

**INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE SANTA
CATARINA – CÂMPUS FLORIANÓPOLIS
DEPARTAMENTO ACADÊMICO DE CONSTRUÇÃO CIVIL
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL**

PEDRO SOARES DE PAULA

**ANÁLISE DOS EFEITOS DE UMA EXPLOSÃO DE NUVEM DE VAPOR
DE GÁS LIQUEFEITO DE PETRÓLEO (GLP) EM EDIFICAÇÃO COM
O AUXÍLIO DE EQUIPAMENTO *LASER SCANNER 3D***

FLORIANÓPOLIS, 2022.

**INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE SANTA
CATARINA – CÂMPUS FLORIANÓPOLIS
DEPARTAMENTO ACADÊMICO DE CONSTRUÇÃO CIVIL
CURSO SUPERIOR DE ENGENHARIA CIVIL**

PEDRO SOARES DE PAULA

**ANÁLISE DOS EFEITOS DE UMA EXPLOSÃO DE NUVEM DE VAPOR
DE GÁS LIQUEFEITO DE PETRÓLEO (GLP) EM EDIFICAÇÃO COM
O AUXÍLIO DE EQUIPAMENTO *LASER SCANNER 3D***

Trabalho de Conclusão de Curso
submetido ao Instituto Federal de
Educação, Ciência e Tecnologia de Santa
Catarina como parte dos requisitos para
obtenção do título de Bacharel em
Engenharia Civil.

Orientador:
Prof. Lucas Bastianello Scremin, Me.

FLORIANÓPOLIS, 2022

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor.

DE PAULA, Pedro Soares

ANÁLISE DOS EFEITOS DE UMA EXPLOÇÃO DE NUVEM DE VAPOR DE GÁS LIQUEFEITO DE PETRÓLEO (GLP) EM EDIFICAÇÃO COM O AUXÍLIO DE EQUIPAMENTO LASER SCANNER 3D / Pedro Soares DE PAULA; orientação de Lucas Bastianello SCREMIN.

- Florianópolis, SC, 2022.

81 p.

Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) - Instituto Federal de Santa Catarina, Câmpus Florianópolis. Bacharelado em Engenharia Civil. Departamento Acadêmico de Construção Civil.

Inclui Referências.

1. Explosão. 2. Nuvem de vapor de GLP. 3. Laser Scanner 3D. 4. Investigação de Incêndios e Explosões. I. SCREMIN, Lucas Bastianello. II. Instituto Federal de Santa Catarina. III. ANÁLISE DOS EFEITOS DE UMA EXPLOÇÃO DE NUVEM DE VAPOR DE GÁS LIQUEFEITO DE PETRÓLEO (GLP) EM EDIFICAÇÃO COM O AUXÍLIO DE EQUIPAMENTO LASER


ANÁLISE DOS EFEITOS DE UMA EXPLOSÃO DE NUVEM DE VAPOR DE GÁS LIQUEFEITO DE PETRÓLEO (GLP) EM EDIFICAÇÃO COM O AUXÍLIO DE EQUIPAMENTO LASER SCANNER 3D

PEDRO SOARES DE PAULA


Este trabalho foi julgado adequado para obtenção do título de Engenheiro Civil e aprovado na sua forma final pela banca examinadora do Curso de Engenharia Civil do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Santa Catarina.

Florianópolis, 19 de dezembro de 2022.

Banca Examinadora:

Documento assinado digitalmente
 LUCAS BASTIANELLO SCREMIN
Data: 30/01/2023 16:51:02-0300
Verifique em <https://verificador.iti.br>

**Prof. Lucas Bastianello Scremin, Me.
INSTITUTO FEDERAL DE SANTA CATARINA**

Documento assinado digitalmente
 ANA PAULA PUPO CORREIA
Data: 30/01/2023 22:47:47-0300
Verifique em <https://verificador.iti.br>

**Profa. Ana Paula Pupo Correia, Dra.
INSTITUTO FEDERAL DE SANTA CATARINA**

SAMUEL JOAO DA
SILVEIRA:02490213903

Assinado digitalmente por SAMUEL JOAO DA
SILVEIRA:02490213903
ND: CN=SAMUEL JOAO DA
SILVEIRA:02490213903, OU=IFSC - Instituto
Federal de Santa Catarina, O=ICPEdu, C=BR
Razão: Eu sou o autor deste documento
Localização:
Data: 2023.01.30 20:24:06-03'00'
Foxit PDF Reader Versão: 12.1.0

**Prof. Samuel João da Silveira, Dr.
INSTITUTO FEDERAL DE SANTA CATARINA**

Dedico esta conquista à minha família:
minha esposa Rafaella e meus filhos -
Augusto, Manuela e Eduardo - amo vocês!

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus por todo o amparo em mais uma missão.

À minha esposa Rafaella que só me faz crescer, me dá o suporte necessário e me permite alcançar diversos objetivos na vida. O maior deles - e do qual mais me orgulho - é o de formar uma família unida, com saúde e muito amor.

Aos meus pais, irmãos e amigos que fazem parte da minha vida, me apoiam sempre que preciso e me proporcionam muitos momentos de alegria.

Ao meu orientador, Professor Lucas, por aceitar me auxiliar neste desafio necessário para a conclusão do curso bem como ao Professor Adolfo Lino pelo auxílio no processamento de dados do escaneamento a laser.

RESUMO

Falhas na manutenção ou instalação de sistemas de gás combustível podem ocasionar vazamentos de GLP que, em concentrações ideais, podem vir a se tornar uma mistura explosiva e gerar consequências severas para as edificações e seus usuários. Dada a escassez de estudos sobre explosões de nuvem de vapor de GLP em edificações, apesar da frequência de sinistros, torna-se relevante estudar os efeitos da referida explosão. Assim, este trabalho teve por objetivo realizar um estudo de caso referente a explosão de nuvem de vapor utilizando o *laser scanner 3D* para a análise dos efeitos da mesma, bem como trazer um levantamento de medidas preventivas constantes nas normativas pertinentes ao tema. Observou-se como resultado taxas significativas de sobrepressão gerada pela explosão na edificação analisada, bem como diversas ações possíveis de serem executadas em situações similares a fim de reduzir as possibilidades de um vazamento de GLP e mitigar os efeitos de uma explosão.

Palavras-chave: Explosão. Nuvem de vapor de GLP. Laser Scanner 3D. Investigação de Incêndios e Explosões.

ABSTRACT

Failures in the maintenance or installation of fuel gas systems can cause LPG leaks which, in ideal concentrations, can become an explosive mixture and generate severe consequences for buildings and their users. Given the scarcity of studies on LPG vapor cloud explosions in buildings, despite the frequency of accidents, it is relevant to study the effects of said explosion. Thus, this work aimed to carry out a case study regarding the explosion of a vapor cloud using the 3D laser scanner for the analysis of its effects, as well as to bring a survey of preventive measures contained in the regulations relevant to the subject. As a result, significant rates of overpressure generated by the explosion in the analyzed building were observed, as well as several possible actions to be performed in similar situations in order to reduce the possibilities of an LPG leak and mitigate the effects of an explosion.

Keywords: Explosion. LPG vapor cloud. Laser Scanner 3D. Fire and Explosion Investigation

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Composição do GLP	21
Figura 2 - Limites de inflamabilidade	35
Figura 3 - Caracterização dos riscos de incêndio envolvendo vazamento de gás ...	36
Figura 4 - Propagação idealizada de frente de pressão e chamas	38
Figura 5 - Fases da onda de pressão para um observador distante do centro da explosão	39
Figura 6 - Foto do sinistro em San Juan Ixhuatepec	40
Figura 7 - Foto do sinistro em São Cristóvão - Rio de Janeiro	41
Figura 8 - Foto do sinistro em Farroupilha - RS	42
Figura 9 - Foto do sinistro em Jurerê, Florianópolis - SC	42
Figura 10 - Estatísticas das ocorrências envolvendo vazamento de GLP	43
Figura 11 - Mapeamento das ocorrências envolvendo vazamento de GLP em SC	43
Figura 12 - Transformação de coordenadas polares em coordenadas X, Y e Z	44
Figura 13 - Resolução horizontal e vertical	45
Figura 14 - Laser Scanner Faro Focus 3D X330	46
Figura 15 - Volumetria do hotel estudo de caso	48
Figura 16 - Análise dinâmica da explosão	50
Figura 17 - Vista de parte da fachada frontal	51
Figura 18 - Vista de parte da fachada frontal	51
Figura 19 - Teto da lavanderia visto de costas para janela frontal	52
Figura 20 - Mobiliário da lavanderia	53
Figura 21 - Distância deslocamento porta	53
Figura 22 - Vista do corredor para a parede colapsada	54
Figura 23 - Foto da parede colapsada	55
Figura 24 - Porta de um dos lavabos do corredor	56
Figura 25 - Distância da porta da zona de origem até a parede colapsada e os lavabos	56
Figura 26 - Porta do elevador subsolo	57
Figura 27 - Distância da porta da zona de origem até a porta do elevador	58
Figura 28 - Porta da Zona de Origem	58
Figura 29 - Registro de corte do GLP do gerador de água quente	59
Figura 30 - Porta corta-fogo que antecede a zona de origem	60

Figura 31 - Porta corta-fogo que dá acesso à escada da entrada	61
Figura 32 - Quebra de vidros no subsolo após a porta corta-fogo	61
Figura 33 - Porta de vidro quebrada	62
Figura 34 - Escada de acesso restrito ao subsolo	63
Figura 35 - Porta corta-fogo de acesso à garagem	63
Figura 36 - Gerador de água quente	64
Figura 37 - Ambiente do gerador de água quente com janela superior	65
Figura 38 - Acumulador de água quente visto da laje da garagem externa	65
Figura 39 - Vista do guarda corpo colapsado	66
Figura 40 - Central de GLP	67
Figura 41 - Tubulação de GLP pelo forro do subsolo	67
Figura 42 - Tubulação de GLP pelo piso do ambiente abaixo da cota do subsolo ...	68
Figura 43 - Aquecedor em funcionamento normal durante testes (com outra válvula)	68
Figura 44 - Recorte do projeto preventivo da edificação	69
Figura 45 - Vent da Válvula	71
Figura 46 - Manual com a orientação da canalização do Vent	71
Figura 47 - Parafuso fraturado	72
Figura 48 - Manual com a orientação da canalização do Vent	72

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Normas Brasileiras (NBR/ABNT) referentes ao GLP	23
--	----

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Dados de propriedades físico-químicas para butano, propano e mistura butano/propano	22
Tabela 2 – Mistura explosiva de alguns gases e líquidos	35

Lista de abreviaturas e siglas

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
BLEVE	<i>Boiling Liquid Expanding Vapor Explosion</i>
CBMSC	Corpo de Bombeiros Militar de Santa Catarina
CBMESP	Corpo de Bombeiros Militar do Estado de São Paulo
CNTP	Condições normais de temperatura e pressão
DSCI	Diretoria de Segurança Contra Incêndio
GLP	Gás Liquefeito de Petróleo
IFSC	Instituto Federal de Santa Catarina
IGC	Instalação de Gás Combustível
IN	Instrução Normativa
LSI / LSE	Limite Superior de Inflamabilidade ou Explosividade
LII / LIE	Limite Inferior de Inflamabilidade ou Explosividade
NBR	Norma Brasileira
NFPA	<i>National Fire Protection Association</i>

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	16
1.1 Justificativa	18
1.2 Definição do Problema	18
1.3 Objetivo Geral	19
1.4 Objetivos Específicos	19
1.5 Estrutura do Trabalho	19
2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	19
2.1 GLP nas edificações	20
2.1.1 Composição do GLP	20
2.1.2 Normas Brasileiras específicas	22
2.1.3 Instruções Normativas do Corpo de Bombeiros Militar de Santa Catarina (CBMSC)	24
2.1.3.1 <i>Instalações de Gás Combustível - IN08/DSCI/CBMSC</i>	25
2.2 Revisão Normativa	26
2.2.1 Localização	26
2.2.2 Ventilação	29
2.2.3 Medidas de segurança	29
2.2.4 Instalação e Manutenção	31
2.3 Vazamento e explosão de GLP	33
2.3.1 Limites de inflamabilidade ou explosividade	34
2.3.2 Mecanismo e efeitos da explosão	36
2.3.3 Histórico de explosões de GLP	39
2.3.3.1 <i>Terminal de armazenamento e distribuição de GLP em San Juan Ixhuatepec - Cidade do México</i>	40
2.3.3.2 <i>Explosão em São Cristóvão - Rio de Janeiro</i>	41
2.3.3.3 <i>Explosão em apartamento em Farroupilha - RS</i>	41
2.3.3.4 <i>Explosão em apartamento em Florianópolis - SC</i>	42
2.3.3.5 <i>Estatística de ocorrências atendidas pelo Corpo de Bombeiros Militar de Santa Catarina (CBMSC) envolvendo vazamento de GLP - com ou sem explosão</i>	43
2.4 Uso do Laser Scanner 3D	44
3 MATERIAIS E MÉTODO	46
3.1 Materiais e equipamentos utilizados	46
3.2 Método	47
3.3 Análise do estudo de caso	47
4 APRESENTAÇÃO DOS RESULTADOS	48
4.1 Análise e discussão dos resultados	50

4.1.1 Ruptura das janelas do subsolo e térreo	50
4.1.2 Lavanderia do subsolo	52
4.1.3 Parede de alvenaria do corredor do subsolo	54
4.1.4 Portas do banheiro do subsolo	55
4.1.5 Portas do elevador do subsolo	57
4.1.6 Porta do ambiente da geradora de água quente	58
4.1.7 Porta corta fogo do corredor do subsolo	59
4.1.8 Porta corta fogo de acesso à escada frontal da edificação	60
4.1.9 Escada interna de acesso ao térreo	62
4.1.10 Zona de origem da explosão	64
4.2 Correlações normativas	66
4.2.1 Localização	66
4.2.2 Ventilação	69
4.2.3 Medidas de segurança	70
4.2.4 Instalação e Manutenção	70
5 CONSIDERAÇÕES FINAIS	74
5.1 Sugestões para trabalhos futuros	75
REFERÊNCIAS	76
ANEXOS	81
ANEXO A – NFPA 921 (2021) - Tabela 22.14.4.1.5 (b) Critérios de dano à propriedade	82

1 INTRODUÇÃO

O fogo é utilizado para aquecimento, proteção e preparo de alimentos desde que a humanidade adquiriu a habilidade de controlá-lo. As mesmas necessidades são observadas na atualidade, sendo introduzidos equipamentos específicos no interior das edificações, como os fornos, fogões e aquecedores, os quais utilizam do GLP para realização de uma queima limpa (baixíssima emissão de poluentes) de forma controlada e relativamente segura.

Para uma adequada instalação de sistemas de gás combustível, do recipiente de armazenamento até um queimador, diversas normativas devem ser observadas, dependendo do tipo de instalação e ocupação da edificação.

As normas brasileiras (NBRs) são regras que servem para garantir a qualidade e a padronização dos processos e técnicas, sendo a Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) a responsável pela elaboração das mesmas.

Do ponto de vista da segurança contra incêndio, em Santa Catarina, o Corpo de Bombeiros Militar possui atribuição prevista na Constituição Estadual de Santa Catarina de 1989, Art. 108, quais sejam, realizar serviços de prevenção de sinistros ou catástrofes; estabelecer normas relativas à segurança das pessoas e de seus bens contra incêndio; analisar, previamente, os projetos de segurança contra incêndio em edificações e realizar perícias de incêndio e de áreas sinistradas.

A Lei nº 16.157, de 07 de novembro de 2013, publicada no Diário Oficial do Estado de Santa Catarina em 11 de novembro de 2013, estabeleceu as normas e os requisitos mínimos para a prevenção e segurança contra incêndio e pânico em Santa Catarina (SANTA CATARINA, 2013). De forma complementar, o Corpo de Bombeiros Militar do Estado de Santa Catarina (CBMSC), com atribuição prevista em lei, elabora e publica normas de segurança contra incêndio, denominadas Instruções Normativas (IN).

As Instalações de Gás Combustível (GLP e GN) são reguladas pela Instrução Normativa 08/DSCI/CBMSC, a qual possui o objetivo precípua de estabelecer e padronizar critérios de concepção e dimensionamento da Instalação de Gás Combustível (IGC), como medida de segurança contra incêndio, nos

processos analisados e fiscalizados pelo Corpo de Bombeiros Militar de Santa Catarina (CBMSC).

Considerando que o GLP possui maior densidade que o ar atmosférico, se houver vazamento do produto, este não sofrerá uma rápida dispersão na atmosfera, tendendo a se concentrar na parte inferior do ambiente com alto risco de inflamabilidade (MOREIRA, 2015).

