 como agente extintor. Torna-se necessária uma grande quantidade

de agentes para proteger o ambiente inundado. Outro fator que contribui para o elevado número de difusores é que o raio de atuação é muito baixo, principalmente para proteger ambientes que armazenam líquidos inflamáveis.

Após a elaboração do estudo de caso, nota-se que esse modelo de extinção necessita de uma grande quantidade de tubulações, difusores e vasos de pressão, tornando-se, na prática inviável.

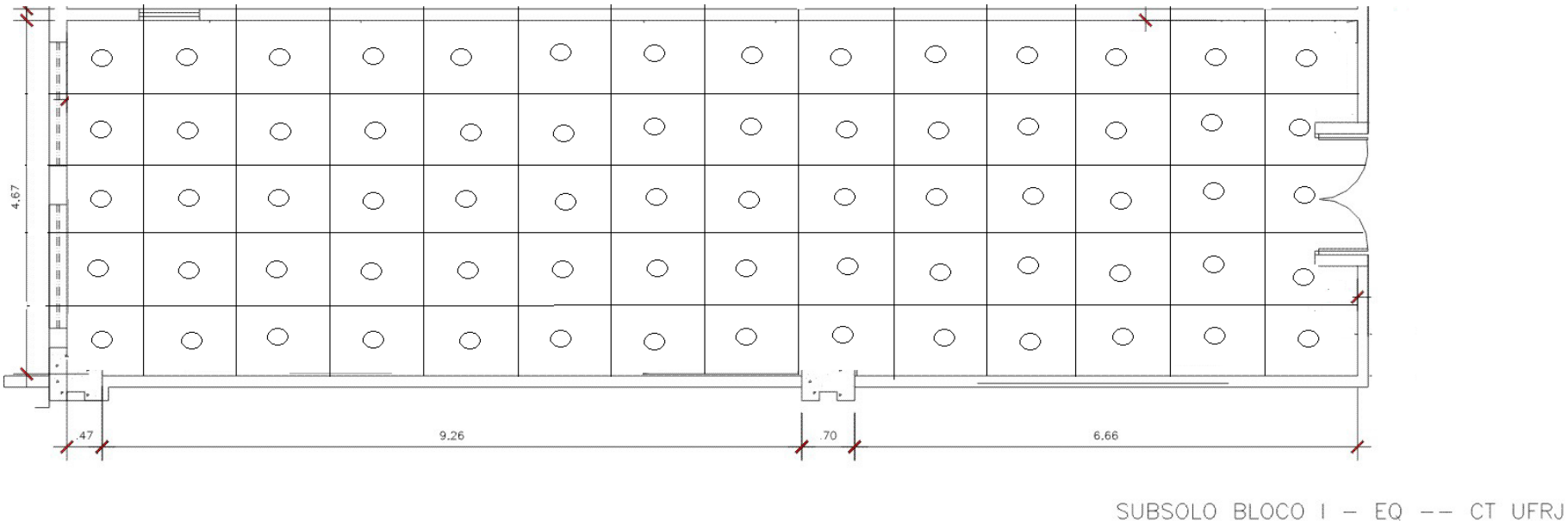

Figura 6.3 – Planta do Laboratório Multidisciplinar com os difusores de CO_2

b) Projeto de sistema fixo usando agente limpo

Há duas opções de agentes limpos de ampla disponibilidade no mercado atualmente: o FM-200 e o NOVEC 1230. Os sistemas fixos para operar ambos os gases apresentam cálculos semelhantes. Em nível de ilustração escolheu-se projetar um sistema fixo baseado no agente NOVEC 1230, por tratar-se de um agente limpo com maior conformidade com as exigências ambientais atuais.

A partir das informações relativas aos agentes químicos presentes no local a ser protegido, foram listadas as concentrações de extinção do NOVEC 1230 para cada um dos compostos. Essas concentrações estão apresentadas na **Tabela 6.3**.

Tabela 6.3 – Concentração de NOVEC 1230 (NFPA 2001, 2012)

COMBUSTÍVEL	**NOVEC 1230**	
	Concentração de Extinção (%v/v)	**Concentração de Projeto com Segurança de 30% (%v/v)**
Acetato de etila	6,7	8,7
Acetato de sódio	Não Há	Não Há
Carbonato de cálcio	Não Há	Não Há
Diclorometano	Não Há	Não Há
Etanol	8.3	10.8
Fenolftaleína	Não Há	Não Há
Propileno	Não Há	Não Há
Soda caustica	Não Há	Não Há

Alguns reagentes presentes no laboratório não constam da lista de produtos químicos descritos na norma NFPA 2001.

