

**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**

Cadete BM/2 **HEITOR** DE OLIVEIRA VAZ CURVO



**ESTUDO TÉCNICO SOBRE OS REQUISITOS MÍNIMOS EXIGÍVEIS PARA
O PROTÓTIPO DE LGE – CBMDF COM BASE NA ABNT 15511/2008**

BRASÍLIA
2022

Cadete BM/2 **HEITOR** DE OLIVEIRA VAZ CURVO

**ESTUDO TÉCNICO SOBRE OS REQUISITOS MÍNIMOS EXIGÍVEIS PARA
O PROTÓTIPO DE LGE – CBMDF COM BASE NA ABNT 15511/2008**

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

Orientador: Maj. QOBM/Comb. ALISSON BERNARDI DE **BARROS**

BRASÍLIA
2022

Cadete BM/2 **HEITOR** DE OLIVEIRA VAZ CURVO

**ESTUDO TÉCNICO SOBRE OS REQUISITOS MÍNIMOS
EXIGÍVEIS PARA O PROTÓTIPO DE LGE – CBMDF COM BASE
NA ABNT 15511/2008**

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

Aprovado em: 16/11/2022.

BANCA EXAMINADORA

CLAYSON AUGUSTO MARQUES FERNANDES - Ten.-Cel. QOBM/Comb.
Presidente

RAFAEL COSTA GUIMARÃES - 1º Ten. QOBM/Compl.
Membro

ROMMEL SILVA MENDONÇA - 1º Ten. QOBM/Comb.
Membro

ALISSON BERNARDI DE BARROS - Maj. QOBM/Comb.
Orientador

ESTUDO TÉCNICO SOBRE OS REQUISITOS MÍNIMOS EXIGÍVEIS PARA O PROTÓTIPO DE LGE – CBMDF COM BASE NA ABNT 15511/2008

RESUMO

Este trabalho realiza o estudo técnico sobre os requisitos mínimos exigíveis para o protótipo de Líquido Gerador de Espuma do Corpo de Bombeiros Militar do Distrito Federal (LGE - CBMDF), para combate a incêndios em líquidos inflamáveis do tipo hidrocarboneto, com base na ABNT NBR 15511/2008. O objetivo geral deste estudo é verificar a eficácia e a eficiência do LGE - CBMDF no que tange aos testes físico-químicos (ensaios laboratoriais) e ao teste de fogo com base nos parâmetros da ABNT NBR 15511/2008. A primeira parte do estudo foi feita mediante teste de fogo nas dependências do Centro de Treinamento Operacional (CETOP) do CBMDF, em que foi medida a eficácia do protótipo naquele tipo de combate. A segunda parte foi feita mediante ensaios laboratoriais nas dependências da FIREMETRIA Laboratório de Ensaios e Análises, em Valinhos - São Paulo, em que foi medida a eficiência do protótipo naquele tipo de combate. Os resultados desses ensaios foram analisados e comparados com amostras de LGE - Petrobrás (cedidas pela referida instituição) e com água. O estudo como um todo demonstrou que o LGE - CBMDF é eficaz mas não tão eficiente quanto o LGE-Petrobrás para combater esse tipo de incêndio, por conta de suas propriedades físico-químicas exigidas na ABNT NBR 15511/2008. Porém, pelo fato de ser um LGE, é capaz de debelar incêndios em líquidos inflamáveis de forma mais eficaz e eficiente que a água, pois age tanto por abafamento quanto por resfriamento.

Palavras-chave: Líquido Gerador de Espuma. Líquido inflamável. Protótipo. Corpo de Bombeiros Militar do Distrito Federal.

**TECHNICAL STUDY ON THE MINIMUM REQUIREMENTS FOR
THE PROTOTYPE OF FIREFIGHTING FOAM MADE BY THE
BRASÍLIA'S FIRE DEPARTMENT (CBMDF) BASED ON ABNT
15511/2008**

ABSTRACT

This work carries out the technical study on the minimum requirements for the prototype of firefighting foam made by the Brasília's Fire Department (CBMDF), for fighting fires in flammable liquids of the hydrocarbon type, based on ABNT NBR 15511 /2008. The general objective of this study is to verify the effectiveness and efficiency of the LGE - CBMDF in terms of physical-chemical tests (laboratory tests) and fire tests based on the parameters of ABNT NBR 15511/2008. The first part of the study was carried out by means of a fire test on the premises of the Operational Training Center (CETOP) of the CBMDF, in which the effectiveness of the prototype in that type of combat was measured. The second part was carried out through laboratory tests at the FIREMETRIA Laboratory of Tests and Analysis, in Valinhos - São Paulo, in which the efficiency of the prototype in that type of combat was measured. The results of these tests were analyzed and compared with samples from LGE - Petrobrás (provided by the said institution) and with water. The study as a whole showed that LGE - CBMDF is effective but not as efficient as LGE-Petrobrás to fight this type of fire, due to its physical- chemical properties required by ABNT NBR 15511/2008. However, because it is an LGE, it is capable of putting out fires in flammable liquids more effectively and efficiently than water, as it acts both by smothering and cooling.

Keywords: *Firefighting foam. Flammable liquid. Prototype. Federal District Fire Department.*

1. INTRODUÇÃO

As ocorrências de incêndio sempre foram um fato presente desde o início de nossa sociedade e se intensificou com o desenvolvimento das cidades e metrópoles. Com o passar do tempo, viu-se a necessidade de se compreender quais são os motivos da ocorrência dos incêndios urbanos e quais são seus fatores determinantes, para que assim fosse possível criar mecanismos de prevenção e combate a eles. Seguindo essa linha de raciocínio, descobriu-se que não só a água funciona como agente extintor, mas também outros produtos podem ser usados para aquela finalidade. Atualmente, um desses agentes extintores de incêndio chamado líquido gerador de espuma (LGE), vem sendo desenvolvido e testado pelo Corpo de Bombeiros Militar do Distrito Federal (CBMDF).

Devido à importância do uso do LGE nos combates a incêndios, nos últimos anos surgiram diversas pesquisas acerca do assunto, tanto no âmbito nacional quanto no internacional. O presente artigo científico leva em consideração o contexto do Distrito Federal, especificamente no CBMDF, e aborda uma solução encontrada pela Corporação voltada para o desenvolvimento técnico-científico de LGE próprio para combate a incêndio urbano.

Como resultado dessas pesquisas, surgiram diversos instrumentos normativos e documentos que possibilitam a utilização da espuma de forma eficaz e eficiente. Um desses instrumentos é balizado pela Norma Brasileira (NBR) 15511/2008, que dispõe sobre os testes necessários para LGE destinados a incêndios em líquidos inflamáveis (LGE Classe B). A referida norma possui testes físico-químicos e ensaios de fogo que foram utilizados como referência para o teste de fogo realizado, em escala real, nas dependências do Centro de Treinamento Operacional (CETOP) do CBMDF. Serviram como base também para os testes físico-químicos realizados em laboratório com amostras de LGE - CBMDF e da Petrobrás. Os resultados dos testes realizados na amostra de LGE Classe B da Petrobrás foram utilizados neste presente artigo

como parâmetro para comparação com os resultados dos testes da amostra de LGE - CBMDF. Comparou-se entre as amostras as propriedades físico-químicas citadas na ABNT NBR 15511 e a partir dessa análise comparativa alguns resultados foram alcançados.

O objetivo desses ensaios foi verificar o desempenho do LGE - CBMDF em relação aos quesitos mínimos para aprovação nos testes físico-químicos e aos quesitos mínimos para aprovação nos ensaios de fogo, consequentemente verificando sua eficácia e eficiência no combate a incêndio em líquidos inflamáveis (hidrocarbonetos - gasolina).

A necessidade de se fazer estudos sobre LGE como agente extintor para combate a incêndios em líquidos inflamáveis é de extrema importância, tanto no contexto social quanto no científico e institucional. A água é um agente de baixo custo e bom rendimento operacional porém, “apresenta características que a tornam menos eficaz no combate a incêndios pertencentes às outras classes [...], como incêndios em líquidos inflamáveis [...]” (AMARAL, 2020, p.5)

O desenvolvimento de LGE institucional tem importância social pois aumenta a qualidade da prestação do serviço entregue pelo CBMDF à Sociedade. De acordo com Amaral (2020, p.3), “o protótipo apresenta eficiência ao combater incêndio em líquidos inflamáveis [...], haja vista sua propriedade de isolar o combustível do contato com a atmosfera”.

Há importância científica no presente trabalho pois ele busca contribuir com a segunda fase da Pesquisa Técnico Científica (PTC nº 001/2018), que busca desenvolver um protótipo institucional de LGE. Esse projeto apresenta, segundo Amaral (2020, p.3), “a execução de testes operacionais para avaliação da eficiência e eficácia do protótipo de LGE”. O trabalho também é uma evolução do artigo científico apresentado à banca da disciplina Trabalho de Conclusão de Curso do Curso de Formação de Oficiais em 2020, da então Cadete do CBMDF Luísa Gurjão de Carvalho Amaral, artigo esse que versou sobre a Viabilidade técnico-operacional do emprego do protótipo de líquido gerador de espuma do Corpo de Bombeiros Militar do Distrito Federal em incêndio de líquidos inflamáveis derivados de petróleo.

Já no âmbito institucional, devido à constante escassez de LGE na Corporação, é imprescindível haver a continuação dos estudos e ensaios desse agente extintor para que a Corporação possa se tornar autossuficiente na produção de LGE.

Então, pôde-se formular o objetivo geral do presente artigo, que é **verificar a eficácia e a eficiência do LGE - CBMDF no que tange aos testes físico-químicos (ensaios laboratoriais) e ao teste de fogo com base nos parâmetros da ABNT NBR 15511/2008.**

A partir do objetivo geral, formulou-se os objetivos específicos listados abaixo:

1. Analisar os métodos de extinção de incêndio;
2. Entender o processo de formação da espuma, quais são seus componentes e suas propriedades físico-químicas;
3. Verificar as vantagens do uso da espuma em detrimento do uso da água para combate a incêndio em líquidos inflamáveis;
4. Analisar os requisitos mínimos de eficácia e eficiência exigidos para se debelar incêndios em líquidos inflamáveis;
5. Analisar os resultados do teste de fogo com LGE - CBMDF baseados na NBR 15511;
6. Analisar os resultados dos ensaios laboratoriais com LGE - CBMDF baseados na NBR 15511 e compará-los com os resultados dos ensaios com LGE da Petrobrás.

Como o presente artigo científico pretende responder a seguinte pergunta: **O protótipo de LGE - CBMDF gera uma espuma eficaz e eficiente**

no combate a incêndios em líquidos inflamáveis (hidrocarbonetos-gasolina), utilizando-se como base os parâmetros da ABNT 15511/2008?