O acúmulo de GLP em um local parcialmente ou completamente confinado, quando associados a uma fonte de ignição e comburente (oxigênio) podem gerar uma explosão causando danos a estruturas, relacionados a uma série de fatores como a relação combustível-ar, densidade de vapor do combustível, efeitos de turbulência, volume do espaço confinante, localização e magnitude da fonte de ignição, ventilação e a resistência característica da estrutura (NFPA, 2021).

Segundo Santiago (2003):

[...] A formação e posterior queima de uma nuvem de vapor inflamável decorrente de uma liberação acidental pode se dar de muitas formas. Diversos fatores influem neste processo, desde a dispersão do gás inflamável até a forma pela qual a queima da nuvem resultante se desenvolverá. De acordo com esta série de fatores, o resultado final irá variar em intensidade e campo de influência sobre as pessoas e instalações vizinhas ao local do acidente.

A investigação de incêndio e explosão é definida como o processo de determinação da origem, causa e desenvolvimento de um incêndio ou explosão que envolve habilidade, tecnologia, conhecimento e ciência. A compilação de dados factuais, bem como a análise desses fatos, deve ser realizada com objetividade, veracidade e sem viés de expectativa ou preconceito (NFPA, 2021).

Considerando que a preservação de uma cena e das evidências forenses associadas é uma das mais importantes etapas do processo de investigação, envolvendo crime ou não, torna-se muito importante a documentação e registro da cena do crime ou sinistro antes de qualquer alteração de modo a fornecer um material confiável em futuras investigações, reconstruções e experimentos (WIECZOREK, 2018).

Neste contexto, o laser scanner 3D mostra-se uma ferramenta de grande utilidade, sendo um dispositivo utilizado para a análise de objetos e/ou ambientes,

coletando dados sobre forma e aparência e utilizando-os para construir modelos tridimensionais digitais.

1.1 Justificativa

Segundo o SINDIGAS (2022), 91% das famílias brasileiras utilizam o GLP em suas residências em 100% dos municípios brasileiros, além de estar inserido nas operações de diferentes tipos de negócio, de estabelecimentos comerciais e de serviços até indústrias e o agronegócio.

Considerando os efeitos de uma explosão de GLP em uma edificação, seus usuários e adjacências, temática pouco abordada na literatura, evidencia-se a importância do estudo dos referidos efeitos para que possam ser compreendidos os fenômenos envolvidos, adotadas medidas mitigadoras de danos e propostas possíveis alterações normativas.

Explosões deste tipo muitas das vezes comprometem severamente a estrutura da edificação levando-a ao colapso, o que inviabiliza uma análise detalhada do comportamento de cada elemento estrutural ou não estrutural afetado.

O estudo de caso apresentado nesta pesquisa mostrou condições favoráveis ao registro detalhado da área sinistrada com o uso do *Laser Scanner 3D* para posterior análise.

1.2 Definição do Problema

Falhas na instalação e manutenção dos equipamentos e componentes do sistema de GLP são recorrentes e podem ocasionar prejuízo ao seu funcionamento habitual com consequências como vazamentos e, em condições favoráveis, incêndios e explosões.

Considerando que as explosões decorrentes de vazamento de GLP são eventos frequentes com maior ou menor dano às pessoas e/ou edificações, danos estes pouco conhecidos e, em geral, não previstos nos projetos das edificações ou planos de contingência.

Formula-se, portanto, a seguinte questão problema: quais os efeitos de uma explosão de nuvem de vapor de gás liquefeito de petróleo (GLP) em uma edificação?

1.3 Objetivo Geral

Analisar os efeitos de uma explosão de nuvem de vapor de gás liquefeito de petróleo (GLP) em uma edificação.

1.4 Objetivos Específicos

O trabalho possui como objetivos específicos:

- a) Descrever e analisar o comportamento dos elementos estruturais e não estruturais da edificação sinistrada quando submetidos à sobrepressão gerada pela explosão de GLP com o auxílio do equipamento *Laser Scanner 3D*;
- b) Realizar correlações normativas do estudo de caso apresentado, verificando o atendimento ou não das normas vigentes referente ao sistema de gás combustível.

1.5 Estrutura do Trabalho

O trabalho está estruturado da seguinte forma: após a fundamentação teórica, é discorrido sobre o método adotado, seguido pela apresentação dos resultados e discussões, no qual foi realizado a análise e discussão do estudo de caso realizado com ponderações baseadas na normativa vigente. Por fim são tecidas as considerações finais.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Com o intuito de fundamentar os assuntos pertinentes a este estudo, o capítulo 2 trará conceitos, normativas e as teorias que embasam o tema, fruto da contribuição de pesquisas de outros autores.

2.1 GLP nas edificações

A utilização do Gás Liquefeito de Petróleo no Brasil começou em 1937, quando o imigrante austríaco Ernesto Igel comprou 6 mil cilindros de gás propano, que serviam de combustível para dirigíveis, e começou a comercializar o produto para cocção por intermédio da “Empreza Brasileira de Gaz a Domicílio”. Desde então, a população brasileira cresceu, criou demandas, aumentou seu grau de exigência em relação a produtos e serviços, fazendo com que o GLP obtivesse alcance mais extensivo que os Correios, a luz elétrica, a água tratada e os serviços de telecomunicações (SINDIGÁS, 2022).

Segundo Santos (2016), o Brasil ocupa a quinta posição entre os maiores mercados mundiais deste derivado, possui 23 empresas que atuam como distribuidoras em território nacional e conta com significativa capilaridade promovida por aproximadamente 54 mil postos de revenda, que movimentam um faturamento anual da casa de R\$ 22 bilhões e geram mais de 300 mil empregos.

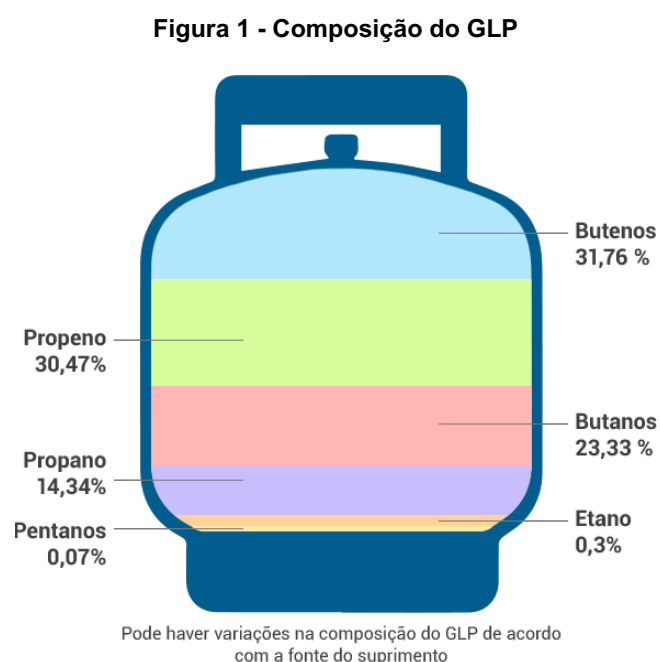
Até chegar às residências e demais estabelecimentos comerciais e industriais, o GLP percorre um longo caminho. Após a produção do petróleo cru ou gás natural, o GLP é obtido nas refinarias ou Unidades de Processamento de Gás Natural sendo direcionado às companhias distribuidoras, armazenado e transferido no estado líquido para o processo de envase em botijões, ou acondicionado em caminhões para distribuição a granel (SANTOS, 2016).

2.1.1 Composição do GLP

O GLP é uma combinação (Figura 1) formada quase completamente pelo Propano (C₃H₈) e Butano (C₄H₁₀), dois hidrocarbonetos que em condições normais

de temperatura e pressão (CNTTP) são gasosos, mas podem ser liquefeitos por resfriamento e/ou compressão. É um gás inodoro e incolor, sendo adicionado uma pequena quantidade de composto de enxofre - mercaptano - para permitir um odor facilmente identificável em situação de vazamento (LIMA, 2019).

Segundo Santos (2016), frequentemente, observa-se a ocorrência do propeno (C_3H_6) e buteno (C_4H_8), decorrentes de ligações duplas.



Fonte: Top Gás (2020).

Verifica-se ainda, na Tabela 1, as principais propriedades físico químicas do GLP, com destaque para os limites de ignição (ou inflamabilidade) que serão tratados mais à frente e são de fundamental importância para compreensão dos requisitos para a formação da chamada “mistura ideal”.

Tabela 1 – Dados de propriedades físico-químicas para butano, propano e mistura butano/propano

Características	Butano	Propano	GLP
Fórmula química	C ₄ H ₁₀	C ₃ H ₈	~40% C ₃ H ₈ e ~60% C ₄ H ₁₀
Velocidade de queima (cm/s)	32 no ar	32 no ar	32 no ar
Peso molecular	58	44	50
Peso específico (Kg/l)	0,580	0,510	0,540
Ponto de ebulição (°C)	-0,5	-43	-0,5 -43
Valor de aquecimento inferior	10920	11070	10997
Ponto de combustão (°C)	490 atm	510 atm	~ 500 atm
Limites de ignição (% do volume)	1,5 - 8,5	2,1 - 9,5	1,5 - 9,5

Fonte: Raslavicius et al., (2014), **tradução nossa**.

2.1.2 Normas Brasileiras específicas

A Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) é a responsável pela elaboração das Normas Brasileiras (NBRs) as quais são definidas como:

[...] documentos estabelecidos por consenso e aprovados por um organismo reconhecido, que fornecem regras, diretrizes ou características mínimas para atividades ou para seus resultados, visando à obtenção de um grau ótimo de ordenação em um dado contexto (ABNT, 2022).

As NBRs mais usuais para instalações de gás combustível (GLP) em edificações com ocupações como residenciais ou comerciais, estão elencadas no quadro abaixo:

Quadro 1 – Normas Brasileiras (NBR/ABNT) referentes ao GLP

NBR	Título
13103/2020	Instalação de aparelhos à gás - requisitos
15923/2022	Inspeção de rede de distribuição interna de gases combustíveis em instalações residenciais e instalação de aparelhos a gás para uso residencial - procedimento
13523/2019	Central de Gás Liquefeito de Petróleo - GLP
15526/2012	Redes de distribuição interna para gases combustíveis em instalações residenciais e comerciais - projeto e execução
15923/2011	Inspeção de rede de distribuição interna de gases combustíveis em instalações residenciais e instalação de aparelhos à gás para uso residencial - Procedimento
15358/2020	Rede de distribuição interna para gás combustível em instalações de uso não residencial de até 400KPa - projeto e execução
14024/2018	Central de gás liquefeito de petróleo (GLP) - Sistema de abastecimento a granel - Requisitos e procedimento operacional
14177/2008	Tubo flexível metálico para instalações de gás combustível de baixa pressão
13419/2001	Mangueira de borracha para condução de gases GLP/GN/GNF - Especificação
8613/1999	Mangueira de PVC plastificado para instalações domésticas de gás liquefeito de petróleo (GLP)
16821/2020	Sistema de tubulação multicamada para a condução de gases combustíveis

Fonte: Elaboração própria (2022).

Cabe ressaltar que as NBRs da ABNT, conforme Freitas (2012), “não são normas jurídicas ou legais e por seu turno não possuem poder vinculante, sendo que cabe, exclusivamente, interpretação e aplicação técnica pelos técnicos qualificados”, entretanto, as mesmas ganham força nas relações comerciais por haver previsão no Código de Defesa do Consumidor (Lei nº 8.078/1990), Art. 39., de que seria vedado ao fornecedor de produtos e serviços:

[...] VIII - Colocar, no mercado de consumo, qualquer produto ou serviço em desacordo com as normas expedidas pelos órgãos oficiais competentes ou, se normas específicas não existirem, pela **Associação Brasileira de normas técnicas** ou outra entidade credenciada pelo Conselho Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial - Conmetro.

2.1.3 Instruções Normativas do Corpo de Bombeiros Militar de Santa Catarina (CBMSC)

A Constituição Federal do Brasil de 1988 (BRASIL, 2015, grifo nosso), em seu artigo 144, define os órgão componentes da segurança pública:

Art. 144. A segurança pública, dever do Estado, direito e responsabilidade de todos, é exercida para a preservação da ordem pública e da incolumidade das pessoas e do patrimônio, através dos seguintes órgãos:

- I - polícia federal;
- II - polícia rodoviária federal;
- III - polícia ferroviária federal;
- IV - polícias civis;
- V - polícias militares e **corpos de bombeiros militares**.

A Constituição Estadual de Santa Catarina de 1989, estabelece outras atribuições ao Corpo de Bombeiros Militar:

Art. 108. O Corpo de Bombeiros Militar, órgão permanente, força auxiliar, reserva do Exército, organizado com base na hierarquia e disciplina, subordinado ao Governador do Estado, cabe, nos limites de sua competência, além de outras atribuições estabelecidas em Lei:

I – realizar os serviços de prevenção de sinistros ou catástrofes, de combate a incêndio e de busca e salvamento de pessoas e bens e o atendimento pré-hospitalar;

II – estabelecer normas relativas à segurança das pessoas e de seus bens contra incêndio, catástrofe ou produtos perigosos;

III – analisar, previamente, os projetos de segurança contra incêndio em edificações, contra sinistros em áreas de risco e de armazenagem, manipulação e transporte de produtos perigosos, acompanhar e fiscalizar sua execução, e impor sanções administrativas estabelecidas em Lei;

IV – realizar perícias de incêndio e de áreas sinistradas no limite de sua competência;

V – colaborar com os órgãos da defesa civil;

VI – exercer a polícia judiciária militar, nos termos de lei federal; [...]

Cita-se ainda a Lei Estadual Nº 16.157/2013, a qual institui as normas e os requisitos mínimos para a prevenção e segurança contra incêndio e pânico em imóveis localizados no Estado, com o objetivo de resguardar a vida das pessoas e reduzir danos ao meio ambiente e ao patrimônio. Tal lei foi publicada, não por acaso, no mesmo ano do incêndio na “Boate Kiss”, na cidade de Santa Maria - RS, em janeiro de 2013, o qual vitimou fatalmente 242 pessoas e ocasionou uma comoção social significativa, que culminou na publicação da referida lei em Santa Catarina.

Em 2017, ainda em consequência do evento supracitado, foi sancionada a Lei Federal Nº 13.425/2017, conhecida popularmente como “Lei Kiss” estabelecendo a nível nacional algumas diretrizes gerais e ações complementares sobre prevenção e combate a incêndio e a desastres em estabelecimentos, edificações e áreas de reunião de público.

Com base nesses preceitos legais, o CBMSC, por meio de sua Diretoria de Segurança Contra Incêndio, possui, elaboradas e publicadas, 33 Instruções Normativas com diversas temáticas relativas à segurança das pessoas e de seus bens, como preconiza a Constituição Estadual.

2.1.3.1 Instalações de Gás Combustível - IN08/DSCI/CBMSC

Conforme Instrução Normativa 01 - Parte 02 (2021) - na qual é possível verificar as exigências dos sistemas e medidas de segurança contra incêndio e pânico (SCI) nos imóveis conforme sua ocupação e/ou riscos específicos, observa-se que a aplicabilidade da IN08/DSCI/CBMSC cabe a todos os tipos de ocupação que façam o uso do gás combustível, seja Gás Liquefeito de Petróleo (GLP) ou Gás Natural (GN).

A IN08/DSCI/CBMSC (2018) divide o sistema da seguinte forma (referente ao GLP):

- a) Locações de GLP - abrigo, central, recipientes de superfície, aterrados ou enterrados, tomada de abastecimento e conjunto de controle e manobra para GLP;
- b) Válvula de corte geral da edificação;
- c) Redes de distribuição de GLP - coletora, primária e secundária;
- d) Adequação de ambientes - volume mínimo, ventilações permanentes, prisma de ventilação, aquecedores de passagem à gás e lareiras e churrasqueiras à gás;
- e) Exaustão dos gases da combustão - individual e coletiva.

Dentre estes componentes do sistema de gás combustível, existem diversas medidas que contribuem para que sejam mitigados os riscos decorrentes de possíveis falhas no sistema, as quais serão apresentadas na seção 2.2 e discutidas nos resultados deste estudo.

2.2 Revisão Normativa

De forma a cumprir um dos objetivos específicos deste estudo, esta seção foi dividida em requisitos importantes para instalações de GLP, trazendo medidas preventivas que contribuem para evitar vazamentos de GLP e minimizar seus efeitos e consequências, como uma explosão de nuvem de vapor de GLP.

2.2.1 Localização

Conforme a NFPA 58 (2020), NBR 13523 (2019), CBMESP (2019) e CBMSC (2018), os recipientes de GLP - estacionários ou transportáveis - devem estar localizados no exterior da edificação e em ambientes ventilados. Em algumas normativas há a possibilidade de instalação no interior das edificações, porém para condições específicas, como nos casos de edificações mais antigas em processo de regularização.