Conforme mencionado, o etanol foi considerado composto de referência para estabelecer a concentração mínima de NOVEC 1230 necessária no ambiente. Isto porque o etanol exige uma maior concentração de NOVEC 1230 do que os demais

compostos presentes. Essa concentração será aproximada para 11% para fins de cálculos.

Deste modo o cálculo da massa de agente limpo é realizado conforme (**Equação 5.10)** (NFPA 2001, 2012).

Equação 5.10

$$\boldsymbol{Q = \frac{V}{S} * (\frac{C}{100 - C})}$$

O cálculo do volume específico é aproximado pela **Equação (5.11)**

Equação 5.11

$$\mathbf{S = 0,1269 + 0.0005t}$$

$$\mathbf{S = 0,1394\ \frac{m^3}{kg}}$$

Assim, calculando-se a massa do agente limpo:

$$\boldsymbol{Q = \frac{158\ m^3}{0,1394\ \frac{m^3}{kg}} * (\frac{11}{100 - 11})}$$

$$\boldsymbol{Q = 140\ \mathrm{kg}}$$

Após o cálculo da massa de agente limpo necessária para inundar o laboratório, calcula-se o volume de NOVEC 1230 a partir (**Tabela 5.10)**.

A densidade de preenchimento máximo (Q/V) para um concentração de 11% de NOVEC 1230 é de 1,68 kg/m^3. Essa quantidade de gás deve ser suficiente para inundar até 95% do ambiente protegido e é projetada para inundar o ambiente protegido em no máximo 10 segundos.

O cálculo do volume de NOVEC 1230 segue a (**Equação 5.12)** (NFPA 2001, 2012).

Equação 5.12

$$\boldsymbol{V = Q \cdot \frac{V}{Q}}$$

$$\boldsymbol{V = 140\ \mathrm{kg} \cdot \frac{m^3}{1,68\ kg}}$$

$$\boldsymbol{V = 83\ m^3}$$

A vazão mássica de NOVEC 1230 é estimada pela (**Equação 5.13)** (NFPA 2001, 2012).

Equação 5.13

$$\boldsymbol{W_m = Q \cdot \frac{1}{t}}$$

$$\boldsymbol{W_m = 14,0\ \frac{\mathrm{kg}}{s}}$$

Finalmente, a vazão volumétrica de NOVEC 1230 é calculada de acordo com a **Equação 5.14** (NFPA 2001, 2012).

Equação 5.14

$$\boldsymbol{W_v = W_m \cdot \frac{V}{Q}}$$

$$\boldsymbol{W_v = 14,0\ \frac{\mathrm{kg}}{s} \cdot \frac{1}{1,68} \frac{m^3}{kg}}$$

$$\boldsymbol{W_v = 8,3\ \frac{m^3}{s}}$$

Como o laboratório está no nível do mar não há fator de correção atmosférico.

A partir da massa de 140 kg de agente limpo necessária para inundar o ambiente protegido, calcula-se a quantidade necessária de cilindros contendo NOVEC 1230. Foram usadas as opções de mercado oferecidas pelo fabricante SAPPHIRE (**Tabela 6.4)**. Adotando-se um cilindro de capacidade nominal de 177 kg torna-se necessária a instalação de somente um cilindro.

Tabela 6.4 – Quantidade de cilindros para Laboratório Multidisciplinar (SAPPHIRE, 2009)

MASSA NOMINAL DO TANQUE (kg)	FAIXA QUANTIDADE DE AGENTE (kg)
177	73 até 176

Tubulação e Difusores

Após o cálculo da vazão mássica e volumétrica do NOVEC 1230, avaliam-se a disposição das tubulações e difusores.

Foi escolhido o modelo de difusor do tipo 360°, com um raio de operação de 8,11 m ou um quadrado de 11,4 m, conforme (**Figura 5.17)**.

O ambiente protegido possui 17 m de comprimento e 4,67 de largura, ou seja uma área de 79 m^2. A **Figura 6.4** ilustra a planta simplificada do local. Para fins de cálculo, estabelece-se que o comprimento é representado pelo eixo X, enquanto a largura pelo eixo Y. As coordenadas iniciam no canto esquerdo inferior da Planta do Laboratório multidisciplinar.

