

**CORPO DE BOMBEIROS MILITAR DO DISTRITO FEDERAL
DEPARTAMENTO DE ENSINO, PESQUISA, CIÊNCIA E TECNOLOGIA
DIRETORIA DE ENSINO
ACADEMIA DE BOMBEIRO MILITAR
“CORONEL OSMAR ALVES PINHEIRO”
CURSO DE FORMAÇÃO DE OFICIAIS**

Cad. **RAMON** TEIXEIRA MARQUES ALVES



**INVESTIGAÇÃO E PREVENÇÃO: ANÁLISE DE SOFTWARES
PARA SIMULAÇÃO DE EXPLOSÕES NAS ATIVIDADES DO CBMDF**

BRASÍLIA

2021

Cad. **RAMON TEIXEIRA MARQUES ALVES**

INVESTIGAÇÃO E PREVENÇÃO: ANÁLISE DE *SOFTWARES* PARA SIMULAÇÃO DE EXPLOSÕES NAS ATIVIDADES DO CBMDF

Artigo científico apresentado à disciplina Trabalho de Conclusão de Curso - Desenvolvimento como requisito para conclusão do Curso de Formação de Oficiais do Corpo de Bombeiros Militar do Distrito Federal.

Orientador: Cel. QOBM/Vet. **VICENTE TOMAZ DE AQUINO JÚNIOR**

BRASÍLIA

2021

Cad. **RAMON TEIXEIRA MARQUES ALVES**

**INVESTIGAÇÃO E PREVENÇÃO: ANÁLISE DE SOFTWARES
PARA SIMULAÇÃO DE EXPLOSÕES NAS ATIVIDADES DO CBMDF**

Artigo científico apresentado à disciplina Trabalho de Conclusão de Curso - Desenvolvimento como requisito para conclusão do Curso de Formação de Oficiais do Corpo de Bombeiros Militar do Distrito Federal.

Aprovado em: ____/____/____.

BANCA EXAMINADORA

ALBERTO WESLEY **DOURADO** DE SOUZA - Ten-Cel. QOBM/Comb.
Presidente

LUIS HENRIQUE **ROSSI** SANTIAGO - Maj. QOBM/Comb.
Membro

ZILTA DIAZ PENNA MARINHO - Professora
Membro

VICENTE TOMAZ DE AQUINO JÚNIOR - Cel. QOBM/Vet.
Orientador

RESUMO

Os fenômenos envolvendo explosões causam muitos acidentes que se relacionam com a atividade Bombeiro Militar. Dado isso, os *softwares* de simulação de explosões são ferramentas que auxiliam o desenvolvimento de análises de riscos e definem causas em cenários de incêndios com explosões. Assim, ressalta-se a necessidade de analisar a viabilidade técnica do uso de *softwares* de explosões nas atividades de investigação e prevenção de incêndio pelo Corpo de Bombeiros Militar do Distrito Federal, através de dados relativos aos *softwares* com pesquisas bibliográficas e manuais técnicos, além de pesquisas comerciais com fim de caracterizá-los e por consequente gerar investigação, prevenção ou combate nos acontecimentos envolvendo explosões. Pensando nisto, o estudo trouxe aspectos específicos sobre o desenvolvimento das explosões, o histórico, os fundamentos, desenvolvimento e efeitos, assim como a importância e o que existe no mercado de *software*. Estes *softwares* foram caracterizados a fim de enumerar o maior número de funcionalidades técnicas que poderiam ser utilizadas na atividade de bombeiro e nas ações de prevenção, combate, mitigação, investigação e estudo de incêndio e explosões.

Palavras-chave: Simulação. Explosões. *Software*. Bombeiros.

ABSTRACT

The phenomena involving explosions cause many accidents that are related to the Firefighter activity. Given that, explosion simulation software are tools that help develop risk analysis and define causes in fire scenarios with explosions. Thus, there is a need to analyze the technical feasibility of using explosion software in investigation and fire prevention activities by the Federal District's Military Fire Department, through data relating to software with bibliographic research and technical manuals, in addition to commercial research in order to characterize them and consequently generate investigation, prevention or combat in events involving explosions. The study brought specific aspects about the development of explosions, history, fundamentals, development and effects, as well as the importance and what exists in the software market. These softwares were characterized in order to list the largest number of technical features that could be used in the firefighter activity and in prevention, combat, mitigation, investigation and study of fire and explosions.

Keywords: *Simulation. Explosions. Software. Firefighters.*

1 INTRODUÇÃO

Acidentes envolvendo explosões ocorrem quando há um grande deslocamento de gases e liberação de energia calorífica em um espaço curto de tempo, sendo capaz de gerar grandes danos e perdas. Este fenômeno se relaciona com a atividade Bombeiro Militar, seja com a prevenção, a investigação ou ao combate. Desta forma, surge a necessidade de analisar e avaliar os riscos associados, assim como investigá-los quando ocorridos, que podem ser feitos com auxílio de *softwares* característicos (COSTA NETO, 2015).

Considerando a competência legal da corporação para realizar serviços de prevenção e extinção de incêndios, assim como perícias de incêndio e explosões, a capacidade de investigação e estudo podem ser apoiadas por *softwares* específicos, que possuem o intuito de auxiliar na compreensão de fenômenos envolvendo os incêndios, evacuações e explosões, conceitos muito utilizados na incumbência do Corpo de Bombeiros Militar do Distrito Federal (CBMDF, 2017).

Na atividade bombeiro é habitual encontrar ocorrências com riscos de incêndio, explosão e liberação de gases. Atividades industriais, comerciais e, em muitas vezes, habitações manuseiam e armazenam vários tipos de materiais perigosos. Estas substâncias estão sujeitas a medidas para fabricação, testagem, armazenamento e transporte (COSTA NETO, 2015). Nestes cenários, os bombeiros são responsáveis pela resposta caso algum sinistro aconteça em quaisquer dessas etapas.

Pensando nesse fato, para melhorar a qualidade de serviço prestado a população e ainda cumprir com o objetivo estratégico número dois da corporação de ampliar a segurança pública com ações preventivas contra incêndio e incidentes, tendo uma de suas iniciativas a modernização de equipamentos e materiais para a investigação de incêndio, a utilização de *software* voltado para a explosões é um ato a otimizar o serviço prestado pela corporação, além de encontrar-se com o objetivo número dez de promover pesquisas e gestão de conhecimento (CBMDF, 2017).

Atualmente, a corporação já trabalha com *softwares* de simulação de incêndio (PYROSIM) e simulação de evacuação (PATHFINDER), porém a área de explosões não possui este tipo de ferramenta que pode ser visto como um problema para o

desenvolvimento da atividade de investigação e prevenção de incêndios e incidentes que abarcam explosões, já que o método computacional é uma das formas mais precisas envolvendo modelos matemáticos complexos que abrangem o fenômeno.

Tendo em vista que o CBMDF não possui atualmente nenhum *software* para a análise de casos de explosões, o estudo relacionado ao tema desse projeto visa fornecer parâmetros para viabilizar o preenchimento dessa lacuna no âmbito da investigação e prevenção de incêndios e explosões em conformidade com um dos objetivos estratégicos da corporação de desenvolver pesquisas e a gestão do conhecimento, além de participar da ampliação da segurança pública com ações preventivas contra incêndios e incidentes.

Pensando na área de análise de explosões que é o foco principal deste trabalho, o objetivo geral é analisar a viabilidade técnica do uso de *softwares* de explosões nas atividades de investigação e prevenção de incêndio pelo Corpo de Bombeiros Militar do Distrito Federal. Os objetivos específicos são: identificar *softwares* de simulação existentes no mercado para cenários de explosões; caracterizá-los em relação suas complexidades, funcionalidades, utilização e dificuldades voltadas para a realidade do CBMDF; identificar o *software* mais adequado para o CBMDF quanto aos acidentes resultantes de explosões.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Teoria das explosões

As explosões para Costa Neto (2015) acontecem quando há uma liberação de energia em um volume reduzido no espaço curto de tempo, ocasionando um aumento de pressão na região da ocorrência, por conseguinte a geração de uma onda de choque. Isso gera uma mudança repentina de temperatura e pressão. A magnitude de uma explosão normalmente é estabelecida conforme a energia total liberada, usualmente explanada em Joules (J).

A definição de explosão para Aragão (2020) é como um aumento repentino da pressão devido a formação de gases ou detonação, expandindo também subitamente gases e/ou ondas de choque, acompanhada de um estrondo, efeito sonoro, e de efeito mecânico representado por deformações, e esmagamentos ou rupturas geradas pela

pressão dos gases e ondas de detonação. Em relação a termodinâmica do evento, é o processo que uma substância se transforma física e quimicamente de modo instantâneo, com liberação de energia potencial química e realização de trabalho mecânico consequente.

As explosões normalmente podem ser classificadas quanto a natureza e divididas em três grupos: são elas as mecânicas, as químicas e as nucleares, que serão abordadas no item 2.5 (COSTA NETO, 2015).

Outra possível classificação das explosões seria quanto a velocidade de propagação das ondas, podendo ser do tipo detonação ou deflagração. As explosões também podem ser classificadas de acordo do local do acontecido, tendo as formas: De superfície ou a céu aberto, subaquáticas, de altas altitudes e subterrâneas (COSTA NETO, 2015).

Ademais, também há diferentes categorias quanto ao nível de confinamento da carga explosiva, sendo confinadas quando a explosão se dá através de um ambiente com muitos anteparos ou obstáculos de modo que a onda de choque colide de imediato com muitas superfícies e como não-confinadas quando advêm a céu aberto, cuja onda de choque alastrar-se livremente a partir do epicentro até colidir com algum material sólido, segundo o Manual Técnico do Corpo de Engenheiros das Forças Armadas Americanas TM-5-1300 (1990).

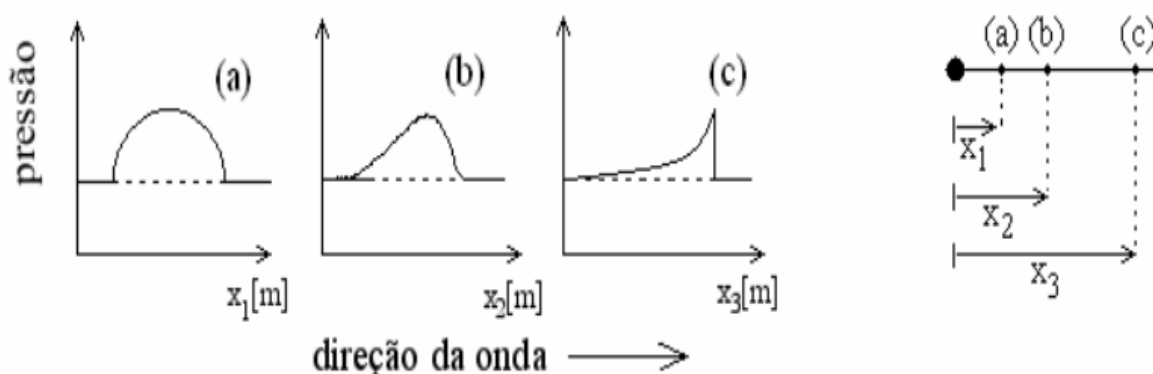
Segundo Casagrande (2006), a classificação também pode ser feita por sua origem tendo: Explosões de gases e vapores, inflamáveis ou não; explosões de explosivos sólidos; explosões nucleares; explosões de poeiras ou combinações entre as anteriores.