Então, parte-se da seguinte hipótese: A utilização do protótipo de LGE - CBMDF gera uma espuma eficaz e eficiente para extinção de incêndio em líquidos inflamáveis do tipo hidrocarboneto (gasolina).

2. REVISÃO DE LITERATURA

Para se compreender como um incêndio se processa, é necessário conhecer os quatro elementos do tetraedro do fogo: combustível, comburente, calor e reação em cadeia. O combustível é a matéria, algo que ocupa lugar no espaço e é composto por moléculas. Pode ser encontrada na forma sólida, líquida ou gasosa. O comburente é o oxigênio. O calor pode advir de um fósforo aceso, uma fagulha ou uma brasa aquecida, e a reação em cadeia é a reação química que une todos esses elementos no processo de combustão. O manual de incêndio do CBMDF (2009) explica que o tetraedro do fogo é uma combinação de combustível e oxigênio, na presença de uma fonte de energia (calor). A reação em cadeia é um processo que une esses três elementos, havendo liberação de energia em forma de luz e mais calor, além de outros produtos químicos. Ainda segundo o Corpo de Bombeiros Militar do Distrito Federal (2009, p.13), “o fogo é extinto quando um dos seus elementos é retirado ou quando a reação que os envolve é interrompida.” Diante desse raciocínio, existem quatro métodos de extinção de um incêndio: retirada do material combustível, resfriamento, abafamento e quebra da reação em cadeia.

2.1. Métodos de extinção de incêndio

A retirada do material combustível

É mais um método de extinção, outros preferem falar que a retirada do material apenas limita o incêndio, evitando que tome proporções maiores. O fato é que essa forma de combater baseia-se na retirada do material combustível, ainda não atingido, da área de propagação do fogo, interrompendo a alimentação da combustão.

Método ou forma (ou como queiram chamar) é também denominado corte ou remoção do suprimento do combustível.

Ex.: fechamento de válvula ou interrupção de vazamento de combustível líquido ou gasoso, retirada de materiais combustíveis do ambiente em chamas, realização de aceiro, etc. (DANTASNET, 2013).

O resfriamento, de acordo com Dantasnet (2013), é o método mais utilizado e consiste na diminuição da temperatura de ignição do material

combustível que está queimando, diminuindo a liberação de gases ou vapores inflamáveis. Por ter grande capacidade de absorver calor e ser encontrada facilmente na natureza, a água é o agente extintor mais utilizado. O autor (2013) ainda pontua que a diminuição da temperatura está diretamente relacionada à quantidade e à forma de aplicação dos jatos de água, de tal sorte que ela absorva mais calor que o incêndio é capaz de produzir. Por fim, “é inútil o emprego de água onde queimam combustíveis com baixo ponto de combustão (menos de 20°C), pois a água resfria até a temperatura ambiente e o material continuará produzindo gases combustíveis.” (DANTASNET, 2013).

O abafamento

Consiste em diminuir ou impedir o contato do oxigênio com o material combustível. Não havendo comburente para reagir com o combustível, não haverá fogo. Como exceção estão os materiais que têm oxigênio em sua composição e queimam sem necessidade do oxigênio do ar, como os peróxidos orgânicos e o fósforo branco. A diminuição do oxigênio em contato com o combustível vai tornando a combustão mais lenta, até a concentração de oxigênio chegar próxima de 8%, onde não haverá mais combustão. Colocar uma tampa sobre um recipiente contendo álcool em chamas, ou colocar um copo voltado de boca para baixo sobre uma vela acesa, são duas experiências práticas que mostram que o fogo se apagará tão logo se esgote o oxigênio em contato com o combustível. (DANTASNET, 2013).

A quebra da reação em cadeia, segundo Dantasnet (2013), é um novo processo de extinção de incêndios em que substâncias são colocadas na reação química da combustão para inibi-la. O autor enfatiza que

Não há abafamento ou resfriamento. Apenas é criada uma condição especial (por um agente que atua em nível molecular) em que o combustível e o comburente perdem, ou têm em muito reduzida, a capacidade de manter a cadeia da reação. (DANTASNET, 2013)

2.2. Líquidos inflamáveis

Um incêndio pode se propagar em diferentes meios materiais. Um desses meios é o líquido inflamável. De acordo com a Norma Regulamentadora número 20 (2014, p.1) do Ministério do Trabalho e Emprego, que versa sobre a segurança e a saúde no trabalho com inflamáveis e combustíveis, “líquidos inflamáveis são líquidos que possuem

ponto de fulgor ≤ 60 °C.” Segundo Corpo de Bombeiros Militar do Distrito Federal (2009,p.16), o ponto de fulgor “[...] é atingido quando os vapores liberados pelo material combustível sólido ou líquido entram em ignição em contato com uma fonte externa de calor [...]”. A gasolina, o diesel, o heptano e o querosene são exemplos de alguns líquidos inflamáveis que são comumente presentes em incêndios.

2.3. Líquido Gerador de Espuma (LGE)

O LGE ou extrato gerador de espuma é um “líquido que, quando diluído em água e aerado, gera espuma para prevenção e extinção de incêndios em combustíveis líquidos.” (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2008, p. 2). De acordo com o Corpo de Bombeiros Militar do Espírito Santo (2014):

Existem basicamente dois tipos de espumas: as espumas mecânicas, obtidas por um processo mecânico de mistura de LGE, ar e água; e as espumas químicas, obtidas pela reação química entre dois produtos. Este último tipo caiu em desuso, sobretudo devido à sua fraca eficiência e pelos riscos associados ao armazenamento e manuseamento dos produtos químicos necessários à sua formação.

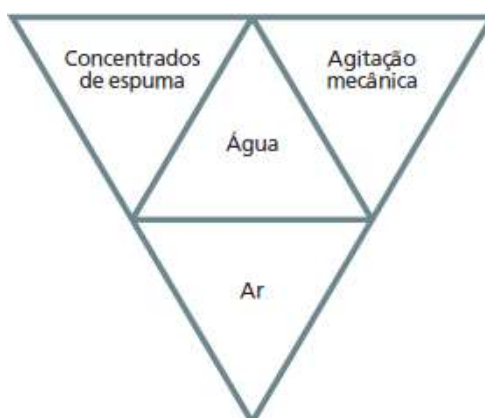
Ainda segundo a NBR 15511 (2008), existem 3 classes e 7 tipos de LGE. O LGE pode ser classificado em HC (para extinção de incêndios em hidrocarbonetos, que são compostos derivados de petróleo e que contém carbono e hidrogênio), AV (utilizado em aeroportos, para extinção de incêndios em hidrocarbonetos) e AR (para extinção de incêndios em solventes polares, que são combustíveis líquidos miscíveis com a água). Os tipos de LGE são indicados de acordo com o Quadro 1 abaixo:

Quadro 1 – Tipos de LGE

Tipo	Classe de LGE		
	HC	AV	AR
1	X		
2		X	
3	X	X	
4			X
5	X		X
6		X	X
7	X	X	X
O LGE pode ser fornecido em diversas dosagens para uso. As mais usuais são 1 %, 3 % e 6 %.			
Para LGE polivalente, a dosagem de uso para hidrocarbonetos pode ser diferente da dosagem de uso para solventes polares.			
NOTA 1 Os tipos 5, 6 e 7 são conhecidos como polivalentes.			
NOTA 2 A disponibilidade de determinados tipos depende da demanda de mercado.			

Fonte: Associação Brasileira de Normas Técnicas (2008, p. 3).

A figura 1 esquematiza o processo de formação da espuma, a qual necessita de água, ar, agitação mecânica e LGE.

Figura 1 - Tetraedro da espuma

Fonte: Kidde (2005, p.5).

2.3.1. Líquido Gerador de Espuma institucional

No âmbito do CBMDF, segundo Amaral (2020), as viaturas Auto Bomba Tanque (ABT) e Auto Salvamento e Extinção (ASE) possuem o sistema CAFS

(Compressed Air Foam System) que é um sistema de espuma por ar comprimido ou Sistema CAF, fabricado pela empresa One Seven. O CAFS é, de acordo com Martins (2018) um sistema de proporção eletricamente movido e eletronicamente controlado. O sistema CAF apresenta em sua estrutura uma motobomba, um compressor de ar e um proporcionador de extrato formador de espuma.

O Boletim Geral de número 100 de 30 de maio de 2016 indica a proporção da mistura de LGE com água para incêndios classe A (combustíveis sólidos) e B (líquidos inflamáveis). O percentual a ser calibrado na bomba CAFS das viaturas ABT e ASE deverá ser de 0,5% (volume de LGE / volume de água) para o LGE Classe B.

Amaral (2020, p.8) ainda pontua que

Há no CBMDF a viatura Auto Busca e Salvamento Leve — ABSL, que traz um tipo simplificado de CAFS, acionado apenas por compressão por um cilindro de ar comprimido. Esse sistema é composto por um tanque, em que se mistura manualmente o LGE e a água, e um cilindro que pressuriza essa mistura. A proporção utilizada de LGE nesse caso é de 3 a 6% para classe B de incêndio.

2.3.2. *Teste do LGE institucional*

Necessita-se saber se o protótipo de LGE - CBMDF é eficaz e eficiente no combate a incêndios em líquidos inflamáveis, usando a ABNT 15511/2008 como referência para analisar os requisitos de desempenho necessários. Para isso, deve-se realizar tanto o teste de fogo quanto os testes físico-químicos. Para o teste de fogo, de acordo com a NBR 15511, Associação Brasileira de Normas Técnicas (2008, p.3), “o LGE, conforme a sua classe, deve atender ao desempenho de extinção e resistência à reignição especificado no Quadro 2.”

Quadro 2 — Requisitos de desempenho

Tempo	Classe de LGE		
	HC	AV	AR
Extinção (máximo) s	100	60	180
Resistência à reignição (mínimo) min	10	5	5
NOTA 1 Devido a uma diferença no procedimento de ensaio, o LGE que atende ao tempo de extinção na classe AV, não necessariamente atende ao tempo de extinção na classe HC e vice-versa. NOTA 2 O LGE que atende ao tempo de resistência à reignição na classe HC também atende à classe AV, mas o contrário não necessariamente, devido, neste caso, aos procedimentos de ensaio serem iguais.			

Fonte: Associação Brasileira de Normas Técnicas (2008, p. 4).

Esses requisitos de desempenho medem a eficácia do LGE - CBMDF.