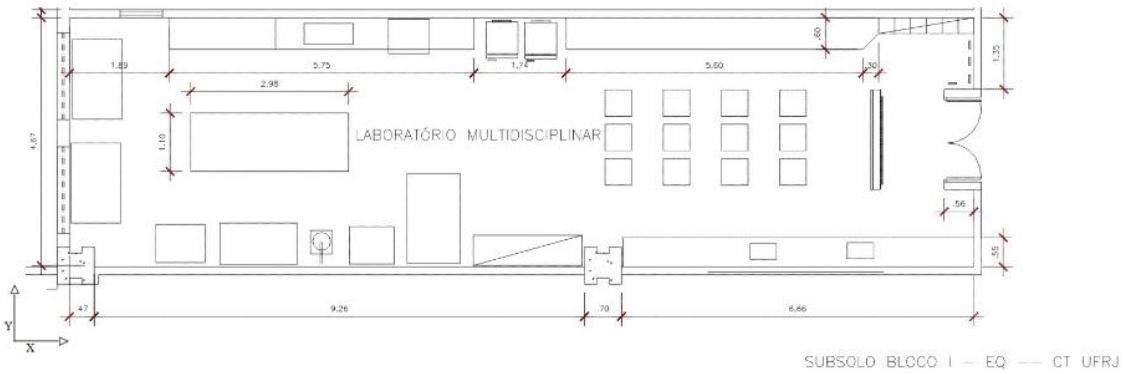

Figura 6.4 – Planta do Laboratório multidisciplinar (Fonte: Escola de Química)

O difusor tem sua localização definida de acordo com os eixos (X, Y). Sendo instalado no teto do ambiente (**Figura 5.13**), sua altura aproximada é de 2 m.

A partir da planta do ambiente chega-se à conclusão que são necessários 2 difusores. A localização do Difusor 1 é (4,25m, 2,335m), onde o primeiro número é o valor de X e o segundo o valor de Y. Enquanto o Difusor 2 localiza-se em (12,75, 2,335). Com isso atendem a distância mínima de 3,3 m entre um e outro. O posicionamento está ilustrado na **Figura 6.5**.

Difusores possuem sempre limites de vazão. Esses limites dependem do modelo e fabricante escolhido. Normalmente esse limite é bastante elevado, sendo em torno de 216 kg (MINIMAX, 2014). No caso ilustrado a massa necessária o para inundar o ambiente é de 140 kg para dois difusores inundarem o ambiente. Com isso, cada difusor possui uma vazão de 70 kg/s.