As explosões, devido a sua incidência ao longo dos anos na sociedade, são alvos recorrentes de estudos e pesquisas nas mais diversas áreas que as englobam. A evolução histórica do conhecimento do campo principalmente através de experimentos empíricos resultou em inúmeros modelos computacionais que são a base para estudos atualmente, resultando em *softwares* que podem simular eventos.

Quando ocorre uma explosão, em geral a energia é liberada em torno do material explosivo obrigando o volume a expandir-se, formando uma onda de choque

(CHAPMAN et al, 1995). Normalmente a região de pressão alterada inicia-se de forma esférica, deslocando-se radialmente do epicentro da explosão e assume a forma apresentada na figura 1.

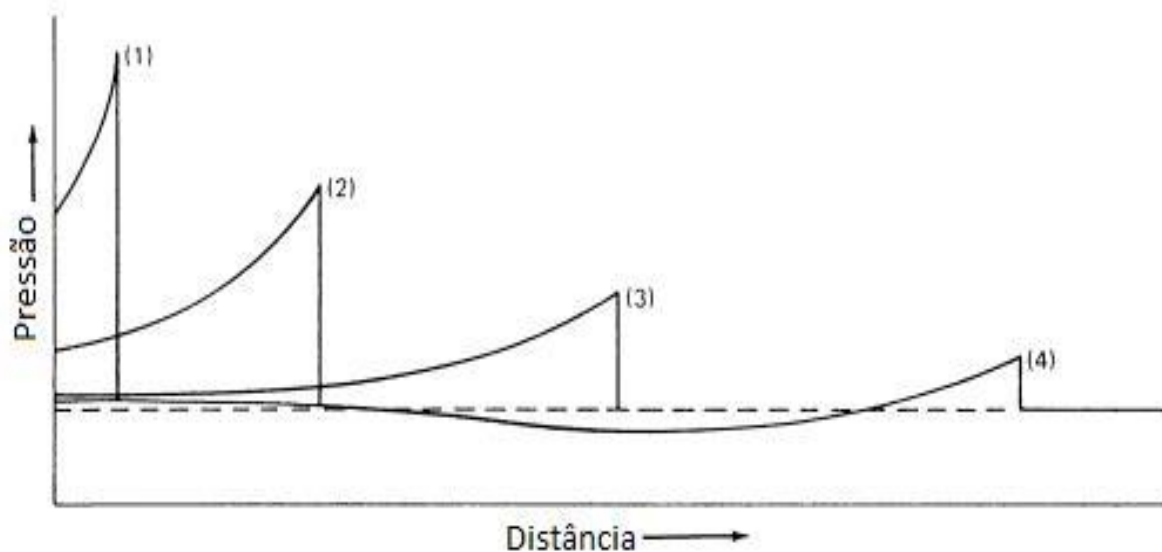
Figura 1 Desenvolvimento da onda de choque.



Fonte: Casagrande, 2006.

A onda de choque modifica-se ao longo da distância que percorre e assume o comportamento de acordo com figura 2, onde após certa distância do epicentro apresenta pressão negativa (KINNEY e GRAHAM, 1985).

Figura 2 Função pressão distância para tempos sucessivos.



Fonte: Costa Neto, 2015.

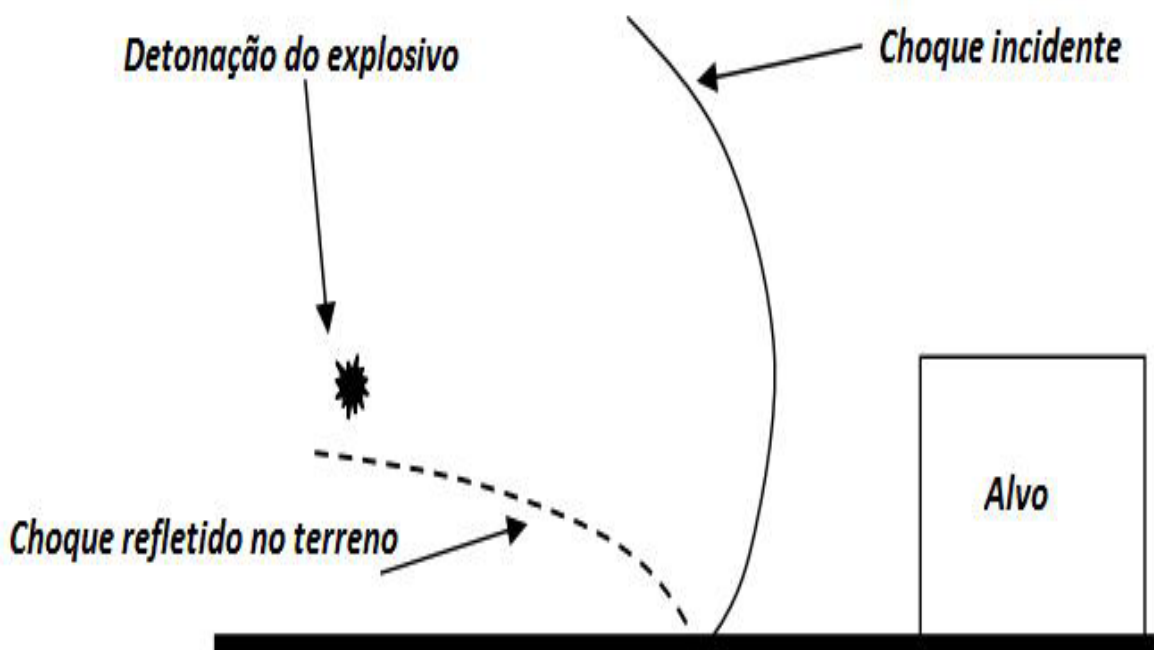
Os danos gerados pela onda de choque podem ser bastante acentuados às edificações. Porém, devido à complexidade do fenômeno e facilitação de cálculo de

danos máximos, pode-se realizar estimativa simplificada dos danos, adotando as pressões de pico, sendo importante o conhecimento das pressões de pico em determinada distância para o cálculo dos efeitos mais lesivos (COSTA NETO, 2015).

Segundo Graham (2010), as equações que descrevem este fenômeno utilizam as relações de Rankine-Hugoniot, que correlacionam expressões para conservação de massa, quantidade de movimento e energia.

Quando uma onda de choque resultante colide com superfícies sólidas ou obstáculos constituídos de um meio mais denso que o meio em que ela se propaga e que oferece resistência ao seu deslocamento, a própria será refletida. Sendo assim, observa-se que estruturas podem ser refletoras das ondas de choque que incidem sobre elas, assim como o solo como mostra a figura 3 a seguir (COSTA NETO, 2015).

Figura 3 Esquema da propagação de uma onda de choque devida a uma explosão acima.



Fonte: Costa Neto, 2005.

Costa Neto (2015) profere que a reflexão é um fenômeno complexo que envolve inúmeras variáveis e parâmetros, os valores de pico de pressão da onda de choque são difíceis para se determinar, dos quais cálculos extensos e complexos os

englobam. Estes cálculos e formulações físicas não foram tratados no corpo deste trabalho.

2.2 Acidentes com explosões

Acidentes com explosões são inúmeros ao longo dos anos, principalmente após o advento industrial que aumentou o contato humano com produtos que possuem características explosivas. Há também o desenvolvimento nuclear que trouxe o incremento no número e na magnitude dos danos desse tipo de incidente. Abaixo serão listados 4 incidentes marcantes sobre explosões.

O caso do Navio de Lieden na Holanda em 12 de janeiro de 1807, matou 151 pessoas e feriu cerca de 2000 após um navio atracar com cerca de 85 toneladas de pólvora em Ouderkerk (HOL). Acredita-se que houve a explosão após quatro de seus integrantes tentar preparar comida, o que gerou a ignição da poeira e levou a detonar mais de 9 toneladas de TNT. Além das vítimas, casas foram perdidas até uma distância de 155 metros da explosão (JUNIOR, 2019).

Quanto a explosões industriais, um acontecido marcante foi em uma indústria de sapato em Brockton (Massachusetts, EUA) em 1905 gerado por um incidente com uma caldeira. Este acidente matou 58 vítimas e 117 feridos e gerou a criação de normas para projetos e manutenção para vasos e caldeiras pela ASME (American Society of Mechanical Engineers). As figuras 4 e 5 mostram o antes e o depois do acidente (CASAGRANDE, 2006).

Figura 4 Indústria de sapato de Brockton em 1905 (antes da explosão).



Fonte: Cook, 2005.

Figura 5 Indústria de sapato de Brockton (após a explosão).



Fonte: Cook, 2005.

O próximo cenário foi resultado de várias explosões em vagões em Madri, Espanha, no dia 11 de março de 2004. Com dados atuais, ao todo foram 193 mortos e mais de 1800 feridos no maior atentado na Europa. Foi dada a autoria do atentado ao grupo ETA (Euskadi Ta Askatasuna), que possui ideais separatista (SALATIEL, 2009).

Figura 6 Atentado em Madri, 2004.



Fonte: Reinares, 2014.

Outra explosão que se destacou recentemente aconteceu no dia 04 de agosto de 2020 em Beirute, Líbano. Sabe-se que a explosão foi causada por nitrato de amônia que estava estocado no porto de Beirute. O acidente deixou ao menos 137 mortos e mais de 5 mil feridos segundo o G1 (2020).

Figura 7 Explosão Beirute, 2020.



Fonte: G1, 2020.

2.3 Classificação das explosões

Dentre todas as classificações citadas no item 2.1, a que mais caracteriza para efeito neste projeto é a relação quanto a sua natureza, seja ela física, química ou nuclear.

As explosões mecânicas são aquelas que há liberação súbita de energia em consequência de grandes diferenciais de pressão, a exemplo quando rompe um recipiente de gás comprimido. Este tipo de explosão é constante na atividade bombeiro e acontece quando o invólucro que contém o material não resiste aos esforços internos e cede (COSTA NETO, 2015).

Já as explosões químicas são provenientes de reações físico-químicas de combustão cuja liberação de energia acontece subitamente com velocidade muito alta e gera como produtos altas pressões e eleva a temperatura. A energia liberada na combustão possui dois mecanismos, a deflagração e a detonação (COSTA NETO, 2015).