A NBR 13523 (2019) e a IT 28 do CBMESP (2019), trazem a expressa proibição de instalação dos recipientes de GLP, entre outros, em locais confinados, tais como porão, garagem subterrânea e forro.

Ainda conforme a IN 08/CBMSC (2018), locações de GLP não podem ser instaladas em:

- I – fossos de iluminação ou ventilação, garagens, subsolos, porões;
- II – cota negativa, sendo que a Locação de GLP deve estar situada em cota igual ou superior ao nível do piso onde esta estiver situada;
- III – locais onde o piso fique em desnível, e os cilindros fiquem instalados em rebaixos, nichos ou recessos abaixo do nível externo;
- IV – teto, laje de cobertura ou terraço;
- V – local de difícil acesso; ou
- VI – locais que possibilitem acúmulo de volume de GLP em caso de vazamento.

Tais restrições, em geral, se justificam pelo comportamento do GLP em caso de vazamento, sendo mais denso que o ar atmosférico e acumulando-se nas zonas mais inferiores do ambiente.

Quanto às redes de distribuição internas de GLP, segundo a NBR 15526 (2012), a definição de seu traçado deve levar em consideração a hipótese de vazamento de GLP, devendo seu local de instalação não permitir o acúmulo ou concentração do gás.

Na NBR 15526 (2012), IT 28 do CBMESP (2019) e IN 08/CBMSC (2018) são elencados alguns locais pelos quais as tubulações das redes internas de GLP não podem passar, tais quais:

- a) duto em atividade (ventilação de ar-condicionado, produtos residuais, exaustão, chaminés, etc.);
- b) cisterna e reservatório de água;
- c) compartimento de equipamento ou dispositivo elétrico (painéis elétricos, subestação, outros);
- d) depósito de combustível;
- e) elementos estruturais (lajes, pilares, vigas);
- f) espaços fechados que possibilitem o acúmulo de gás eventualmente vazado;
- g) escada enclausuradas, inclusive dutos de ventilação da antecâmara;
- h) poço ou vazio de elevador;
- i) compartimentos destinados a dormitórios, exceto quando destinado à conexão de equipamento hermeticamente isolado;
- j) qualquer tipo de forro falso ou compartimento não ventilado;
- k) locais de captação de ar para sistemas de ventilação;

- l) todo e qualquer local que propicie o acúmulo de gás vazado;
- m) qualquer vazio ou parede contígua a qualquer vão formado pela estrutura ou alvenaria, ou por estas e o solo, sem a devida ventilação;
- n) ambiente de cota negativa;
- o) dutos de lixo, de ar condicionado ou de águas pluviais, reservatórios de água e incineradores de lixo;
- p) locais de difícil acesso, subsolos, porões ou locais que possibilitem acúmulo de volume de gás em caso de vazamento;
- q) caixas ou galerias subterrâneas, valetas para captação de águas pluviais, cisternas ou reservatórios de água, aberturas de dutos de esgoto ou aberturas para acesso a compartimentos subterrâneos.

De acordo com a NBR 15526 (2012) “é proibida a instalação da tubulação da rede de distribuição interna aparente em espaços fechados que possibilitem o acúmulo de gás eventualmente vazado ou que dificultem inspeção e manutenção”. Para situações em que seja imprescindível que a rede de distribuição interna passe por espaços fechados, as tubulações devem passar pelo interior de dutos ventilados (tubo-luva), situação prevista também na IT 28 do CBMESP (2019) e IN 08/CBMSC (2018).

Quanto ao local de instalação dos aparelhos a gás, segundo a NBR 13103 (2020), não pode haver a instalação em ambiente distinto daquele para que foi projetado e fabricado. O aparelho a gás não pode ser instalado em escadas e rotas de fuga e o local de instalação deve permitir acesso para manutenção e inspeção.

Ainda conforme a NBR 13103 (2020), quanto aos aparelhos de embutir:

Recomenda-se que o local de instalação de aparelhos a gás tenha advertências ao consumidor, se a opção for de embutir, quanto à necessidade de verificar os cuidados em relação ao material, ventilações, acesso ao registro de bloqueio e distâncias mínimas de instalação.

Ambientes internos de instalação sanitária (banheiros, lavabos, saunas, entre outros), ambientes internos de permanência prolongada e ambiente multiuso não podem receber aparelhos à gás em seu interior, exceto para aparelhos do tipo C1, C3 e C5 (conforme tabela A.1 da NBR 13103/2020). Tais equipamentos

apresentam o circuito de combustão estanque em relação ao local onde está instalado.

Em consonância com a NBR 13103 (2020), a IN 08/CBMSC (2018) somente permite a instalação de aquecedores de passagem a gás no interior das edificações do tipo exaustão forçada ou fluxo balanceado, sendo que a exaustão natural apenas é permitida no exterior da edificação.

2.2.2 Ventilação

Os aparelhos a gás devem ser instalados em locais com ventilação adequada para a completa combustão do gás, operação apropriada da exaustão dos produtos da combustão e manutenção de limites seguros de temperatura nas suas proximidades, sob condições normais de operação (NBR 13103, 2020).

Conforme NBR 13103 (2020) e IN 08/CBMSC (2018), para os ambientes em que houver aparelhos de queima a gás devem ser previstas aberturas de ventilação superiores e inferiores, permanentes, não sendo permitida obstrução total ou parcial das mesmas.

A referida ventilação do ambiente é considerada fundamental para o próprio funcionamento dos equipamentos a gás, porém, seja a ventilação natural ou artificial, conforme a NBR 60079-10-1 (2022) o gás ou vapor liberado na atmosfera pode diluir por meio de uma mistura turbulenta com o ar e, em geral, o gás se dispersa completamente até que a concentração seja próxima de zero. Taxas de ventilação apropriadas podem desta forma reduzir o tempo de persistência de uma atmosfera de gás explosiva.

2.2.3 Medidas de segurança

Segundo a NBR 15526 (2012) e NBR 13103 (2020), algumas válvulas de bloqueio manual podem ser instaladas para interrupção do suprimento de gás combustível para a edificação, para a manutenção de equipamentos de medição e regulagem, para cada unidade habitacional ou para um aparelho a gás. Tais válvulas devem ser identificadas e instaladas em local ventilado, de fácil acesso, protegidas de forma a se evitar acionamento accidental.

A IT 28 do CBMESP (2019) traz de forma inespecífica que a instalação de gás combustível deve ser provida de válvula de fechamento manual em cada ponto em que se tornar conveniente para a segurança, operação e manutenção da instalação, enquanto a IN 08/CBMSC (2018) estabelece minimamente a instalação de registros/válvulas de corte no conjunto de controle e manobra de GLP da central de GLP, junto à porta de acesso principal da edificação (máximo 5 m de distância), nos medidores de GLP em cada pavimento (identificadas as unidades consumidoras) e junto ao ponto de consumo.

No que se refere à central de GLP, algumas medidas específicas são adotadas e exigidas pela normativa vigente. A IT 28 do CBMESP (2019), IN 08/CBMSC (2018) e a NBR 13523 (2019) especificam a sinalização necessária à central de GLP. Conforme NBR 13523 (2019):

Deve ser colocada sinalização alertando que somente pessoas autorizadas devem ter acesso às centrais de GLP.

Devem ser colocados na central de gás, avisos com letras não menores que 50 mm, em quantidade tal que possam ser visualizados de qualquer direção de acesso à central de GLP com os seguintes dizeres:

- a) PERIGO;
- b) INFLAMÁVEL;
- c) NÃO FUME.

Ainda quanto às medidas de segurança para central de GLP, a exigência de extintores junto ou próximo a mesma é encontrada na NFPA 58 (2022), NBR 13523 (2019), IT 28 do CBMESP (2019) e IN 08/CBMSC (2018).

A NFPA 58 (2022) destaca que os extintores não devem ser utilizados para extinguir um incêndio sob pressão de GLP, a menos que a fonte de combustível possa ser desligada imediatamente. Tal ressalva é feita devido ao risco de cessar a chama e o vazamento prosseguir, podendo ocasionar efeitos mais severos do que o incêndio sob pressão, como uma explosão ambiental.

Observa-se que o a IN 08/CBMSC (2018) não limita a instalação dos extintores junto à central de GLP e sim nas proximidades, desde que respeitado o caminhamento máximo previsto em Instrução Normativa específica. De fato um dos maiores riscos a ser gerenciado neste caso, além de explosão decorrente de vazamento (para a qual o extintor não surte efeito), é um possível incêndio nas proximidades da central de GLP que possa gerar um aquecimento significativo a ponto de resultar no fenômeno denominado BLEVE (*Boiling Liquid Expanding Vapor*

Explosion) - dada a elevação da temperatura do recipiente e a consequente alta na pressão interna, em determinadas condições o recipiente não suporta a diferença de pressão e se rompe subitamente provocando a ocorrência do BLEVE, que é a explosão do vapor expandido pelo líquido em ebulição (SIQUEIRA et al., 2018).

A NBR 15526 (2012) elenca alguns dispositivos de segurança para instalações de GLP:

- a) válvula de alívio;
- b) válvula de bloqueio automático (por exemplo, de acionamento por sobrepressão, subpressão, excesso de fluxo, ação térmica, entre outros);
- c) limitador de pressão;
- d) regulador monitor;
- e) dispositivo de segurança incorporado em regulador conforme EN 88-1;
- f) detector de vazamento.

Além da odorização do GLP, dada pelo Mercaptano adicionado ao Propano e Butano, existem outras formas de detecção de vazamento dos gases, mesmo sem a presença humana no ambiente.

No Brasil ainda não é usual a utilização de detectores de GLP como meio de segurança nos domicílios e área comercial, entretanto é perceptível os constantes acontecimentos de acidentes englobando vazamentos de gás no país, circunstâncias estas que talvez pudessem ter sido evitadas se, por segurança, houvesse o equipamento instalado (RIBEIRO, 2018).

2.2.4 Instalação e Manutenção

Conforme NBR 13103 (2020), os aparelhos a gás devem ser instalados por profissional qualificado, sob supervisão ou responsabilidade de profissional habilitado e/ou agente habilitado. Para a instalação, devem ser considerados os seguintes aspectos:

- a) tipo do aparelho a gás;
- b) potência do aparelho a gás a ser instalado;
- c) volume do ambiente de instalação;
- d) área, tipo e condições de ventilação do ambiente de sua instalação;
- e) exaustão dos produtos da combustão;
- f) recomendações do fabricante do aparelho a gás.

O aparelho após instalado deve ser colocado em funcionamento realizando as seguintes etapas:

- a) após a abertura do gás, verificação da estanqueidade do ponto de interligação da rede de gás com o aparelho a gás;
- b) acionamento do aparelho a gás;

- c) funcionamento do sistema de acendimento do aparelho a gás (manual ou automático);
- d) identificar que a ignição ocorra sem explosões, sem oscilação e em toda a área da combustão do aparelho;
- e) verificação das condições da chama (por exemplo, cor, deslocamentos, falhas);
- f) funcionamento do aparelho em regime de carga mínima e máxima;
- g) verificação dos botões de regulagem e elementos de controle;
- h) verificação das condições de uso e funcionamento (NBR 13103, 2020).

De acordo com a NBR 15526 (2012), o ensaio de estanqueidade deve ser realizado para detectar possíveis vazamentos e verificar a resistência da rede a pressões de operação. Por parte do CBMSC (2018), há a exigência de tal teste nas vistorias de habite-se da edificação e funcionamento anual, sendo exigido laudo ou ensaio de estanqueidade da rede de gás, com validade de 5 anos, acompanhado da respectiva ART ou RRT.

Para as inspeções posteriores das instalações de GLP, o Responsável Técnico deve proceder com uma ou mais das seguintes etapas (NBR 15923, 2011):

- a) levantamento de projeto e antecedentes;
- b) inspeção da rede de distribuição interna;
- c) inspeção da instalação dos aparelhos a gás;
- d) inspeção do sistema de exaustão.

De forma mais completa a NBR 15923 (2011) traz em seu Anexo A (Tabela A.1) o detalhamento dos critérios de aceitação dos itens a serem inspecionados.

Segundo a NBR 13523 (2019) e NBR 15526 (2012), as avaliações periódicas para manutenção na central de GLP devem ser realizadas em períodos máximos de cinco anos, podendo variar para menos em função de riscos decorrentes das situações construtivas, das condições ambientais (em especial aquelas sujeitas à atmosfera corrosiva) e de uso, de acordo com registros históricos. Em caso de indícios de vazamento de gás ou corrosão grave, deve ser realizada inspeção imediata e tomadas providências aplicáveis.

Neste processo de avaliação deve ser observado ainda a ocorrência de vazamentos, corrosão, amassamentos, danos por fogo ou outras evidências de condição insegura dos recipientes. As válvulas, conexões e acessórios devem também apresentar bom estado (CBMESP, 2019).

Para a rede de distribuição interna, recomenda-se uma inspeção

periódica destinada a manter as condições de operação e segurança, verificando no mínimo se:

- a) a tubulação e os acessórios encontram-se com acesso desobstruído e devidamente sinalizado;
- b) as válvulas e dispositivos de regulagem funcionam normalmente;
- c) tubos, conexões e interligações com equipamentos e aparelhos não apresentam vazamento;
- d) as tubulações estão pintadas sem qualquer dano, inclusive com relação aos suportes empregados;
- e) a identificação está conforme o especificado;
- f) os dispositivos de controle de pressão usados nos tubulações estão funcionando de forma adequada (NBR 15526, 2012).

A manutenção preventiva dos aparelhos a gás por profissional qualificado é recomendada pela NBR 13103 (2020), devendo ser realizada a cada 12 meses ou conforme instruções do fabricante (o que for menor). Segundo a norma, os seguintes itens devem ser avaliados sempre que aplicáveis:

- a) limpeza do aparelho;
- b) verificação da interligação da conexão do aparelho à rede de distribuição interna de gás (aperto, vazamento, prazo de validade etc.);
- c) verificação da interligação da conexão do aparelho à rede de água quente e água fria;
- d) verificação da interligação do aparelho à rede elétrica;
- e) verificação do sistema de exaustão (sinais de oxidação, amassamentos e/ou perfurações);
- f) limpeza de filtros;
- g) verificação de área útil de ventilação permanente;
- h) verificação do sistema de combustão;
- i) verificação de demais requisitos estabelecidos no manual do fabricante;
- j) verificação de funcionamento dos componentes de segurança (p.ex: sensor de chama, sensor de temperatura, etc);
- k) verificação dos dispositivos de controle de funcionamento do aparelho (p.ex.: manipulô, controle remoto);
- l) funcionamento do sistema de acendimento do aparelho a gás (manual ou automático);
- m) verificações das condições da chama (p.ex.: cor, deslocamentos, falhas);
- n) funcionamento do aparelho a gás em suas regulagens mínima e máxima de operação.

2.3 Vazamento e explosão de GLP

O tipo de explosão tratada neste estudo é referente à formação de uma nuvem de vapor decorrente de uma liberação acidental de GLP no interior de uma edificação. A explosão do recipiente de GLP em si é menos provável e ocorre quando há o contato direto com altas temperaturas por período prolongado, ocorrendo o fenômeno denominado BLEVE (Boiling Liquid Expanding Vapor

Explosion), traduzido e definido como uma explosão do vapor expandido pelo líquido em ebulição.

Cabe ressaltar que o GLP, mesmo em recipientes menores como os de 13 kg, ou P13, possui um potencial de vaporização muito grande, aumentando em torno de 270 vezes de volume no ambiente de líquido para gasoso (SÃO PAULO, 2009).

Em caso de vazamento ainda, considerando que a densidade do GLP é de aproximadamente $2,50 \text{ kg/m}^3$, enquanto a densidade do ar é de aproximadamente $1,22 \text{ kg/m}^3$, o GLP acomoda-se na zona inferior do ambiente por ser mais pesado. Há portanto um grande risco, visto que é uma tendência haver mais fontes de ignição nas partes baixas de um ambiente do que em partes superiores. Além disso, os aparelhos de GLP ficam na parte mais baixa dos ambientes e o vazamento oriundo do próprio aparelho não tem muita oportunidade de se diluir em concentrações seguras. Outro fator é que nas partes inferiores encontram-se bolsões, reentrâncias e espaços vazios onde os vapores podem se acumular (RASBASH, 1980).

A maneira pela qual o gás se espalha pela região adjacente ao vazamento enquanto se mistura ao ar atmosférico é chamada de dispersão atmosférica, a qual depende do tempo que o gás teve para se misturar com a atmosfera antes que ocorra uma ignição. Tal dispersão ainda pode determinar como se dará a combustão da nuvem resultante, pois a mistura só é inflamável quando a proporção ar-combustível se encontra entre os limites inferior e superior de inflamabilidade.

