

Cap. QOBM ROGÉRIO LIMA DE ARAÚJO

**VAZÕES DO SISTEMA DE PROTEÇÃO CONTRA INCÊNDIOS POR
HIDRANTE NO PARANÁ: DETERMINAÇÃO DOS LIMITES CONSIDERANDO A
CAPACIDADE FÍSICA DOS USUÁRIOS**

Monografia apresentada por exigência curricular do Curso de Aperfeiçoamento de Oficiais, em Convênio com a Universidade Federal do Paraná, para obtenção do Título de Especialista em Planejamento e Controle da Segurança Pública.

Orientadora Metodológica:
Prof. Dra. Sônia Maria Breda

Orientador de Conteúdo:
Ms. Maj. QOBM Emerson Luiz Baranoski

**SÃO JOSÉ DOS PINHAIS
2011**

*Dedico este trabalho à minha mulher
Williane, pessoa muito especial que sempre
acreditou no meu trabalho e me incentivou a
prosseguir nesta caminhada árdua da
pesquisa. Companheira que nos momentos
difíceis deu-me palavras de apoio e conforto.*

AGRADECIMENTO

Agradeço a Deus pela vida e pela força a mim concebida para a realização deste trabalho e permitir que tenhamos o doce sabor da descoberta e do conhecimento.

Agradeço de forma muito especial à minha mãe Onaides e aos meus pais Isaias (in memoriam) e Josué que me ensinaram o caminho da verdade, sempre acreditaram na minha capacidade e souberam me conduzir por onde devia andar. Aos meus irmãos Robson, Rodrigo e Rejane, pelos grandes amigos e incentivadores que são, obrigado por toda a força que sempre me deram.

No trabalho experimental contei com a ajuda de muitos companheiros, quero aqui agradecer a todos os bombeiros militares que me ajudaram na concretização desta pesquisa, de forma especial, quero enaltecer o desprendimento e empenho do 2º Tenente Hoffmann em confeccionar o arranjo experimental por nós projetado. Durante a coleta dos dados nas experimentações realizadas nos quartéis do Aeroporto Afonso Pena e do Centro de Ensino e Instrução quero agradecer o apoio que recebi dos valorosos bombeiros: 2º Tenente Gomes, Aspirante Hortig, 3º Sargento Nilton, Cabos Rosty Jr. e Gouvea, Soldados Cleverson, Brasil e Saudivar. Agradeço a disponibilidade de pessoal e materiais por parte dos Comandantes destas Unidades na pessoa do Tenente-Coronel Fábio, Cmt. do 6º Grupamento de Bombeiros, Major Gross, Chefe do Centro de Ensino e Instrução e Capitão Borba, Cmt. da Seção Contra Incêndios do Aeroporto Afonso Pena. Agradeço também a colaboração na coleta de dados do 2º Tenente Ekermann e 1º Sgt Thiel do 4º Grupamento de Bombeiros e estendo meus agradecimentos aos oficiais e praças desta unidade pelo apoio e confiança.

Não poderia deixar de agradecer aos amigos do Curso de Aperfeiçoamento de Oficiais pelo companheirismo e apoio em mais esta jornada acadêmica e que a nossa amizade só aumente ao longo de nossas vidas.

Aos meus mestres e ex-alunos dedico parte deste trabalho pela contribuição no caminho do aprendizado. Aos orientadores Major Baranoski e Prof. Sonia Breda, meus agradecimentos pela paciência e sabedoria na orientação desta pesquisa. Nas pessoas do Cmt. da APMG e do Coordenador do Curso, Tenente-Coronel Carneiro e Major Tedeschi, quero agradecer pelo apoio recebido e engrandecer o trabalho de todos os integrantes desta valorosa Instituição de Ensino na qual já tive o orgulho de servir.

*“Se tens de lidar com água,
consulta primeiro a experiência e
depois a razão.”*

Leonardo da Vinci (1452 – 1519)

RESUMO

Analisa as vazões do sistema de proteção contra incêndios por hidrante da norma do Paraná e da ABNT, sob a ótica das forças de propulsão por elas geradas, determinando de forma experimental os limites seguros para operação, considerando a capacidade física dos usuários. Traça um comparativo entre os esguichos de jato compacto e os de jato ajustável quanto às pressões de operação, vazões e forças geradas. Aplica o Princípio Físico da Lei de Conservação do Momento Linear e determina a equação de propulsão das mangueiras de incêndio. De forma experimental comprova a validade da equação para o cálculo das forças de propulsão geradas pelas mangueiras de incêndio. Estabelece por análise do peso médio brasileiro e experiência com alunos bombeiros um limite seguro para operação de mangueiras de incêndio, como força de propulsão máxima segura a ser operada por um ou dois operadores. Com o termo força de propulsão da equação calcula as forças geradas pelas vazões estabelecidas no Código de Prevenção do Paraná (2001) e da NBR 13714 (2000), constatando que as vazões dos maiores riscos de incêndio ultrapassam o limite estabelecido como seguro, entre 9,5 e 74,5%. Verifica que há diferença entre as forças geradas por esguichos de jato compacto e esguichos ajustáveis, podendo a vazão do ajustável ser de até 29% menor, quando comparados com a mesma pressão. Conclui que a equação da força de propulsão de mangueiras de incêndio se constitui numa ferramenta útil para mensurar forças de propulsão, possibilitando adequar vazões dos sistemas preventivos por hidrantes dentro do limite de segurança para operação.

Palavras – chave: Vazão de hidrante. Hidrante. Incêndio. Mangueira de incêndio.

ABSTRACT

Analyzes the flow of the fire protection system by the standard hydrant Paraná and ABNT, from the perspective of the propulsion forces they generate, experimentally determining the limits for safe operation, considering physical capacity of users. Draws a comparison between the compact jet nozzles and jet adjustable as to the operating pressures, flow rates and forces. Apply the Principle of Physical Law of Conservation of Linear Momentum equation and determines the propulsion of the fire hoses. Experimentally prove the validity of the equation for calculating the thrust generated by fire hoses. Established by analysis of the weight average brazilian and experiment with a fire students safe limit for operation of fire hoses, such as thrust maximum safe to be operated by one or two operators. The term thrust of the equation calculates the forces generated by the flow established in the Code for the Prevention of Paraná (2001) and NBR 13714 (2000), noting that the flow rates of the major fire hazards exceed the limit established as safe, between 9.5 and 74.5%. Notes that there is a difference between the forces generated by compact jet nozzles and adjustable nozzles, the flow can be adjustable up to 29% lower compared to the same pressure. It concludes that the equation of the thrust of fire hoses constitutes a useful tool to measure forces of thrust, allowing adequate flow of preventive systems for fire hydrants within the safety limit for operation.