Segundo o Manual Básico de Combate a Incêndio (2009) a detonação ocorre quando o deslocamento do ar supera a velocidade 340 metros/segundo, ou seja, velocidade supersônica. Abaixo disso, a definição é deflagração, também chamada de subsônica (CBMDF,2009).

Por fim, as explosões nucleares são responsáveis pela liberação de calor e radiação. Elas possuem a capacidade de liberar ondas de choque extremamente poderosas. O surgimento desse tipo de explosão é a partir de fissão ou fusão nuclear, onde criam partículas alfa, beta, raios X e gamma. Entre todas, essa classe possui o maior potencial de energia liberada, sendo assim possui também o potencial gigantesco de ser danosa (COSTA NETO, 2015).

Segundo Graham (2010) a distribuição típica de energia de uma explosão nuclear sobre alguma superfície, possui a proporcionalidade de 50% da energia para a onda de choque, e os outros 50% se dividem em propagação de radiação térmica e de radiação nuclear residual.

2.4 Tipos de explosões

A abordagem será feita de acordo com o trabalho de Bueno (2018) sobre os tipos de explosões. Segundo o manual TM-5-1300 (1990), são divididos em 4 classes de acordo com a posição do explosivo em relação a estrutura, tendo as variáveis de altura acima do solo (H) e a distância entre o explosivo e o edifício (S). São descritas as subclasses abaixo e ilustradas na figura 3.

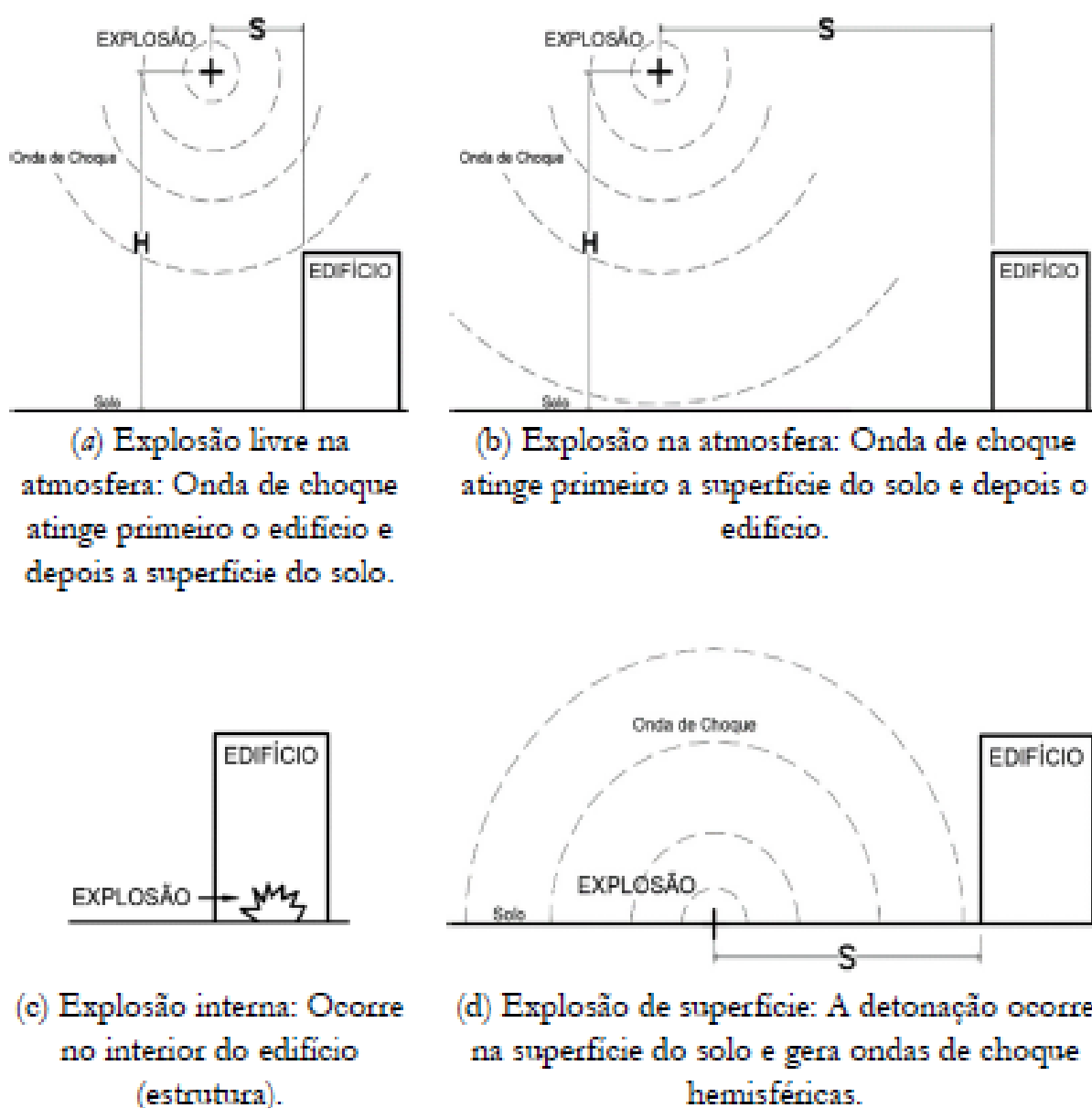
- I. Explosão Livre na Atmosfera:* Explosão acima do solo na atmosfera, cujas ondas atingem primeiro a edificação antes que qualquer obstáculo ou solo, onde as ondas se propagam em formato esférico. Esse tipo relaciona-se normalmente com armas nucleares (BUENO, 2018).
- II. Explosão na Atmosfera:* Explosão acima do solo na atmosfera, cujas ondas atingem primeiro o solo antes que qualquer obstáculo ou edificação, onde as ondas se propagam em formato esférico. Em consequência de a onda atingir primeiramente o solo, uma onda é formada (BUENO, 2018).
- III. Explosão Interna:* Explosão dentro de uma estrutura. Devido as múltiplas superfícies/obstáculos a pressão interna haverá grande incremento

devido a reflexão destas. Quanto mais aberturas, menores serão os danos internos (BUENO, 2018).

- IV. *Explosão de Superfície*: Explosão quando a carga explode no solo ou muito próxima. Após a explosão, a onda já imediatamente interage com o solo e se propagam de maneira hemisférica (BUENO, 2018).

A figura 8, a seguir, ilustra cada tipo de subclasse de explosões supracitadas:

Figura 8 Tipos Básicos de Explosões.

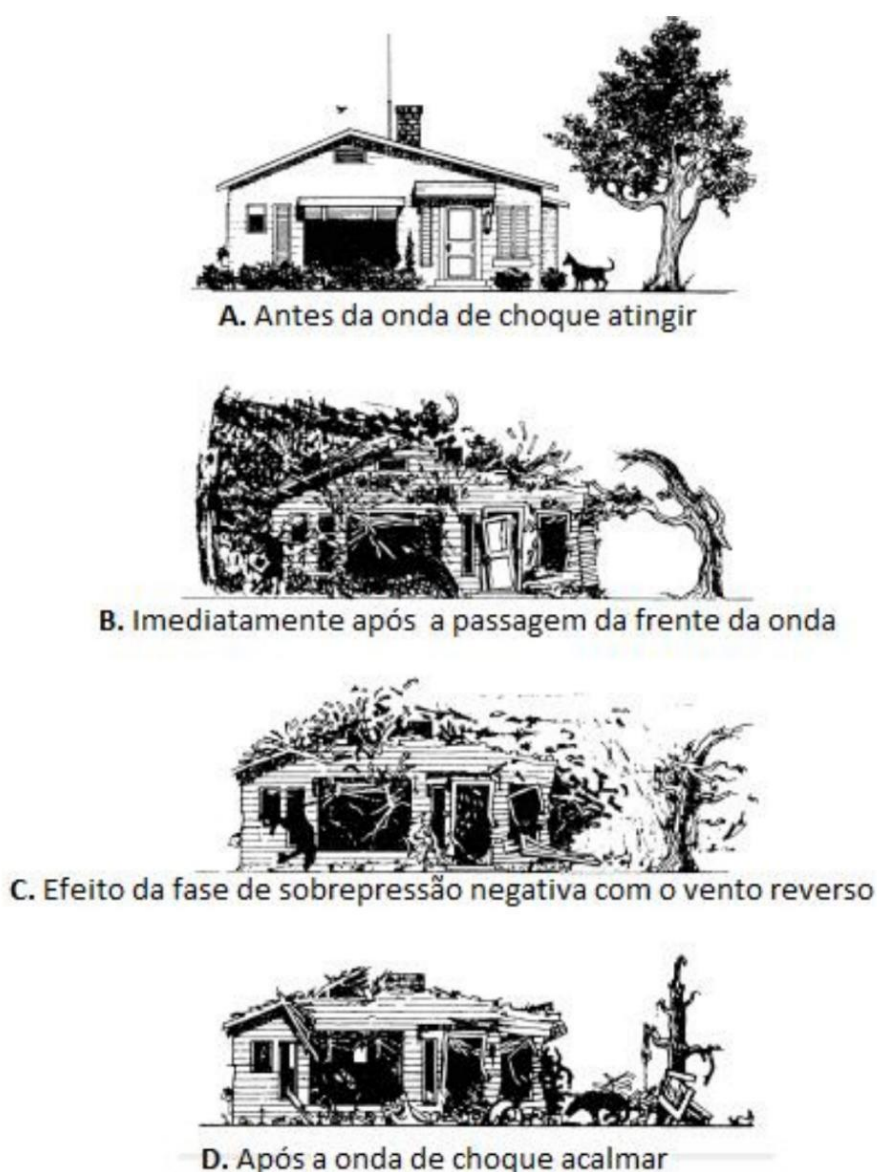


Fonte: Bueno, 2018.

2.5 Conceitos de explosões internas e externas

Segundo Costa Neto (2015) os danos podem estar relacionados a várias características, podendo ser o tipo e a quantidade de explosivo, duração da onda de choque e como os obstáculos influenciam nas reflexões. Por tanto, a previsão dos danos é bastante difícil devido a sua complexidade. A figura 9 mostra por exemplo uma casa ao ser atingida por uma onda de choque causada por uma explosão externa.

Figura 9 Estrutura submetida a uma onda de choque em explosão externa.