2.3.1 Limites de inflamabilidade ou explosividade

Os autores Seito et al. (2008) esclarecem que a mistura inflamável (ou explosiva) só poderá ser assim considerada quando o gás estiver misturado com o oxigênio do ar dentro de determinadas proporções, em volume, dentro de dois limites próprios para cada combustível.

Segundo o autor, a máxima proporção de gás, vapor ou pó no ar que torna a mistura explosiva é denominado limite superior de explosividade (LSE) e a

mínima proporção de gás, vapor ou pó no ar que torna a mistura explosiva é denominado limite inferior de explosividade (LIE).

Na Tabela 2 abaixo é possível verificar os LIE e LSE de alguns gases e líquidos.

Tabela 2 – Mistura explosiva de alguns gases e líquidos

SUBSTÂNCIA	LIE (% EM VOLUME)	LSE (% EM VOLUME)
Acetona - CH ₃ CO CH ₃	2,6	12,8
Acetonitrila - CH ₃ CN	4,4	16,0
Benzeno - C ₆ H ₆	1,3	7,1
Butano - C ₄ H ₁₀	1,9	8,5
Dissulfeto de carbono - C S ₂	1,3	50,0
Monóxido de carbono - CO	12,5	74,0
Ciclo hexano - C ₆ H ₁₂	1,3	8,0
Etano - C ₂ H ₆	3,0	12,5
Etanol - C ₂ H ₅ OH	3,3	19,0
Éter - (C ₂ H ₅) ₂ O	1,1	5,9
Gás natural	3,8	13,0
Gasolina	1,4	7,6
Metano - C H ₃	5,0	15,0
Metanol - C H ₂ OH	6,7	36,0
Nafta	0,9	6,0
Pentano - C ₅ H ₁₂	1,5	7,8
Propano - C ₃ H ₈	2,2	9,5
Querosene	0,7	5,0
Toluene C ₆ H ₅ CH ₃	1,2	7,1

Fonte: Seito et al., (2008).

Segundo a Petrobras (2022), A inflamabilidade de qualquer produto ocorre dentro de limites tais que: Abaixo do valor mínimo (limite inferior de inflamabilidade) não existe combustível suficiente para sustentar a combustão; Acima do valor máximo (limite superior de inflamabilidade) não existe oxigênio suficiente para sustentar a queima. Para qualquer substância inflamável os limites estão presentes, exemplificados conforme a Figura 2 abaixo:

Figura 2 - Limites de inflamabilidade

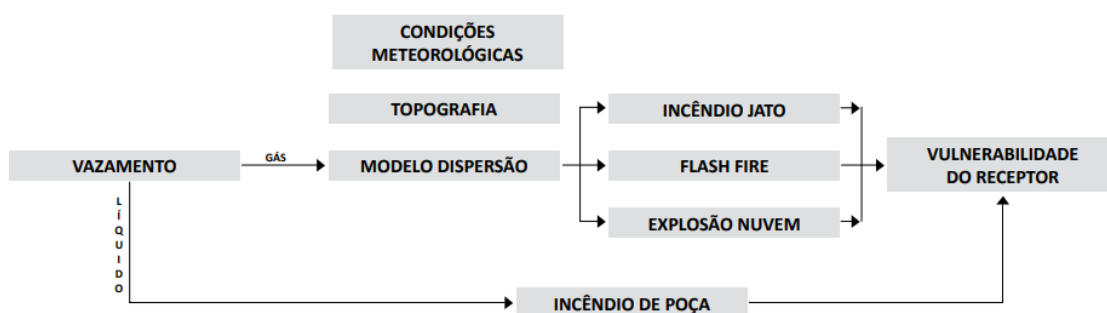
CONCENTRAÇÃO (% em volume)	0%	MISTURA POBRE não ocorre combustão	LII	MISTURA IDEAL pode ocorrer combustão	LSI	MISTURA RICA não ocorre combustão	100%
-------------------------------	----	---------------------------------------	-----	---	-----	--------------------------------------	------

Fonte: Petrobrás, (2022).

2.3.2 Mecanismo e efeitos da explosão

A Figura 3 traz a caracterização dos riscos de incêndio envolvendo vazamento de gás, por diferentes modelos de dispersão como incêndio em jato (ignição de gases liberados com alta pressão), *Flash Fire* e Explosão de Nuvem (objeto do presente estudo).

Figura 3 - Caracterização dos riscos de incêndio envolvendo vazamento de gás



Fonte: Seito et al., (2008).

A explosão é uma súbita liberação de energia com rápido aumento de pressão na região próxima ao seu local de ocorrência, e quando essa queima ocorre de forma lenta e progressiva ocorre o que se chama de *Flash Fire*, que ocorre em regiões não confinadas e desobstruídas, com sobrepressão desprezível (SANTIAGO, 2003).

Quanto ao *Flash Fire*, segundo a NFPA 921 (2021) trata-se de um fogo que se espalha rapidamente através de um combustível difuso, como poeira, gás, ou os vapores de um líquido imperceptível, sem a produção de pressão prejudicial.

A ignição de combustíveis difusos não necessariamente causa explosões. Para que ocorra uma explosão, alguns fatores são correlacionados como a localização, concentração de combustíveis difusos, ventilação e força da estrutura ou vaso de confinamento e presença de obstáculos (NFPA 921, 2017).

Assim, um pequeno vazamento pode produzir efeitos prejudiciais. Na prática, janelas e portas presentes na maioria dos espaços podem proporcionar algum alívio. Estes se abririam, limitando o dano. A violência da explosão

deitaria da configuração dos itens no espaço por onde a chama está se propagando, pois a chama é acelerada pela turbulência (RASBASH, 1980).

A explosão da nuvem de vapor é resultante da ignição da nuvem, na qual as velocidades da chama aceleram até altas velocidades, sendo capaz de produzir uma sobrepressão significativa (SEITO ET AL., 2008).

Segundo Santiago (2003), a queima da mistura combustível-oxidante na nuvem de vapor ocorre apenas na chamada porção inflamável da nuvem, ou seja, conforme explicitado na seção anterior, aquela na qual a mistura combustível se encontra entre os limites de inflamabilidade.

Para que ocorra uma explosão de nuvem de vapor, conforme Seito et al. (2008), são necessárias as seguintes condições:

1. O material liberado ser inflamável e em condições adequadas de temperatura e pressão.
2. A nuvem formada deve ter um tamanho mínimo antes de sofrer ignição. Se a ignição ocorre instantaneamente, um *jet fire*, um *large fire*, ou um *fireball* poderá ocorrer. Nesse caso, o aparecimento de ondas de pressão significante é improvável. Por outro lado, é esperado ondas de choque significantes se a ignição da nuvem ocorrer num intervalo de um a cinco minutos após o vazamento.
3. A região intermediária da nuvem deve estar na região inflamável. A quantidade de material inflamável depende: a) Do tipo e a quantidade de material liberado. b) Do valor da pressão no momento da liberação. c) Do grau de confinamento da nuvem. d) Da velocidade do vento, umidade do ar, e outros fatores ambientais.
4. Na maioria das vezes, a ignição de uma nuvem de vapor resulta em uma deflagração, ou seja, uma deflagração é caracterizada pela propagação das ondas de choque em velocidades subsônicas relativa ao gás não queimado à frente da chama, isto é, a velocidade de queima é menor do que a velocidade do som, no gás não queimado.

Pode-se distinguir ainda dois tipos de nuvem de vapor pelo grau de confinamento do local que ela se formou, conforme Santiago (2003):

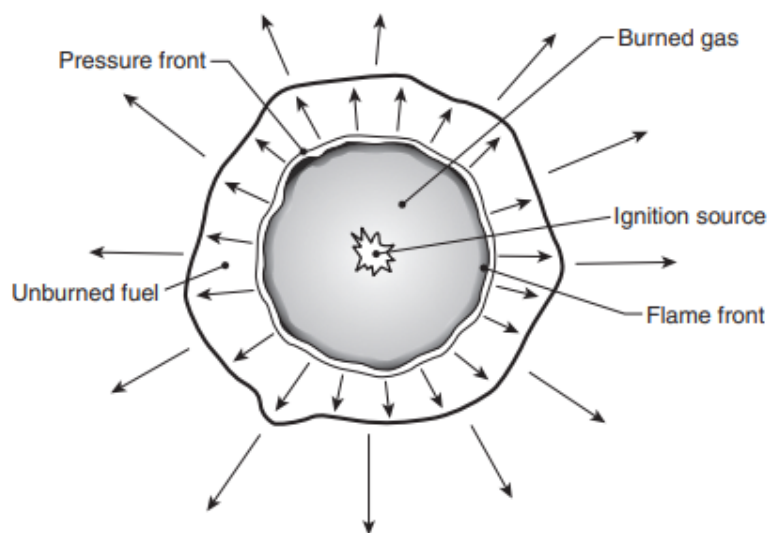
- a) Parcialmente confinadas - por estruturas ou barreiras físicas;
- b) Não confinadas - ao ar livre em áreas desprovidas de obstáculos significativos.

Quanto à velocidade, o autor afirma que a velocidade de propagação da frente de chama é a soma da velocidade de queima com a velocidade dos gases

queimados em expansão na direção da mistura não queimada (Figura 4), sendo influenciada por fatores como:

- a) Características químicas do combustível;
- b) Proporção da mistura;
- c) Intensidade (energia) da fonte de ignição da mistura;
- d) Tipo da frente de chama (laminar ou turbulenta);
- e) Confinamento e obstruções.

Figura 4 - Propagação idealizada de frente de pressão e chamas



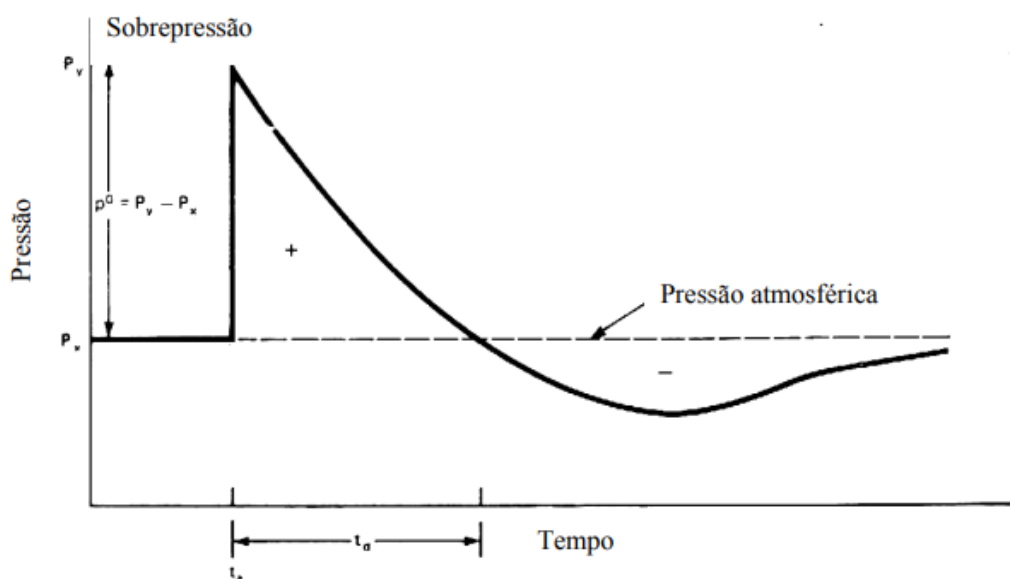
Fonte: NFPA 921, (2021).

As fases principais da onda de pressão de uma explosão podem ser visualizadas na Figura 5, sendo possível identificar a fase de pressão positiva, sendo a parte da frente de pressão da explosão em que os gases em expansão estão se afastando do ponto de origem. Essa fase, conforme NFPA 921 (2021), é mais poderosa do que a fase de pressão negativa e é responsável pela maioria dos danos causados pela pressão. Este dano pode incluir o enfraquecimento da estrutura de tal forma que a estrutura pode ser ainda mais danificada pela fase de pressão negativa.

À medida que a expansão extremamente rápida da fase de pressão positiva da explosão se move para fora da origem da explosão, ela desloca, comprime e aquece o ar ambiente ao redor. Uma condição de baixa pressão do ar

(em relação ao ambiente) é criada no epicentro ou origem. Devido à condição de pressão negativa (em relação ao ambiente), o ar corre de volta para a área de origem para equilibrar essa condição de baixa pressão podendo causar danos secundários às estruturas já comprometidas pela fase positiva (NFPA 921, 2017).

Figura 5 - Fases da onda de pressão para um observador distante do centro da explosão



Fonte: Santiago, (2003).

2.3.3 Histórico de explosões de GLP

Acidentes envolvendo explosões de nuvem de vapor de GLP são frequentes e por vezes passam despercebidos aos olhos daqueles que não foram vitimados ou que nunca presenciaram este fato. Entretanto, alguns acidentes de maior repercussão podem ser destacados de forma a exemplificar os riscos que uma falha em um sistema de gás combustível pode oferecer.

2.3.3.1 Terminal de armazenamento e distribuição de GLP em San Juan Ixhuatepec - Cidade do México

Dia 19 de novembro de 1984, em San Juan Ixhuatepec - Cidade do México - vapores de GLP formaram uma nuvem de vapor inflamável com cerca de 2 m de altura no interior de um recinto fechado com paredes em meio a um terminal de armazenamento e distribuição de GLP. Houve uma fonte de ignição e iniciou um incêndio de grandes proporções no local, o que ocasionou a explosão secundária de diversos tanques de armazenamento. Houve cerca de 600 mortes e 7.000 feridos (AICHE, 2014).

Figura 6 - Foto do sinistro em San Juan Ixhuatepec



Fonte: AICHE, 2014.

Diversas falhas contribuíram para o desastre, como projeto do terminal com espaçamento inadequado dos tanques, detecção de gás ineficiente, falta de sistemas de proteção passiva contra incêndios, destruição do sistema de combate a incêndio pelas explosões, e um grande número de pessoas vivendo próximas ao terminal (AICHE, 2014).

2.3.3.2 Explosão em São Cristóvão - Rio de Janeiro

Em outubro de 2015, no bairro de São Cristóvão, zona norte do Rio de Janeiro, por volta das 3 horas da madrugada houve uma explosão de GLP que afetou uma pizzaria, um restaurante, uma drogaria e ao menos 14 quitinetes que ficaram totalmente destruídas. Apesar da extensão dos danos, não houve vítimas fatais e 15 pessoas ficaram feridas (GAZETA DO POVO, 2015).

Figura 7 - Foto do sinistro em São Cristóvão - Rio de Janeiro



Fonte: Gazeta do Povo, 2015.

2.3.3.3 Explosão em apartamento em Farroupilha - RS

Na manhã de quarta-feira - 26 de dezembro de 2018 - houve um vazamento de GLP com consequente explosão seguida de incêndio em um apartamento de um edifício localizado no município de Farroupilha - RS (Figura 8). Uma mulher ficou gravemente ferida (88% de queimaduras) e 14 famílias ficaram desalojadas.

Figura 8 - Foto do sinistro em Farroupilha - RS



Fonte: G1-RS, 2018.

2.3.3.4 Explosão em apartamento em Florianópolis - SC

Na manhã de terça-feira, dia 25 de maio de 2021, ocorreu uma explosão após vazamento de GLP em apartamento térreo no bairro Jurerê em Florianópolis-SC. Houve uma vítima fatal (moradora do apartamento foco inicial) e 14 moradores tiveram que deixar suas residências, as quais sofreram danos parciais em sua estrutura. O bloco de dois pavimentos com quatro apartamentos ficou completamente destruído com a explosão (Figura 9).

Figura 9 - Foto do sinistro em Jurerê, Florianópolis - SC



Fonte: ND Mais, 2021.

2.3.3.5 Estatística de ocorrências atendidas pelo Corpo de Bombeiros Militar de Santa Catarina (CBMSC) envolvendo vazamento de GLP - com ou sem explosão

Analisando um intervalo de dois anos - setembro de 2020 a setembro de 2022 - no sistema de *Business Intelligence* do CBMSC, é possível verificar um registro de 859 ocorrências atendidas envolvendo vazamento de GLP, com um total de 62 vítimas registradas (Figura 10).