As propriedades físico-químicas analisadas nos ensaios laboratoriais medem a eficiência do LGE - CBMDF e são especificadas a seguir, de acordo com a NBR 15511:

- 1) Massa específica;
- 2) pH;
- 3) Índice de refração;
- 4) Viscosidade;
- 5) Capacidade de vedação;
- 6) Expansão;
- 7) Tempo de drenagem 25%.

2.3.3. Vantagens do uso da espuma

A espuma possui inúmeras vantagens no combate a incêndios, tanto nos de classe A quanto nos de classe B. Pode-se adicionar agentes umectantes a ela.

O agente umectante reduz a tensão superficial da água, tornando-a mais adequada ao combate. A água dessa forma é chamada de “água molhada”, e assim surgem no mercado os líquidos geradores de espuma para combate a incêndio. (CORPO DE BOMBEIROS MILITAR DO ESPÍRITO SANTO, 2014).

O manual do Corpo de Bombeiros da Polícia Militar do Estado de São Paulo (2006) explica que a espuma possui fluidez, recobrando toda a superfície em chamas; resiste ao calor e aos efeitos destrutivos do calor irradiado; faz a contenção de vapores inflamáveis, selando o combustível; possui baixa densidade, permanecendo por cima do combustível, realizando sua função de abafamento e tem dupla ação de extinção de incêndio, agindo por meio do abafamento e resfriamento.

Por ser um agente tensoativo de baixa densidade, as espumas são empregadas para diminuir a tensão superficial da água favorecendo seu espalhamento e percolação no material, abafando-o e isolando-o do contato com o oxigênio atmosférico (FIGUEREDO; SABADINI, 1999).

Uma outra vantagem seria, segundo Montagnolli (2015), a grande aderência ao material em chamas, abafando-o e resfriando-o, retirando o contato da superfície em chamas com o oxigênio atmosférico.

3. METODOLOGIA

O presente artigo científico aborda a eficácia e a eficiência do protótipo institucional que gere uma espuma, a nível dos requisitos mínimos exigidos pela ABNT 15511/2008, quando utilizada para combate a incêndio em líquidos inflamáveis do tipo hidrocarboneto.

A pesquisa experimental, para Gil (2017), determina um objeto de estudo, seleciona as variáveis que irão influenciá-lo e define as formas de controle e de observação dos efeitos que a variável pode produzir no objeto.

No presente artigo, foi feita uma pesquisa experimental por meio de teste de fogo e testes físico-químicos. A eficácia do LGE - CBMDF no teste de fogo foi verificada na própria Corporação, no local de realização do teste (CETOP), com base nos parâmetros da ABNT 15511/2008, utilizando-se gasolina como combustível, em escala real. Já a eficiência do LGE - CBMDF no teste de fogo foi verificada através de ensaios laboratoriais realizados na FIREMETRIA Laboratório de Ensaios e Análises, em Valinhos - SP. A eficiência do LGE - CBMDF nos testes físico-químicos foi verificada comparando suas propriedades físico-químicas, citadas na ABNT 15511/2008 e elencadas no item 2.3.2 da Revisão de Literatura do presente artigo, com as do LGE-Petrobrás, na FIREMETRIA Laboratório de Ensaios e Análises.

No presente artigo, acrescentou-se à referida comparação as propriedades físico-químicas da água a fim de provar que o LGE - CBMDF é mais eficiente que a mesma no combate a incêndios em líquidos inflamáveis.

Ressalta-se que o teste de fogo do presente artigo não foi uma réplica do teste da norma devido a limitações de recursos. A norma foi utilizada apenas como parâmetro para determinar a eficiência e a eficácia do LGE - CBMDF.

Ressalta-se também que o LGE - CBMDF possui características que por si já mostram vantagens no combate a incêndios em relação à água, provadas em estudos anteriores na própria Corporação, em trabalhos de Conclusão de

Curso do Curso de Formação de Oficiais, do então Cadete do CBMDF Rodrigo César Alaby em 2019, da então Cadete do CBMDF Luísa Gurjão de Carvalho Amaral em 2020, no trabalho de Conclusão de Curso do Curso de Aperfeiçoamento de Oficiais em 2020, do então Capitão Alisson Bernardi de Barros e no presente artigo científico.

Os estudos anteriores comprovam que o LGE - CBMDF foi adquirido com a intenção de ser utilizado em incêndios de Classe A. O LGE - Petrobrás é da Classe B.

Além disso, foi realizada uma pesquisa bibliográfica com o intuito de descrever os métodos de extinção de incêndio, compreender o processo de formação da espuma e quais são seus componentes, saber as vantagens do uso da espuma em detrimento do uso da água para combate a incêndio em líquidos inflamáveis e de analisar os requisitos de desempenho da ABNT NBR 15511, as classes e os tipos de LGE utilizados no combate a incêndios em líquidos inflamáveis. De acordo com Gil (2017), a pesquisa bibliográfica é baseada em material já publicado, incluindo material impresso como livros, teses e revistas, e outras fontes de pesquisa como material disponibilizado pela Internet.

Em relação à abordagem, a pesquisa é quantitativa pois, para Rodrigues e Limena (2006, p.89)

A pesquisa quantitativa é compreendida [...] quando a abordagem está relacionada à quantificação, análise e interpretação de dados obtidos mediante pesquisa, ou seja, o enfoque da pesquisa está voltado para análise e a interpretação dos resultados [...].

Em relação aos objetivos, a pesquisa é classificada como exploratória pois busca-se saber como o protótipo de LGE reage com combustível líquido inflamável do tipo hidrocarboneto.

Gil (2017) discorre que, em relação à finalidade (natureza), as pesquisas podem ser classificadas em básicas e aplicadas. A presente pesquisa é classificada em aplicada. Gil (2017) explica que a pesquisa aplicada “abrange estudos elaborados com a finalidade de resolver problemas identificados no âmbito das sociedades em que os pesquisadores vivem.”

O presente artigo científico visa, através da execução de teste de fogo e de testes físico-químicos que avaliem a eficácia e a eficiência do protótipo de LGE, contribuir com a segunda fase do Projeto de Pesquisa Técnico Científica (PPTC nº 001/2018), dando seguimento à pesquisa. A referência dos testes foi a ABNT NBR 15511 que versa sobre “Líquido Gerador de Espuma (LGE), de baixa expansão, para combate a incêndios em combustíveis líquidos”.

No teste de fogo da ABNT NBR 15511, a fim de se constatar a eficácia do LGE - CBMDF, determina-se que seja utilizado 100L de querosene comum como combustível líquido. Porém, o teste foi realizado com 85L de gasolina devido à limitação de recursos.

De acordo com a norma, o experimento deve ser realizado em tanque de seção circular com diâmetro interno de 2,4m e 0,20m de profundidade. No entanto, o experimento foi feito em um reservatório de seção de $\frac{1}{4}$ de círculo com profundidade de 0,53m, possibilitando o teste ser em uma escala real, ampliada em relação à norma. O teste de fogo foi realizado no Centro de Treinamento Operacional do CBMDF.

Para se fazer o teste, foi utilizado o sistema pressurizador da viatura de combate a incêndio Auto Bomba Tanque — ABT a fim de simular um combate real a um incêndio em líquido inflamável.

O ABT possui tanque de água com capacidade de 3.800L e tanque de espuma com capacidade de 200L. A viatura faz uso do Sistema CAFS para a produção de espuma para combate a incêndio, sendo utilizado para o teste de fogo do presente artigo 40L de LGE - CBMDF na proporção de 0,3% por contadas características do sistema gerador de espuma da viatura utilizada, por conta do material combustível ser gasolina e pelo fato de o CBMDF ter adquirido apenas LGE para combate a incêndio em materiais combustíveis Classe A no último processo de compra.

No reservatório foram adicionados uma camada de água de 40L e por cima da água 85L de gasolina.

O teste de fogo foi dividido nas seguintes etapas:

Etapa 1 – a gasolina foi submetida à queima livre por 25 segundos. Após esse tempo, houve o combate com o LGE - CBMDF, medindo-se o tempo de extinção;

Etapa 2 — logo após o combate, foi medido o tempo em que a camada polimérica da espuma se degradou consideravelmente pelo contato com a gasolina;

Etapa 3 - a reignição do combustível foi induzida para se verificar a eficácia da camada de espuma;

Etapa 4 — após 5 minutos e 45 segundos de queima livre, houve o combate com o LGE - CBMDF, medindo-se novamente o tempo de extinção.

No teste de fogo, a fim de se constatar a eficiência do LGE - CBMDF, foi realizado ensaio laboratorial cujo resultado está documentado no Relatório de Ensaio 1093/22 (FIREMETRIA LABORATÓRIO DE ENSAIOS E ANÁLISES, 2022b).

Nos testes físico-químicos, a fim de se constatar a eficiência do LGE - CBMDF, a norma exige que sejam analisadas as seguintes propriedades, elencadas no item 2.3.2 da Revisão de Literatura do presente artigo: massa específica, pH, índice de refração, viscosidade, capacidade de vedação, expansão e tempo de drenagem 25%. Essas análises estão documentadas nos Relatórios de Ensaio nº 140/22, nº 1093/22 e nº 1519/21 (FIREMETRIA LABORATÓRIO DE ENSAIOS E ANÁLISES, 2022a; 2022b; 2021).

Para a análise dessas propriedades, foram utilizadas amostras de LGE - CBMDF armazenadas em bombonas e LGE - Petrobrás armazenadas em carretinhas, bombonas e tanque, porém para o presente artigo, apenas as amostras em bombonas serão consideradas na comparação entre os LGEs das instituições pois essa é a única forma que o CBMDF armazena seu LGE para pronto emprego. Na comparação também serão considerados os LGE - CBMDF do tipo AFFF 3% e as propriedades físico-químicas da água.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A seguir serão descritos os resultados dos testes realizados.

4.1. Teste de fogo (eficácia)

A Etapa 1 do teste de fogo, o qual utilizou a gasolina como combustível e como sistema pressurizador a bomba da viatura ABT, levou 16 segundos para combater o foco do incêndio. Essa etapa analisou a eficácia do LGE - CBMDF no combate a incêndio em hidrocarbonetos.

Figura 2 – Combate com LGE - CBMDF utilizando o esguicho do ABT



Fonte: O autor.

Na Etapa 2, logo após o combate, o tempo medido para que a camada polimérica da espuma se degradasse consideravelmente pelo contato com a gasolina foi de 6 minutos, como indica a Figura 3. Conclui-se então que o tempo de drenagem 25% é baixo pelo fato de o LGE - CBMDF não ter características de Classe B, sendo necessário haver estudos sobre o protótipo para que se possa acrescentar aditivos formadores de camada polimérica entre a manta de espuma e o líquido combustível, evitando ao máximo o contato entre ambos.