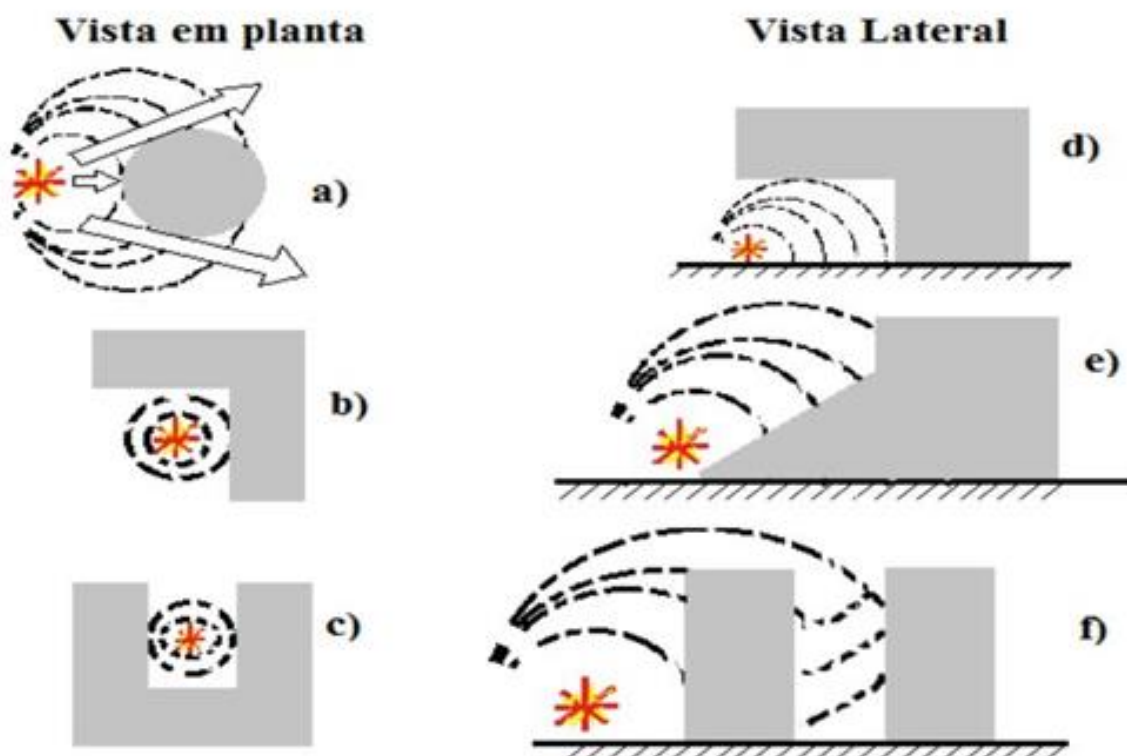
Fonte: Kinney e Graham, 1985.

Algumas considerações são necessárias a respeito do estudo de explosões internas e externas. Segundo Van Acker et al (2012), a explosão em ambiente confinado é influenciada por quatro fatores. São eles: as dimensões e geometria do ambiente; o volume do gás; tipo do gás e ignição; número de aberturas do ambiente.

De modo geral, a análise da geometria do ambiente é importante pois a onda de choque pode ser refletida e assim os danos a estrutura são ampliados ou aliviados. Os níveis de abertura na estrutura submetida a uma explosão influenciam na dissipação de energia, ou seja, quanto maior o número de saídas, ou alívios de carga, maior a dispersão e consequentemente a diminuição das cargas impostas as estruturas (COSTA NETO, 2015).

Uma das maneiras de se preparar para uma explosão é possuir uma arquitetura que possibilite a dissipação de energia no ambiente para a explosão (COSTA NETO, 2015). A figura 10 mostra diferentes geometrias e o comportamento da onda de choque ao atingi-las.

Figura 10 Comportamento da propagação da onda de choque em estrutura.



2.6 Efeitos de explosões em seres humanos

Os efeitos de explosões podem gerar muitos danos, sejam ao local da explosão ou até mesmo a quilômetros de distância. Podem causar danos as estruturas, ao meio ambiente ou aos seres humanos. De acordo com Baker et al (1983) existem duas formas básicas que podem atingir os seres humanos em explosões, são eles: Efeitos diretos ou efeitos indiretos.

Os efeitos diretos, também chamado de primários, relaciona-se com as variações de pressões causadas pela detonação da carga. Existem algumas equações que tratam os diferentes danos causados aos humanos em termos probabilísticos, mas não serão abordados neste projeto. A tabela 1 referida no trabalho de Casagrande (2006) mostram valores médios observado pela *Autoridad Regulatoria Nuclear* (1998).

Tabela 1 Relação de alguns danos causados diretamente aos seres humanos.

Efeito	Pico de Sobrepressão Efetiva (Kpa) (Mínimo - Máximo)
Início de Danos aos Pulmões	80 (55-100)
Danos severos aos Pulmões	170 (165-200)
Início de Danos aos Tímpanos	35
Ruptura de Tímpanos (50%)	100-230 (depende da idade)
Morte (início) 275 (200-340)	275 (200-340)
Morte (50%) - (100%)	(340-500) - (520-780)

Fonte: Autoridade Regulatória Nuclear, 1998.

Os efeitos indiretos são subdivididos em secundários, que são lesões que provém dos lançamentos e projéteis advindos da própria explosão ou da onda de pressão sobre qualquer material, e terciários, que estão relacionados aos movimentos de aceleração ou desaceleração do corpo quando sujeitos as ondas de pressão ou impactos bruscos com barreiras e obstáculos Baker et al (1983).

Há também efeitos diversos ou miscelâneas, que envolvem radiações térmicas e as nuvens de areia, mas são apontados como insignificantes para explosões convencionais (CASAGRANDE, 2006).

2.7 Conceito e classificação de explosivos

Aragão (2020) define os explosivos como sendo uma substância pura ou misturas susceptíveis de enfrentar repentina e violenta decomposição química quando levada a alguns estímulos térmicos, elétricos ou mecânicos, com considerável produção de gases a alta temperatura e pressão.

Sendo assim, existem explosivos composto por uma substância única, normalmente substâncias orgânicas como ésteres nítricos de álcoois polivalentes (Nitroglicerina e nitrocelulose), ou nitroderivados (de hidrocarbonetos, de fenóis e de aminas aromáticas); e os explosivos formados por misturas, podendo ser compostas por substâncias inertes, ou substâncias combustíveis com comburentes, ou substâncias propriamente explosivas, ou substâncias combustíveis com outras oxidantes (ARAGÃO,2020).

Ainda segundo Aragão (2020), a classificação pode ser feita em função de suas propriedades. São elas quanto à constituição:

- I. *Compostos químicos explosivos*: resultado da combinação química entre elementos combustíveis (Carbono, hidrogênio e enxofre) com elementos comburentes (oxigênio). Exemplo: Nitroglicerina e nitrocelulose
- II. *Mecânicos*: Misturas de elementos ou compostos, sendo umas com funcionamento como combustíveis e outras como comburentes. Exemplo: Pólvora preta (enxofre e carvão, combustíveis; nitratos ou cloratos, comburentes).
- III. *Mistos*: misturas de compostos explosivos com substâncias inertes. Exemplo: Nitroglicerina com outros agregados.

Aragão (2020), também utiliza a classificação quanto ao seu emprego tático, sendo eles:

- I. *Propelentes*: explosivos destinados a produção de efeito balístico.
- II. *Iniciadores*: Finalidade de fornecer energia para iniciar a ativação de outros explosivos (detonantes).

- III. De ruptura: destinados a trabalho de destruição, realizado através de ondas de choque gerados a partir dos gases produzidos. Também necessário energia de ativação advinda da onda de um explosivo detonador.

Quanto ao estado físico, Aragão (2020) diz que podem ser sólidos (TNT, Nitropenta), pastosos (gelatinas explosivas), líquidos (Nitroglicerina) ou gasosos (misturas gasosas normalmente produzidas acidentalmente em indústrias).

Por último, também se classifica em relação a velocidade de decomposição. Aragão (2020) diz que são classificados como:

- I. Baixos explosivos; também conhecido como explosivos de baixa força, deflagrantes ou propulsores, cuja velocidade de decomposição é abaixo de 1000 m/s. Exemplo: Pólvora negra com velocidade de deflagração em cerca de 300 m/s.
- II. Altos explosivos: velocidade acima de 1000 m/s e detonam ou invés de deflagrarem.

2.8 Importância dos softwares

Para o cálculo de riscos e danos no fenômeno de explosão é importante a experimentação e simulação como formas de caracterizar a reatividade dos materiais em diversos cenários propícios a acidente, e desta forma quantificar os possíveis riscos e danos relativos ao que antecede esse acidente (JORGE, 2015).

Para isso, Jorge (2015) diz que o uso da simulação com *software* é muito vantajoso comparado aos custos laboratoriais envolvidos na experimentação, assim como a segurança e equipamentos envolvidos nos testes, que são por vezes inviáveis e com risco acentuado de produzir acidentes. Além disso, os programas de simulação são capazes de conjugar modelos e calculá-los com maior rapidez. Ele cita também a capacidade de gerar estimativas de danos, distâncias de segurança como contribuição importante para planos de emergências em diversos cenários de acidentes.

Em 1996, Birnbaum et al. (1996) apresentou várias ferramentas computacionais para análise de explosões. Destaca-se, por exemplo, os programas

Autodyn-2D, Autodyn-3D e BLAPAN, tendo foco em análise da interação de explosões com as estruturas em um meio urbano, dando ênfase às pressões atuantes nos edifícios, também citado no trabalho de Costa Neto (2015).

Ainda segundo Costa Neto (2015), a complexidade do fenômeno explosão possui alto grau de não-linearidade requerendo estudos contínuos com ajuda de métodos experimentais, numéricos e analíticos. Esse fato se deve ao grande número de variáveis envolvidas com o processo das explosões e a geração de ondas de choque. Sendo assim, fazem-se necessárias análises contínuas de maneira que identifiquem fatores de influência na explosão e nas estruturas atingidas por esse fenômeno.

A ferramenta computacional permite então a avaliação variando os parâmetros característicos do explosivo, assim como a temperatura e pressão. Possibilita também o desenvolvimento de simulações que permite o estudo da propagação da onda de choque pelo ar, das interações superfícies/obstáculos, assim como da composição de pressões (COSTA NETO, 2015).

2.9 Principais programas de simulação de fenômenos com materiais perigosos e suas aplicações

Segundo Quaranta et al. (2002), existem três aspectos que um programa de previsão dos efeitos causados por explosões deve conter.

- Distância que as concentrações de gases tóxicos e inflamáveis são abaixo ao seu valor limite;
- Dispersão dos gases de um acontecimento de *pool fire* (distância necessária para não causar queimaduras de radiação térmica);
- Distância que a sobrepressão provocada pela explosão danifica um alvo especificado pelo utilizador.

Sendo assim, existem diversos programas no mercado que tornam possíveis as análises em cenários de explosões que podem ser viáveis suas utilizações no CBMDF.

Simular cenários prováveis e investigar eventos de explosão são algumas necessidades para atuação em funções incumbidas ao CBMDF. Para melhor desempenho dessas funções, existem vários programas no mercado que podem condizer com a necessidade da corporação e cumprir as funcionalidades citadas por Quaranta et al (2002). Tendo em vista a pesquisa produzida por Reiniers (2006), segue a quadro 2 com os programas a serem analisados suas funções para possível aplicação no CBMDF.