Keywords: Flow hydrant. Hydrant. Fire. Fire hose.

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO.....	9
1 FORMULAÇÃO DO PROBLEMA	15
2 OBJETIVOS	17
2.1 OBJETIVO GERAL.....	17
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	17
3 JUSTIFICATIVA	18
4 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	19
4.1 FÍSICA DE PROPULSÃO DAS MANGUEIRAS DE INCÊNDIO	19
4.2 VAZÕES DAS NORMAS DE PREVENÇÃO DE INCÊNDIOS.....	22
4.3 PRINCÍPIOS DE MECÂNICA DOS FLUÍDOS	25
4.4 PRESSUPOSTOS DE CAPACIDADE FÍSICA PARA OPERAÇÃO DE MANGUEIRAS DE INCÊNDIO.....	28
4.5 SISTEMA FIXO DE PROTEÇÃO CONTRA INCÊNDIO POR HIDRANTE	30
5 METODOLOGIA.....	33
6 RESULTADOS E ANÁLISE	37
6.1 RESULTADOS E ANÁLISE DAS FORÇAS EXTERNAS	37
6.2 RESULTADOS E ANÁLISE DAS FORÇAS DE PROPULSÃO DAS MANGUEIRAS DE INCÊNDIO.....	40
6.2.1 Validade da equação de propulsão das mangueiras de incêndio.....	51
6.3 RESULTADOS E ANÁLISE DOS CÁLCULOS DAS FORÇAS DE PROPULSÃO DAS VAZÕES PREVISTAS EM NORMA.....	53
7 PROPOSTA DE LIMITES SEGUROS PARA VAZÕES DO SISTEMA PREVENTIVO.....	55
8 CONCLUSÃO.....	58
REFERÊNCIAS	60

INTRODUÇÃO

A prevenção de incêndios é realizada por intermédio de sistemas preventivos que são estabelecidos em normas. No Brasil cada Corpo de Bombeiros edita ou adota suas normas de prevenção. No Estado do Paraná, a última norma preventiva foi editada em 2001, denominada de Código de Prevenção de Incêndios do Corpo de Bombeiros da Polícia Militar do Paraná – CB/PMPR.

Na história recente do mundo demorou em a população ter a consciência de que a prevenção de incêndios é importante para preservação da vida e do patrimônio. Precisaram ocorrer muitos incêndios para que isto acontecesse. Para se ter uma idéia, cidades foram devastadas pelo fogo por não haver uma preocupação com medidas que pudessem evitá-los, como exemplos, traz-se as cidades citadas por Seito et al. (2008) no Livro a Segurança Contra Incêndios no Brasil, ocorridos em Roma (64 DC), Londres (1666), Hamburgo (1842), Chicago (1871), Boston (1872) que foram devastadas por inteiro.

Segundo Seito et al. (2008), nos Estados Unidos houve alguns incêndios que mudaram o pensamento naquele país e até influenciaram a forma de pensar de outros. Citam-se os grandes incêndios do Teatro *Iroquois*, em Chicago, ocorrido em 30 de dezembro de 1903, que vitimou 600 pessoas de um total de 1600, a Casa de Ópera *Rhoads*, em 13 de janeiro de 1908, em que 170 pessoas pereceram nas chamas, a Escola Elementar em *Collinwood*, em *Lake View*, caracterizando-se como a maior tragédia escolar ocorrida nos EUA, em 4 de março de 1908, vitimando 172 crianças, dois professores e uma pessoa que tentou socorrer as vítimas. De forma devastadora este incêndio reforçou a consciência americana sobre a necessidade de melhorias nas normas de prevenção de incêndios daquele país.

Para fechar a seqüência trágica de incêndios nos EUA, no ano de 1911, na Cidade de Nova York, a *Triangle Shirtwaist Factory* incendiou-se, tornando-se um marco que medidas de prevenção mais efetivas deveriam ser adotadas. Essa indústria de vestuário, situada em um prédio elevado, ao se incendiar causou a morte de 146 pessoas, em sua maioria jovens mulheres imigrantes, com menos de dezoito anos de idade. Bastou apenas 25 minutos após o início do incêndio para os bombeiros de Nova York considerar a situação fora de controle. Após esta seqüência trágica, quatro edições do “Manual de Proteção Contra Incêndios”

(*Handbook Fire Protection*) haviam sido publicadas, com evoluções técnicas, até que surge aquele considerado marco divisório: a quinta edição, de 1914.

Após as tragédias acima citadas nos EUA, a *National Fire Protection Association* (NFPA), fundada no ano de 1897, teve sua missão ampliada para a proteção de vidas e não somente de propriedades. Foi após o incêndio no *Triangle* que a NFPA criou o Comitê de Segurança da Vida, origem do Código de Segurança da Vida (NFPA 101). Este mesmo comitê, posteriormente, gerou indicações para a construção de escadas, de saídas de incêndio para o abandono de diversos tipos de edifícios e a construção e disposição de saídas de emergência em fábricas, escolas, etc., que até hoje constituem a base das normas no EUA, (SEITO et al. 2008).

No Brasil, a situação não foi diferente dos EUA. Enquanto não aconteceram incêndios com número significativo de vítimas nada de concreto e consolidado foi feito no campo da prevenção e proteção contra incêndios. Até a década de 70, os incêndios eram coisa só dos corpos de bombeiros, não havendo uma preocupação por parte do restante da população, principalmente daquela que era responsável por projetar e construir as edificações no país. Verifica-se que precisou ocorrer aqui o que já havia acontecido no mundo mais desenvolvido para que a comunidade brasileira despertasse para medidas de prevenção de incêndios.

Até a ocorrência dos grandes incêndios no Brasil, mais freqüentes nas cidades de São Paulo e do Rio de Janeiro, a regulamentação relativa ao tema era esparsa, contidas nos códigos de obras dos municípios, sem quaisquer incorporações do aprendizado dos incêndios ocorridos no exterior, salvo quanto ao dimensionamento da largura das saídas e escadas e da incombustibilidade de escadas e da estrutura de prédios elevados.