Figura 3 – Decomposição do LGE - CBMDF pelo contato com a gasolina



Fonte: O autor.

Para efeitos de comparação, a Figura 4 ilustra o LGE - CBMDF em um reservatório sem a presença de gasolina, indicando que não houve degradação do mesmo.

Figura 4 – LGE - CBMDF sem contato com a gasolina



Fonte: O autor.

Na Etapa 3, a reignição do combustível foi induzida logo após o

término da Etapa 2, a fim de se verificar a eficácia da camada de espuma em relação à resistência à reignição da gasolina.

Como a camada de espuma estava degradada, a reignição se iniciou com 20 segundos após a indução da mesma, como indica a Figura 5.

Figura 5 – Início da reignição do combustível



Fonte: O autor.

Após 5 minutos e 45 segundos, o incêndio já estava bem desenvolvido. Então a Etapa 4 iniciou-se, fazendo-se o segundo combate, como indica a Figura 6.

Figura 6 – Segundo combate com LGE - CBMDF



Fonte: O autor.

O referido combate teve a duração de 30 segundos.

Portanto, a eficácia do LGE - CBMDF foi comprovada pois foi possível realizar o combate a incêndio em líquidos inflamáveis do tipo hidrocarboneto com o tempo de ambos os combates sendo inferior ao interposto pela ABNT NBR 15511, mesmo o LGE - CBMDF não possuindo características de Classe B. Porém, há a ressalva de que o teste de resistência do referido LGE à reignição indicou que a manta de espuma não impediu que o incêndio se desenvolvesse. Logo, infere-se que se deve, após a extinção do incêndio, fazer o monitoramento e o rescaldo do local sinistrado para que o incêndio não se reigne.

Pode-se concluir também que o LGE - CBMDF, por ter propriedades de um LGE, é mais eficaz que a água no combate a incêndio em líquidos inflamáveis.

Os dados gerais do teste realizado encontram-se no Quadro 3.

Quadro 3 – Dados do teste realizado

	Teste de fogo
Combustível	Gasolina
Volume de combustível	85L
Volume de água no reservatório	40L
Volume de LGE	40L
Concentração de LGE	0,3%
Tempo de extinção 1	16s
Tempo de extinção 2	30s
Tempo de reignição da gasolina	20s

Fonte: O autor.

A ABNT NBR 15511 estipula o tempo máximo de extinção de 100 segundos utilizando-se o LGE HC. Como em ambos os combates o tempo de extinção foi inferior ao estipulado pela norma, então o LGE - CBMDF é eficaz no combate a incêndio em líquidos inflamáveis do tipo hidrocarboneto, com a ressalva de que haverá reignição e que deve se fazer o monitoramento e o rescaldo.

O Quadro 4 indica os dados do teste realizado em comparação com os dados estipulados na norma.

Quadro 4 – ABNT NBR 15511 x Teste de fogo

ABNT NBR 15511	Teste de fogo
100L de querosene	85L de gasolina
100L de água	40L de água
Tanque de seção circular	Reservatório de seção ¼ de círculo
Material de aço inoxidável	Material de concreto
Tempo de extinção máximo de 100s	Tempo de extinção 1 de 16s Tempo de extinção 2 de 30s

Fonte: O autor.

4.2. Teste de fogo (eficiência)

A eficiência do LGE - CBMDF foi medida pela FIREMETRIA Laboratório de Ensaio e Análises, em Valinhos - SP. De acordo com o Relatório de Ensaio nº 1093/22 (FIREMETRIA Laboratório de Ensaio e Análises, 2022b) emitido

pela instituição citada, a amostra 1 de LGE - CBMDF foi reprovada por não possuir eficiência em todas as propriedades de LGE Classe B exigidas de acordo com os parâmetros da ABNT NBR 15511, porém ele é mais eficiente que a água.

Por fim, conclui-se que no teste de fogo, o LGE - CBMDF possui eficácia mas não eficiência no combate a incêndio em líquidos inflamáveis do tipo hidrocarboneto, de acordo com a norma.

4.3. Testes físico-químicos

No presente artigo, foram consideradas para comparação das propriedades físico-químicas, uma amostra de LGE - CBMDF, duas amostras de LGE-Petrobrás e a água. O Quadro 5 abaixo sintetiza os dados coletados pela FIREMETRIA Laboratório de Ensaios e Análises para cada material/amostra. Os dados numéricos foram extraídos dos Relatórios de Ensaio nº 140/22, nº 1093/22 e nº 1519/21 (FIREMETRIA LABORATÓRIO DE ENSAIOS E ANÁLISES, 2022a; 2022b; 2021).

Quadro 5 - Propriedades físico-químicas exigidas pela ABNT NBR 15511

Material/ amostra	Massa específica (kg/m ³)	pH	Índice de refração	Viscosidade (mPa.s)	Capacidade de vedação	Expansão	Tempo de drenagem 25% (s)
Água	1000	7	1,333	1,002	0	-	-
*LGE-CBMDF	1083,44	6,6	1,4118	35,46	1	9,8	223
*LGE-Petrobrás 1	1006,20	8,6	1,3602	1638	1	7,1	917
*LGE-Petrobrás 2	1000,50	8,5	1,3481	6961	1	3,8	499
*Amostras armazenadas em bombonas. *LGEs de classe HC. LGE-CBMDF do tipo AFFF 3%. LGE-Petrobrás 1 e 2 do tipo AFFF/ARC 3%.							

Fonte: O autor.

4.3.1. Massa específica/densidade

De acordo com a Associação Brasileira de Normas Técnicas (2008, p. 6),

a

espuma para finalidade de proteção a incêndio é um agregado de

bolhas preenchidas com ar, proveniente de uma solução aquosa, e possui densidade menor do que qualquer líquido inflamável, por mais leve que seja. Ela é capaz de formar um consistente colchão de espuma sobre a superfície de combustíveis líquidos, com densidade menor que a da água.

Segundo Barros (2020), a densidade da água é maior que a maioria dos líquidos inflamáveis, então ela sempre irá se depositar em um nível abaixo em relação ao líquido em chamas.

Logo, mesmo o LGE - CBMDF tendo massa específica maior que o LGE - Petrobrás, será capaz de formar uma espuma que atue como um colchão sobre a superfície dos líquidos combustíveis, tornando-o mais eficiente que a água, que se depositará no fundo do líquido combustível e não conseguirá atuar por abafamento.

4.3.2. pH

Se o pH tiver um valor mais próximo possível do neutro, ele é mais biologicamente aceitável. Um LGE com pH ácido ou básico, ao cair nas redes pluviais, pode trazer danos à fauna e à flora. Então, quanto mais próximo do neutro, menor as chances de trazer danos ao ambiente. De acordo com o Quadro 5, o pH do LGE – CBMDF é o que mais se aproxima do neutro, causando menos danos ao meio ambiente em relação ao LGE – Petrobrás.

4.3.3. Índice de refração

O LGE – CBMDF, por ter um tempo de drenagem menor, perde mais água pois suas bolhas estouram mais rapidamente. Já o LGE – Petrobrás, por ter um tempo de drenagem maior, perde menos água pois suas bolhas demoram mais para estourar. Quanto mais água o LGE perde, maior é o seu índice de refração. Quanto menos água o LGE perde, menor é o seu índice de refração.

O índice de refração ideal é o que mais se aproxima ao índice da água. Então, de acordo com o Quadro 5, o LGE – Petrobrás é o que mais se aproxima da água, sendo mais eficiente em relação ao LGE – CBMDF.

4.3.4. Viscosidade

O LGE-CBMDF possui viscosidade menor que os LGE - Petrobrás. A baixa viscosidade, de acordo com Carula (2000), provoca escoamento rápido pelas superfícies adjacentes, dificultando o resfriamento do objeto em chamas devido ao seu espalhamento. Ou seja, a baixa viscosidade dificulta a penetrabilidade do agente extintor no material combustível. Já em relação à água, a viscosidade do LGE - CBMDF é maior.

Portanto, de acordo com o Quadro 5 do presente artigo, o LGE - CBMDF é menos eficiente que o LGE - Petrobrás por não ter características de Classe B, porém é mais eficiente que a água no combate a incêndio em líquidos inflamáveis.

4.3.5. Capacidade de vedação

De acordo com a Associação Brasileira de Normas Técnicas (2008), a capacidade de vedação é medida ao passar uma chama com cerca de 2 cm de comprimento a aproximadamente 1 cm da superfície da espuma, durante 2 min. Se houver ocorrência de chamas auto-sustentáveis, a capacidade de vedação é considerada insatisfatória, atribuindo o valor 0 ao resultado. Se não ocorrerem chamas auto-sustentáveis, o valor atribuído ao ensaio é 1.

Então, de acordo com o Quadro 5, o LGE - CBMDF possui capacidade de vedação satisfatória no combate a incêndios em líquidos inflamáveis e a água possui capacidade insatisfatória.

4.3.6. Expansão

Segundo o Quadro 5, a taxa de expansão do LGE - CBMDF é igual a 9,8. Mesmo possuindo valor acima das duas amostras de LGE - Petrobrás, ainda é uma taxa menor ou igual a 20. Segundo a Associação Brasileira de Normas Técnicas (2008), espuma de baixa expansão possui taxa menor ou igual a 20. De acordo com Alaby (2020), a espuma de baixa expansão é conhecida no CBMDF como água molhada e é muito utilizada em líquidos inflamáveis de classe A e B onde se pretende que a solução penetre no sólido.

A expansividade gera uma camada de espuma que impede que o material combustível entre em contato com o comburente. Essa propriedade gera bolhas com grandes áreas superficiais que trocam calor com o incêndio.

4.3.7. Tempo de drenagem 25%

O tempo de drenagem 25% é o período em que a espuma permanece na superfície do material combustível, impedindo que o comburente entre em contato com esse material. Após esse tempo, as bolhas da espuma estouram por conta da água que desce por gravidade, penetrando no material, ajudando a extinguir o incêndio por troca de calor.

De acordo com o Quadro 5, o tempo de drenagem 25% do LGE - CBMDF é menor que o tempo aferido nas amostras de LGE-Petrobrás pelo fato de o LGE-CBMDF não possuir características de Classe B, diferentemente do LGE - Petrobrás. Para incêndios em materiais Classe A, é oportuno o tempo de drenagem ser baixo pois esses materiais queimam em superfície e em profundidade. Com esse tempo baixo, a água penetra mais rapidamente no material combustível, extinguindo o incêndio por troca de calor. Para incêndios em materiais Classe B, o tempo de drenagem deve ser maior pois esses materiais queimam em superfície e não em profundidade.

A água não possui tempo de drenagem, então o LGE - CBMDF é mais eficiente que a água, porém não tão eficiente quanto o LGE - Petrobrás.