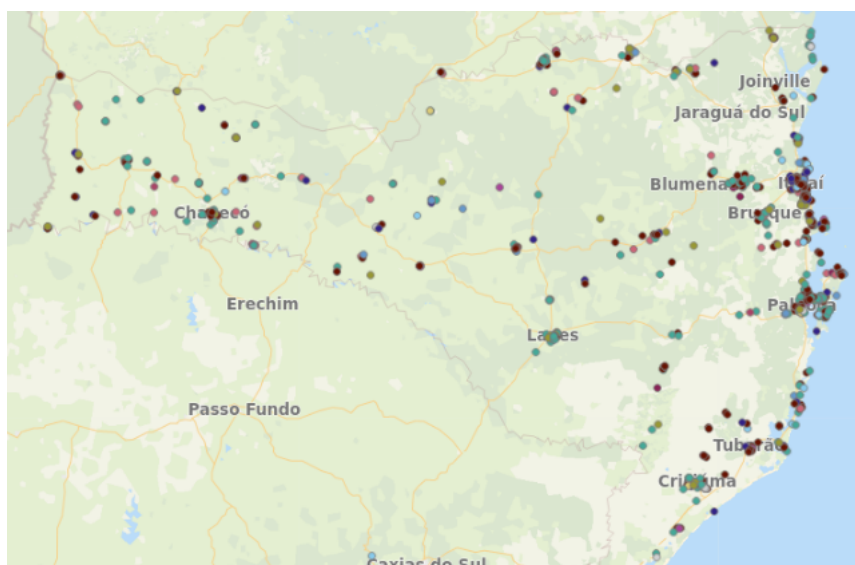
Figura 10 - Estatísticas das ocorrências envolvendo vazamento de GLP



Fonte: Sistema Analytics CBMSC, 2022.

Tal tipo de ocorrência naturalmente concentra-se mais nos grandes centros urbanos, porém ocorre em toda a extensão do Estado, conforme pode-se observar a distribuição no mapa das ocorrências descritas anteriormente (Figura 11).

Figura 11 - Mapeamento das ocorrências envolvendo vazamento de GLP em SC



Fonte: Sistema Analytics CBMSC, 2022.

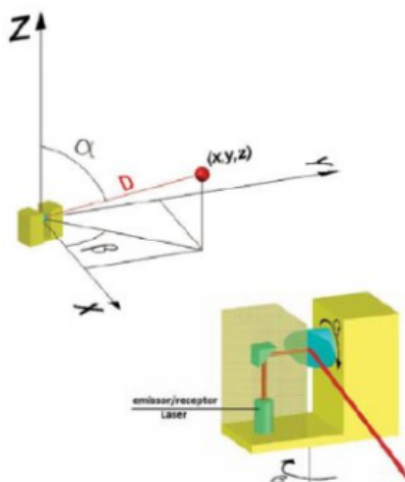
2.4 Uso do *Laser Scanner 3D*

Considerando que a preservação de uma cena, envolvendo crime ou não, e das evidências forenses associadas é uma das mais importantes etapas do processo de investigação, torna-se muito importante a documentação e registro da cena do crime ou sinistro, antes de qualquer alteração, de modo a fornecer um material confiável em futuras investigações, reconstruções e experimentos (WIECZOREK, 2018).

O modelo 3D gerado propicia aos investigadores, além da análise e observação posterior da cena, testarem as hipóteses através de pontos de vista de testemunhas, dinâmica de fluidos computacional e uma cena virtual com cor e escala real (RICE, 2019).

Segundo França (2012), o equipamento foi nominado de “laser scanner 3D” considerando o uso do laser para aferição de medidas lineares e varredura horizontal e vertical para medições angulares de forma muito rápida, armazenando coordenadas nos eixos X, Y e Z, calculadas em tempo real. O equipamento proporciona giros com frequência pré-determinada e cada etapa representa um ângulo calculado em função da resolução espacial requerida. Nestes ângulos pré-determinados, tem-se os ângulos β e α e a medição D (Figura 12). Tais coordenadas polares são transformadas em retangulares (XYZ), referenciadas e armazenadas pelo laser scanner 3D.

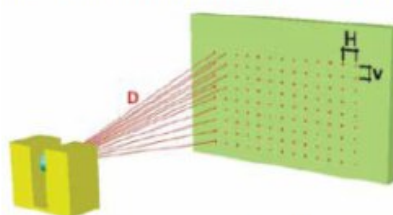
Figura 12 - Transformação de coordenadas polares em coordenadas X, Y e Z



Fonte: França, (2012).

Ainda conforme o autor supracitado, o prisma ou espelho reflete o laser girando no eixo vertical, controlado por um servo-motor. Simultaneamente ocorre o giro de 360° do corpo do equipamento no eixo horizontal. Conforme a configuração de resolução do equipamento, o valor do giro será modificado, sendo a resolução determinada pelo espaçamento horizontal (H) e vertical (V) entre os pontos medidos em uma determinada distância (D) padronizada (Figura 13).

Figura 13 - Resolução horizontal e vertical



Fonte: França,(2012).

Além da captura de milhares de pontos, formando a chamada “nuvem de pontos” pelo sistema automático de medição por laser rotativo, as câmeras de escaneamento a laser mais recentes usam câmera digital sincronizada para produzir uma imagem de realidade virtual 3D totalmente explorável que captura detalhes dimensionais com grande precisão (DE HAAN et al., 2011).

Quatro fatores influenciam nas exigências de precisão do equipamento utilizado - a distância dos objetos, a refletância das superfícies, a obliquidade dos ângulos de leitura e a resolução do equipamento (DODL, 2018).

Segundo Wieczorek e Górawska (2017), o escaneamento a laser vem sendo utilizado em todo mundo em áreas como: arquitetura, engenharia industrial, medicina, geodésia, engenharia reversa e prototipagem, qualidade controle, inspeção e documentação de artefatos culturais, indústria de entretenimento (produção de filmes e videogames).

Quanto às investigações e estudos pós-explosão, o estudo do impacto das ondas de choque, a gravidade dos danos e a direção dos destroços é fundamental. O Laser Scanner 3D permite uma documentação precisa do local do sinistro. Segundo a Leica Geosystems (2022) “Em acidentes de grande escala, mesmo os investigadores mais experientes estão sujeitos a erros e não podem garantir totalmente que todas as observações foram bem documentadas.”

3 MATERIAIS E MÉTODO

Segundo Gil (2018), trata-se de uma pesquisa aplicada a qual “abrange estudos elaborados com a finalidade de resolver problemas identificados no âmbito das sociedades em que os pesquisadores vivem”.

Ainda segundo Marconi e Lakatos (2017), classifica-se o estudo como estudo de campo, o qual “consiste na observação de fatos e fenômenos tal como ocorrem espontaneamente, na coleta de dados a eles referentes e no registro de variáveis que se presume relevantes para analisá-los”.

3.1 Materiais e equipamentos utilizados

Para a coleta e processamento dos dados e imagens, foram utilizados os seguintes materiais e equipamentos:

- a) *Laser Scanner* Faro Focus 3D X 330 (Figura 14);
- b) Tripé para o *Laser Scanner*;
- c) Notebook para inserção e análise dos dados coletados.

Figura 14 - Laser Scanner Faro Focus 3D X 330



Fonte: <https://www.tecnosat.com.br/laser-scanner-faro-x330>.

3.2 Método

Antes que houvesse alteração significativa no local da explosão (dia seguinte), foi realizado o registro da cena com um total de 20 pontos de registro, de forma a permitir melhor cobertura do escaneamento com menos áreas de sombra nos ambientes a serem analisados.

Para a análise do arquivo obtido pelo escaneamento com o equipamento de escaneamento a laser, utilizou-se o software FARO Scene 7.1 e FARO Scene 2go, permitindo a visualização da nuvem de pontos gerados e a obtenção de imagens e mensurações precisas.

Com a obtenção das informações dadas pelo escaneamento a laser, foi realizado o caminho inverso da explosão da nuvem de vapor de GLP, conforme preconiza a NFPA 921 (2021), identificando os vetores de força e rastreando-os do sentido das áreas menos para as mais danificadas, seguindo o caminho inverso dos mesmos.

Tal análise dinâmica da explosão foi realizada a partir de uma planta do ambiente afetado, sendo inseridas as várias direções de movimento de detritos e uma estimativa da força relativa necessária para o dano ou movimento de cada estrutura envolvida.

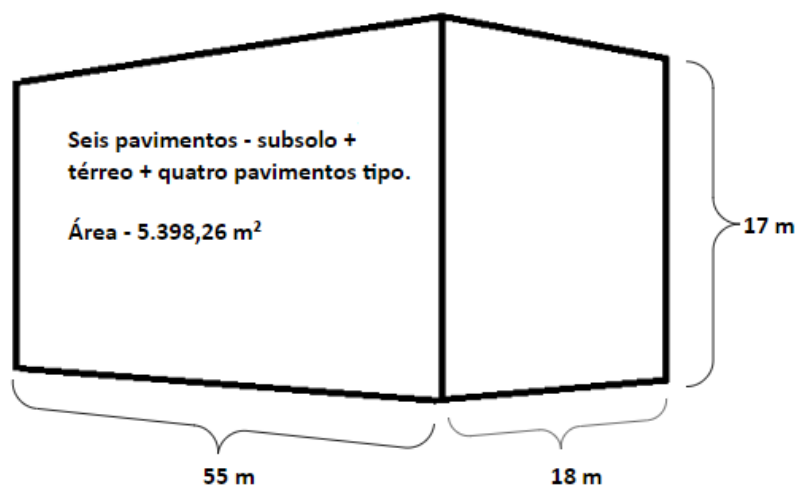
Para a mensuração da sobrepressão a qual as estruturas foram submetidas, foi utilizada a Tabela 22.14.4.1.5 (b) - Critérios de dano à propriedade - contida na NFPA 921 (2021) e juntada no Anexo A deste estudo.

3.3 Análise do estudo de caso

A análise dos efeitos de uma explosão de nuvem de vapor de GLP, ocorrida em 2022, foi realizada em edificação classificada como serviço de hospedagem - hotel.

A edificação (Figura 15) não foi identificada quanto ao nome da empresa ou sua localização com o intuito de proteção das informações, possui seis pavimentos, 5.398,26 m² de área construída e teve sua execução na década de 80.

Figura 15 - Volumetria do hotel estudo de caso



Fonte: Elaboração própria (2022).

O levantamento foi realizado um dia após a explosão utilizando o equipamento Faro Focus 3D X 330 disponibilizado pelo Instituto Federal de Santa Catarina para realizar o escaneamento de toda a área sinistrada de forma a ser possível visualizar o comportamento das estruturas envolvidas, bem como os deslocamentos dados pelas ondas de sobrepressão decorrentes da explosão, conforme descrito no método.

Complementarmente, para cumprimento do último objetivo específico do estudo foi realizada a correlação da situação apresentada na edificação com os dispositivos normativos relativos ao tema, apresentados no referencial teórico deste estudo, de forma a esclarecer quais aspectos podem ser observados para mitigar os riscos de vazamento e/ou explosões dessa natureza bem como propor possíveis soluções para o aumento da segurança nessas situações.

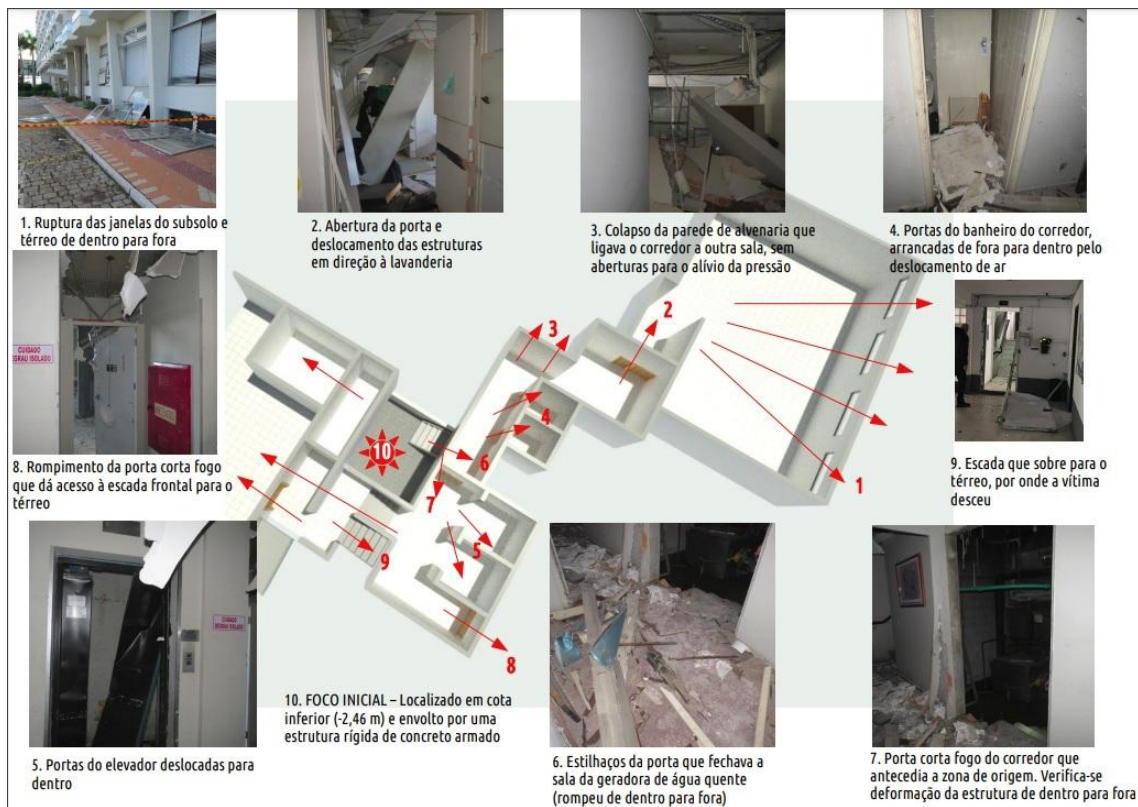
4 APRESENTAÇÃO DOS RESULTADOS

Conforme descrito no método, os resultados serão apresentados a partir de uma planta gerada da área do subsolo (Figura 16) - pavimento mais atingido e, em tese, pavimento no qual houve o epicentro da explosão - sendo realizada a análise de cada vetor de deslocamento das estruturas, com a estimativa aproximada da sobrepressão gerada pela explosão, conforme Tabela 22.14.4.1.5 (b) da NFPA 921 (2021).

Quanto à explosão ocorrida, cabe ressaltar que, conforme investigações realizadas pelo CBMSC e Polícia Civil, houve a falha de uma válvula reguladora de pressão do GLP junto ao aparelho de aquecimento de água, alimentado pelo GLP e localizado em ambiente com cota inferior ao nível do subsolo, gerando o vazamento e acúmulo do gás (aproximadamente 25 kg) em ambiente pouco ventilado e enclausurado que, associado a uma ignição interna do aparelho aquecedor de água quente ocasionou a explosão, resultando em duas vítimas (uma com mais de 50% de queimadura, a qual tentou realizar o corte do gás, e outra com lesões leves por ferimento dos estilhaços de vidro).

De forma a direcionar a análise descrita na método deste estudo foi confeccionada uma planta simplificada da área do subsolo e adicionados os vetores (setas vermelhas) com a direção e sentido do deslocamento das estruturas para que a partir das imagens obtidas pelo escaneamento possa ser mensurada a sobrepressão no ponto e analisados os efeitos da explosão em cada ambiente.

Figura 16 - Análise dinâmica da explosão



Fonte: Elaboração própria (2022).

4.1 Análise e discussão dos resultados

Com base na figura 16 apresentada anteriormente foram analisadas as imagens obtidas no software Scene 2go, bem como imagens do local extraídas na visita à campo. A numeração dos próximos tópicos indica o número descrito na imagem anterior para melhor entendimento.

4.1.1 Ruptura das janelas do subsolo e térreo

Conforme figura 17, observa-se que houve a ruptura dos vidros das janelas do subsolo, com os caixilhos fixos, bem como o deslocamento de algumas janelas do pavimento térreo.

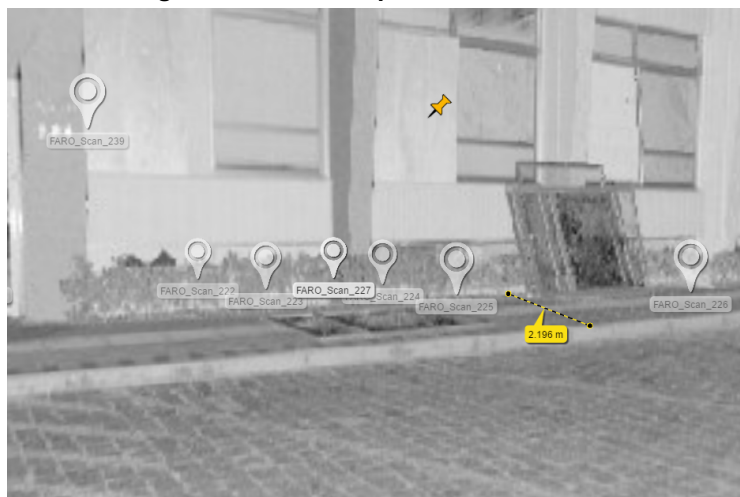
Figura 17 - Vista de parte da fachada frontal



Fonte: Do autor (2022).