Segundo Seito et al. (2008), o Corpo de Bombeiros possuía alguma regulamentação, advinda da área de seguradoras, limitando-se em geral a obrigatoriedade de medidas de combate a incêndio, como a provisão de hidrantes e extintores, além da sinalização desses equipamentos. A Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), sociedade civil sem fins lucrativos, criada no ano de 1940, tratava do assunto por intermédio do Comitê Brasileiro da Construção Civil, pela Comissão Brasileira de Proteção Contra Incêndio, preocupando-se mais com a produção de extintores de incêndio.

Pode-se afirmar que até 1970 nenhum grande incêndio havia impactado a opinião do poder público e das seguradoras. A crença era de que o padrão de

construção – em alvenaria – aliado a uma ocupação litorânea de uma área com alta umidade relativa do ar contribuíam para não ocorrência de grandes incêndios. Como exemplos de grandes incêndios que começaram a ocorrer na área urbana do Brasil tem-se o incêndio que ainda é recorde de vítimas fatais no país no Gran Circo Norte Americano, em Niterói, no ano de 1961, com 250 mortos e 400 feridos. O incêndio da Ala 13 da montadora de automóveis Volkswagen, em São Bernardo do Campo, ocorrido em 18 de dezembro de 1970, consumindo um dos prédios da produção (Ala 13), com uma vítima fatal, com perda total desta edificação, além de ser um grande exemplo de um novo tipo de conflagração, apontou que a apregoada ausência de risco não passava de crença ingênua.

Daí em diante o que se viu foi uma sequência igualmente desastrosa de incêndios na área urbana, começando com o incêndio do Edifício Andraus, em 24 de fevereiro de 1972, na Cidade de São Paulo, com 31 andares de lojas e escritórios, vitimando de morte 16 pessoas e deixando 336 feridos. Caracteriza-se como o primeiro grande incêndio em prédios elevados. Dois anos após, a Cidade de São Paulo passava por situação semelhante, acontecia no dia 1º de fevereiro de 1974 mais um grande incêndio em prédio vertical. O Edifício Joelma, com seus 23 andares de estacionamentos e escritórios, arde em chamas matando 179 pessoas e deixando outras 320 feridas. Mais uma vez o aprendizado do exterior parecia não ter mudado em nada a forma de pensar e agir no Brasil.

Infelizmente, somente após a ocorrência destes grandes incêndios, as maiores cidades brasileiras despertaram para a segurança contra incêndio como matéria importante. Ainda que com muitas limitações de tecnologia e de conhecimentos, as normas editadas pelo poder público começaram a exigir um pouco mais de segurança para as construções.

No Paraná não foi diferente. Embora já tivesse seu Corpo de Bombeiros desde 1912, sua primeira lei que tratava de alguma proteção contra incêndios foi o Código de Posturas e Obras do Município de Curitiba, aprovado pela Lei 699/1953, a qual previa em vários artigos a intervenção do corpo de bombeiros quando da concessão do Habite-se e alvará de funcionamento, bem como os projetos teriam que ser visitados pela seção técnica do corpo de bombeiros para vistoria das medidas de segurança e proteção contra incêndios, a exemplo dos depósitos de inflamáveis e explosivos, postos de abastecimento de automóveis, além de edifícios comerciais e residenciais. Tal lei previa ainda em seu artigo 489 que todos os

edifícios acima de quatro pavimentos a serem construídos, reconstruídos ou reformados seriam dotados de instalação contra incêndio (CORPO DE BOMBEIROS DO PARANÁ, 2008).

Com a expansão do Corpo de Bombeiro pelo interior do Estado, o município de Ponta Grossa, por meio da Lei nº 2608/73, que autorizou o Poder Executivo a firmar convênio com aquele município, aprovou também o regulamento de prevenção contra incêndio do município de Ponta Grossa. Neste regulamento as edificações eram classificadas segundo a Tarifa de Seguro e Incêndio do Brasil, sendo os tipos de Proteção Contra incêndio e Pânico os elementos estruturais e meios de evacuação (rampas escadas enclausuradas e à prova de fumaça) de acordo com a NB – 208 da ABNT.

No ano de 1975, a Corporação editou o seu primeiro Código de Proteção Contra Incêndio e ele fixava o mínimo de requisitos à proteção contra incêndio e, a partir de então, passou a estudar, analisar, planejar, exigir e fiscalizar os imóveis industriais, comerciais e edifícios residenciais. Os riscos eram classificados em classes: A (pequeno), B (médio), C (grande) e D (risco especial). O sistema de combate a incêndio era composto por hidrantes, extintores e sistemas automáticos. A partir desse código, iniciou a cobrança da instalação centralizada de GLP para todas as edificações com quatro ou mais pavimentos, bem como, para hotéis, restaurantes, panificadoras, confeitarias e outros estabelecimentos comerciais com área maior que 100m² e que utilizavam GLP (CORPO DE BOMBEIROS DO PARANÁ, 2008).

Em 1999, o código passou por uma revisão, que abrangia todas as edificações, exceto residenciais unifamiliares, acrescentando as edificações antigas que não possuíam sistemas de prevenção contra incêndio, passando a classificar o risco de incêndio em leve, moderado e elevado. Atualmente, o Corpo de Bombeiros do Estado do Paraná utiliza o Código de Prevenção de Incêndio que foi revisado no ano de 2001, tendo incorporado a NBR 9077 (saída de emergência), NBR 8660/84 (revestimento de piso), NBR 5441/93 (execução de sistemas de detecção e alarme de incêndio), NBR 5442/86 (determinação do índice de propagações superficiais de chama pelo método do painel radiante), NBR 10898/90 (sistema de iluminação de emergência), dentre outras. Também passou a ser adotado o termo de ajustamento de conduta entre o corpo de bombeiros e os proprietários de imóveis que não podiam efetuar a regularização de seu imóvel, havendo, por meio do referido termo,

a concessão de prazo para execução das alterações necessárias das medidas de proteção contra incêndio.

Outra medida importante adotada no Paraná foi por meio da Portaria nº 001/03 em que foram criadas as Comissões Técnicas no âmbito do Comando do Corpo de Bombeiros. Essas comissões técnicas de prevenção de incêndio, em várias instâncias, têm por objetivo analisar e propor soluções nos casos omissos e/ou especiais, relativos à interpretação do Código de Prevenção de Incêndio e outras normas aplicáveis.