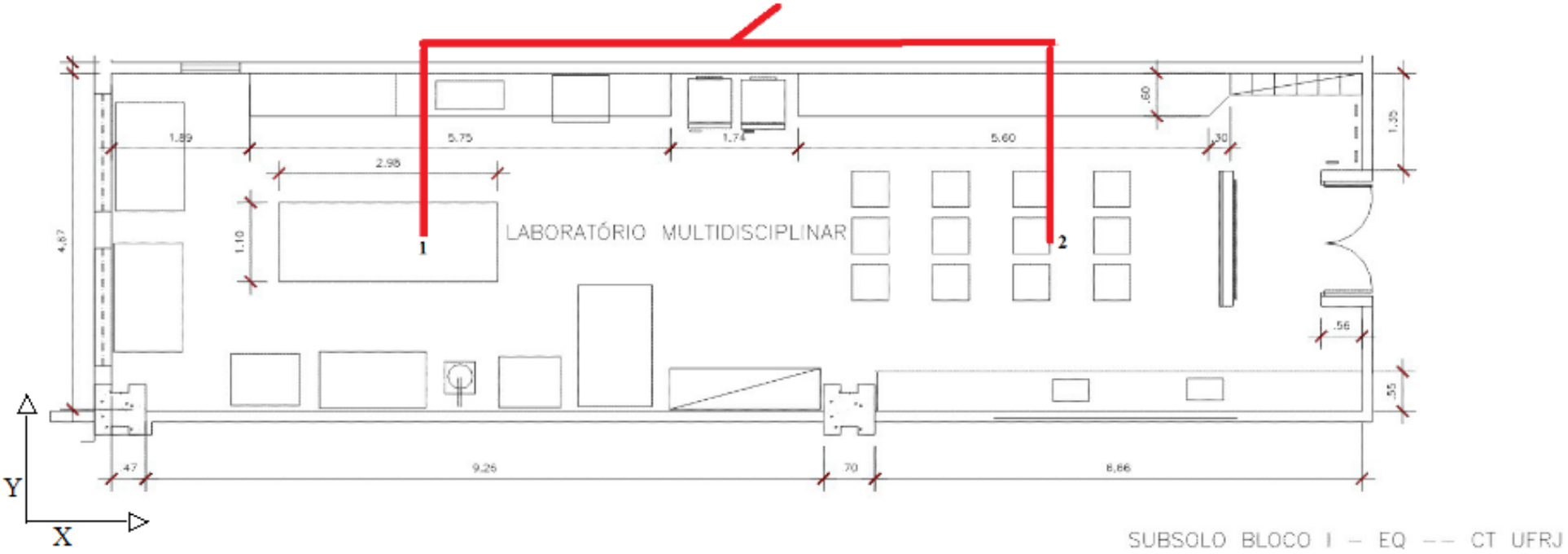

Figura 6.5 – Planta do Laboratório multidisciplinar (Adaptado, Fonte: Escola de Química)

A **Figura 6.6** ilustra a vazão em cada trecho de tubulação.

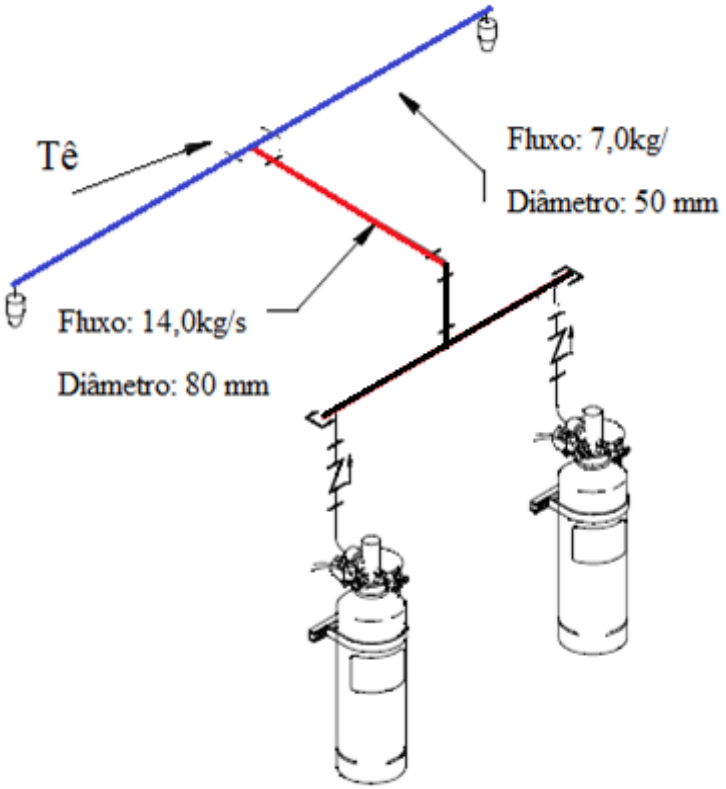

Figura 6.6 – Tubulação do sistema fixo de combate a incêndio (CHEMETRON MANUAL FM-200, 2004)

A planta simplificada do Laboratório Multidisciplinar com os 2 difusores para NOVEC 1230 posicionados é apresentada na **Figura 6.5**. Diferente do sistema a partir de CO_2, o sistema por NOVEC 1230 indicou uma baixa quantidade de agente necessária para proteger o ambiente. Indicou ainda uma baixa quantidade de difusores devido à alta eficiência. Além da alta eficiência do gás, esse baixo número de difusores é devido ao raio de atuação dos difusores de NOVEC 1230. Os difusores utilizados para NOVEC 1230 não sofrem alteração de desempenho na variação da altura de instalação dentro dos limites de alturas previamente determinados e também ao extinguir o fogo de materiais de superfície liquida ou revestida.

c) Avaliação dos gases de extinção a partir do estudo de caso

Após a elaboração do estudo de caso, constataram-se as diferenças de projetos de sistema fixo de combate a incêndio a partir de CO_2 e NOVEC 1230.

A **Tabela 6.5** resume as principais diferença entre os dois modelos.

Tabela 6.5 – Comparação entre os sistema CO_2 e NOVEC 1230

PARÂMETROS	CO_2	NOVEC 1230
Concentração do Agente de Extinção	43%	11%
Massa de Agente	619,203 kg	140 kg
Número de Vasos de Pressão	14 (Cilindro de capacidade mássica de 45,4 kg)	1 (Cilindro de capacidade mássica de 177 kg)
Número de difusores	75	2
Raio de atuação por difusor (Área protegida - 79 m^2/Número de difusores)	1,054 m^2	39,5 m^2

Essa grande diferença na quantidade mássica, número de difusores e quantidade de vasos de pressão reflete diretamente no tempo de instalação e espaço ocupado do sistema fixo de combate a incêndio.