No momento do escaneamento a laser do local, as janelas projetadas já haviam sido modificadas de sua posição original após a explosão, portanto, considerando que o maior deslocamento observado da janela foi alinhado com o meio fio, é possível mensurar a distância pela nuvem de pontos gerada, observando uma distância de aproximadamente 2,20 m (Figura 18).

Figura 18 - Vista de parte da fachada frontal



Fonte: Elaboração própria - Scene 2go (2022).

Considerando o previsto na tabela de critérios de dano à propriedade da NFPA 921 (2021), a energia de sobrepressão gerada nos casos em que há quebra

das janelas de vidro, com eventual dano nos caixilhos das janelas (como nos casos em que a mesma é projetada), é de 0,5 a 1 psi, ou seja de 3,5 KN/m² a 6,9 KN/m².

Na fachada da edificação, de forma geral não pôde ser observada qualquer indício de comprometimento estrutural ou das paredes de alvenaria. É possível inferir que o menor dano às estruturas se deu pela área extensa (110 m²) das janelas do térreo e subsolo que se romperam para liberação de energia da explosão.

4.1.2 Lavanderia do subsolo

Na lavanderia localizada no subsolo, verifica-se que houve significativos efeitos do deslocamento de ar, resultado da explosão. Todo o mobiliário foi deslocado e houve a queda de todo o forro de PVC do local com retorcimento da estrutura metálica que sustentava o forro (Figura 19).

Figura 19 - Teto da lavanderia visto de costas para janela frontal

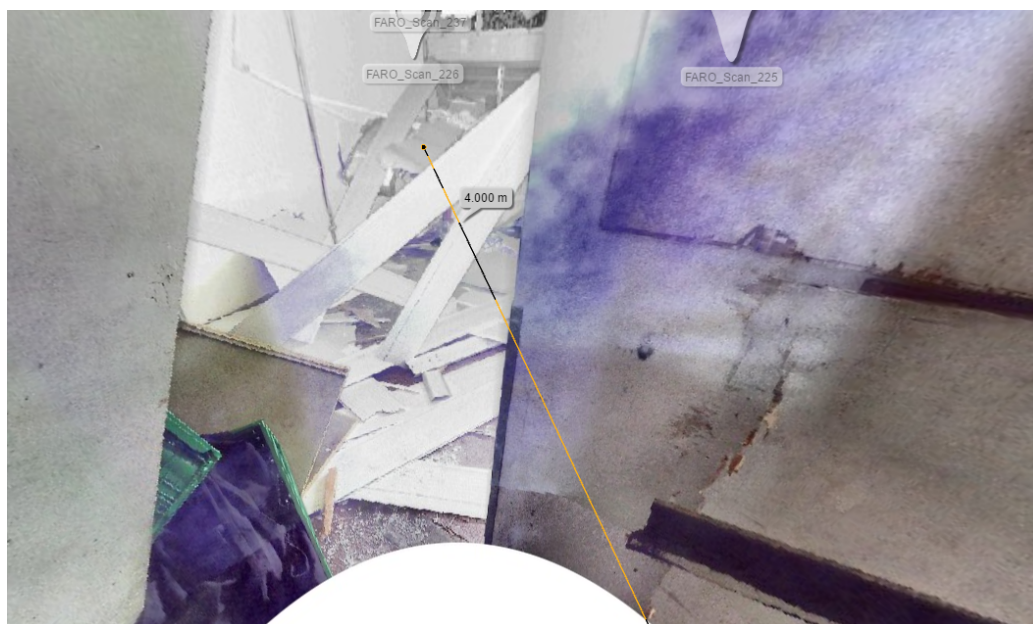


Fonte: Scene 2go (2022).

Na Figura 20 observa-se o deslocamento de uma das folhas da porta de acesso à lavanderia. Realizando a mensuração da distância no Scene 2go, verifica-se que a mesma foi deslocada em 4 m (Figura 21).

Figura 20 - Mobiliário da lavanderia

Fonte: Scene 2go, edição nossa (2022).

Figura 21 - Distância deslocamento porta

Fonte: Scene 2go (2022).

Considerando a ruptura e projeção por 4 metros de uma das folhas da porta da lavanderia, com base na tabela de critérios de dano à propriedade da NFPA 921 (2021), a energia de sobrepressão gerada foi de 1 a 2 psi, ou seja de 6,9 KN/m² a 13,8 KN/m².

4.1.3 Parede de alvenaria do corredor do subsolo

Segundo a NFPA 921 (2021), explosões raramente vão envolver uma combustão laminar. A turbulência aumenta consideravelmente a velocidade da chama e a velocidade da chama turbulenta geralmente será a velocidade da chama relevante para a varredura real.

Na situação indicada pelo número 3 na Figura 16 é possível observar que o fluxo da explosão vem pelo corredor, encontrando ao final uma parede de alvenaria (blocos cerâmicos), o que ocasionou forte turbulência e aceleração das chamas e ondas de choque.

Conforme verifica-se na Figura 22 e 23, houve o colapso total da parede ao final do corredor, a qual não possuía elementos estruturais em sua composição, como pilares.

Figura 22 - Vista do corredor para a parede colapsada



Fonte: Scene 2go (2022).

Figura 23 - Foto da parede colapsada



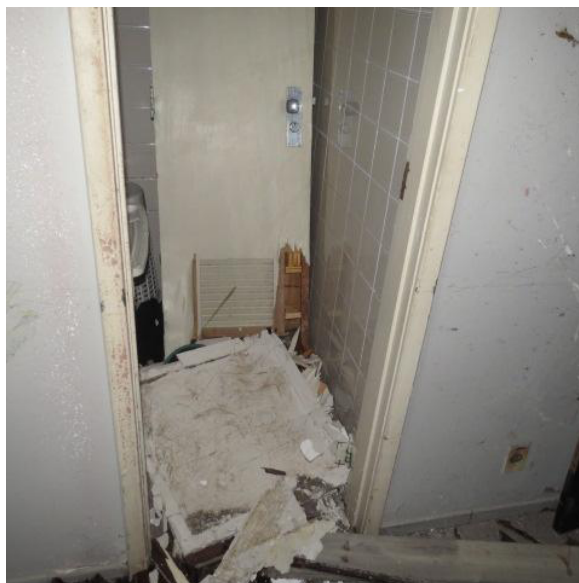
Fonte: Do autor (2022).

Com base na tabela de critérios de dano à propriedade da NFPA 921 (2021), a energia de sobrepressão gerada foi de aproximadamente 2 psi - colapso parcial de paredes e/ou telhados - ou seja de aproximadamente 13,8 KN/m².

4.1.4 Portas do banheiro do subsolo

O corredor dava acesso ainda a dois lavabos, os quais tiveram suas portas completamente avulsionadas e projetadas para a parede interna do banheiro (Figura 24), indicando uma energia de sobrepressão gerada de 1 a 2 psi, ou seja de 6,9 KN/m² a 13,8 KN/m².

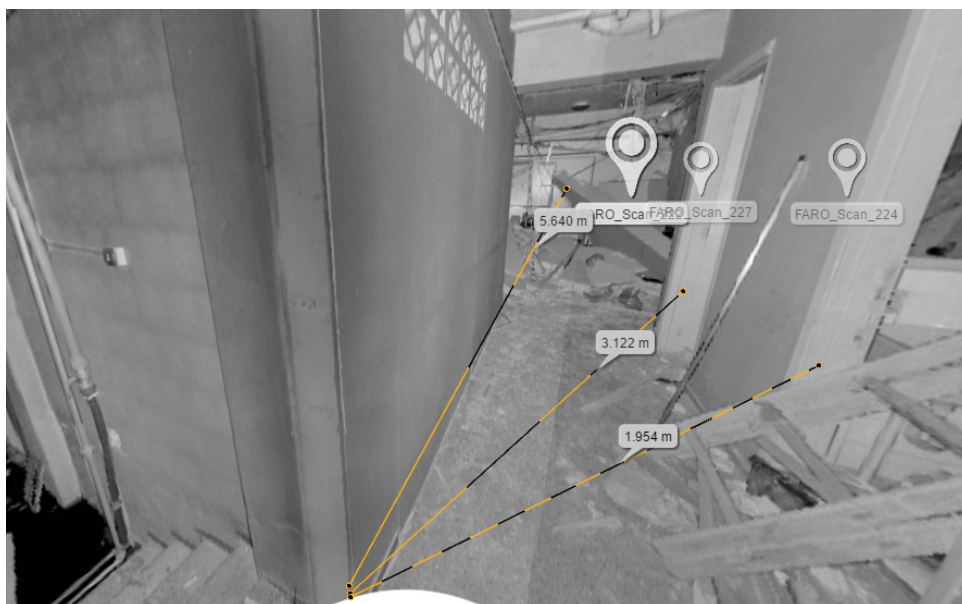
Figura 24 - Porta de um dos lavabos do corredor



Fonte: Do autor (2022).

Na Figura 25, visualizam-se as distâncias aproximadas da porta da zona de origem da explosão até a parede colapsada ao final do corredor e das duas portas dos banheiros.

Figura 25 - Distância da porta da zona de origem até a parede colapsada e os lavabos



Fonte: Scene 2go (2022).

4.1.5 Portas do elevador do subsolo

A porta do elevador que se comunicava com a área de funcionários do subsolo ficou deformada, porém não foi arrancada (Figura 26).

Figura 26 - Porta do elevador subsolo



Fonte: Do autor (2022).

Distanciada aproximadamente 4,2 m da porta da zona de origem (Figura 27), porém com uma porta corta fogo antecedendo o corredor, os danos foram ligeiramente minimizados, considerando também a escadaria em frente que auxiliou a dissipar bastante energia.

Com base na tabela de critérios de dano à propriedade da NFPA 921 (2021), a energia de sobrepressão gerada foi de aproximadamente 1,3 psi - estruturas metálicas levemente distorcidas - ou seja de aproximadamente 8,9 KN/m².

Figura 27 - Distância da porta da zona de origem até a porta do elevador



Fonte: Scene 2go (2022).

4.1.6 Porta do ambiente da geradora de água quente

A análise propriamente dos efeitos da explosão no ambiente de zona de origem será feita na seção 4.1.10, porém quanto à porta do ambiente, a qual era constituída de madeira com venezianas de madeira, foi observado que houve a ruptura da mesma de dentro para fora em fragmentos muito pequenos dada a energia da explosão neste ponto (Figura 28).

Figura 28 - Porta da Zona de Origem



Fonte: Do autor (2022).

Observa-se ainda na Figura 28 a estrutura de alumínio da caixa de corte de GLP que estava localizado em frente à referida porta. Na Figura 29 é possível ter uma visão do registro de corte de GLP instalado especificamente para suprimir a demanda de gás para o gerador de água quente no subsolo.

Figura 29 - Registro de corte do GLP do gerador de água quente



Fonte: Do autor (2022).

Neste ponto estima-se que a energia tenha chegado mais próximo de 2 psi (13,8 KN/m²) do que nas situações anteriores, dada a fragmentação completa da porta, deformação de estruturas metálicas no entorno, bem como impacto na porta corta-fogo ao lado.

4.1.7 Porta corta fogo do corredor do subsolo

Logo ao lado da porta da zona de origem (ambiente da geradora de água quente) havia uma porta corta fogo metálica, a qual - em tese - estaria fechada no momento da explosão, dada avulsão parcial do contramarco da porta, o qual é chumbado na alvenaria em seu entorno.

Figura 30 - Porta corta-fogo que antecede a zona de origem



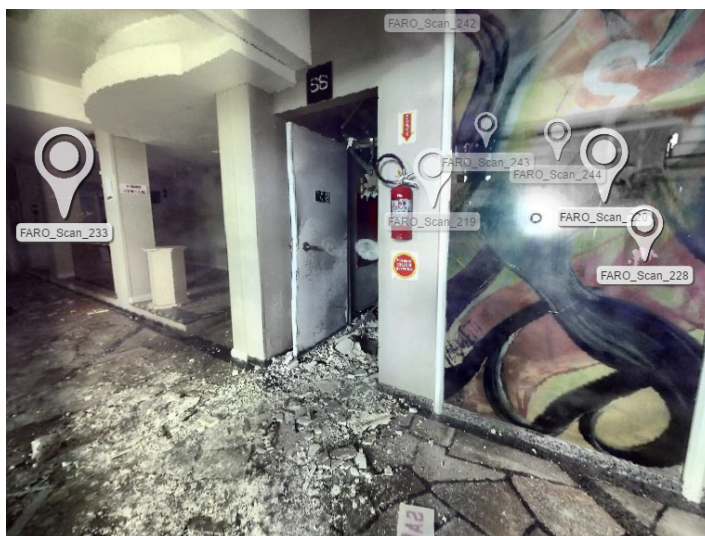
Fonte: Scene 2go (2022).

Na Figura 30 é possível identificar a proximidade com o ambiente da geradora de água quente, bem como o deslocamento do contramarco em aproximadamente 0,2 m. Verificam-se ainda diversos pedaços de placas de gesso no chão, as quais compunham o forro de gesso.

4.1.8 Porta corta fogo de acesso à escada frontal da edificação

Direcionando-se para a parte frontal da edificação, ainda pelo subsolo, há uma porta corta-fogo que interliga a área de circulação comum com uma área restrita à funcionários. O referido ambiente sofreu menores danos decorrentes da explosão, apenas com ruptura dos vidros das janelas (Figura 32) e leve deformação da porta metálica (Figura 31).

Figura 31 - Porta corta-fogo que dá acesso à escada da entrada



Fonte: Scene 2go (2022).

Figura 32 - Quebra de vidros no subsolo após a porta corta-fogo



Fonte: Scene 2go (2022).

Considerando o previsto na tabela de critérios de dano à propriedade da NFPA 921 (2021), a energia de sobrepessão gerada nos casos em que há quebra das janelas de vidro, com eventual dano nos caixilhos das janelas é de 0,5 a 1 psi, ou seja de 3,5 KN/m² a 6,9 KN/m². Para este ambiente supõe-se um valor mais próximo de 0,5 psi (3,5 KN/m²).

Na mesma região da Figura 32, porém no pavimento térreo houve ainda a quebra de uma porta de vidro grande de duas folhas que antecede o restaurante (Figura 33). Para este caso, a energia estimada é de 0,15 psi (0,7 KN/m²).

Figura 33 - Porta de vidro quebrada

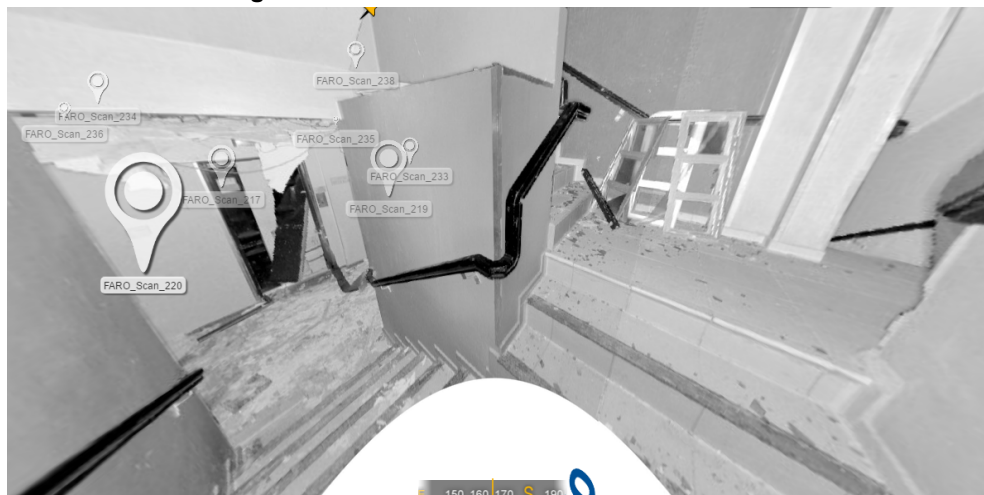


Fonte: Do autor (2022).

4.1.9 Escada interna de acesso ao térreo

A Figura 34 demonstra o acesso vindo do subsolo para o pavimento térreo, havendo um pavimento intermediário garagem (porta corta-fogo à direita na foto).