Tabela 2 Programas pagos no mercado.

Programas
AIDRAM-CARGO
ARIPAR
AVRIM2
BIS
BREEZE Explosion
BREEZE Fire/explosion
BREEZE Hazard professional
BREEZE HAZ Dispersion
BREEZE LFG fire/risk
CALPUFF View
CHARM
Exttool
FRED/Shepherd
Hazard ReviewLeader
RMP View
SAVE
SEVEX View
SLAB View

Fonte: Adaptado Reniers et al., 2006.

2.10 Competências relacionadas às explosões no CBMDF

Pensando na aplicação de um programa computacional no CBMDF, deve-se conhecer os departamentos, diretorias e grupamentos que mais se relacionam com a

área de *softwares* de explosões, a fim de caracterizar os programas e atribuir suas aplicações as especialidades de atuações de cada um destes supracitados.

Relacionado a área de pesquisa, tem-se que o Departamento de Ensino, Pesquisa, Ciência e Tecnologia (DEPCT) possui atribuições descritas através do Regulamento Interno do CBMDF de 2020. Ele possui a competência de planejar, orientar, coordenar e controlar as atividades relacionadas com: ensino e pesquisa aplicada às atividades de bombeiro militar; e desenvolvimento científico e tecnológico aplicado à profissão bombeiro militar (CBMDF, 2020).

À Diretoria de Investigação de Incêndio (DINVI), compete a realização de investigação e perícia em incêndio e explosões, de acordo com a legislação específica; além de planejar e executar a capacitação em investigação e perícia em incêndio e explosões; e ainda tem que fomentar a produção de conhecimento relativo ao atendimento de ocorrências de incêndios e explosões no âmbito do CBMDF, sendo assim área atuante no tema relacionado (CBMDF, 2020).

O Grupamento de Proteção Ambiental (GPRAM) tem em sua área de atuação a incumbência de estar a frente de situações que envolvam produtos perigosos, e como as ocorrências de explosões são relacionadas a diversos desses produtos, verifica-se que a competência pode subsidiar a utilização do *software* pela corporação. Entre estas, elaborar pedidos e instruir processos visando a contratação de serviços e aquisição de materiais relativos à área de atuação do Grupamento (CBMDF, 2020).

3 METODOLOGIA

Os dados relativos aos *softwares* que foram descritos no trabalho tiveram como base pesquisas bibliográficas e manuais técnicos, além de pesquisas comerciais. Foram analisados todos seus benefícios e características, utilizações que podem agregar na corporação tendo em vista suas peculiaridades e custos, além de serem tratados em paralelos com os dados necessários para utilização no âmbito do CBMDF, sejam eles para investigação, prevenção ou combate.

Em relação aos objetivos, tem-se que este trabalho possui suas pesquisas do tipo exploratórias, visto que segundo Selltitz et al (1965), as pesquisas que envolvem o levantamento bibliográfico assumem esta classificação. Quanto a natureza, este

trabalho se enquadra em pesquisas aplicada, visto que segundo Prodanov e Freitas (2013), objetiva gerar conhecimentos para soluções específicas para certos problemas e quanto ao método, classifica-se como indutivo pois parte de uma generalização, produzindo um conjunto amplo de informações.

Do ponto de vista dos procedimentos técnicos a pesquisa é do tipo bibliográfica e documental, quando é feita a partir de material já publicado, livros, artigos, teses, dissertações conforme Prodanov e Freitas (2013). Quanto a abordagem do problema pode-se definir a pesquisa como qualitativa, pois tratar-se-á de qualidades indissociáveis que não podem ser tratados como números Prodanov e Freitas (2013).

Sobre o universo, como trata-se de *softwares* internacionais para simulação de explosões, torna-se inviável de ser quantificado e listado todos existentes no mercado mundial. Porém, aqueles encontrados, em sua maioria citado no item 2.9 foram delimitados como o espaço amostral para desenvolver os resultados deste trabalho.

Os *softwares* de explosões BREEZE ExDAM em suas versões típicas para os Bombeiros (HEXDAM E VEXDAM), CALPUFF View, SAVEX View e FRED/SHEPHERD e CHARM Software foram definidos como sendo a amostra da produção desse conteúdo. A motivação desses *softwares* são suas permanências no mercado, assim como o maior número de informações em sites, artigos e vídeos, contendo funcionalidades voltadas para a atividade de bombeiro e que podem condizer com a necessidade da corporação. A viabilidade destas funcionalidades será analisada em resultados e discussões.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 Software BREEZE EXDAM para simulação de explosões

Na análise bibliográfica do referido programa buscou-se a caracterização do *software* com base nos manuais, informações em sites, artigos, vídeos para fundamentar a utilização deste. A maioria das informações foram retiradas através do site da Trinity Consultants e do canal da BREEZE Software, Data and Services.

Uma dificuldade enfrentada durante os estudos foi a ausência de manuais dos *softwares* em quaisquer línguas, além do mais, a empresa distribuidora do programa, Trinity Consultants, não disponibilizou ainda o programa para testes.

BREEZE ExDAM (Modelo de Avaliação de Danos de Explosão) é um conjunto de modelagem de consequências de explosão em 3D, cujo programa permite a previsão de ferimentos e danos que resultam da detonação de explosivos altos e explosões de nuvem de vapor. O BREEZE é um programa completo que requer custos para a sua aquisição (TRINITY CONSULTANTS, 2021).

Suas principais funcionalidades incluem o planejamento e resposta a emergências para modelar os efeitos de produtos químicos, abordando os riscos de toxicidade (dispersão atmosférica de um produto químico), de fogo (fluxos de radiação térmica e temperatura) e de explosão (TRINITY CONSULTANTS, 2021).

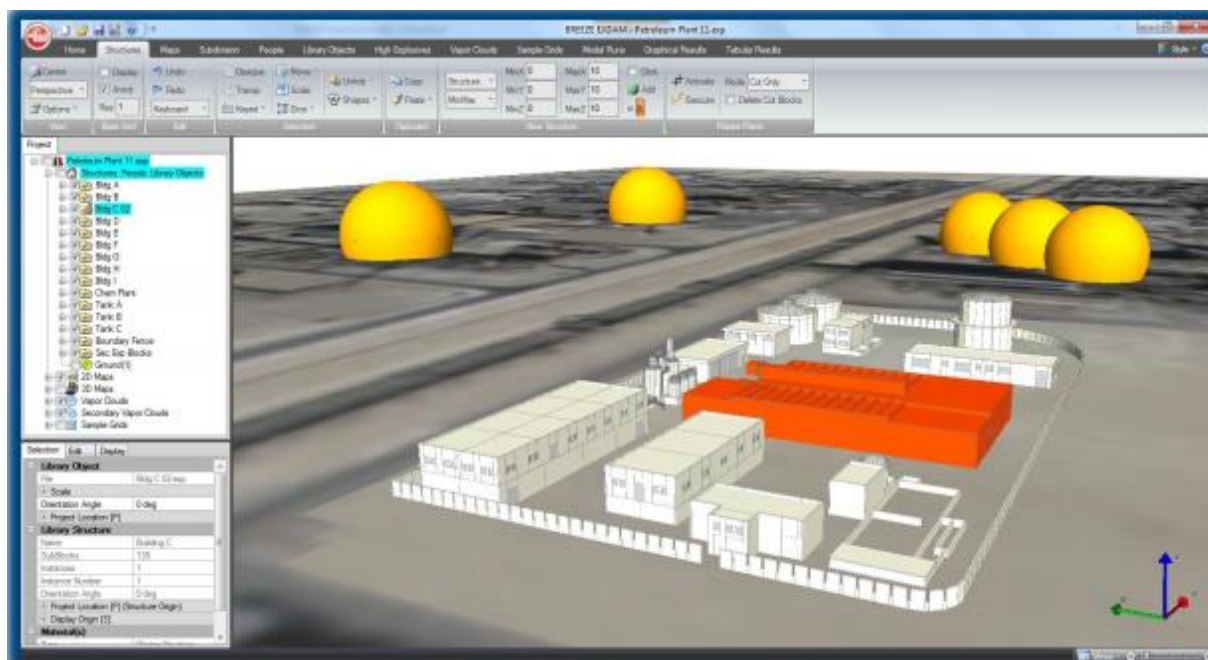
O programa apresenta duas extensões de modelos aqui expostos: HEXDAM e VEXDAM. Os dois modelos consideram efeitos de pressão, efeitos de blindagem/proteção, efeitos das explosões secundárias, nível de danos/prejuízos, entre outros (TRINITY CONSULTANTS, 2021).

Para Bueno (2018), os dois módulos apresentam as seguintes características de análise:

- i. HExDAM - “*High Explosion Damage Assessment Model*” : utilizado para análises de detonações com explosivos de alta capacidade explosiva.
- ii. VExDAM: utilizado para análises de explosões devidas a nuvens de vapor (*vapor cloud explosion*).

A seguir a figura 10 mostra sua interface gráfica, que é criada através de blocos, também possuindo a função de objetos na biblioteca, na qual encontra-se grande quantidade de objetos como carros, prédios, casas, todos estes de rápida implementação no modelo (TRINITY CONSULTANTS, 2021).

Figura 11 Interface Gráfica do programa BREEZE ExDAM.



Fonte: Trinity Consultants, 2021.

Segundo a Trinity Consultants, proprietária do BREEZE ExDAM, o *Software* pode ser usado para as seguintes aplicações:

- Análise de consequência de explosão;
- Estudos de localização de instalações;
- Análise de sobrepressão;
- Avaliação quantitativa de risco;
- Testes de mitigação de consequências;
- Desenvolvimento do plano de resposta a emergências;
- Sistema de resposta de emergência em tempo real;
- Reconstrução de eventos e análise forense;
- Avaliações de segurança e vulnerabilidade;
- Planejamento e segurança de eventos;
- Modelagem, simulação e análise de proteção de estruturas;
- Análise de perímetro (determinação da distância de afastamento).

Não ficando restrita apenas as estas aplicações. O preço do *software* varia com as versões, sendo que a versão BREEZE ExDAM com HExDAM e VExDAM é US\$19.995,00 (dólares). Para facilitação das funções, segue na tabela 3 abaixo a

compilação de todas as características elencadas nos programas através de pesquisas bibliográficas.

Tabela 3 Resumo do programa e funcionalidades BREEZE EXDAM.

BREEZE EXDAM
Incêndio
Explosão
Dispersão
Toxicidade
Ambiental
Plataforma SIG disponível
Decisões de investimento
Decisões de localização
Decisões de resposta de emergência
Cálculo de zonas de efeito
Cálculo em tempo real
Avaliação de segurança e vulnerabilidade
Definição de perímetro de segurança
Riscos

Fonte: Adaptado Jorge, 2021.