Um passo importante também ocorreu no final do ano de 2010, em que foi aprovada pela Assembléia Legislativa do Paraná a Lei 16.567/2010 que institui normas gerais para a execução de atividades concernentes à prevenção e combate a incêndio, tendo por objetivo proteger a vida das pessoas e reduzir danos ao meio ambiente e ao patrimônio, dando legitimidade para o código atual, que tem características de regulamento de prevenção como norma administrativa interna da corporação. Esta lei possibilita à comunidade paranaense, por intermédio de seus representantes, participar do Conselho Consultivo de Segurança Contra Incêndio para normatização da proteção contra incêndio no Estado (PARANÁ, 2010).

Ainda na esteira histórica da construção da prevenção de incêndios no Brasil, fica a maior aspiração dos profissionais de segurança e engenharia contra incêndio, bem como dos valorosos bombeiros militares que tanto já labutaram na prevenção e no combate aos incêndios: O Código de Prevenção Contra Incêndios Nacional, norma esta que regulamentaria de forma uniforme todas as atividades de prevenção no país, assegurando um padrão de cobrança em todo território nacional. É claro que para um país composto de tantas realidades como o Brasil, mister seria que esta norma fosse abrangente, trazendo os principais pontos e norteando para que os estados editassem suas complementações adequadas às suas realidades (SEITO et al. p. 308).

Um dos requisitos das normas de prevenção de incêndios são os limites de vazão do sistema fixo de proteção contra incêndios por hidrantes. Estes limites estabelecem vazões mínimas e máximas de acordo com o risco de incêndio determinado pela área e natureza de ocupação dos estabelecimentos.

Quando se opera um hidrante, a forma de lançar o agente extintor, no caso a água, é pela utilização de mangueiras de incêndio e esguichos. Esta ação provoca uma força de propulsão, que pode ser estudada pela mesma lei física da propulsão

de foguetes. Quanto mais água for lançada maior será esta força que age contrária à direção do jato de água. Para as vazões mais altas, notadamente para os estabelecimentos de risco elevado, geralmente grandes depósitos, comércios e indústrias com maior risco de incêndio, as vazões requeridas na norma atual podem oferecer risco de operação aos usuários.

Neste trabalho, será abordado o assunto com cálculos e experimentos para buscar determinar limites seguros de vazões do sistema fixo de proteção por hidrantes.

1 FORMULAÇÃO DO PROBLEMA

Nas normas brasileiras de prevenção de incêndios e na norma preventiva do Paraná têm-se estabelecidos os limites de vazões para o sistema fixo por hidrantes. Observa-se uma grande dificuldade por parte dos profissionais de engenharia no dimensionamento das redes de hidrantes, principalmente quanto às vazões mínimas e máximas.

Não raramente, durante os anos de serviço no Corpo de Bombeiros, o autor ouviu relatos de bombeiros vistoriadores que se depararam com uma situação de risco ao testar os hidrantes de sistemas preventivos de estabelecimentos, e em algumas situações, o próprio autor pôde comprovar tal situação, podendo causar um acidente por descontrole na operação da mangueira de incêndio.

Outro fator importante no estudo das vazões é que as normas preventivas, em especial a do Paraná, estabelecem limites de vazões de acordo com o risco de incêndio e observa-se que há um distanciamento considerável de um risco para outro. Além deste fator, as vazões estão estabelecidas de forma igual para todos os tipos de esguichos, sejam do tipo jato compacto ou de ângulo ajustável. Ocorre que ao mudar o tipo de esguicho para uma mesma vazão pode alterar a força de propulsão da mangueira.

Pode-se afirmar que as normas de prevenção no Brasil são uma composição de várias normas internacionais e de adaptações à realidade nacional. Esta mescla de normas sem a devida experimentação, às vezes, pode levar ao estabelecimento de exigências desfocadas de uma realidade. Um dos exemplos desta distorção pode estar no estabelecimento de vazões do sistema de proteção contra incêndios, que inicialmente no Paraná, assim como nos demais Estados da Federação era baseada nas vazões do Instituto de Resseguros do Brasil.

Estas vazões foram alteradas por alguns Estados e até a ABNT adotou valores diferentes no ano de 2000, porém, o Paraná resolveu mantê-las praticamente as mesmas na sua última alteração do Código de Prevenção Incêndios, editado no ano de 2001.

O Corpo de Bombeiros de São Paulo é uma das organizações que mais recentemente alterou suas normas de prevenção de incêndios, fazendo-a no ano de 2004. Ele estabeleceu vazões menores em relação às vazões anteriores, fez

algumas subdivisões a mais, no entanto manteve a mesma vazão para esguichos ajustável e de jato compacto.

Neste contexto, ficam as seguintes perguntas: **as vazões estabelecidas no Código de Prevenção do Corpo de Bombeiros do Paraná oferecem total segurança ao usuário? Há diferença na segurança de se operar estas vazões com esguichos de ângulo ajustável em comparação com o jato compacto? É possível fracionar em mais de três faixas de vazão como está estabelecido?**

2 OBJETIVOS DO ESTUDO

2.1 Objetivo geral

Este trabalho tem por objetivo determinar os limites seguros das vazões do sistema fixo de proteção contra incêndios por hidrantes da prevenção de incêndios no Paraná, em conformidade com os riscos de incêndio e a capacidade física dos usuários.

2.2 Objetivos específicos

Constituem os objetivos específicos deste trabalho:

- a. Determinar de forma experimental os limites seguros de vazões para operação de mangueiras de incêndio do sistema fixo de proteção contra incêndios por hidrantes;
- b. Traçar um comparativo de forças de propulsão nos esguichos de jato compacto com os de ângulo ajustável;
- c. Propor ao Comando do Corpo de Bombeiros da PMPR uma distribuição de faixas de vazão para o sistema fixo de proteção contra incêndios por hidrantes, conforme o risco de incêndio e os limites determinados pelo presente trabalho.

3 JUSTIFICATIVA

No Estado do Paraná e nos demais entes da Federação, existem normas preventivas de incêndios e pânico que estabelecem requisitos mínimos de segurança das edificações. Estas normas de uma forma geral são adaptações de normas internacionais nem sempre adequadas a uma realidade brasileira.