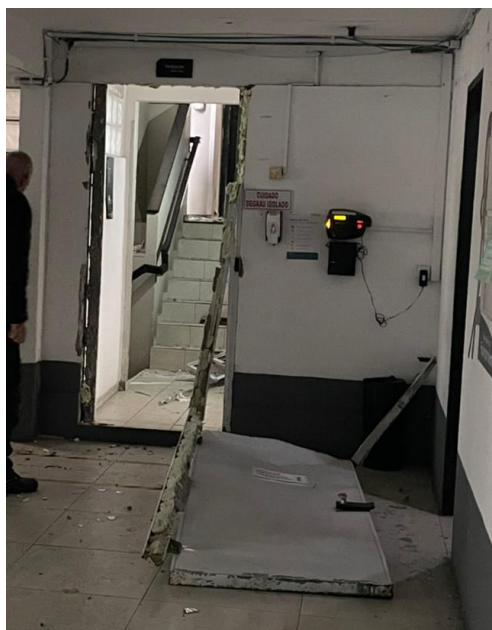
Figura 34 - Escada de acesso restrito ao subsolo



Fonte: Scene 2go (2022).

A referida porta corta-fogo de acesso à garagem foi projetada de dentro para fora e teve seu contramarco chumbado quase completamente desprendido (Figura 35).

Figura 35 - Porta corta-fogo de acesso à garagem



Fonte: Do autor (2022).

Com base na tabela de critérios de dano à propriedade da NFPA 921 (2021), a energia de sobrepressão gerada foi de aproximadamente 1,3 psi - estruturas metálicas levemente distorcidas - ou seja de aproximadamente 8,9 KN/m².

4.1.10 Zona de origem da explosão

Na zona de origem localizava-se o gerador de água quente (Figura 36), o qual consiste em um aquecedor de passagem de exaustão natural de 2.000 kcal/min, no pavimento subsolo (cota de -1,38 m) em uma sala com nível mais inferior (-2,46 m), com pouca ventilação - somente venezianas da porta e abertura na parte superior da sala junto ao reservatório térmico de água. Verifica-se ainda na imagem abaixo que houve a abertura da estrutura do aquecedor, tendo a ignição e o início da expansão e deslocamento dos gases partido de seu interior para fora.

Figura 36 - Gerador de água quente

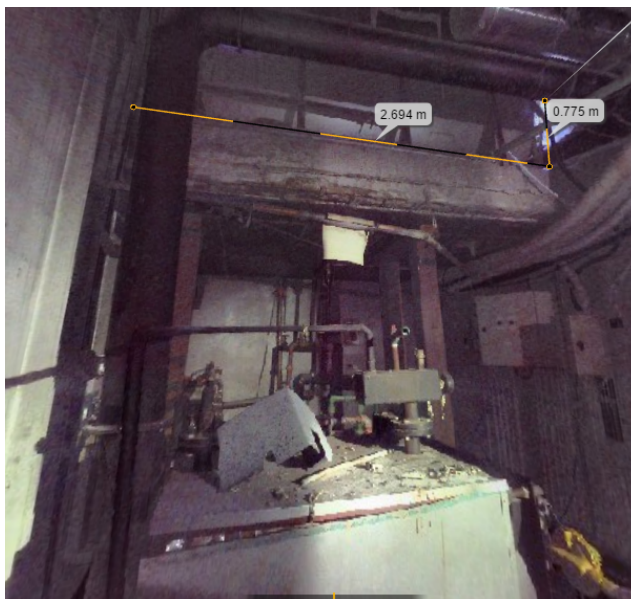


Fonte: Do autor (2022).

Neste ambiente, epicentro da explosão, não houve danos significativos nas estruturas internas, apenas marca de carbonização nas paredes, sem rompimento de tubulações. Tal situação justifica-se pela alta concentração de GLP no interior do ambiente, gerando a queima na porção inflamável (dentro dos limites de inflamabilidade) e deslocando os gases não queimados para longe do epicentro, ou seja, à partir da porta e janela do ambiente em direção ao corredor e demais áreas afetadas, gerando maiores danos na medida em que são encontrados obstáculos, até que a energia seja completamente dissipada.

Na parte mais alta da sala há uma janela com tela parcialmente obstruída por um acumulador de água quente localizado em uma laje que ficava aberta para o ambiente externo (Figura 37 e 38).

Figura 37 - Ambiente do gerador de água quente com janela superior



Fonte: Scene 2go (2022).

Figura 38 - Acumulador de água quente visto da laje da garagem externa



Fonte: Do autor (2022).

Logo acima do gerador de água quente havia um guarda corpo que ligava à garagem descoberta, o qual foi destruído pela explosão (Figura 39), sugerindo

uma sobrepressão de 2 psi - colapso parcial de paredes e/ou telhados - ou seja de aproximadamente 13,8 KN/m² - NFPA (2021).

Figura 39 - Vista do guarda corpo colapsado



Fonte: Do autor (2022).

4.2 Correlações normativas

Considerando o descrito na seção 2.2 deste estudo, e de forma a compreender melhor o fenômeno ocorrido e esclarecer quais pontos da edificação estudo de caso estavam em desacordo com as normativas vigentes, seguem as devidas correlações normativas e ponderações.

Cabe ressaltar que a edificação possuía projeto preventivo contra incêndio aprovado, porém a execução verificada *in loco* estava com diversos pontos em desacordo.

4.2.1 Localização

Quanto à localização da Central de GLP da edificação, verifica-se que há o atendimento do preconizado pela NFPA 58 (2020), NBR 13523 (2019), CBMESP (2019) e CBMSC (2018), estando os recipientes de GLP estacionários localizados no exterior da edificação e em ambiente ventilado, conforme figura 40.

Figura 40 - Central de GLP



Fonte: Do autor (2022).

Com relação ao traçado da tubulação (rede interna) há a passagem de tubulação pelo forro do subsolo (Figura 41), bem como em locais de cota negativa (Figura 42), conflitando com o previsto na NBR 15526 (2012), IT 28 do CBMESP (2019) e IN 08/CBMSC (2018) e podendo gerar o acúmulo de GLP em ambas situações. Cabe ressaltar, entretanto, que o ponto de falha no sistema não decorreu dessa situação específica.

Figura 41 - Tubulação de GLP pelo forro do subsolo



Fonte: Do autor (2022).

Figura 42 - Tubulação de GLP pelo piso do ambiente abaixo da cota do subsolo



Fonte: Do autor (2022).

O gerador de água quente - aquecedor de passagem de exaustão natural de 2.000 kcal/min (Figura 43) - estava instalado em local divergente do previsto nas NBR 13103 (2020) e IN 08/CBMSC (2018) pois para uma instalação interna à edificação deveria ser de exaustão forçada (com a adequada ventilação) ou fluxo balanceado (circuito fechado) e de igual forma não poderia estar instalado em cota negativa (Figura 36).

Figura 43 - Aquecedor em funcionamento normal durante testes (com outra válvula)



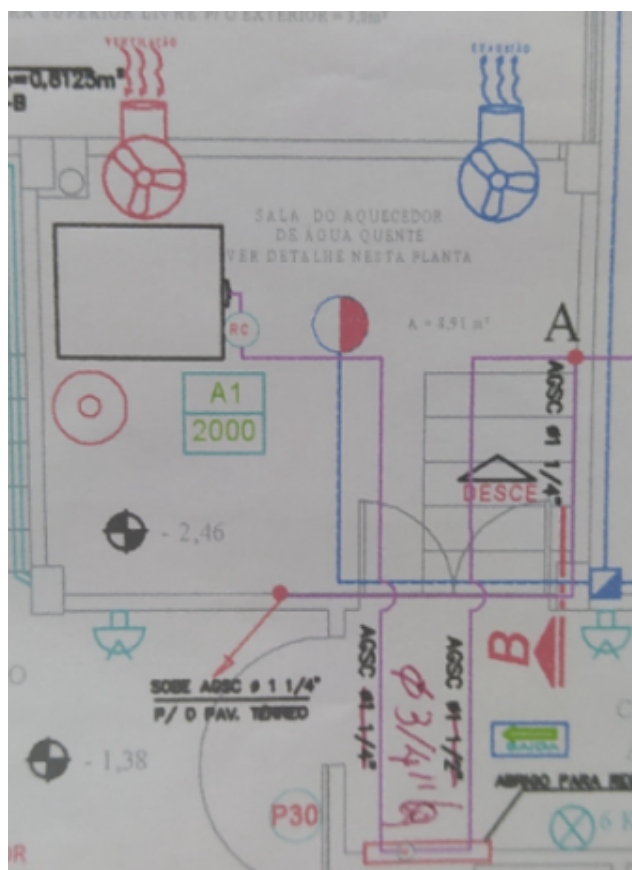
Fonte: Do autor (2022).

4.2.2 Ventilação

Quanto à ventilação do ambiente, conforme NBR 13103 (2020) e IN 08/CBMSC (2018), para os ambientes em que houver aparelhos de queima a gás devem ser previstas aberturas de ventilação superiores e inferiores, permanentes, não sendo permitida obstrução total ou parcial das mesmas.

Para o caso em tela, por ser uma edificação mais antiga (construída na década de 80) o projeto preventivo foi aprovado em 1985 e alterado em 2016 com a localização do aquecedor em cota inferior com algumas exigências específicas, como registro de corte externo ao ambiente e instalação de ventilador e exaustor automatizados (Figura 44). Estes últimos não foram instalados e, em tese, foram um dos fatores que contribuíram para o ocorrido.

Figura 44 - Recorte do projeto preventivo da edificação



Fonte: Do autor (2022).

4.2.3 Medidas de segurança

Quanto às medidas de segurança previstas no local, verifica-se que apenas havia a instalação de válvulas de corte de GLP, tanto na Central de GLP (conjunto de controle e manobra), quanto antecedendo o ambiente e junto ao aquecedor, conforme disposto na NBR 15526 (2012), NBR 13103 (2020) e IN 08/CBMSC (2018).

Uma medida de segurança que, se prevista, poderia ter evitado ou mitigado as dimensões do sinistro ocorrido é a utilização de detectores pontuais de GLP, integrados ou não ao sistema de alarme, de forma a alertar aos funcionários da empresa que havia um vazamento em andamento.

Ainda que o GLP apresenta odorização característica, durante o ocorrido não havia funcionários no subsolo pois o horário era logo após o almoço e o vazamento perdurou por aproximadamente 30 minutos sem que ocorresse a detecção.

4.2.4 Instalação e Manutenção

Quanto à instalação e manutenção do sistema de GLP, a edificação possuía um controle adequado dos processos, com a gestão da Central de GLP por uma empresa específica que realizava o abastecimento e manutenções necessárias, bem como outra empresa que mantinha o equipamento gerador de água quente em funcionamento e dava assistência quando necessário. Não foi identificada, entretanto, uma rotina de manutenção preventiva dos equipamentos.

Conforme anteriormente ressaltado, a NBR 13103 (2020) traz que os aparelhos a gás devem ser instalados por profissional qualificado, sob supervisão ou responsabilidade de profissional habilitado e/ou agente habilitado. Para a instalação, devem ser considerados os seguintes aspectos:

- a) tipo do aparelho a gás;
- b) potência do aparelho a gás a ser instalado;
- c) volume do ambiente de instalação;
- d) **área, tipo e condições de ventilação do ambiente de sua instalação;**
- e) exaustão dos produtos da combustão;
- f) **recomendações do fabricante do aparelho a gás.**

Destacam-se os itens “d” e “f” citados pois, ainda que houvesse aprovação do projeto preventivo, cabe um senso crítico ao Responsável Técnico no sentido de identificar situações que possam colocar em risco o patrimônio do cliente, bem como as pessoas que o habitam.

Quanto às recomendações do fabricante, observou-se outra falha específica que foi a instalação de uma válvula de redução de pressão com vazão de 50 kg/h no interior do ambiente, antecedendo o aquecedor, possuindo um "vent" (orifício de ventilação e alívio da pressão), o qual, por orientação do fabricante no manual da válvula, deveria ser canalizado para um ambiente externo, caso a instalação se dê em ambiente fechado (Figura 45 e 46).

Figura 45 - Vent da Válvula



Fonte: Do autor (2022).

Figura 46 - Manual com a orientação da canalização do Vent

Os reguladores auto operados são indicados para uso em temperatura entre -10°C a = 70°C e são aplicáveis em situações onde o controle de pressão de utilização dos gases em consumo se faz necessário (por exemplo: caldeiras, fogões, aquecedores, máquinas injetoras, fornos etc.), para gás liquefeito de petróleo (GLP), gás natural (GN) ou ainda outros gases sob consulta.

Pressão de entrada máxima de 18kgf/cm²

Os reguladores amarelo e laranja são promovidos de válvula de alívio que através de sua abertura minimiza os efeitos de uma sobre pressão. Estes reguladores são dotados de "vent" (orifício de ventilação), providos de uma tela de proteção, impedindo a entrada de insetos e outros objetos estranhos na Câmara de Molas. O "vent" possui rosca de ¼" NPT para canalização, evitando acúmulo de gás caso o regulador esteja instalado em ambiente fechado.

Nas instalações externas o regulador desse ver instalado, no mínimo a meio metro (0,5m) acima do solo. O dimensionamento da bateria deve ser feito levando – se em conta a capacidade de vazão requerida pela instalação/aparelho de consumo.

Fonte: Manual da válvula - edição nossa (2022).

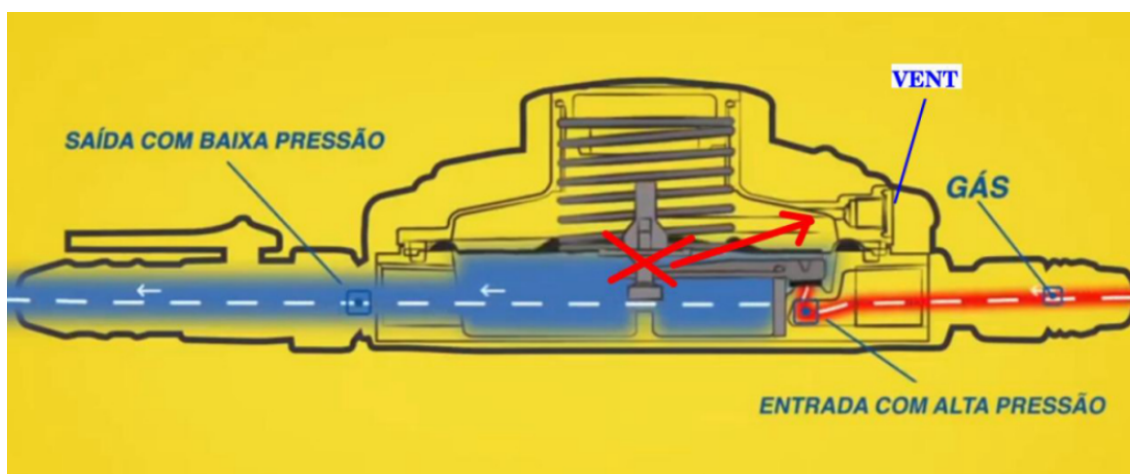
Tal situação torna-se extremamente relevante pois foi identificado que ocorreu uma falha interna da referida válvula (fratura do parafuso que sustentava o diafragma - Figura 47), fazendo com que houvesse o vazamento pelo “vent” para o interior do ambiente (Figura 48).

Figura 47 - Parafuso fraturado



Fonte: Do autor (2022).

Figura 48 - Manual com a orientação da canalização do Vent



Fonte: Manual da válvula - edição nossa (2022).

O sistema de aquecimento de água da edificação funcionava pela manutenção do monitoramento da temperatura da água no reservatório - estando regulado para manter a 80°C. Quando a temperatura baixa, o equipamento liga a ventoinha e acende a centelha no queimador (similar a um fogão comum), liberando o fornecimento de GLP pela válvula solenóide e gerando a queima para o aquecimento da água no reservatório. Tal processo é realizado automaticamente diversas vezes por dia para a manutenção da temperatura.

Ainda que o equipamento estivesse mantido e todos os componentes do sistema estivessem na validade e em adequado funcionamento, considerando que a atmosfera do ambiente encontrava-se dentro dos limites inferiores e superiores de explosividade, ao haver a próxima centelha interna ao aquecedor deu-se a ignição da nuvem de vapor de GLP e a consequente explosão devido confinamento do ambiente, com os resultados analisados neste estudo.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Com base na análise realizada, verifica-se que pouca quantidade de GLP no ambiente pode formar uma mistura explosiva capaz de gerar danos consideráveis na edificação, a depender - dentre outros fatores - do ambiente em que ocorre, possibilidades de dissipação da energia da explosão, características construtivas e obstáculos que possam gerar turbulência e aumentar a velocidade das chamas.