Em suma, o LGE - CBMDF não possui as propriedades físico-químicas de um LGE Classe B necessárias para ser aprovado de acordo com os parâmetros de eficiência exigidos pela ABNT NBR 15511. Porém, pelo fato de ser um LGE, é capaz de debelar incêndios em líquidos inflamáveis de forma mais eficiente que a água, fato evidenciado pelos resultados do Quadro 5 do presente artigo, trazidos pelos referidos Relatórios de Ensaio, e por meio de estudos anteriores na própria Corporação.

A referida pesquisa sofreu limitações no âmbito estrutural e material. Em relação ao teste de eficácia, por falta de recursos e espaço adequado, não foi possível replicar o teste de fogo da NBR 15511. O teste da pesquisa foi feito na

estrutura fornecida pelo CETOP do CBMDF, que era um reservatório de seção de $1/4$ de círculo com profundidade de 0,53m. Na norma, o local do teste era um tanque de seção circular com diâmetro interno de 2,4m e 0,20m de profundidade. Já o material utilizado no teste da pesquisa foi 85 L de gasolina, fornecidos pelo próprio CBMDF, sendo que na norma são exigidos 100 L de querosene.

Em relação ao teste de eficiência, o LGE institucional disponível não possuía as características e propriedades de Classe B exigidas pela NBR 15511, já que o LGE - CBMDF foi adquirido inicialmente com o intuito de ser utilizado em incêndios em materiais Classe A.

Portanto, a NBR 15511 foi usada apenas como um norte para se analisar os requisitos mínimos exigidos do LGE - CBMDF para o combate a incêndio em líquidos inflamáveis do tipo hidrocarbonetos de forma eficaz e eficiente.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O objetivo deste trabalho foi responder se o protótipo de LGE - CBMDF gera uma espuma eficaz e eficiente no combate a incêndios em líquidos inflamáveis (hidrocarbonetos-gasolina), utilizando-se como base os parâmetros da ABNT NBR 15511/2008. Partiu-se da hipótese de que a utilização do protótipo de LGE - CBMDF gera uma espuma eficaz e eficiente para extinção de incêndio em líquidos inflamáveis do tipo hidrocarboneto (gasolina).

Conclui-se então, que o protótipo de LGE institucional desenvolvido pelo CBMDF é eficaz (por possuir características de LGE) mas não eficiente (por não atender aos requisitos de LGE Classe B exigidos na ABNT NBR 15511/2008), se comparado ao LGE - Petrobrás Classe B, ao combater incêndio em combustível líquido do tipo hidrocarboneto. Conclui-se também que o protótipo, por possuir características de LGE, é mais eficaz e eficiente que a água no combate a esse tipo de incêndio. Portanto, a hipótese do trabalho foi parcialmente confirmada.

O objetivo geral deste estudo foi verificar a eficácia e a eficiência do LGE - CBMDF no que tange aos testes físico-químicos (ensaios laboratoriais) e ao teste de fogo com base nos parâmetros da ABNT NBR 15511/2008.

O objetivo foi alcançado pois o estudo possibilitou verificar, no teste de fogo, que o LGE - CBMDF é eficaz no combate a incêndio em líquidos inflamáveis do tipo hidrocarboneto, mesmo não possuindo características de LGE Classe B. Contudo, na etapa do teste de resistência do referido LGE à reignição, provou-se que a manta de espuma não impediu que o incêndio se desenvolvesse devido ao seu tempo de drenagem 25% ser baixo, se comparado ao LGE - Petrobrás Classe B. Logo, infere-se que se deve, após a extinção do incêndio, fazer o monitoramento e o rescaldo do local sinistrado para que o incêndio não se reigna.

Já nos ensaios laboratoriais, o estudo constatou que o LGE - CBMDF é menos eficiente no combate a incêndios em líquidos inflamáveis se comparado ao LGE - Petrobrás, já que o LGE institucional foi adquirido com o intuito inicial

de ser utilizado para treinamento e combate a incêndios de Classe A, portanto nem todas as suas propriedades físico-químicas atendem aos parâmetros exigidos pela ABNT NBR 15511/2008. Contudo, em relação à água, o LGE - CBMDF é mais eficiente no combate a esse tipo de incêndio por possuir características de LGE, sendo menos denso que o material combustível, possibilitando abafar os gases inflamáveis liberados durante o incêndio.

O presente estudo buscou contribuir com a segunda fase da Pesquisa Técnico Científica (PTC nº 001/2018), que pretende desenvolver um protótipo institucional de LGE que possa ser utilizado satisfatoriamente, tanto de forma eficaz quanto eficiente. Posto isso, formulou-se com o estudo um Relatório Técnico que enfatiza a importância da pesquisa técnico-científica no âmbito institucional.

É imprescindível compreender que a Corporação necessita de apoio financeiro para a continuação de pesquisas voltadas para o desenvolvimento de seu próprio LGE, no intuito de melhorar a qualidade da prestação do serviço entregue à sociedade no que tange ao combate a incêndio urbano. A pesquisa técnico-científica, como missão institucional, otimiza recursos e possibilita a Corporação a se tornar autossuficiente na produção desse agente extintor, tanto para atendimento a ocorrências quanto para treinamento operacional a fim de capacitar seus militares.

REFERÊNCIAS

ALABY, Rodrigo César. **Estudo Sobre a Eficácia do Protótipo de Líquido Gerador de Espuma Desenvolvido pelo CBMDF**. 2019. Trabalho de Conclusão de Curso (Curso de Formação de Oficiais) — Corpo de Bombeiros Militar do Distrito Federal, Brasília, 2019. Disponível em: <https://biblioteca.cbm.df.gov.br/jspui/handle/123456789/59>. Acesso em 29 set. 2022.

AMARAL, Luísa Gurjão de Carvalho. **Viabilidade técnico-operacional do emprego do protótipo de líquido gerador de espuma do Corpo de Bombeiros Militar do Distrito Federal em incêndio de líquidos inflamáveis derivados de petróleo**. 2020. Trabalho de Conclusão de Curso (Curso de Formação de Oficiais) — Corpo de Bombeiros Militar do Distrito Federal, Brasília, 2020. Disponível em: <https://biblioteca.cbm.df.gov.br/jspui/handle/123456789/134>. Acesso em 10 abr. 2021.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 15511: Líquido gerador de espuma (LGE), de baixa expansão, para combate a incêndios em combustíveis líquidos**. Rio de Janeiro: ABNT, 2008.

BARROS, Alisson Bernardi de. **Pesquisa técnico-científica: estudo técnico sobre a utilização do protótipo institucional de líquido gerador de espuma (LGE-CBMDF) – classe A – para treinamento operacional**. 2020. Trabalho de Conclusão de Curso (Curso de Aperfeiçoamento de Oficiais) — Corpo de Bombeiros Militar do Distrito Federal, Brasília, 2020. Disponível em: <http://biblioteca.cbm.df.gov.br/jspui/handle/123456789/110>. Acesso em 29 set. 2022.

CARULA, Karoline. **Estudo do Recobrimento de Espumas de Combate a Incêndios sobre a Superfície de Líquidos Inflamáveis**. São Paulo: UNICAMP, 2000. Disponível em: <https://repositorio.unicamp.br/acervo/detalhe/206290?guid=1665089801834&returnUrl=%2fresultado%2flistar%3fguid%3d1665089801834%26quantidadePaginas%3d1%26codigoRegistro%3d206290%23206290&i=2>. Acesso em 06 out. 2022.

CORPO DE BOMBEIROS DA POLÍCIA MILITAR DO ESTADO DE SÃO PAULO. **Manual de emprego de espuma mecânica no combate a incêndios**. 1. ed. v. 43, 48p. São Paulo, 2006.

CORPO DE BOMBEIROS MILITAR DO DISTRITO FEDERAL. **Boletim Geral nº 100, 30 de maio de 2016**. Brasília: CBMDF, 2016.

CORPO DE BOMBEIROS MILITAR DO DISTRITO FEDERAL. **Manual básico**

de combate a incêndio urbano do Corpo de Bombeiros do Distrito Federal – comportamento do fogo, Brasília, 2. ed. v.1, 162p, 2009.

CORPO DE BOMBEIRO MILITAR DO ESPÍRITO SANTO. **Manual Técnico de Combate a Incêndio Urbano**, Vitória, 2014.

DANTASNET. **Métodos de Extinção de Incêndio**. 2013. Disponível em: <http://naturezadofogo.com.br/metodos-de-extincao-de-incendio/>. Acesso em 06 jun. 2021.

FIGUEREDO, R.; SABADINI, R. Ciência de Espumas: Aplicação na extinção de Incêndios. **Química Nova**, Campinas, v.22, n.2, p. 126-130, 1999. Disponível em: <http://www.scielo.br/pdf/qn/v22n1/1146.pdf>. Acesso em 05 abr. 2021.

FIREMETRIA LABORATÓRIO DE ENSAIOS E ANÁLISES. **Relatório de Ensaio nº 140/22**. Valinhos, São Paulo, 2022a.

FIREMETRIA LABORATÓRIO DE ENSAIOS E ANÁLISES. **Relatório de Ensaio nº 1093/22**. Valinhos, São Paulo, 2022b.

FIREMETRIA LABORATÓRIO DE ENSAIOS E ANÁLISES. **Relatório de Ensaio nº 1519/21**. Valinhos, São Paulo, 2021.

GIL, Antônio Carlos. **Como elaborar projeto de pesquisa**. São Paulo: Atlas, 2017. 192p.

KIDDE. **Guia de Espuma para Bombeiros e Brigadistas**. [São Paulo], 2005. 36p.

MARTINS, Alisson Rangel Moura. **A importância do uso do Sistema de Espuma por Ar Comprimido – CAFS – No Combate a Incêndio Urbano**. 2018. Trabalho de Conclusão de Curso (Curso de Formação de Oficiais) — Comando da Academia e Ensino Bombeiro Militar, Goiânia, 2018.

MINISTÉRIO DO TRABALHO E EMPREGO. **NR 20 — Segurança e a Saúde no Trabalho com Inflamáveis e Combustíveis**. Brasília: Ministério do Trabalho e Emprego, 2014. Disponível em: <https://www.gov.br/trabalho/pt-br/inspecao/seguranca-e-saude-no-trabalho/normas-regulamentadoras/nr-20.pdf/view>. Acesso em 05 jun. 2021.

MONTAGNOLLI, Renato Nallin. **Incêndios de petróleo e petroquímicos: biorremediação de áreas afetadas**. 2015. Tese (Doutorado em Biociências) - Universidade de São Paulo, Rio Claro, 2015.