O agente extintor NOVEC 1230 é recente e possui aperfeiçoamento tecnológicos do qual o tornam um produto de melhor desempenho do que o CO_2 e também de maior valor agregado. No passado o CO_2 era a única opção até ser quase extinto pelo gases Halon. Porém, devido às questões ambientais, voltou-se a utilizar o CO_2 até que foram desenvolvidos gases como FM-200 e NOVEC 1230, que seguem os requisitos ambientais e possuem maior eficiência de extinção.

A avaliação de qual agente de extinção a ser utilizar deve prever essas condições impostas pelos dois modelos, como espaço do ambiente protegido, valor a ser investido e risco humano, uma vez que o sistema a CO_2 pode levar a asfixia dos presentes no ambiente.

Capítulo 7 – Conclusão

A busca por agentes extintores cada vez mais eficientes e seguros é permanente. Três parâmetros básicos devem ser avaliados: a toxicidade do gás estudado e dos compostos gerados durante o uso; parâmetros ambientais, onde se analisa o potencial de impacto ambiental do gás referente à camada de ozônio e aquecimento global; e a eficiência de extinção.

No estudo de caso aqui desenvolvido o projeto de sistema fixo de combate a incêndio baseou-se em normas ABNT e NFPA. Desta agência foram usadas as normas NFPA 12 e NFPA 2001. Foi observada carência normativa e de conteúdo nas normas ABNT.

A partir do estudo de caso e da comparação dos resultados para CO_2 e NOVEC 1230, foi possível concluir que o CO_2, além de mais sujeito a acidentes por asfixia, necessita de uma quantidade mássica muito superior ao NOVEC 1230. Por consequência o CO_2 necessita também de um maior número de difusores instalados em um mesmo ambiente. O sistema fixo baseado em dióxido de carbono também exige uma elevada quantidade de cilindros de armazenamento, conforme resumido na **Tabela 8.1**

Tabela 7.1 – Comparação de agente de extinção CO_2 e NOVEC 1230 a partir do estudo de caso

AGENTE DE EXTINÇÃO	CO_2	NOVEC 1230
Massa (kg)	1238,406	140 kg
Número de difusores	56	2

Deste modo, o estudo de caso demonstrou a inviabilidade técnica e econômica de instalar um sistema baseado em CO_2 no ambiente avaliado. O estudo revelou ainda que sistemas baseados em NOVEC 1230 podem ser uma opção interessante. Não foi avaliado porém o custo real deste sistema.

Referências Bibliográficas

ABNT 12232 de 2005 – Execução de sistemas fixos automáticos de proteção contra incêndio com gás carbônico (CO_2) por inundação total para transformadores e reatores de potência contendo óleo isolante;

ABNT 12639 - Cilindros de aço-carbono sem costura, para armazenamento de gases à alta pressão destinados a instalações contra incêndio;

Addendum to Method 320 – **Protocol for the Use of Extractive Fourier Transform Infrared (FTIR) Spectrometry for the Analyses of Gaseous Emissions from Stationary Sources** (40 CFR Part 63). http://www.epa.gov/ttnemc01/ftir/FTIRProtocol.pdf , Consultado 07/04/2014.

Alpha Series Systems with 3M™ NOVEC™ 1230 Fire Protection Fluid. Chemetron Fire Systems. Ano de publicação 2005;

Aspectos Físico-Químicos y Toxicológicos de las: **INTOXICACIONES EN FUEGOS E INCENDIOS**. http://webs.ono.com/fvcgga/fuegos/index.htm#humo, consultado 15/05/2014;

CATAMA. 1953. **Aviation Toxicology--an Introduction to the Subject and a Handbook of Data. Committee on Aviation Toxicology, Aero Medical Association**. The Blakiston Co.: New York, NY. pp. 6-9, 31-39, 52-55, 74-79, 110-115;

CCOHS. 1990. **Carbon Dioxide Chemical Infogram**. Canadian Center for Occupational Health and Safety, Hamilton, Ontario. October;

CHEMETRON MANUAL FM 200. Chemetron Fire System - FM-200 Beta & Gamma series engineered systems design, installation, operation & maintenance manual. Ano de publicação 1995. Revisado 2004.