Por se tratar de um *software* completo e em suas descrições mostrarem que suas funcionalidades seriam úteis para os corpos de bombeiros, estas aplicações poderiam ser muito valiosas em diversas ocorrências como consequências de explosões, desenvolvimento de plano resposta, avaliação de segurança e vulnerabilidade, reconstrução de eventos, análise de perímetro, entre outros.

A área de pesquisa, representada pelo Departamento de Pesquisa, Ciência e Tecnologia e pela Diretoria de Investigação de Incêndio e também o GPRAM podem fazer uso deste *software*.

4.2 Software CALPUFF VIEW para simulação de explosões

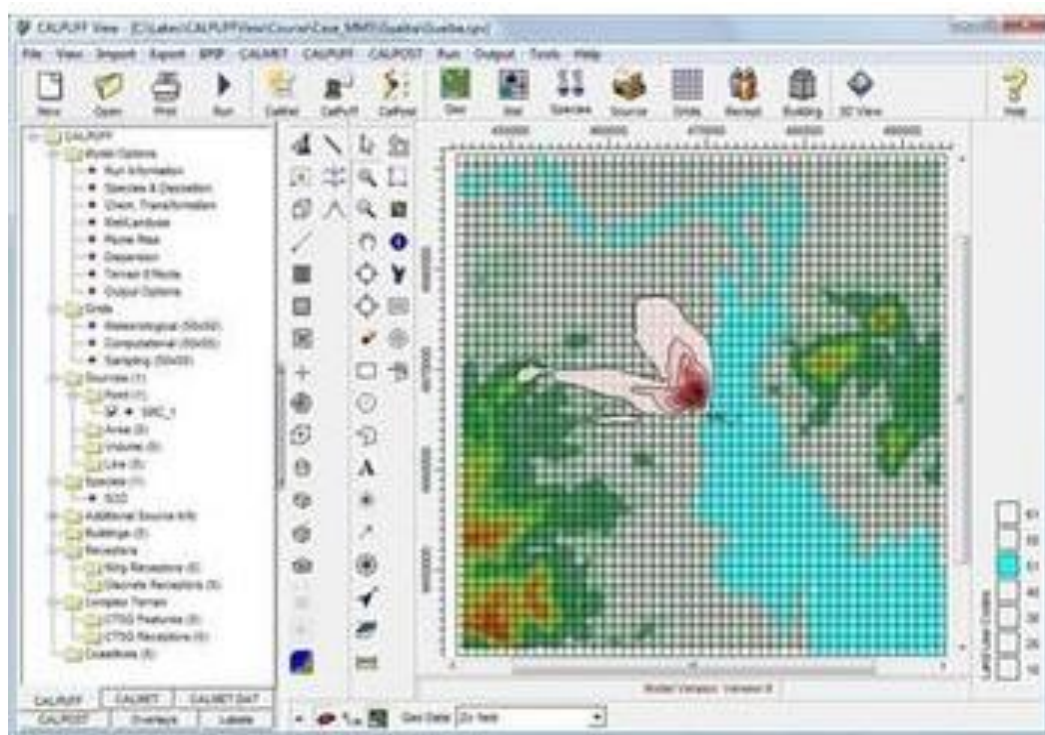
Na análise bibliográfica do *software* CALPUFF VIEW buscou-se a caracterização do programa com base nos manuais, além das informações contidas no site da desenvolvedora Lakes Software.

Entre as dificuldades encontradas neste programa foi a grande quantidade de termos em língua inglesa que não possuem traduções diretas, e tampouco alguns termos não apresentam aplicação no contexto do bombeiro.

CALPUFF é um sistema de modelagem meteorológica e de qualidade do ar em estado não estacionário avançado desenvolvido por cientistas da Exponent, Inc. O programa é sustentado pelos desenvolvedores do modelo e distribuído pela Exponent. O modelo foi listado pela Agência de Proteção Ambiental dos EUA (EPA) como um modelo alternativo para avaliar o transporte de longo alcance de poluentes e seus impactos em áreas federais e para certas aplicações de campo próximo envolvendo condições meteorológicas complexas (EXPONENT, 2021).

Segundo a Exponent (2021), o sistema de modelagem consiste em três componentes principais e um conjunto de programas de pré-processamento e pós-processamento. Sendo que os principais componentes do sistema de modelagem são CALMET (um modelo meteorológico tridimensional diagnóstico), CALPUFF (um modelo de dispersão da qualidade do ar) e CALPOST (um pacote de pós-processamento). A interface gráfica é mostrada na figura 11 (EXPONENT, 2021).

Figura 11 Interface Gráfica do programa CALPUFF VIEW..



Fonte: Environmental Expert, 2021.

São exemplos de aplicações que o CALPUFF (EXPONENT, 2021):

- Impactos de campo próximo em situações complexas de fluxo ou dispersão;
- Condições de estagnação, inversão, recirculação e fumigação
- Transporte sobre a água e condições costeiras;
- Vento fraco e condições de vento calmo;
- Transporte de longo alcance;
- Avaliações de visibilidade e estudos de impacto;
- Modelagem de poluentes de critérios;
- Formação de poluentes secundários e modelagem de material particulado;
- Área flutuante e fontes de linha (por exemplo, incêndios florestais e instalações de redução de alumínio).

O preço do *software* é US\$2.950,00 (dólares) com manutenções anuais de US\$795,00. Para facilitação das funções, segue na tabela 4 abaixo a compilação de todas as características elencadas nos programas através de pesquisas bibliográficas.

Tabela 4 Resumo do programa e funcionalidades CALPUFF VIEW.

CALPUFF VIEW
Incêndio
Ambiental
Plataforma SIG disponível
Decisões de localização
Decisões de resposta de emergência
Cálculo de zonas de efeito
Modelagem de poluentes
Formação de poluentes e material particulado

Fonte: Fonte: Adaptado Jorge, 2021.

Não ficando restrita apenas as estas aplicações, porém as aplicações deste programa não são tão voltadas para o contexto de explosões que envolve os corpos de bombeiros, mostrando este inviável para a utilização especificamente em explosões CBMDF, porém pode ser utilizada no contexto de produtos perigosos (GPRAM).

4.3 **Software CHARM para simulação de explosões**

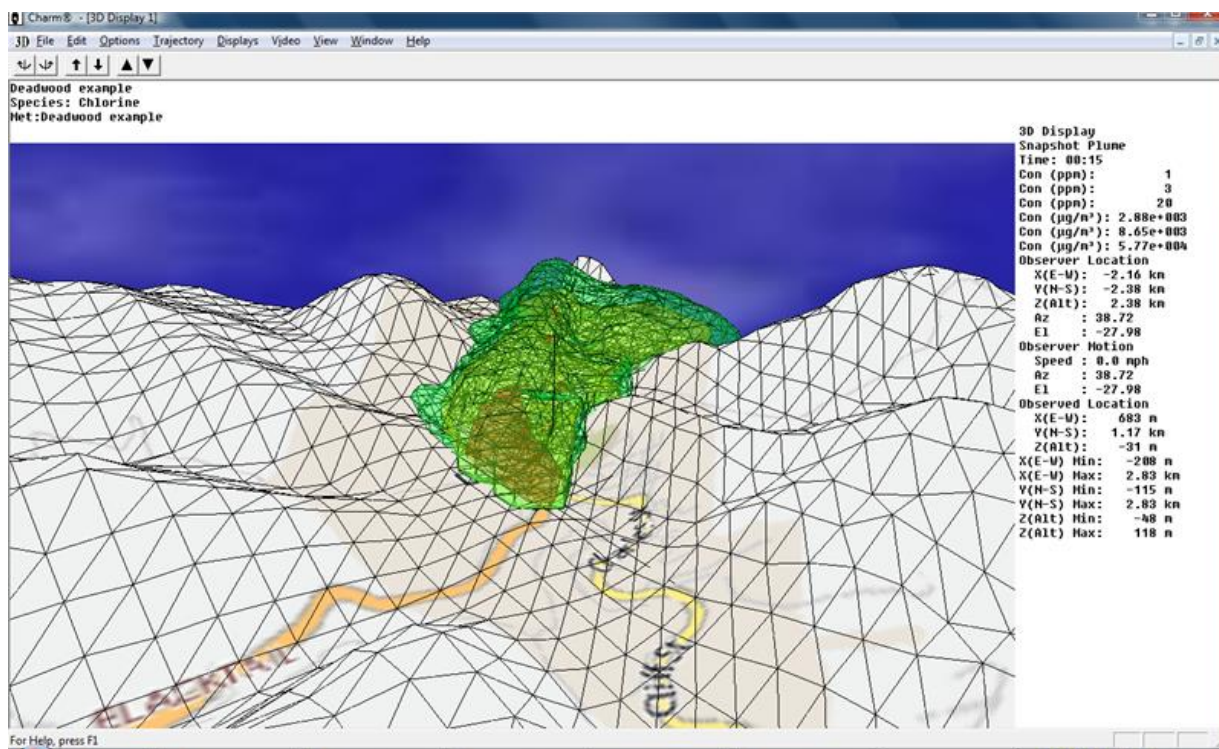
A análise do *software* CHARM foi encontrada através da desenvolvedora Charm Software e a caracterização à base dos manuais. Como os outros há grande dificuldade de termos em língua inglesa que não possuem traduções diretas.

O *software* CHARM foi desenvolvido pelo Dr. Mark Eltgroth, bacharel em Física (Caltech, 1974) e Ph.D. em Física Atmosférica (University of Washington, 1978). Durante sua vida, a CHARM esteve associada a várias empresas (Radian Corporation por meio de seus vários nomes até ser adquirida pela URS Corporation). Em 2008, o *software* foi adquirido exclusivamente pelo Dr. Eltgroth, sendo comercializado hoje pela empresa Charm Software (CHARM, 2021).

O *software* CHARM aborda a liberação accidental de produtos químicos perigosos (dispersão no ar e transporte), incêndios (BLEVE, *pool fire* e incêndio em jato) e explosões (falha mecânica e dispersão no ar e transporte seguido de explosão de nuvem de vapor). O Programa visa ajudar na avaliação de perigos e programas de resposta a emergências. Caso ocorra algum acidente, há a necessidade precisa de dados em tempo real para orientar as atividades de resposta (CHARM, 2021).

Existem duas versões do *software* CHARM disponíveis; uma com única fonte em terreno plano e uma outra que permite múltiplas fontes em terrenos complexos. Ambas fornecem cálculos de transporte aéreo e dispersão, explosões mecânicas e de nuvem de vapor e radiação BLEVE e *pool fire*. A interface gráfica é mostrada na figura 12 a seguir (CHARM, 2021).

Figura 12 Interface Gráfica do programa CHARM.



Fonte: Charm Software, 2021.

São exemplos de aplicações do CHARM que podem ser úteis na aplicação bombeiro:

- Liberação de produto perigoso em área delimitada;
- *Pool Fire*, radiação térmica e impactos de concentração da liberação de líquido inflamável;
- Explosão de nuvem de vapor;
- Impacto em edifícios;
- Impacto dentro e fora de uma liberação de energia dentro de um edifício.