No estabelecimento das vazões do sistema de hidrantes estas adaptações, ao que tudo indica pela ausência de material científico publicado, foram feitas sem ensaios ou experimentos, trazendo com isso dificuldades na efetivação de tais sistemas, bem como em sua operacionalização.

Ocorre que na Norma Preventiva do Corpo de Bombeiros da PMPR verificam-se vazões do risco moderado e elevado em que as forças de propulsão por elas geradas ultrapassam a capacidade física do usuário em operar o sistema. De igual forma, a Norma Brasileira da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), estabelece limites mínimos de vazões iguais a normas internacionais. Nota-se também que esta norma não teve a preocupação de impor um limite máximo.

As vazões dos sistemas de hidrantes são adequadas aos riscos de incêndio, que, em suma, traduzem uma carga de incêndio das edificações e dos materiais que elas contêm. A carga de incêndio de uma edificação se constitui na capacidade total que seus materiais têm de liberar calor quando em combustão pelo fogo, (CORPO DE BOMBEIROS DO PARANÁ, 2008). As faixas de vazão dos riscos de incêndio moderado e elevado, que tratam de edificações com uma carga de incêndio maior, são vazões que do ponto de vista do risco podem estar adequadas e até com sobra, contudo, podem oferecer um risco de operação ao usuário por desenvolverem uma força de propulsão além da sua capacidade física.

A determinação experimental dos limites de vazão permitirá à prevenção de incêndios estabelecer em norma vazões mais precisas e adequadas aos riscos, atendendo parâmetros de segurança para os usuários, possibilitando à engenharia de incêndio melhor dimensionamento dos sistemas preventivos contra incêndios. Com isso, as redes de hidrante garantirão maior segurança aos seus usuários, leigos, brigadistas e bombeiros profissionais, contribuindo para um importante avanço na prevenção de incêndios.

4 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

A base teórica deste estudo encontra amparo em leis da Física e em normas brasileiras e internacionais que tratam do assunto. Será abordada primeiramente a fundamentação na 2ª Lei de Newton e sua aplicação a sistemas de partículas, adaptando-se a equação de propulsão de foguetes para propulsão de mangueiras de incêndio, e na sequência, trazer para uma previsão teórica da força de propulsão nas mangueiras de incêndio com as vazões estabelecidas nas normas atuais.

4.1 FÍSICA DE PROPULSÃO DAS MANGUEIRAS DE INCÊNDIO

Na 2ª Lei de Newton, tem-se o seguinte conceito: **“a aceleração de um corpo tem a direção da força externa resultante que atua sobre ele. É proporcional ao módulo da força externa resultante e inversamente proporcional à massa do corpo”**, Tipler (2000, p. 76, grifo nosso). Deste conceito obtém-se aquela famosa equação ($F = m \times a$), em que “F” representa a força, “m” a massa, e “a” a aceleração. Mas num conceito mais abrangente de força, também postulado por Isaac Newton (1643 - 1727), em sua obra composta de três volumes intitulada *Philosophiae Naturalis Principia Mathematica*, concluída no ano de 1687, força deve ser definida como variação de momento linear no tempo.

O momento linear, também conhecido como quantidade de movimento, é definido pelo produto entre a massa e a velocidade e representado no mundo acadêmico pela letra “P”, ficando a equação com o seguinte formato: $\vec{P} = m\vec{v}$. Aplicando a definição de Sir. Isaac Newton, a força resultante fica definida pela seguinte equação: $\vec{F} = d\vec{P}/dt$ (o vetor força F será igual à variação do momento linear no tempo $\Delta P/\Delta t$ e terá a direção do vetor P), (TIPLER, 2000).

Como momento linear é definido em função da massa e da velocidade, isto significa que quando houver variação da massa também aparecerá força e não só quando há variação de velocidade como se está acostumado a tratar para os corpos de massa constante. Esta abordagem se faz necessária às atividades de combate a incêndios, pois um caminhão de bombeiro ao lançar água pela mangueira de

incêndio estará variando sua massa: assim, é possível explicar a força de propulsão das mangueiras de incêndio. A equação para se determinar esta força será demonstrada a seguir e foi adaptada pelo autor seguindo os mesmos princípios físicos da propulsão de foguetes.

Segundo descreve Tipler (2000, p. 197): “O momento de um sistema é a soma dos momentos das partículas que o constituem. Quando a resultante das forças externas que atuam sobre o sistema é nula, o momento total do sistema permanece constante.” Este enunciado constitui a lei de conservação do momento linear e permite formular a equação de propulsão das mangueiras de incêndio.

A descrição matemática da equação a seguir é um pouco complicada, pois o caminhão de bombeiro é uma partícula que varia a sua massa pela descarga de água durante sua utilização em combate com as mangueiras de incêndio. Pela lei de conservação do momento linear pode-se determinar a variação do sistema (caminhão mais água expulsada) num certo intervalo de tempo e aproveitar a 2ª Lei de Newton para se chegar na força resultante sobre o caminhão.

Considere um caminhão de incêndio carregado com água que inicia uma operação de combate jogando água pela mangueira de incêndio. A velocidade inicial do sistema caminhão, bombeiro e mangueira normalmente é igual a zero, pois estão parados. Ao começar a lançar a água todo este sistema começa a ser empurrado na direção oposta ao jato d'água, como ilustrado na figura 1. Assim têm-se as seguintes variáveis:



Figura 1 – Ilustração do vetor força de propulsão da mangueira de incêndio, representado pela seta vermelha
Fonte: Manual de Combate a Incêndios CBPR, 2008.

P_f - momento final

P_i - momento inicial

m_c - massa do caminhão

v_c - velocidade do caminhão

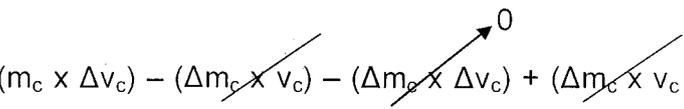
Δm_c - variação da massa do caminhão

Δv_c - variação de velocidade do caminhão

v_{exp} - velocidade de expulsão da água no esguicho

Nota: as variáveis referentes ao caminhão (m_c e v_c) correspondem ao sistema caminhão de incêndio, bombeiro, mangueira e esguicho.

$$P_f = [(m_c - \Delta m_c) \times (v_c + \Delta v_c)] + [\Delta m_c \times (v_c - v_{exp})]$$

$$P_f = (m_c \times v_c) + (m_c \times \Delta v_c) - (\cancel{\Delta m_c \times v_c}) - (\cancel{\Delta m_c \times \Delta v_c}) + (\cancel{\Delta m_c \times v_c}) - (\Delta m_c \times v_{exp})$$


Os termos $(\Delta m_c \times v_c)$ se anulam por terem sinais opostos e o termo $(\Delta m_c \times \Delta v_c)$ tende a zero por ser um termo de magnitude insignificante para o estudo.