Circular de Informação: **Extintores de incêndio portáteis para uso em pequenas aeronaves. ANAC** - Agência nacional de aviação civil – Brasil. Ano de publicação 2008;

CO_2 Extinguishing systems. Elaborado por **Tyco – Fire & Safety**. http://www.tycoeurope.com/fileadmin/user_upload/Poland/PDF/Exting/co2_en.pdf, consultado em 22/03/2014;

Consolazio, W.V.; Fisher, M.B.; Pace, N.; Pecora, L.J.; Pitts, G.C.; Behnke, A.R. 1947. **Effects on man of high concentrations of carbon dioxide in relation to various oxygen pressures during exposures as long as 72 hours**. Am. J. Physiol. 151:479-503;

Dalgaard, J.B.; Dencker, G.; Fallentin, B.; Hansen, P.; Kaempe, B.; Steensberger, J.; Wilhardt, P. 1972. **Fatal poisoning and other health hazards connected with industrial fishing.** Br. J. Ind. Med. 29:307-316;

Daniel, J.S, Velders, G.J.M. **Halocarbon Scenarios, Ozone Depletion Potentials, and Global Warming Potentials. Scientific Assessment of Ozone Depletion**. Ano de publicação 2007;

Danny, L.D. Harvey. **A guide to global warming potentials (GWPs).** Department of Geography - University of Toronto. Ano de publicação 1993;

Dripps, R.D.; Comroe, J.H.. 1947. **The respiratory and circulatory response of normal man to inhalation of 7.6 and 10.4 percent carbon dioxide with a comparison of the maximal ventilation produced by severe muscular exercise, inhalation of carbon dioxide and maximal voluntary hyperventilation**. Am. J. Physiol. 149:43-51;

EPA: Carbon Dioxide as a Fire Suppressant: Examining the Risks. U.S. Environmental Protection Agency Office of Air and Radiation Stratospheric Protection Division. Ano de publicação 2000;

Fallon, G.S.; Chelliah, H.K. **Chemical effects of CF3H in extinguishing counterflow CO/Air/H_2 diffusion flames**. Department of mechanical, Aerospace, and nuclear engineering. University of Virginia. Ano de publicação 1996, pp 1395-1403;

FM-200, ECS Series Engineered Fire Suppresion Systems. Design, installation, operation and maintenance manual. Kidde Fire System. Desenvolvido em 2004;

Gellhorn, E. 1936. **The effect of O2-lack, variations in the carbon dioxide-content of the inspired air, and hyperpnoea on visual intensity discrimination**. Am. J. Physiol. 115:679-684;

Gellhorn, E.; Spiesman, I. 1934. **Influence of variations of O2 and carbon dioxide tension in inspired air upon hearing**. Proc. Soc. Exp. Biol. Med. 32:46-47;

Gellhorn, E.; Spiesman, I. 1935. **Influence of hyperpnea and of variations of O2- and CO_2-tension in the inspired air upon hearing**. Am. J. Physiol. 112:519-528;

Gibbs, F.A.; Gibbs E.L.; Lennox, W.G.; Nims, L.F. 1943. **The value of carbon dioxide in counteracting the effects of low oxygen**. J. Aviat. Med. 14:250-261;

Gohar, L.K., G. Myhre, and K.P. Shine, **Updated radiative forcing estimates of four halocarbons**. J. Geophys. Res., 109, D01107, doi: 10.1029/2003JD004320, 2004;

Grigg, J.; Chattaway A. **The evaluation of bromotrifluoropropene as a halon 1211 replacement**. Kidde Research, Mathisen Way, Poyle Road, Colnbrook, Slough SL3 0HB, UK;

Industrial carbon dioxide extinguishing systems. Design, installation, and maintenance manual. Elaborado por Fike. Ano de publicação 2008. http://www.orrprotection.com/docs/fike/Industrial%20Carbon%20Dioxide%20Extinguishing%20Systems%20Manual%20C06-018.pdf, consultado 24/03/2014;

Instrução Técnica Nº.03/2011. Terminologia de segurança contra incêndio. Polícia militar do estado de São Paulo - Corpo de Bombeiros;

Instrução Técnica Nº26/2004. Sistema fixo de gases para combate a incêndio. Polícia militar do estado de São Paulo - Corpo de Bombeiros;

IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change), Climate Change 2001: The Scientific Basis, editado por J. T. Houghton, et al., Cambridge University Press, Cambridge, U.K., 2001;

Ishiyama, M..Nohmi Bosai, Ltd., **HTOC representative from Japan, personal communication**. Ano de Publicação 1998;

Jin, Xiang; Zhou, Xiaomeng; Liao, Guangxuan; Wang, Jia. **Synthesis and fire-extinguishing properties of monobromotrifluoropropene**. The 9th Asia-Oceania Symposium on Fire Science and Technology. Procedia Engineering 62 (2013) 884 – 890;