O preço do *software* para a versão completa é US\$14.000,00 (dólares). Para facilitação das funções, segue na tabela 5 a compilação de todas as características elencadas nos programas através de pesquisas bibliográficas.

Tabela 5 Resumo do programa e funcionalidades CHARM.

CHARM
Incêndio
Explosão
Dispersão
Toxicidade
Ambiental
Plataforma SIG disponível
Decisões de localização
Decisões de resposta de emergência
Cálculo de zonas de efeito
Cálculo em tempo real
Impacto em edifícios (área interna e externa)

Fonte: Adaptado Jorge, 2021.

Este *software* também não fica restrito a somente estas aplicações. Este programa por sua vez possui muitas aplicações para o aspecto de explosões, podendo ser utilizado tanto pela Diretoria de Investigação de Incêndio (DINVI) e o GPRAM, no contexto de produtos perigosos.

4.4 *Software FRED/SHELLSHEPHERD* para simulação de explosões

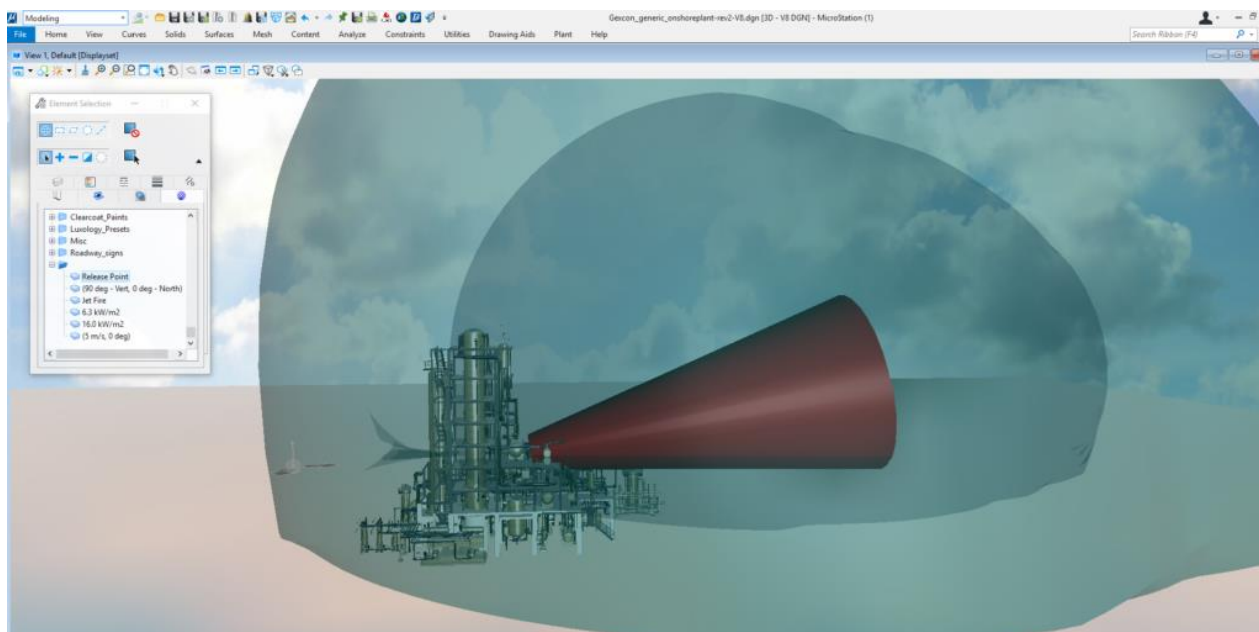
A caracterização do *software* FRED/SHELLSHEPHERD foi feita através da desenvolvedora Shell. A caracterização à base dos manuais e do site da detentora da licença de comercialização. A dificuldade maior é a interação da parte industrial do programa que é mais voltado para ambiente petrolífero, porém existem varias características que permitem a utilização para aplicações bombeiros.

Houve grande dificuldade na caracterização deste pois não foi encontrado o manual, podendo contar apenas com informações do site da empresa e outros estudos de vídeos e cartilhas disponibilizadas.

Shell FRED (SHELL SHEPHERD) é uma ferramenta de modelagem de consequências de incêndio, liberação, explosão e dispersão desenvolvida pela Shell e disponibilizada exclusivamente através da Gexcon. Anteriormente, o objetivo do *software* era ser utilizado apenas em projetos da Shell, porém devido a confiabilidade

da marca acabou sendo largamente aplicada em todo o mundo e pode ser aplicado universalmente a instalações em diversos tipos de indústrias (GEXCON, 2021).

Figura 13 Interface Gráfica do programa FRED/SHELLSHEPHERD.



Fonte: Gexcon, 2021.

São exemplos de aplicações que podem ser úteis para os bombeiros:

- Preparação e atualização de casos de segurança;
- Estudos de planejamento de resposta pré-incidente e emergência;
- Estudos de gerenciamento de efeitos dominó / escalonamento;
- Investigação de acidentes;
- Análise quantitativa de risco (QRA).

Para facilitação das funções, segue na tabela 6 a seguir com a compilação de todas as características elencadas nos programas através de pesquisas bibliográficas.

Tabela 6 Resumo do programa e funcionalidades FRED/SHELLSHEPHERD.

FRED/SHELLSHEPHERD
Incêndio
Explosão
Dispersão
Toxicidade
Ambiental
Decisões de localização
Decisões de resposta de emergência
Cálculo de zonas de efeito
Cálculo em tempo real
Análise de riscos
Efeito dominó de efeitos
Investigação de acidentes
Fonte: Adaptado Jorge, 2021.

Este *software* também não fica restrito a somente estas aplicações. Sua utilização também é voltada para acidentes na área petrolífera. As aplicações acima são de valor para atuação do CBMDF, porém é uma ferramenta que não é especificamente para atuação de bombeiros. O programa pode ser usado para pesquisas subsidiadas pelo Departamento de Pesquisa, Ciência e Tecnologia (DEPCT), pela Diretoria de Investigação de Incêndio (DINVI) e também o GPRAM.

4.5 Software SEVEX VIEW para simulação de explosões

A análise do *Software* SEVEX View se deu através do site da desenvolvedora, a ATM-PRO. Neste programa houve grande dificuldade até de encontrar manuais, sendo encontrado os dados mais nas notas que a detentora da licença fornece.

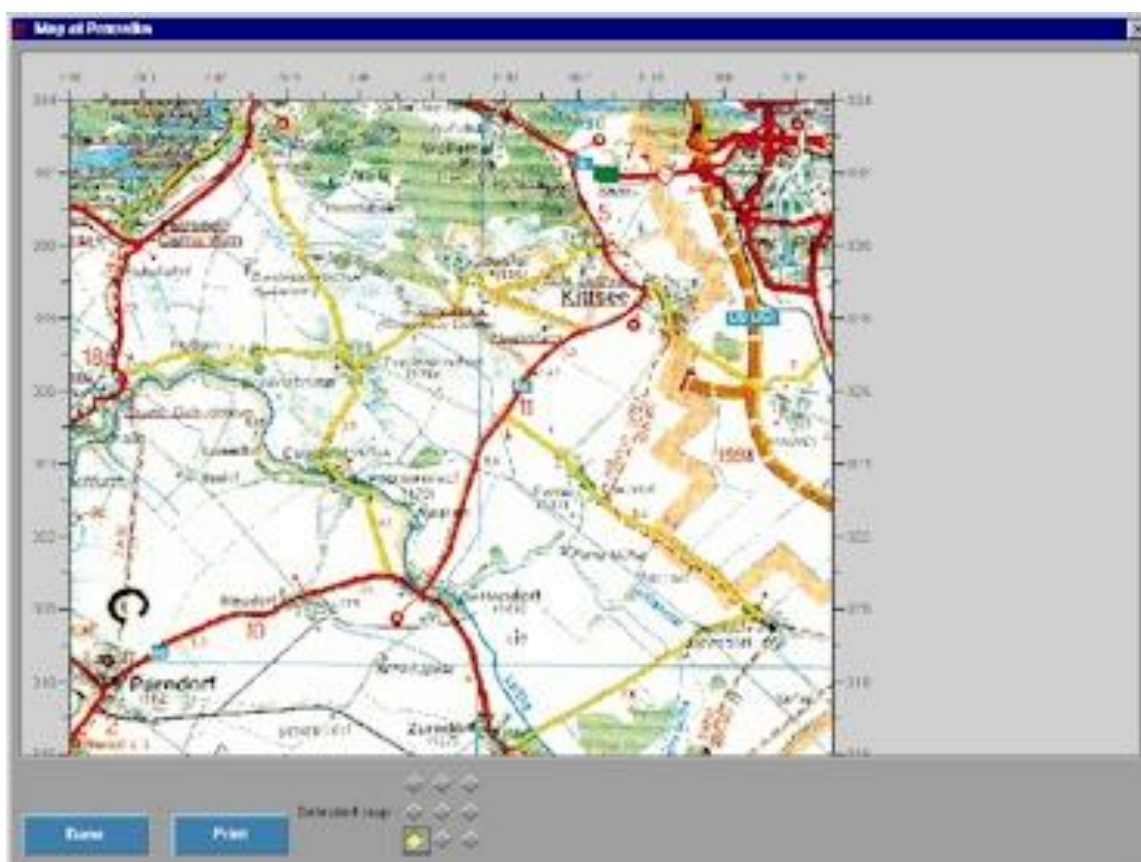
O SEVEX View integra a equipe integrada relacionada ao Ministério do Meio Ambiente do governo da Valônia da Bélgica. A proprietária dos direitos da licença é a ATM-PRO, ligada a Université Catholique de Louvain na Bélgica, em colaboração com a Lakes Environmental Software Inc. (ATM-PRO, 2021).

Desenvolvido para cumprir as diretivas local, utiliza recursos de modelagem meteorológica e de dispersão em 3D, com gestão conservadora de suposições e

incertezas, abordagem integrada de identificação de perigos até o mapeamento prático para planejadores e respostas de emergência. Fornece maior eficiência para equipes de planejamento e resposta (ATM-PRO, 2021).

A SEVEX Atlas, que é instrumento conjunto ao SEVEX View, fornece a ferramenta de resposta, mostrando em segundos as zonas de perigo. A interface gráfica é mostrada abaixo na figura 14 (ATM-PRO, 2021).

Figura 14 Interface Gráfica do programa SEVEX View.



Fonte: ATM-PRO, 2021.

O software SEVEX View possui ferramentas de modelagem, como (ATM-PRO, 2021):

- Taxa de vazamento, jato, chuva, dispersão pesada;
- Terreno complexo - topografia e uso do solo;
- Meteorologia 3D e dispersão passiva 3D;
- BLEVE;
- Explosivos;

- As zonas de perigo calculadas que levam em consideração os efeitos; tóxicos, de radiação e de sobrepressão.