Note-se que o termo $(m_c \times v_c)$ corresponde ao momento linear inicial. A equação fica então da seguinte forma:

$$P_f - P_i = (m_c \times \Delta v_c) - (\Delta m_c \times v_{exp}),$$

Dividindo toda a equação por Δt , tem-se:

$$\Delta P/\Delta t = (m_c \times \Delta v_c/\Delta t) - (\Delta m_c/\Delta t \times v_{exp})$$

Reorganizando os termos da equação tem-se que:

$m_c \times \Delta v_c/\Delta t = \Delta P/\Delta t + \Delta m_c/\Delta t \times v_{exp}$ - Equação de propulsão do sistema caminhão, bombeiro, mangueira e esguicho - (1)

O termo $\Delta v_c/\Delta t$ corresponde à aceleração do sistema caminhão, bombeiro, mangueira e esguicho; o termo $\Delta P/\Delta t$ corresponde à (s) força (s) externa (s) que atua (m) sobre o sistema e o termo $\Delta m_c/\Delta t \times v_{exp}$ diz respeito à força de propulsão da mangueira.

Após se tratar destes formalismos matemáticos e físicos, a equação da força de propulsão de mangueiras ($F_{prop.}$) fica determinada como: $F_{prop.} = \Delta m/\Delta t \times v_{exp.}$ ou seja, variação de massa (Δm) no tempo (Δt) multiplicada pela velocidade de expulsão (v_{exp}) no esguicho.

Para tratar desta força nas mangueiras de combate a incêndios há a necessidade de exprimir esta velocidade de expulsão do agente extintor água em

parâmetros que sejam mais simples de mensurar. Uma das formas propostas é pela vazão e área da seção transversal do esguicho, pois na definição de Fox *et al* (2004, p. 102) vazão volumétrica para um escoamento incompressível é igual ao produto da velocidade média de escoamento do fluido com a área da seção transversal ($Q = v \times A$). Logo, com base na definição de vazão, a velocidade de expulsão do termo relativo à força de propulsão da mangueira pode ser substituída pela razão entre a vazão e a área da seção transversal do requinte do esguicho, ficando da seguinte forma:

$$F_{prop.} = \Delta m / \Delta t \times Q / A \quad (2)$$

Trazendo esta equação para a atividade de combate a incêndios pode-se concluir que a força de propulsão da mangueira de incêndio é uma grandeza vetorial, ou seja, cada partícula de água que sai do esguicho com sua massa, direção e velocidade é que gera esta força na direção oposta, significando que quanto maior for a vazão maior será a força de propulsão. Tem-se também que quanto maior a velocidade de expulsão, maior será esta força, fato este que para uma mesma vazão ao diminuir o requinte do esguicho esta força aumenta.

4.2 VAZÕES DAS NORMAS DE PREVENÇÃO DE INCÊNDIOS

Verifica-se que no Brasil cada Corpo de Bombeiros adota ou edita suas próprias normas de prevenção de incêndios estabelecendo requisitos de vazão dos sistemas preventivos de proteção contra incêndio. Muitos deles adotam as normas da Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT. No Paraná, as vazões estão estabelecidas pelo Código de Prevenção de Incêndios do CB/PMPR (2001), sendo as seguintes:

Subseção II

Sistema Fixo de Proteção contra Incêndios

[...]

Art. 105 – [...].

Parágrafo único – Para o dimensionamento da rede de prevenção de incêndios, em cada hidrante deverá ser observado os parâmetros de vazão estabelecidos na tabela seguinte de conformidade com a classe de risco:

CLASSE DO RISCO	Vazão Mínima (l/s)	Vazão Máxima (l/s)
RL(caso do Art. 99)	1,20	4,00
RL	3,33	4,00
RM	7,33	8,80
RE	11,00	13,20

Art. 107 - O sistema de proteção contra incêndios por hidrantes será dimensionado de forma a proporcionar a vazão requerida pelo risco de incêndio da edificação em dois hidrantes em uso simultâneo e com condições mais desfavoráveis.

§ 1º - A vazão em cada hidrante será tomada na tabela seguinte:

Classe do risco	Esguicho diâmetro (mm)	Mangueiras diâmetro (mm)	Jatos	Vazão simples (l/min)	Vazão total (l/min)
RL	13 ou 19	38	2	200	400
RM	19 ou 25	38 ou 63	2 ou 3	440	880
RE	25 ou 32	63	2 ou 3	660	1320

§ 2º - A vazão requerida pelo risco de incêndio da edificação (vazão dupla), poderá ser obtida através de 2 ou 3 jatos simultâneos, conforme a tabela acima.

§ 3º - A vazão requerida pelo risco de incêndio da edificação deverá ser obtida na extremidade dos esguichos.

Art. 108 - Para efeito de dimensionamento das perdas de carga em canalizações, serão utilizados os valores constantes nas normas da ABNT. (PARANÁ. Polícia Militar do Paraná. Comando do Corpo de Bombeiros. **Código de Prevenção de Incêndios**. Curitiba, 2001, p. 42-43).

A Associação Brasileira de Normas Técnicas trata do assunto na NBR 13714 (2000) e estabelece as seguintes vazões:

5 Requisitos específicos

5.1 Tipos de sistemas

5.1.1 Os tipos de sistemas previstos são dados na tabela 1.

5.1.2 As vazões da tabela 1 correspondem a esguichos tipo regulável na posição de maior vazão para sistema tipo 1, jato compacto de 16 mm para sistema tipo 2 e jato compacto de 25 mm para sistema tipo 3.

5.1.3 A aplicabilidade e as características adicionais dos sistemas estão apresentadas no anexo D.

5.1.4 As vazões da tabela 1 devem ser as obtidas na ponta do esguicho acoplado à sua respectiva mangueira, sendo que para o sistema tipo 1 a mangueira semi-rígida deve estar na posição enrolada.