Katta, Viswanath R.; Takahashi, Fumiaki;Linteris, Gregory T. **Fire-suppression characteristics of CF_3H in a cup burner**. National Center for Space Exploration Research on Fluids and Combustion, NASA. Ano de publicação 2005;

Kamaljit Sihra, Michael D . Hurley, Keith P. Shine, and Timothy J. Wallington. **Updated radiative forcing estimates of 65 halocarbons and nonmethane hydrocarbons**. Journal of geophysical research, vol. 106, no. d17, pages 20,493-20,505,september 16, 2001;

Kety, S.S. and Schmidt, C.G. 1948. **The effects of altered arterial tensions of carbon dioxide and oxygen on cerebral blood flow and cerebral oxygen consumption of normal young men**. J. Clin. Invest. 27:484-492;

Kidde Engineered Fire Suppression System Designed for use with 3M™ NOVEC™ 1230 Fire Protection Fluid. Design, Installation, Operation and Maintenance Manual. Ano de publicação 2005;

KIDDE MANUAL CO_2 - Engineered Carbon Dioxide (CO_2) Fire Suppression Systems Design, Installation, Operation and Maintenance Manual. Elaborado por Kidde Fire System. Ano de publicação 2007;

Lambertsen, C.J. 1971. "**Therapeutic Gases—Oxygen, Carbon Dioxide, and Helium**." Drill's Pharmacology in Medicine. Chapter 55, Ed. By J.R. DiPalma. McGraw-Hill Book Co.: New York, NY;

MAM – MUSEU DE ARTE MODERNA. http://mamrio.org.br/exposicoes/acervo-mam-obras-restauradas/, consultado no dia 24/03/2014;

Material Safety Data Sheet FM-200. Versão 2.1, revisado 07/11/2011. www2.dupont.com, consultado15/05/2014;

MINIMAX – FIRE PRODUCTS. Technical Data - Clean agent fire extinguishing system mx 1230 discharge nozzles. http://www.minimaxfp.com/Consultado 17/05/2014;

MSDS FM-200 (Fire Extinguishing Agent). KiddeFire Systems. Ano de publicação 2009. Ano de revisão 2012;

MSDS - MATERIAL SAFETY DATA SHEET 3M NOVEC 1230 Fire Protection Fluid. Ano de publicação 2011. www.3m.com/NOVEC1230fluid, consultado 05/04/2014;

NAFED - "Why Carbon Dioxide (CO_2) in Fire Suppression Systems?" http://www.nafed.org/whyco2. Consultado 07/05/2014

NFPA 12 - Standard on carbon dioxide extinguinshing systems. Edição de 2011;

NFPA 12A - Standard on Halon 1301 Fire Extinguishing Systems. Edição de 1997;

NFPA 2001 – Standard On Clean Agent Fire Extinguishing Systems. Edição de 2012;

Orkin,Vladimir L.; Louis, Florent;Huie, Robert E.; Kurylo,Michael J. **Photochemistry of Bromine-Containing Fluorinated Alkenes: Reactivity toward OH and UV Spectra. Physical and Chemical Properties Division, National Institute of Standards and Technology**. Gaithersburg, Maryland. J. Phys. Chem. A, 2002, 106 (43), pp 10195–10199;

OSHA. 1989. Carbon Dioxide, Industrial Exposure and Control Technologies for OSHA Regulated Hazardous Substances, Volume I of II, Substance A - I. Occupational Safety and Health Administration. Washington, DC: U.S. Department of Labor, March;

Ozone-Depleting Substances: Alternatives. Pollution prevention and abatement handbook. Ano de publicação 1998;

Patterson, J.L.; Heyman, H.; Battery, L.L.; Ferguson, R.W. 1955. **Threshold of response of the cerebral vessels of man to increases in blood carbon dioxide**. J. Clin. Invest. 34:1857-1864;

Pinnock, S., Hurley, M.D., Shine, K.P., Wallington, T.J., Smyth, T.J., J. Geophys. Res., 100, 23227, 1995;

Plummer, G., "**Laboratory measurements and calculations related to the photodisassociation of L-15566 in the Earth's lower atmosphere**," 3M Environmental Laboratory Report Number E01-0549, 2001;

Product information: 3M NOVEC 1230 fire protection fluid. Ano de elaboração 2009. www.3m.com/NOVEC1230fluid, consultado 05/04/2014;

Protocolo de Montreal sobre as Substâncias que Empobrecem a Camada de Ozônio. Ano de publicação 1989. Ano de revisão 2000;