O preço do *software* para a versão completa com 2D, 3D e Atlas é €24.950,00 (Euros). Para facilitação das funções, segue na tabela 7 com a compilação de todas as características elencadas nos programas através de pesquisas bibliográficas.

Tabela 7 Resumo do programa e funcionalidades SEVEX VIEW.

SEVEX VIEW
Incêndio
Explosão
Dispersão
Toxicidade
Ambiental
Decisões de localização
Decisões de resposta de emergência
Cálculo de zonas de efeito
Topografia avançada
Modelagem de zonas de perigo
Fonte: Adaptado Jorge, 2021.

Há também a utilização deste *software* para outras aplicações. Este programa por sua vez possui muitas aplicações para o aspecto de explosões, que poderia ser importante para prevenção e investigação dentro da corporação, principalmente a parte de BLEVE e explosivos. Para este programa, a Diretoria de Investigação de Incêndios (DINVI) seria mais afetada por suas funções, mas o GPRAM também poderia ser afetado pelas funções ambientais e dispersão.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O objetivo deste trabalho foi realizar um estudo da análise da viabilidade técnica do uso de *softwares* de explosões nas atividades de investigação e prevenção de incêndio na corporação, que segundo alguns estudos como de Jorge (2015), em diversos cenários propícios a acidente, esses programas computacionais seriam uma forma de quantificar os possíveis riscos e danos relativos ao que antecede esse acidente.

Considerando a competência legal do CBMDF para realizar serviços de prevenção e extinção de incêndios, assim como perícias de incêndio e explosões, a capacidade de investigação e estudo podem ser apoiadas por *softwares* específicos, relacionando com diversas funções demonstradas no item de resultados e discussões, podendo ser de grande valia para a complementação dos serviços voltados para majorar a competência de prevenção e investigação de explosões.

Os *softwares* estudados demonstraram em suas respectivas características técnicas algumas que são desejadas como a capacidade de gerar estimativas de danos, distâncias de segurança, planos de emergências, zonas de efeitos e aspectos ambientais envolvendo as consequências dos cenários de acidentes com explosões.

As complexidades e funcionalidades foram listadas neste estudo, porém as utilizações e dificuldades voltadas para a realidade do CBMDF e identificação do *software* mais adequado quanto aos acidentes resultantes de explosões poderão ser feitos através de testes destes programas computacionais.

5.1 Recomendações e Produto

Tratando os *softwares* de explosões como uma demanda da corporação, tem-se que estudos mais complexos sobre cada *software* aqui especificado sejam necessários para que um processo de compra seja iniciado de maneira que possa seguir os princípios da administração pública como eficiência, principalmente voltada para a celeridade, eficácia, economicidade, efetividade e qualidade, relacionando a capacidade estrutural que há atualmente no CBMDF para que seja feita a compra do *software* mais adequado a realidade da corporação.

Para isso, recomenda-se o desenvolvimento do planejamento de compra do *software* para incêndios e explosões. Pensando neste fato, o produto deste trabalho é a formulação do Pedido de Aquisição de Materiais, conforme consta no Apêndice A.

Pensando no crescimento da pesquisa na área de explosões visto que é uma matéria vaga dentro da corporação e nos cenários nacionais e internacionais, recomenda-se então o desenvolvimento de pesquisas tecnocientíficas para que o Corpo de Bombeiros Militar do Distrito Federal seja uma referência no âmbito nacional e internacional.

Outra recomendação é a criação de um grupo de trabalho voltado para o desenvolvimento de assuntos relacionados a explosões visando a elaboração de planos de evacuação, planos de ação em casos de ocorrências do e a formulação da especificação para a compra do *software* e desenvolver o conhecimento da área na corporação. Pensando nisto, no Apêndice B segue uma minuta de Portaria para designação de um grupo de trabalho a ser levado ao Comandante Geral para sua aprovação.

REFERENCIAS

Aragão, R. F. **Incêndio e explosivos: uma introdução a engenharia forense**. 2ª ed, Millennium Editora, Campinas, 2020.

ATM-PRO. **Technical Notes**. Disponível em:
http://www.atmpro.be/support.php?item=technotes&onglet=sevex_techsummary.
 Acesso em: 26 jun. 2021

AUTORIDAD REGULATÓRIA NUCLEAR. **Efectos de explosiones y acciones mitigantes aplicables a estructuras, sistemas y componentes de instalaciones civiles**. Buenos aires, Argentina, 1998.

BAKER, W. et al. **Explosion Hazards and Evaluation - Fundamental Studies in Engineering 5**. 1ª ed, Elsevier Scientific Publishing Company, Amsterdam - Oxford-New York, 1983.

BIRNBAUM, N. K, CLEGG, R. A., FAIRLIE, G. E. 1996. **Analysis of Blast Loads on Buildings**. Century Dynamics Incorporated, Oakland, California, 1996.

BUENO, Jeferson Rafael. **Distribuição de pressões e impulsos devidos a explosões não confinadas em edifícios e elementos de proteção à explosão**. 2018. Tese (Doutorado em Engenharia civil) - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2018.

CASAGRANDE, André Schaan. **Estudo de cargas impulsivas com ênfase em explosões: estratégias de análises utilizando método numéricos**. 2006. Dissertação (Mestrado em engenharia) – Escola de engenharia da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2006.

CHAPMAN, T. C., Rose, T. A., SMITH, P.D. **Blast Wave Simulation Using AUTODYN2D: A Parametric Study**. International Journal of Impact Engineering, Pergamon, vol.16, issue 5-6, p.777-787, 1995.

CHARM Software. **Complex Hazard Air Release Model**. Disponível em:
<https://www.charmmodel.com/about-us.aspx>. Acesso em: 28 jul. 2021.

COOK, D. H. **The R. B. Grover & Company Shoe Factory Boiler Explosion**. Disponível em: < <https://plymouthcolony.net/brockton/boiler.html> > acesso em 15 de fev. 2021.

CORPO DE BOMBEIROS MILITAR DO DISTRITO FEDERAL. **Manual básico de combate a incêndio: módulo 1 comportamento do fogo**. 2. ed. Brasília, 2009.

CORPO DE BOMBEIROS MILITAR DO DISTRITO FEDERAL. **Plano Estratégico 2017 - 2024 do Corpo de Bombeiros Militar do Distrito Federal**. Brasília, 2017.

CORPO DE BOMBEIROS MILITAR DO DISTRITO FEDERAL. **Regimento Interno Suplemento ao Boletim Geral nº 223, de 1º de dezembro de 2020.** Brasília, 2020.

COSTA NETO, Murilo Limeira da. **Um estudo do fenômeno explosão e das ondas de choque utilizando a fluidodinâmica computacional.** 2015. Dissertação (Mestrado em estruturas e construção civil) – Departamento de Engenharia civil, Universidade de Brasília. Brasília, 2015.

EXPONENT Engeneering and Scientifc. **CALPUFF Modeling System.** Disponível em: <http://www.src.com/>. Acesso em: 26 jul. 2021.

G1. **Explosão no Líbano: De onde veio e para onde ia nitrato de amônio que causou desastre em Beirute.** Disponível em: <<https://g1.globo.com/mundo/noticia/2020/08/07/explosao-no-libano-de-onde-veio-e-para-onde-ia-nitrato-de-amonio-que-causou-desastre-em-beirute.ghtml>> acesso em 15 de fev. 2021.

GEXCON. **Shell FRED (Fire, Release, Explosion, and Dispersion) is Shell's consequence modelling tool.** Disponível em: <https://www.gexcon.com/products-services/shell-fred-software/>. Acesso em: 27 jul. 2021.

GRAHAM, Robert A. **Shock Wave and High Pressure Phenomena.** Springer, Berlin, 2010

JORGE, João Pedro Martins Santos. **Avaliação das potencialidades do programa de simulação EFFECTS 9® para quantificação dos efeitos de explosão em cenários industriais.** 2015. Dissertação a apresentar para a obtenção do grau de Mestre em Engenharia do Ambiente na Especialidade de Tecnologia e Gestão do Ambiente, Universidade de Coimbra, Coimbra, 2015.

JUNIOR, Vicente Tomaz de Aquino. **Explosões em poeiras – Uma visão geral.** 2019. Trabalho relativo a disciplina Incêndios e Explosões industriais, Doutorado de engenharia de segurança ao Incêndio. Universidade de Coimbra, Coimbra, 2019.

KINNEY, Gilbert. F.; GRAHAM, Kenneth. J. **Explosive Shocks in Air.** 2. ed. Springer: Berlin, 1985.

PRODANOV, Cleber Cristiano; FREITAS, Ernani Cesar de. **Metodologia do Trabalho Científico: Métodos e Técnicas da Pesquisa e do Trabalho Acadêmico.** 2ª Ed., Novo Hamburgo – RS: Universidade Feevale, 2013.

QUARANTA, N., DeMartini, A., Bellasio, R., Bianconi, R. e Marioni, M. **A decision support system for the simulation of industrial accidents.** Environmental Modelling & Software, Issue 17, pp. 497-504, 2002.

REINARES, Fernando. **O atentado de 2004 na Espanha foi tramado em 2001 no Paquistão.** Disponível em: <https://brasil.elpais.com/brasil/2014/03/07/politica/1394224760_628015.html> acesso em 15 de fev. 2021.

RENIERS, G. et al. **Decision support systems for major accident prevention in the chemical process industry: A developers survey.** Journal of Loss Prevention in the Process Industries, vol. 19, Issue 6, p.604-620, 2006

SALATIEL. **Terror na Espanha - Atentado de 11 de março completa cinco anos.** Disponível em:<<https://vestibular.uol.com.br/resumo-das-disciplinas/atualidades/terror-na-espanha-atentado-de-11-de-marco-completa-cinco-anos.htm>> acesso em 15 de fev. 2021.

SELLTIZ, C.; WRIGHTSMAN, L. S.; COOK, S. W. **Métodos de pesquisa das relações sociais.** São Paulo: Herder, 1965.

DEPARTMENTS OF THE ARMY; THE NAVY; AND THE AIR FORCE.**TM-5-1300. Structure to resist the effects of accidental explosions. Army Manual.** Washington- EUA: Departments of the Army; the Navy; and the Air Force, 1990, 1796 p.

TRINITY CONSULTANTS. **ExDAM.** Disponível em: <https://www.trinityconsultants.com/software/products/exdam>. Acesso em: 26 jun. 2021.

VAN ACKER, A., Rodrigues, et al. **Design of precast concrete structures for accidental loading.** Lausanne, Suíça: International Federation for structural concrete ,2012.

APENDICE A

Este conteúdo não está disponível para visualização.

APENDICE B

Este conteúdo não está disponível para visualização.

APENDICE C

Este conteúdo não está disponível para visualização.