A sobrepressão máxima observada no estudo de caso, de acordo com a referência adotada da Tabela 22.14.4.1.5 (b) - Critérios de dano à propriedade - contida na NFPA 921 (2021), foi de 2 psi, ou 13,8 KN/m². Tal sobrepressão gerada poderia ter ocasionado o colapso da edificação, não fosse a estrutura reforçada de concreto armado na zona de origem da explosão (paredes, piso e teto de concreto armado, no subsolo), bem como as diversas aberturas que a edificação possuía, o que contribuiu para o alívio da pressão.

Com relação às normativas referentes ao sistema de GLP canalizado, são apresentadas diversas medidas preventivas referente à locação dos recipientes, tubulações e aparelhos de queima a gás, bem como medidas de segurança - destaque para as válvulas de corte e os detectores de GLP - adequação da ventilação dos ambientes e critérios de instalação e inspeção/manutenção dos equipamentos.

Difícilmente um sinistro ocorre por um motivo isolado. No caso analisado, um conjunto de fatores contribuiu para a explosão. Fatores estes citados e fundamentados no corpo deste estudo, os quais permeiam - em tese - questões de falhas na instalação do equipamento (válvula reguladora de GLP sem instalação do "vent"), falha no processo de fiscalização e orientação por parte do Responsável Técnico, falha mecânica da válvula reguladora de GLP (provável defeito de fabricação), dentre outros possíveis fatores.

Conhecida a real e considerável incidência de falhas (em geral humanas) nos sistemas de GLP com conseqüente vazamento e risco de explosão e, tendo em vista as conseqüências à estrutura apresentada neste estudo, torna-se necessário a constante atualização por parte dos Responsáveis Técnicos e proprietários das edificações no sentido de pensar e projetar as edificações seguindo as

recomendações de normas internacionais, o preconizado pelas normas nacionais e estaduais, adotando medidas mitigadoras de danos e observando a adequada manutenção do sistema.

5.1 Sugestões para trabalhos futuros

Para trabalhos futuros, de forma a complementar o conhecimento trazido neste estudo, sugere-se:

- a) Analisar mais detalhadamente as variáveis envolvidas nas ocorrências envolvendo vazamento de GLP no Estado de Santa Catarina;
- b) Propor um projeto de instalação de gás combustível (GLP) para uma edificação que contenham medidas preventivas pensadas no aumento da segurança;
- c) Analisar e propor adequações viáveis para incremento da segurança em edificações antigas e/ou tombadas (com limitações de alterações estruturais importantes);
- d) Realizar simulações computacionais de explosão em diferentes configurações de estruturas e seus efeitos nas mesmas.

REFERÊNCIAS

AICHE. Há Trinta Anos – Uma Tragédia com GLP. **Process Safety Beacon**. Novembro 2014. Disponível em:

<https://www.icheme.org/sites/default/files/2014-11-Beacon-Portuguese%20%28Brazil%29.pdf>. Acesso em: 02 julho de 2022.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 13103**: Instalação de aparelhos a gás - Requisitos. Rio de Janeiro: ABNT, 2020.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 15923**: Inspeção de rede de distribuição interna de gases combustíveis em instalações residenciais e instalação de aparelhos a gás para uso residencial — Procedimento. Rio de Janeiro: ABNT, 2011.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 13523**: Central de gás liquefeito de petróleo - GLP. Rio de Janeiro: ABNT, 2019.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 15526**: Redes de distribuição interna para gases combustíveis em instalações residenciais e comerciais - projeto e execução. Rio de Janeiro: ABNT, 2012.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 60079-10-1/2022**: Atmosferas explosivas Parte 10.1: Classificação de áreas - Atmosferas explosivas de gás. Rio de Janeiro: ABNT, 2022.

BRASIL. **Código de defesa do consumidor**. Lei 8.078 de 11/09/90. Brasília, Diário Oficial da União, 1990.

BRASIL. Constituição (1988). **Constituição da República Federativa do Brasil**. Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil, Brasília, DF, 5 out. 1988.

Disponível em:

<http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/constituicao/constituicaocompilado.htm>.

Acesso em: 02 julho de 2022.

CORPO DE BOMBEIROS DO ESTADO DE SÃO PAULO. **Instrução Técnica 28/19 – Manipulação, Armazenamento, Comercialização e Utilização de Gás Liquefeito de Petróleo (GLP)**. São Paulo, 2019.

CORPO DE BOMBEIROS MILITAR DE SANTA CATARINA. Normas de Segurança Contra incêndio. **IN 01 - PARTE 2. Procedimentos administrativos: sistemas e medidas de segurança contra incêndio e pânico**. Publicada em: 18 dez. 2019. Vigente a partir de 17 fev. 2020. Florianópolis: CBMSC, 2019.

CORPO DE BOMBEIROS MILITAR DE SANTA CATARINA. **IN 008 - Instalação de gás combustível (GLP E GN)**. Florianópolis, 2018. Publicada em: 31 jan. 2018, Alterada em: 23 jul. 2018. Florianópolis: CBMSC, 2018.

DE HAAN, John D. et al. **Kirk's fire investigation**. Pearson Higher, 2011.

DODL, L.D. **Caderno de Boas Práticas para As-Is BIM Usando Laser Scanner FARO e Revit**. Trabalho de Conclusão de Curso (Engenharia Civil) – Instituto Federal de Santa Catarina (IFSC). Santa Catarina, p. 104. 2018. Disponível em: <<https://repositorio.ifsc.edu.br/handle/123456789/344>>. Acesso em: 20 junho de 2022.

FRANÇA, Rovane Marcos de. Milhões de pontos: Conheça mais sobre o laser scanner terrestre em três dimensões. **MundoGEO: A revista de geomática e soluções geoespaciais**, Curitiba, v. 1, n. 67, p.68, mar. 2012. Bimestral.

FREITAS, R. M.. **O princípio da legalidade aplicado às normas da ABNT**. Jus.com.br, 2012. Disponível em: <https://jus.com.br/artigos/23337/o-principio-da-legalidade-aplicado-as-normas-abnt>. Acesso em: 02 julho de 2022.

G1-RS. **Vazamento de gás provocou explosão em prédio de Farroupilha, diz perícia**. 2018. Disponível em: <https://g1.globo.com/rs/rio-grande-do-sul/noticia/2018/12/26/vazamento-de-gas-provocoou-explosao-em-predio-de-farroupilha-diz-pericia.ghtml>. Acesso em: 02 de julho 2022.

GAZETA DO POVO. **Autoridades suspeitam que explosão no Rio tenha sido causada por botijão de gás**. 2015. Disponível em: <https://www.gazetadopovo.com.br/vida-e-cidadania/autoridades-suspeitam-que-explo-sao-no-rio-tenha-sido-causada-por-botijao-de-gas-8111h7jl28tk6xt8c1lffg5b4/>. Acesso em: 26 junho de 2022.

GIL, A. C. **Como elaborar projetos de pesquisa**. 6ªed. - São Paulo: Atlas, 2018.

LEYCA. **Investigação de locais de incêndio com o scanner a laser Leica RTC360**. Disponível em: https://leica-geosystems.com/pt-br/industries/public-safety-security-and-forensics/learning-centre-for-public-safety-professionals/fire-and-arson-investigation-rtc360_dubai-police. Acesso em: 03 julho de 2022.

LIMA, N. G.. **Modelos de previsão de demanda de gás liquefeito de petróleo: Uma revisão sistemática**. 23 p. Artigo apresentado ao Curso de Especialização em Engenharia da Produção, do Setor de Tecnologia, da Universidade Federal do Paraná, 2019. Disponível em:

<https://www.acervodigital.ufpr.br/bitstream/handle/1884/70353/R%20-%20E%20-%20NATALIA%20GUIMARAES%20DE%20LIMA.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. Acesso em: 01 julho de 2022.

MOREIRA, A.M.. **Segurança na utilização de gás liquefeito de petróleo**. 54 p. Trabalho de conclusão de curso apresentado ao Curso de Pós-Graduação em Engenharia de Campo: SMS do Departamento de Engenharia Ambiental, da Universidade Federal do Espírito Santo. Vitória-ES, 2015. Disponível em:

https://ambiental.ufes.br/sites/ambiental.ufes.br/files/field/anexo/seguranca_na_utilizacao_de_gas_liquefeito_de_petroleo_-_alessandro_marcio_moreira.pdf. Acesso em: 30 junho 2022.

NDMAIS. **Fotos mostram o poder da explosão que derrubou casa em Jurerê, em Florianópolis**. 2021. Disponível em:

<https://ndmais.com.br/seguranca/bombeiros/fotos-mostram-poder-da-explosao-que-derrubou-casa-em-jurere-em-florianopolis/>. Acesso em: 04 julho de 2022.

NFPA. **NFPA 58: Liquefield Petroleum Gas Code**. National Fire Protection Association. United States of America (2020). Disponível em:

<https://link.nfpa.org/free-access/publications/58/2020>. Acesso em: 31 outubro 2022.

NFPA. **NFPA 921: Guide for Fire and Explosion Investigations**. National Fire Protection Association. United States of America (2021). Disponível em:

<https://link.nfpa.org/free-access/publications/921/2021>. Acesso em: 02 maio 2022.

RASBASH, D. J.. Review of Explosion and Fire Hazard of Liquefied Petroleum Gas. **Fire Safety Journal**, 2 (1979/80) 223 - 236. Disponível em:

<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/0379711279900225>. Acesso em: 27 junho 2022.

RASLAVICIUS, L.; KERSYS, A.; MOCKUS, S.; KERSIENE, B.; STAREVICIUS, M.. Liquefied petroleum gas (LPG) as a medium-term option in the transition to sustainable fuels and transport. **Renewable and Sustainable Energy Reviews** 32 (2014) 513–525. Disponível em: shorturl.at/hmsZ8. Acesso em: 01 julho de 2022.

RICE, R.E. 3D Scans & UAVs. **Maltase Fire Investigation**, Washington D. C., 2019. Disponível em: <http://www.maltasefire.com/projects.html>. Acesso em: 28 junho de 2022.

RIBEIRO, J. N. **Sistema detector de gás (GLP) com ações preventivas**. 55p. Trabalho de conclusão de curso apresentado ao Curso Superior de Engenharia Elétrica das Faculdades Doctum de Caratinga/MG, 2018. Disponível em: <https://dspace.doctum.edu.br/bitstream/123456789/218/1/TCC%20JACKSON.pdf>. Acesso em: 28 novembro de 2022.

SANTA CATARINA. **Constituição do Estado de Santa Catarina**: Promulgada em 05 de Outubro de 1989. Institui a Constituição do Estado de Santa Catarina. Florianópolis, 05 out. 1989. Disponível em: <http://leis.alesc.sc.gov.br/html/constituicao_estadual_1989.html>. Acesso em: 28 junho de 2022.

SANTA CATARINA. **Lei nº 16.157, de 7 de novembro de 2013. Dispõe sobre as normas e os requisitos mínimos para a prevenção e segurança contra incêndio e pânico e estabelece outras providências**. Florianópolis, 7 de novembro de 2013. Disponível em: http://leis.alesc.sc.gov.br/html/2013/16157_2013_lei.html. Acesso em: 29 junho de 2022.

SANTIAGO, G. F.. **Efeitos de explosão de nuvem de vapor inflamável**. 76 p. 2003. Monografia apresentada na Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Escola de Engenharia. Porto Alegre, 2003. Disponível em: <https://www.lume.ufrgs.br/handle/10183/2605>. Acesso em: 30 junho de 2022.

SANTOS, Bruno Ricardo Coutinho dos. **Um panorama sobre a evolução do mercado de gás liquefeito de petróleo e sua contribuição ao cenário energético brasileiro**. 2016. TCC (Graduação Engenharia de Petróleo) – Universidade Federal Fluminense, Niterói, 2016. Disponível em: <https://app.uff.br/riuff/handle/1/2003?locale-attribute=es>. Acesso em: 30 junho de 2022.

SÃO PAULO. Fundação para o Desenvolvimento da Educação. **Manual de uso e segurança de instalações de gás em escolas**. 2. ed. São Paulo : FDE/DOS, 2009. 36 p. Disponível em: <http://file.fde.sp.gov.br/portalfde/Arquivo/DocRedeEnsino/ManualGas.pdf>. Acesso em: 27 junho de 2022.

SEITO, Alexandre Itiu; GILL, Alfonso Antonio; SILVA, Silvio Bento; PANNONI, Fabio Domingos; ONO, Rosária; CARLO, Ualfrido Del; SILVA, Valdir Pignatta e. **A segurança contra incêndio no Brasil**. 1. ed. São Paulo: Projeto Editora, 2008.

SINDIGÁS. Panorama do Setor de GLP em Movimento. **GLP em Movimento**, 52ª Edição, Maio de 2022. Disponível em: https://www.sindigas.org.br/Download/PANORAMAS/NOVO%20GLP%20EM%20MOVIMENTO_MAIO_2022.pdf. Acesso em: 27 junho 2022.

SIQUEIRA, G.; APRILE, F.; SILVA, F.; DEUS, L.; CARVALHO, P.; LIBOS, U. Análise do fenômeno BLEVE em navios gasosos: um estudo de caso no porto do Mucuripe (CE). Educação ambiental e sustentabilidade na Amazônia / Cláudio Nahum Alves [et. al.] org. Belém: UFPA, 2018. 2 v, 604 p. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/324521413_Analise_do_fenomeno_bleve_em_navios_gaseiros_um_estudo_de_caso_no_porto_do_Mucuripe_CE. Acesso em: 21 novembro 2022.

WIECZOREK, T.. Innovative investigations of the crime scene using 3D Scanners. **Internacional Scientific Journal "Security & Future"**. YEAR II, ISSUE 1, P.P. 39-42, 2018. Disponível em: <https://stumejournals.com/journals/confsec/2018/1/39.full.pdf>. Acesso em: 28 junho de 2022.

WIECZOREK, T.; GÓRAWKA, A.. Portable 3D Scanners for Crime Scene Investigation. **Studia Informatica**. Volume 38. Number 3 (132), Poland 2017. Disponível em: <http://yadda.icm.edu.pl/yadda/element/bwmeta1.element.baztech-8162853e-0cfa-455f-be90-91879fa1f4a3?q=bwmeta1.element.baztech-bc5fc22a-1539-4799-9159-a681b18b8bbd;10&qt=CHILDREN-STATELESS>. Acesso em: 28 junho de 2022.

ANEXOS

ANEXO A – NFPA 921 (2021) - Tabela 22.14.4.1.5 (b) Critérios de dano à propriedade

Table 22.14.4.1.5(b) Property Damage Criteria

Overpressure (psi)	Damage	Source
0.03	Occasional breaking of large glass windows already under strain	a
0.04	Loud noise (143 dB). Sonic boom glass failure	a
0.1	Breakage of small windows, under strain	a
0.15	Typical pressure for glass failure	a
0.30	“Safe distance” (probability 0.95 no serious damage beyond this value) Missile limit Some damage to house ceilings 10% window glass broken	a
0.4	Minor structural damage	a, c
0.5–1.0	Shattering of glass windows, occasional damage to window frames. One source reported glass failure at 1 kPa (0.147 psi)	a, c, d, e
0.7	Minor damage to house structures	a
1.0	Partial demolition of houses, made uninhabitable	a
1.0–2.0	Shattering of corrugated asbestos siding Failure of corrugated aluminum–steel paneling Failure of wood siding panels (standard housing construction)	a, b, d, e
1.3	Steel frame of clad building slightly distorted	a
2.0	Partial collapse of walls and roofs of houses	a
2.0–3.0	Shattering of nonreinforced concrete or cinder block wall panels [10.3 kPa (1.5 psi) according to another source]	a, b, c, d
2.3	Lower limit of serious structural damage	a
2.5	50% destruction of brickwork of house	a
3	Steel frame building distorted and pulled away from foundations	a
3.0–4.10	Collapse of self-framing steel panel buildings Rupture of oil storage tanks Snapping failure — wooden utility tanks	a, b, c
4.0	Cladding of light industrial buildings ruptured	a
4.8	Failure of reinforced concrete structures	e
5.0	Snapping failure — wooden utility poles	a, b
5.0–7.0	Nearly complete destruction of houses	a
7.0	Loaded train wagons overturned	a
7.0–8.0	Shearing/flexure failure of brick wall panels [20.3 cm to 30.5 cm (8 in. to 12 in.) thick, not reinforced] Sides of steel frame buildings blown in Overturning of loaded rail cars	a, b, c, d d b, c
9.0	Loaded train boxcars completely demolished	a
10.0	Probable total destruction of buildings	a
30.0	Steel towers blown down	b, c
88.0	Crater damage	e

For SI units, 6.9 kPa = 1 psi.

Source a = F. Lees, Loss Prevention in the Process Industries, 1996.

Source b = Brasie and Simpson, 1968.

Source c = U.S. Department of Transportation, 1988.

Source d = U.S. Air Force, 1983.

Source e = McRae, 1984.