Tabela 1 – tipos de sistemas

Tipo	Esguicho	Mangueiras		Saídas	Vazão L/min
		Diâmetro mm	Comprimento máximo m		
1	Regulável	25 ou 32	30	1	80 ¹⁾ ou 100 ²⁾
2	Jato compacto φ 16 mm ou regulável	40	30	2	300
3	Jato compacto φ 25 mm ou regulável	65	30	2	900

¹⁾ Ver D.2.
²⁾ Ver D.3.
NOTAS
1 Os diâmetros dos esguichos e das mangueiras são nominais.
2 As vazões correspondem a cada saída.

(ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 13714**: Sistemas de hidrantes e de mangotinhos para combate a incêndio. Rio de Janeiro, 2000, p. 5-6).

Com base nas vazões acima apresentadas e na equação da força de propulsão de mangueiras, pode-se ter uma previsão teórica das forças relativas a cada vazão. A tabela abaixo apresenta alguns cálculos prévios sobre as vazões do Código de Prevenção de Incêndios do CB/PMPR que justificam a preocupação do autor com o assunto.

TABELA 1 - PREVISÃO TEÓRICA PARA FORÇA DE PROPULSÃO DAS VAZÕES DO CÓDIGO DE PREVENÇÃO DE INCÊNDIOS - CB/PMPR, 2001

Classe do risco	Vazão simples (l/min)	Vazão total (l/min)	Diâmetro esguicho (mm)	Força prop. vazão simples (Kgf)	Força prop. vazão total (Kgf)
RL	200	400	13	8,5	34,1
RM	440	880	19	19,3	77,3
RE	660	1320	25	25,1	100,5

Fonte: Autor, 2011

Como se pode observar para o risco elevado, a vazão total tem uma força de propulsão de 100,5 Kgf (quilogramas – força). Ela está dimensionada para dois ou três jatos, mas a prática parece dizer que ao acionar somente um hidrante a força tende a chegar próxima da força prevista para a vazão dupla. Em trabalho desenvolvido no Município de Toledo por Isernhagem (2010), para obtenção do título

de Engenharia Civil da Faculdade Assis Gurgacz, o Setor de Prevenção do Corpo de Bombeiros de Toledo encontrou para duas edificações de risco elevado as vazões simples nos hidrantes mais desfavoráveis de 1048 e 897 l/min. Estas vazões podem gerar uma força de propulsão de 63,4 e 46,4 Kgf, respectivamente, o que é muito próximo do maior peso médio do brasileiro, 75 Kgf, IBGE (2009). Desta forma, a fundamentação deste trabalho traz uma previsão teórica da necessidade de experimentação das vazões previstas em normas para se estabelecer parâmetros de segurança na operação.

4.3 PRINCÍPIOS DE MECÂNICA DOS FLUIDOS

Alguns princípios e conceitos de mecânica dos fluidos se fazem necessários para o embasamento teórico e entendimento de alguns resultados alcançados pelo presente estudo. Como já afirmava Galileu Galilei (1564 – 1642), considerado o pai da experimentação científica, “mais fácil me foi encontrar as leis com que se movem os corpos celestes, que estão a milhões de quilômetros, do que definir as leis do movimento da água que escoam frente aos meus olhos”.

Na esteira do pensamento de Galileu, procurou-se trabalhar com medições práticas e em condições mais próximas da realidade possível. Alguns conceitos básicos de hidráulica foram utilizados para determinação de vazões nas mangueiras de incêndio.

PRESSÃO

A pressão (p) é a força perpendicular exercida por unidade de área (PARANÁ, 2008, p. 7).

Formalmente,

$$p = \frac{F}{A}$$

A unidade no SI para medir a pressão é o Pascal (Pa). A pressão exercida pela atmosfera ao nível do mar corresponde a aproximadamente 101.325 Pa (pressão normal), e esse valor é normalmente associado a uma unidade chamada atmosfera padrão, símbolo atm (PARANÁ, 2008, p. 7).

A pressão relativa define-se como a diferença entre a pressão absoluta e a pressão atmosférica. Os aparelhos destinados a medir a pressão relativa são o manômetro e também o piezômetro.

Neste estudo a unidade de pressão utilizada foi o Kgf/cm^2 , que para fins práticos equivale a 10^5 Pascal, 10 metros de coluna de água (mca), 1 bar, 1atm ou 14,7 libras por polegada ao quadrado (psi).

O equipamento para a leitura da pressão nos bocais dos esguichos de jato compacto utilizado nesta pesquisa foi o Tubo de Pitot. A figura 2 mostra este equipamento.

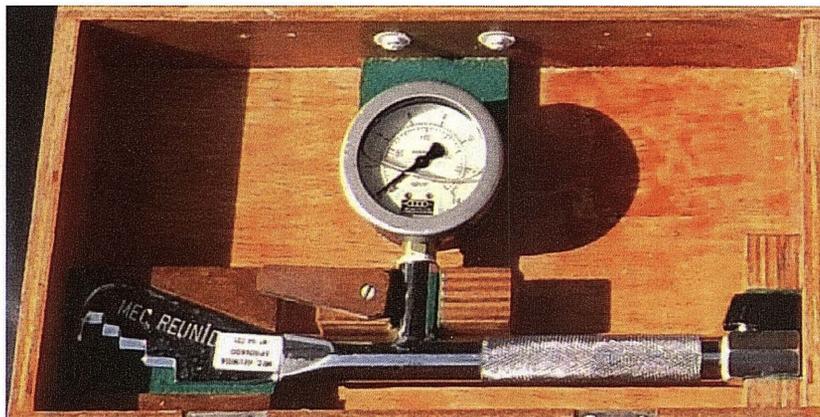


Figura 2 – Tubo de Pitot utilizado na pesquisa
Fonte: Autor, 2011.

VAZÃO

Vazão é uma grandeza física que mostra a variação de outras grandezas por intervalo de tempo. Neste estudo foram utilizados dois tipos de vazão: a volumétrica e a de massa ou mássica.

As vazões volumétricas obtidas nas saídas dos esguichos de jato compacto foram obtidas utilizando o processo expedito de cálculo da vazão para bocais,

trazido por Azevedo Netto et al. (1998, p. 75), adaptada à unidade de pressão e vazão comumente utilizada pelos profissionais de engenharia e bombeiros, ficando com o seguinte formato:

$$Q = 0,654 \times D^2 \times (P)^{1/2} \quad (3)$$

Q vazão em l/min

D diâmetro do requinte do esguicho em mm

P pressão lida com Tubo de Pitot na saída do esguicho em Kgf/cm²

A vazão de massa é expressa pela variação da massa por intervalo de tempo, ficando a equação $\Delta m/\Delta t$ (PARANÁ, 2008, p.7).