RODRIGUES, Maria Lucia; LIMENA, Maria Margarida Cavalcanti (Orgs.). **Metodologias multidimensionais em Ciências Humanas**. Brasília: Líber Livros Editora, 2006. 175p.

APÊNDICE A – ESPECIFICAÇÃO DO PRODUTO

1. **Aluno:** Cadete BM/2 Heitor de Oliveira Vaz Curvo.
2. **Nome:** Estudo técnico sobre os requisitos mínimos exigíveis para o protótipo de LGE - CBMDF com base na ABNT 15511/2008.
3. **Descrição:** O Relatório Técnico descreve as etapas do teste de fogo para se determinar a eficácia e a eficiência do LGE - CBMDF nesse quesito e compara, por meio de ensaios laboratoriais, a eficiência entre LGE - CBMDF, LGE - Petrobrás e a água em relação às suas propriedades físico-químicas.
4. **Finalidade:** Verificar a eficácia e a eficiência do LGE - CBMDF no que tange aos testes físico-químicos (ensaios laboratoriais) e ao teste de fogo com base nos parâmetros da ABNT NBR 15511/2008.
5. **A quem se destina:** Aos militares do CBMDF e de outras Corporações.
6. **Funcionalidades:** Instruir os militares do CBMDF e de outras instituições a, se possível e havendo disponibilidade do material, utilizar o LGE como agente extintor em ocorrências de incêndios em líquidos inflamáveis e em treinamentos operacionais.
7. **Especificações técnicas:**

Formato de arquivo: .pdf.

Formato da impressão: A4.

Portaria que regulamenta o tipo documental: Não se aplica.

Número de páginas: 19
8. **Instruções de uso:** Utilizar o documento como base para consultas e pesquisas técnico-científicas futuras sobre o LGE - CBMDF.
9. **Condições de conservação, manutenção, armazenamento:** Não se aplica.

Relatório Técnico: Estudo técnico sobre os requisitos mínimos exigíveis para o protótipo de LGE – CBMDF com base na ABNT 15511/2008.

Cad. Heitor de Oliveira Vaz Curvo



**Corpo de Bombeiros Militar do Distrito Federal
Departamento de Ensino, Pesquisa, Ciência e Tecnologia
Diretoria de Ensino
Academia de Bombeiro Militar**

RT 001/2022

Relatório Técnico: Estudo técnico sobre os requisitos mínimos exigíveis para o protótipo de LGE – CBMDF com base na ABNT 15511/2008.

Cad. QOBM/Comb. Heitor de Oliveira Vaz Curvo

Academia de Bombeiro Militar

Maj. QOBM/Comb. Alisson Bernardi de Barros

45º GBM - Sudoeste/Cruzeiro

Novembro, 2022

Corpo De Bombeiros Militar do Distrito Federal

Cel. QOBM/Comb. Alan Alexandre Araújo

Departamento de Ensino, Pesquisa, Ciência e Tecnologia

Cel. QOBM/Comb. Moisés Silva Dias

Diretoria de Ensino

Cel. QOBM/Comb. Átila Gomes Nascimento

Academia de Bombeiros Militar

Ten-Cel. QOBM/Comb. Clayson Augusto Marques Fernandes

© 2022 Corpo de Bombeiros Militar do Distrito Federal. Todos os direitos reservados. É permitida a reprodução parcial ou total desta obra, desde que citada a fonte e que não seja para venda ou qualquer fim comercial. Venda proibida. Distribuição gratuita. A responsabilidade pelos direitos autorais de textos e imagens desta obra é dos autores.

Certas entidades comerciais, equipamentos e materiais podem ser identificados neste documento com o propósito de descrever procedimentos experimentais ou conceitos adequadamente. Tais identificações não constituem ou implicam em recomendações ou aval por parte do Corpo de Bombeiros Militar do Distrito Federal.

**CORPO DE BOMBEIROS MILITAR DO DISTRITO
FEDERAL. RT 001/2022: Estudo técnico sobre os
requisitos mínimos exigíveis para o protótipo de LGE –
CBMDF com base na ABNT 15511/2008. Brasília: CBMDF,
2022.**

SUMÁRIO

1	ESCOPO	5
2	JUSTIFICATIVA	5
3	OBJETIVO DO RELATÓRIO	6
4	NORMAS E DOCUMENTOS DE REFERÊNCIA	7
5	INFORMAÇÃO SOBRE O OBJETO EM ESTUDO	8
6	METODOLOGIA.....	9
7	RESULTADOS E DISCUSSÃO	11
7.1	TESTE DE FOGO (EFICÁCIA).....	11
7.2	TESTE DE FOGO (EFICIÊNCIA)	13
7.3	TESTES FÍSICO-QUÍMICOS	14
7.3.1	<i>MASSA ESPECÍFICA/DENSIDADE</i>	14
7.3.2	<i>PH</i>	15
7.3.3	<i>ÍNDICE DE REFRAÇÃO</i>	15
7.3.4	<i>VISCOSIDADE</i>	15
7.3.5	<i>CAPACIDADE DE VEDAÇÃO</i>	16
7.3.6	<i>EXPANSÃO</i>	16
7.3.7	<i>TEMPO DE DRENAGEM 25%</i>	16
8	CONCLUSÃO	17
9	RECOMENDAÇÕES PARA O CBMDF	18

1 ESCOPO

O objeto deste estudo foi verificar a eficácia e a eficiência do Líquido Gerador de Espuma produzido pelo Corpo de Bombeiros Militar do Distrito Federal (LGE – CBMDF) no que tange aos testes físico-químicos (ensaios laboratoriais) e ao teste de fogo com base nos parâmetros da ABNT NBR 15511/2008.

O desenvolvimento de um protótipo institucional trará a possibilidade da Corporação tornar-se autossuficiente em relação ao acesso do LGE. Dessa forma será possível proporcionar aos militares treinamentos mais reais e com menor custo.

Os dados necessários para a elaboração deste trabalho foram colhidos a partir de teste de fogo e ensaios laboratoriais padronizados com o objetivo de comparar a eficiência e a eficácia do protótipo de LGE institucional com o LGE da Petrobrás (Classe B) e com a água.

O teste de fogo deste estudo não foi uma réplica do teste da norma devido a limitações de recursos. A norma foi utilizada apenas como parâmetro para determinar a eficiência e a eficácia do LGE-CBMDF.

2 JUSTIFICATIVA

Conforme previsto na Lei 8.255/1991, em seu artigo 2º, uma das competências do CBMDF é realizar pesquisas técnico-científicas, com vistas à obtenção de produtos e processos, que permitam o desenvolvimento de sistemas de segurança contra incêndio e pânico.

Além disso, conforme publicado em portaria do CBMDF nº 34 de 01 de novembro de 2017, em seu artigo 18º, inciso XI, estabelece que entre as atribuições da Diretoria de Investigação de Incêndio (DINVI) encontra-se: “órgão executor de programas de pesquisas técnico-científicas, com vistas à obtenção e desenvolvimento de produtos e processos voltados para a segurança contra incêndio e pânico, motivados por análises de pós-sinistro de incêndio”.

No ano de 2018, a DINVI iniciou testes com o protótipo desenvolvido em laboratório próprio o qual mostrava bons resultados do uso do substrato durante as operações de combate a incêndio. Porém, como o estudo necessitava de outras etapas para a comprovação da eficácia do LGE institucional, foram feitas pesquisas nos anos de 2019, 2020 e 2021 com esse fim. O objeto desta pesquisa é dar continuidade a esses estudos, verificando tanto a eficiência quanto a eficácia do LGE – CBMDF no combate a incêndios em líquidos inflamáveis do tipo hidrocarbonetos.

A visão da DINVI é ser referência nacional e internacional no estudo da ciência do fogo por meio da perícia, investigação, pesquisa, desenvolvimento e inovação, retroalimentando os sistemas de informação sobre incêndio e pânico. Dessa forma, é possível tornar o CBMDF referência no desenvolvimento de protótipos e na inovação em pesquisa de segurança contra incêndio e pânico. Assim é viável que outras corporações tenham acesso a essa tecnologia e também a possam utilizar em seus treinamentos.

Diante do contexto supracitado, este relatório técnico se justifica pela importância da pesquisa técnico-científica no âmbito institucional. O relatório busca contribuir com a segunda fase da Pesquisa Técnico Científica (PTC nº 001/2018), que visa desenvolver o protótipo institucional de LGE. O uso da espuma nas operações de combate a incêndio em líquidos inflamáveis torna a operação mais efetiva, otimizando recursos. Além disso, proporciona maior tempo de vida útil dos equipamentos e viaturas, reduzindo a necessidade de manutenção dos mesmos bem como proporciona menor desgaste dos militares durante as atividades, já que a espuma é mais efetiva que a água.

3 OBJETIVO DO RELATÓRIO

O estudo visa verificar a eficácia e a eficiência do LGE - CBMDF no que tange aos testes físico-químicos (ensaios laboratoriais) e ao teste de fogo com base nos parâmetros da ABNT NBR 15511/2008. Após a execução dos testes, comparar os resultados dos ensaios laboratoriais entre as amostras de LGE – CBMDF, LGE – Petrobrás e a água.

Além disso, este relatório visa apresentar os dados coletados durante o teste de fogo, mostrando a eficácia do LGE – CBMDF, tornando possível seu uso, e apresentar os dados coletados durante os ensaios de fogo, mostrando por meio de comparação que o LGE – CBMDF não é eficiente como o LGE – Petrobrás, porém é mais eficiente que a água, tornando possível seu uso.

Por fim, o desenvolvimento de estudos como este busca o fomento à pesquisa e o desenvolvimento de protótipos e inovação de pesquisa de segurança contra incêndio e pânico.

4 NORMAS E DOCUMENTOS DE REFERÊNCIA

Para a realização deste estudo foram utilizados os seguintes documentos como referência:

- ABNT-NBR 15.511/2008 – Líquido gerador de espuma (LGE), de baixa expansão, para combate a incêndios em combustíveis líquidos;
- Trabalho de Conclusão do Curso de Formação de Oficiais (CFO) do 1º Ten. Alaby no ano de 2019 sobre o tema: Estudo sobre a eficácia do protótipo de líquido gerador de espuma desenvolvido pelo CBMDF;
- Trabalho de Conclusão do Curso de Formação de Oficiais (CFO) da 1º Ten. Luísa Gurjão no ano de 2020 sobre o tema: Viabilidade técnico-operacional do emprego do protótipo de líquido gerador de espuma do Corpo de Bombeiros Militar do Distrito Federal em incêndio de líquidos inflamáveis derivados de petróleo;
- Trabalho de Conclusão do Curso de Aperfeiçoamento de Oficiais (CAO) do Maj. Barros no ano de 2020 sobre o tema: Pesquisa técnico-científica: estudo técnico sobre a utilização do protótipo institucional de líquido gerador de espuma (LGE-CBMDF) – classe A – para treinamento operacional.