Rego, Daniel Antônio da Silva. **Sistemas fixos de extinção de incêndio por agentes gasosos**. Dissertação de mestrado em engenharia civil. Faculdade deengenharia da Universidade do Porto - Departamento de engenharia civil. Ano de publicação 2010;

Regulamento (CE) n.º 1005/2009 do Parlamento Europeu e do Conselho – Substâncias que Empobrecem a Camada de Ozono, 16 de Setembro de 2009;

Resumo técnico: **Propriedades Ambientais do Fluido NOVEC 1230**. Fluido para combate a incêndio. www.3m.com/NOVEC1230fluid, consultado 05/04/2014;

Sahin, Cihan; Aysal, BilgeKaan; Karagoz, Huseyin; Eren, Fikret; Ulkur, Ersin. **A reason to be careful about frostbite injury**. Elsevier – Journal Burns, Edição 39, página 39 – e 40. Ano de publicação2013;

Sapphirre Guideline – Total Flooding Systems with 3M NOVEC1230 Fire Protection Fluid. Ano de publicação 2009. http://www.sfp.co.za/Consultado 10/05/2014;

Schulte, J.H. 1964. **Sealed environments in relation to health and disease**. Arch. Environ. Health 8:438-452;

Sechzer, P.H.; Egbert, L.D.; Linde, H.W.; Cooper, D.Y.; Dripps, R.D.; Price, H.L. 1960. **Effect of CO_2 inhalation on arterial pressure, ECG and plasma catecholamines and 17-OH corticosteroids in normal man**. J. Appl. Physiol. 15(3):454-458;

Seito, Alexandre Itiu; Gill, Alfonso Antonio; Pannoni, Fabio Domingos; Bento da Silva, Rosaria Ono Silvio; Del Carlo, Ualfrido; Pignatta, Valdir Silva. **A segurança contra incêndio no Brasil**. Ano de publicação 2008;

Senecal, Joseph A. **Flame extinguishing in the cup-burner by inert gases**. Kidde-Fenwal, Inc., Ashland, MA 01721, USA. Ano de Publicação 2005;

Sistemas Fixos de Proteção Contra Incêndio - Depois do Halon. Ano de publica 2004. Documento elaborado por **Allianz DNE Consultores de Risco**. http://empresas.allianz.pt/riscos/prevencao, consultado no dia 24/03/2014;

Seraphim, Diego Maciel. **A nocividade dos gases em ocorrências de incêndio**. Trabalho de conclusão de curso, Universidade do Vale do Itajaí - Centro Tecnológico da Terra e do Mar. São José, Ano de publicação 2008;

Significant New Alternatives Policy (SNAP) Program. http://www.epa.gov/Ozone/snap/, Consultado 08/04/2014;

SMH. http://www.smh.com.br/?pg=sistema-supressao-agente-limpo, Consultado 09/02/2014.

Taniguchi, N., Wallington, T.J., Hurley, M.D., Guschin, A.G., Molina, L.T., Molina, M.J., Journal of Physical Chemistry A, 107(15), 2674-2679, 2003

Technical Brief: Thermal Decomposition Considerations with 3M NOVEC 1230 Fire Protection Fluid. Ano de elaboração 2004. www.3m.com/NOVEC1230fluid, consultado 05/04/2014;

Technical information. Dupont FM-200 – Fire extinguishing agent. Ano de elaboração 2009. http://www2.dupont.com/FE/en_US/assets/downloads/pdf_fm/k23455_FM-200_techinfo.pdf, consultado 08/04/2014;

White, C.S.; Humm, J.H.; Armstrong, E.D.; Lundgren, N.P.V. 1952. **Human tolerance to acute exposure to carbon dioxide**. Report No. 1: Six percent carbon dioxide in air and in oxygen. Aviation Med. pp. 439-455;

Wong, KL. 1992. Carbon Dioxide**. Internal Report, Johnson Space Center Toxicology Group**. National Aeronautics and Space Administration, Houston, TX;

Zhou, Xiaomeng; Chen, Weiwang; Chao, Mingyong; Liao, Guangxuan. **The study of thermal decomposition of 2-bromo-3, 3, 3-trifluoropropene and its fire-extinguishing mechanism**. Journal of Fluorine Chemistry153 (2013) 101–106;

Zou, Yong; Vahdat, Nader; Collins, Michelle. **Fire extinguishing ability of 1-bromo-1-propane and 1-methoxynonaflurobutane evaluated by cup burner method**. Chemical engineering department, School of Engineering, Tuskegee University. Ano de publicação 2001;