- Relatórios de Ensaio 1093/22, 140/22, 1519/21 - FIREMETRIA Laboratório de Ensaios e Análises, Valinhos - São Paulo.

5 INFORMAÇÃO SOBRE O OBJETO EM ESTUDO

As ocorrências de incêndio se intensificaram ao longo do tempo com o desenvolvimento das cidades e metrópoles. Então, viu-se a necessidade de criar mecanismos de prevenção e combate aos incêndios em diferentes tipos de materiais combustíveis. Com isso, não só a água pode funcionar como agente extintor, mas também a espuma mecânica, que é um agente que vem sendo desenvolvido e testado há alguns anos pelo CBMDF através de pesquisas técnico-científicas, tanto no âmbito nacional quanto no internacional.

A espuma mecânica é gerada pela agitação mecânica da mistura entre água, ar comprimido e LGE, formando uma manta de bolhas que recobre a superfície do material combustível em chamas, debelando o incêndio por abafamento e resfriamento.

O abafamento consiste em impedir o contato do material combustível com o oxigênio presente no ar atmosférico, havendo a extinção das chamas. O resfriamento diminui a temperatura de ignição do material combustível que está queimando, diminuindo a liberação de gases ou vapores inflamáveis, consequentemente extinguindo as chamas.

O LGE é classificado em Classe A, para extinção de incêndios em materiais sólidos, e em Classe B, para extinção em líquidos combustíveis. No contexto do CBMDF, o LGE institucional foi adquirido para treinamento e combate a incêndios de Classe A, então ele não possui características de LGE Classe B, mas possui propriedades de LGE, portanto sendo mais eficiente e eficaz que a água no combate a incêndios em líquidos inflamáveis.

Para extinção de incêndios em líquidos inflamáveis, o LGE é classificado em HC (para extinção de incêndios em hidrocarbonetos, que são compostos derivados de petróleo e que contém carbono e hidrogênio), em AV (utilizado em

aeroportos, para extinção de incêndios em hidrocarbonetos) e em AR (para extinção de incêndios em solventes polares, que são combustíveis líquidos miscíveis com a água).

Por ter grande capacidade de absorver calor e ser encontrada facilmente na natureza, a água é o agente extintor mais utilizado no combate a incêndio. Com o passar do tempo, percebeu-se que existem formas mais eficientes e eficazes de extinção das chamas. A espuma gera grande aderência ao material em chamas, abafando-o e resfriando-o, retirando o contato da superfície em chamas com o oxigênio atmosférico. Ela também faz a contenção de vapores inflamáveis, selando o combustível.

Por fim, possui baixa densidade, permanecendo por cima do combustível. Além disso, a espuma formada aumenta a sobrevivência de vítimas presente no ambiente sinistrado, além de facilitar a operação dos bombeiros reduzindo o tempo de exposição às chamas, os efeitos nocivos do calor e o contato com gases voláteis decorrente da combustão.

6 METODOLOGIA

Foi feita uma pesquisa experimental por meio de teste de fogo e testes físico-químicos. A eficácia do LGE-CBMDF no teste de fogo foi verificada na própria Corporação, no Centro de Treinamento Operacional (CETOP), com base nos parâmetros da ABNT NBR 15511/2008, utilizando-se gasolina como combustível, em escala real. Já a eficiência do LGE-CBMDF no teste de fogo foi verificada através de ensaios laboratoriais realizados na FIREMETRIA Laboratório de Ensaios e Análises, em Valinhos - SP.

A eficiência do LGE-CBMDF nos testes físico-químicos foi verificada comparando suas propriedades físico-químicas citadas na norma com as do LGE-Petrobrás, na FIREMETRIA Laboratório de Ensaios e Análises. Acrescentou-se à referida comparação as propriedades físico-químicas da água a fim de provar que o LGE-CBMDF é mais eficiente que a mesma no combate a incêndios em líquidos inflamáveis.

No teste de fogo, a fim de se constatar a eficácia do LGE-CBMDF, determina-se que seja utilizado 100L de querosene comum como combustível líquido. Porém, o teste foi realizado com 85L de gasolina devido à limitação de recursos.

De acordo com a norma, o experimento deve ser realizado em tanque de seção circular com diâmetro interno de 2,4m e 0,20m de profundidade. No entanto, o experimento foi feito em um reservatório de seção de $\frac{1}{4}$ de círculo com profundidade de 0,53m, possibilitando o teste ser em uma escala real, ampliada em relação à norma.

Para se fazer o teste, foi utilizado o sistema pressurizador da viatura de combate a incêndio Auto Bomba Tanque – ABT a fim de simular um combate real a um incêndio em líquido inflamável.

A referida viatura faz uso do Sistema CAFS para a produção de espuma para combate a incêndio, sendo utilizado 40L de LGE - CBMDF na proporção de 0,3% por conta das características do sistema gerador de espuma da viatura utilizada, por conta do material combustível ser gasolina e pelo fato de o CBMDF ter adquirido apenas LGE para combate a incêndio em materiais combustíveis Classe A no último processo de compra.

No reservatório foram adicionados uma camada de água de 40L e por cima da água 85L de gasolina.

O teste de fogo foi dividido nas seguintes etapas:

Etapa 1 - a gasolina foi submetida à queima livre por 25 segundos. Após esse tempo, houve o combate com o LGE-CBMDF, medindo-se o tempo de extinção;

Etapa 2 - logo após o combate, foi medido o tempo em que a camada polimérica da espuma se degradou consideravelmente pelo contato com a gasolina;

Etapa 3 - a reignição do combustível foi induzida para se verificar a eficácia da camada de espuma;

Etapa 4 - após 5 minutos e 45 segundos de queima livre, houve o combate com

o LGE-CBMDF, medindo-se novamente o tempo de extinção.

No teste de fogo, a fim de se constatar a eficiência do LGE-CBMDF, foram realizados ensaios laboratoriais em duas amostras de LGE armazenadas em bombonas. Esses ensaios analisam se o LGE possui as propriedades físico-químicas de um LGE Classe B.

Nos testes físico-químicos, a fim de se constatar a eficiência do LGE-CBMDF, a norma exige que sejam analisadas as seguintes propriedades: massa específica, pH, índice de refração, viscosidade, capacidade de vedação, expansão e tempo de drenagem 25%.

Para a análise dessas propriedades, foram utilizadas amostras de LGE-CBMDF armazenadas em bombonas e LGE-Petrobrás armazenadas em carretinhas, bombonas e tanque, porém no presente estudo, apenas as amostras em bombonas foram consideradas na comparação entre os LGEs das instituições pois essa é a única forma que o CBMDF armazena seu LGE para pronto emprego. Na comparação também foram considerados os LGE - CBMDF do tipo AFFF 3% e as propriedades físico-químicas da água.

7 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Para determinar a eficácia e a eficiência do LGE – CBMDF, foram realizados os procedimentos conforme apresentados nos itens abaixo.

7.1 Teste de fogo (eficácia)

Para o teste de fogo, foram considerados como parâmetro os requisitos da ABNT NBR 15511/2008 exigidos para o LGE de Classe HC, conforme o Quadro 1 abaixo.

Quadro 1 — Requisitos de desempenho

Tempo	Classe de LGE		
	HC	AV	AR
Extinção (máximo) s	100	60	180
Resistência à reignição (mínimo) min	10	5	5
NOTA 1 Devido a uma diferença no procedimento de ensaio, o LGE que atende ao tempo de extinção na classe AV, não necessariamente atende ao tempo de extinção na classe HC e vice-versa. NOTA 2 O LGE que atende ao tempo de resistência à reignição na classe HC também atende à classe AV, mas o contrário não necessariamente, devido, neste caso, aos procedimentos de ensaio serem iguais.			

Fonte: Associação Brasileira de Normas Técnicas (2008, p. 4).

A Etapa 1 do teste de fogo, o qual utilizou a gasolina como combustível e como sistema pressurizador a bomba da viatura ABT, levou 16 segundos para combater o foco do incêndio.

Na Etapa 2, logo após o combate, o tempo medido para que a camada polimérica da espuma se degradasse consideravelmente pelo contato com a gasolina foi de 6 minutos. Conclui-se então que o tempo de drenagem 25% é baixo pelo fato de o LGE – CBMDF não ter características de Classe B, sendo necessário haver estudos sobre o protótipo para que se possa acrescentar aditivos formadores de camada polimérica entre a manta de espuma e o líquido combustível, evitando ao máximo o contato entre ambos.

Na Etapa 3, a reignição do combustível foi induzida logo após o término da Etapa 2, a fim de se verificar a eficácia da camada de espuma em relação à resistência à reignição da gasolina.

Como a camada de espuma estava degradada, a reignição se iniciou com 20 segundos após a indução da mesma.

Após 5 minutos e 45 segundos, o incêndio já estava bem desenvolvido. Então a Etapa 4 iniciou-se, fazendo-se o segundo combate, tendo a duração de 30 segundos.

Portanto, a eficácia do LGE - CBMDF foi comprovada pois foi possível realizar o combate a incêndio em líquidos inflamáveis do tipo hidrocarboneto com o tempo de ambos os combates sendo inferior ao interposto pela ABNT NBR 15511, mesmo o LGE - CBMDF não possuindo características de Classe B. Porém, há a ressalva de que o teste de resistência do referido LGE à reignição indicou que a manta de espuma não impediu que o incêndio se desenvolvesse.

Logo, infere-se que se deve, após a extinção do incêndio, fazer o monitoramento e o rescaldo do local sinistrado para que o incêndio não se reigne.

Pode-se concluir também que o LGE - CBMDF, por ter propriedades de um LGE, é mais eficaz que a água no combate a incêndio em líquidos inflamáveis.

Os dados gerais do teste realizado encontram-se no Quadro 2.

Quadro 2 – Dados do teste realizado

	Teste de fogo
Combustível	Gasolina
Volume de combustível	85L
Volume de água no reservatório	40L
Volume de LGE	40L
Concentração de LGE	0,3%
Tempo de extinção 1	16s
Tempo de extinção 2	30s
Tempo de reignição da gasolina	20s

Fonte: O autor.

7.2 Teste de fogo (eficiência)

A eficiência do LGE - CBMDF foi medida pela FIREMETRIA Laboratório de Ensaios e Análises, em Valinhos - SP. De acordo com o relatório de ensaio emitido pela instituição citada, a amostra 1 de LGE - CBMDF foi reprovada por não possuir eficiência em todas as propriedades de LGE Classe B exigidas de acordo com os requisitos da ABNT NBR 15511, conforme é demonstrado no Quadro 3 abaixo, porém ele é mais eficiente que a água.

Quadro 3 – Atendimento aos requisitos

Nº	Tipo de armazenamento	Lote(s)	Água de uso	Classe e Dosagem de uso			Relatório com VR *	Atendimento
				HC	AV	AR		
1	Bombona	001	Doce	3%	-	-	-	REPROVADO

Fonte: Relatório de ensaio nº 1093/22.

Por fim, conclui-se que no teste de fogo, o LGE - CBMDF possui eficácia mas não eficiência no combate a incêndio em líquidos inflamáveis do tipo hidrocarboneto, de acordo com a ABNT NBR 15511/2008.

7.3 Testes físico-químicos

No estudo, foram consideradas para comparação das propriedades físico-químicas, uma amostra de LGE-CBMDF, duas amostras de LGE-Petrobrás e a água. O Quadro 4 abaixo sintetiza os dados coletados pela FIREMETRIA Laboratório de Ensaio e Análises para cada material/amostra.

Quadro 4 - Propriedades físico-químicas exigidas pela ABNT NBR 15511

Material/amostra	Massa específica (kg/m3)	pH	Índice de refração	Viscosidade (mPa.s)	Capacidade de vedação	Expansão	Tempo de drenagem 25% (s)
Água	1000	7	1,333	1,002	0	-	-
*LGE-CBMDF	1083,44	6,6	1,4118	35,46	1	9,8	223
*LGE-Petrobrás 1	1006,20	8,6	1,3602	1638	1	7,1	917
*LGE-Petrobrás 2	1000,50	8,5	1,3481	6961	1	3,8	499
*Amostras armazenadas em bombonas. *LGEs de classe HC. LGE-CBMDF do tipo AFFF 3%. LGE-Petrobrás 1 e 2 do tipo AFFF/ARC 3%.							

Fonte: o autor.

7.3.1. Massa específica/densidade

A espuma possui densidade menor do que qualquer líquido inflamável, por mais leve que seja. Ela é capaz de formar um consistente colchão de espuma

sobre a superfície de combustíveis líquidos, com densidade menor que a da água.

A densidade da água é maior que a maioria dos líquidos inflamáveis, então ela sempre irá se depositar em um nível abaixo em relação ao líquido em chamas.

Logo, mesmo o LGE-CBMDF tendo massa específica maior que o LGE-Petrobrás, será capaz de formar uma espuma que atue como um colchão sobre a superfície dos líquidos combustíveis, tornando-o mais eficiente que a água, que se depositará no fundo do líquido combustível e não conseguirá atuar por abafamento.

7.3.2. Ph

Se o pH tiver um valor mais próximo possível do neutro, ele é mais biologicamente aceitável. Um LGE com pH ácido ou básico, ao cair nas redes pluviais, pode trazer danos à fauna e à flora. Então, quanto mais próximo do neutro, menor as chances de trazer danos ao ambiente. De acordo com o Quadro 5, o pH do LGE - CBMDF é o que mais se aproxima do neutro, causando menos danos ao meio ambiente em relação ao LGE - Petrobrás.

7.3.3. Índice de refração

O LGE - CBMDF, por ter um tempo de drenagem menor, perde mais água pois suas bolhas estouram mais rapidamente. Já o LGE - Petrobrás, por ter um tempo de drenagem maior, perde menos água pois suas bolhas demoram mais para estourar. Quanto mais água o LGE perde, maior é o seu índice de refração. Quanto menos água o LGE perde, menor é o seu índice de refração.

O índice de refração ideal é o que mais se aproxima ao índice da água. Então, de acordo com o Quadro 4, o LGE - Petrobrás é o que mais se aproxima da água, sendo mais eficiente em relação ao LGE - CBMDF.

7.3.4. Viscosidade

O LGE-CBMDF possui viscosidade menor que os LGE-Petrobrás. A baixa viscosidade provoca escoamento rápido pelas superfícies adjacentes, dificultando o resfriamento do objeto em chamas devido ao seu espalhamento. Ou seja, a baixa viscosidade dificulta a penetrabilidade do agente extintor no material combustível. Já em relação à água, a viscosidade do LGE-CBMDF é maior.

Portanto, de acordo com o Quadro 4, o LGE-CBMDF é menos eficiente que o LGE-Petrobrás por não ter características de Classe B, porém é mais eficiente que a água no combate a incêndio em líquidos inflamáveis.

7.3.5. Capacidade de vedação

A capacidade de vedação é medida ao passar uma chama com cerca de 2 cm de comprimento a aproximadamente 1 cm da superfície da espuma, durante 2 min. Se houver ocorrência de chamas autossustentáveis, a capacidade de vedação é considerada insatisfatória, atribuindo o valor 0 ao resultado. Se não ocorrerem chamas autossustentáveis, o valor atribuído ao ensaio é 1.

Então, de acordo com o Quadro 4, o LGE-CBMDF possui capacidade de vedação satisfatória no combate a incêndios em líquidos inflamáveis e a água possui capacidade insatisfatória.

7.3.6. Expansão

Segundo o Quadro 4, a taxa de expansão do LGE-CBMDF é igual a 9,8. Mesmo possuindo valor acima das duas amostras de LGE-Petrobrás, ainda é uma taxa menor ou igual a 20. A espuma de baixa expansão possui taxa menor ou igual a 20 e é conhecida no CBMDF como água molhada, muito utilizada em líquidos inflamáveis de classe A e B onde se pretende que a solução penetre no sólido. A expansividade gera uma camada de espuma que impede que o material combustível entre em contato com o comburente. Essa propriedade gera bolhas com grandes áreas superficiais que trocam calor com o incêndio.

7.3.7. Tempo de drenagem 25%

O tempo de drenagem 25% é o período em que a espuma permanece na superfície do material combustível, impedindo que o comburente entre em

contato com esse material. Após esse tempo, as bolhas da espuma estouram por conta da água que desce por gravidade, penetrando no material, ajudando a extinguir o incêndio por troca de calor.

De acordo com o Quadro 4, o tempo de drenagem 25% do LGE-CBMDF é menor que o tempo aferido nas amostras de LGE-Petrobrás pelo fato de o LGE-CBMDF não possuir características de Classe B, diferentemente do LGE-Petrobrás. Para incêndios em materiais Classe A, é oportuno o tempo de drenagem ser baixo pois esses materiais queimam em superfície e em profundidade. Com esse tempo baixo, a água penetra mais rapidamente no material combustível, extinguindo o incêndio por troca de calor. Para incêndios em materiais Classe B, o tempo de drenagem deve ser maior pois esses materiais queimam em superfície e não em profundidade.

A água não possui tempo de drenagem, então o LGE-CBMDF é mais eficiente que a água, porém não tão eficiente quanto o LGE-Petrobrás.

Em suma, o LGE-CBMDF não possui as propriedades físico-químicas de um LGE Classe B necessárias para ser aprovado de acordo com os parâmetros de eficiência exigidos pela ABNT NBR 15511. Porém, pelo fato de ser um LGE, é capaz de debelar incêndios em líquidos inflamáveis de forma mais eficiente que a água, fato evidenciado pelos resultados do Quadro 4 e por meio de estudos anteriores na própria Corporação.

8 CONCLUSÃO

Conclui-se após a execução dos testes que o LGE - CBMDF é eficaz no combate a incêndio em líquidos inflamáveis do tipo hidrocarboneto, mesmo não possuindo características de LGE Classe B, já que o tempo de extinção do incêndio em ambos os combates do teste foi inferior aos 100 segundos estipulados pela ABNT NBR 15511/2008.

Contudo, na etapa do teste de resistência do referido LGE à reignição, provou-se que a manta de espuma não impediu que o incêndio se desenvolvesse

devido ao seu tempo de drenagem 25% ser baixo, se comparado ao LGE - Petrobrás Classe B. O tempo medido para que a camada polimérica da espuma do CBMDF se degradasse consideravelmente pelo contato com a gasolina foi de 6 minutos, e a reignição se iniciou com 20 segundos após a indução da mesma. Logo, infere-se que se deve, após a extinção do incêndio, fazer o monitoramento e o rescaldo do local sinistrado para que o incêndio não se reigne.

Já nos ensaios laboratoriais, o estudo constatou que o LGE - CBMDF é menos eficiente no combate a incêndios em líquidos inflamáveis se comparado ao LGE - Petrobrás, já que o LGE institucional foi adquirido com o intuito inicial de ser utilizado para treinamento e combate a incêndios de Classe A, portanto nem todas as suas propriedades físico-químicas atendem aos parâmetros exigidos pela ABNT NBR 15511/2008. Contudo, em relação à água, o LGE - CBMDF é mais eficiente no combate a esse tipo de incêndio por possuir características de LGE, sendo menos denso que o material combustível, possibilitando abafar os gases inflamáveis liberados durante o incêndio.

Sendo assim, o LGE atua tanto por abafamento quanto por resfriamento, diminuindo consideravelmente o tempo de combate e de atuação dos militares atuantes no ambiente sinistrado, preservando a saúde dos mesmos.

9 RECOMENDAÇÕES PARA O CBMDF

Sugere-se o apoio financeiro para a continuação de pesquisas voltadas para o desenvolvimento de seu próprio LGE, no intuito de melhorar a qualidade da prestação do serviço entregue à sociedade no que tange ao combate a incêndio urbano. A pesquisa técnico-científica, como missão institucional, otimiza recursos e possibilita a Corporação a se tornar autossuficiente na produção desse agente extintor, tanto para atendimento a ocorrências quanto para treinamento operacional a fim de capacitar seus militares.

Sugere-se que o LGE - CBMDF seja empregado no sistema CAF visto que muitas bombas vêm apresentando problemas devido a não utilização desse sistema em virtude da escassez do LGE comercial. Assim, o sistema poderia ser

empregado mais vezes reduzindo os custos de manutenção.

Sugere-se que a Comunicação Social (CECOM) disponibilize e divulgue a versão pública deste Estudo Técnico Normativo às mídias sociais, às revistas, aos jornais e a outros meios, de forma que as demais Corporações tenham amplo acesso às informações aqui fornecidas e possam utilizar tal tecnologia em suas atividades.

Sugere-se que sejam efetuados novos testes com maior carga de incêndio, além do uso em outros materiais combustíveis líquidos como forma de avaliar a eficácia do LGE - CBMDF em incêndios de grande e médio porte.

Sugere-se que sejam efetuados ensaios laboratoriais periódicos como forma de avaliar a eficiência do LGE – CBMDF frente às suas propriedades físico-químicas.