PERDA DE CARGA

Perda de carga se constitui de um fenômeno físico ocorrido no escoamento de fluidos por tubulações devido ao atrito de partículas do fluido com as paredes da tubulação, além de choques e turbulências geradas pelas imperfeições das paredes e de peças não retilíneas, como curvas, uniões e outras (AZEVEDO NETTO, p. 55-59). As perdas fazem com que haja perda de energia de movimento do fluido ao longo do caminho, fazendo com que a pressão na saída de um sistema seja menor que a de entrada.

Neste trabalho, procurou-se trabalhar com medidas práticas nas saídas dos esguichos, utilizando o Tubo de Pitot, para se ter a pressão real e não optando pelo uso de equações de perda de carga que dão uma previsão teórica que na prática, em muitas situações, fornecem resultados distorcidos por ter muitos fatores que podem influenciar nas perdas.

4.4 PRESSUPOSTOS DE CAPACIDADE FÍSICA PARA OPERAÇÃO DE MANGUEIRAS DE INCÊNDIO

Faz-se necessário esclarecer que nem todas as pessoas que podem operar um sistema preventivo por hidrantes têm treinamento prático, até porque os sistemas preventivos em sua maioria são projetados para que uma pessoa leiga possa operar. Busca-se por intermédio de palestras e treinamentos práticos ministrados pelo Corpo de Bombeiros esclarecer ao máximo a população sobre o uso dos sistemas preventivos, principalmente os de extintores e hidrantes. Para o risco elevado, em algumas situações é exigida por norma a presença de um corpo de brigadistas no estabelecimento.

Tal diferenciação torna-se importante para o estudo, pois será considerado neste trabalho que os usuários não possuem treinamento para operação de hidrantes, desenvolvendo-se os cálculos dos limites seguros das vazões com base no menor peso médio do brasileiro com idade de trabalho de acordo com pesquisa desenvolvida pelo IBGE (2009), tratando-se, portanto, do peso médio da faixa etária feminina entre 18 e 64 anos, com peso de 60 Kgf. Para o cálculo do peso foi utilizada a equação da força peso considerando a aceleração da gravidade média na América do Sul, $9,80 \text{ m/s}^2$ (AZEVEDO NETTO et al. 1998, p. 7).

A medição da força dos usuários do sistema preventivo seria muito difícil de determinar, por abranger públicos dos mais variados, desde leigos despreparados fisicamente até bombeiros profissionais que possuem treinamento e maior condicionamento físico. Da experiência do próprio autor como instrutor do Curso de Formação de Soldados do 4º Grupamento de Bombeiros de Cascavel, no ano de 2010, em que ministrou treinamentos práticos de operação de mangueiras de incêndio para 49 civis leigos que recém haviam ingressados na Corporação, pode-se atribuir alguns pressupostos que ajudam nesta determinação. Abaixo serão relacionadas as premissas que foram utilizadas para estabelecimento do limite máximo seguro para operação de uma mangueira de incêndio por um usuário.

- a) Todos os alunos suportaram operar sozinhos uma pressão de 8 Kgf/cm^2 , com uma mangueira e esguicho de ângulo ajustável de 63 mm, por aproximadamente 5 min, fazendo-se evoluções de recuar, avançar, posição de rés ao solo, retomada da posição de combate (ajoelhados),

- avançar, ataque direto e indireto sobre um solo de pedregulhos e molhado;
- b) A força de propulsão da mangueira para aquela situação era de 35,7 Kgf, conforme cálculo utilizando a equação 2. Vale ressaltar que se tratava de pessoas em período de formação, ou seja, tinham as instruções de uso do equipamento, porém, não tinham a experiência. Ressalta-se também que havia duas alunas e ambas conseguiram realizar o exercício;
 - c) A média de idade dos alunos era de 27 anos, e a de massa corporal de 72 Kg. Pode-se verificar que a média de massa corporal está bem próxima da média nacional brasileira, que é de 60 Kg para mulheres e de 70 Kg para homens, entre 18 e 64 anos.
 - d) Parte-se do princípio que o condicionamento físico dos alunos é maior que o da média nacional, pois foram selecionados com teste de suficiência física e receberam treinamento físico durante todo o período de formação.

Considerando os pressupostos acima, foi estabelecida uma **força máxima de 20 Kgf** para operação de um hidrante, para uma pessoa leiga, do sexo feminino ou masculino, dentro da faixa etária de trabalho. Esta força corresponde a **33% do peso médio brasileiro do sexo feminino e a 29% do sexo masculino**, ambos na faixa etária de 18 a 64 anos (IBGE, 2009). Tal limite de força se constitui aproximadamente **40% menor em relação à força de propulsão suportada pelos alunos soldado**. Foi estabelecida a faixa etária de trabalho, pois as maiores vazões das normas preventivas que podem gerar as maiores forças de propulsão nas mangueiras de incêndio são estabelecidas em locais como empresas, indústrias, locais de armazenagem e depósitos. As edificações residenciais são consideradas de risco leve, com vazões que não oferecem risco de operação do ponto de vista da força de propulsão gerada.

O limite acima estabelecido é uma referência para o desenvolvimento do presente trabalho e não se constitui uma regra. Buscou-se um valor razoável dentro dos aspectos da quantidade de água que é necessária para o combate a incêndio, isto com base no que já é exigido pelas normas de prevenção de incêndios, e a segurança dos usuários, com margem de segurança em relação à capacidade física dos operadores, visto que as situações reais de combate a incêndio são as mais

diversas, podendo ocorrer à noite, dificuldades de respiração e visibilidade comprometidas pela fumaça, piso molhado e escorregadio e tantos outros fatores complicadores.

O próprio autor, que tem massa corporal dentro da média nacional, fez algumas experiências durante a coleta de dados e verificou que suportaria como limite máximo pressões que geraram força próximo dos 40 Kgf, no entanto, percebe-se ao longo dos anos de experiência como bombeiro militar que a força para operar a mangueira de incêndio pode até ser grande, mas se o operador não tiver peso compatível com a força gerada todo sistema, bombeiro mais mangueira, fica desestabilizado, podendo ser jogado para os lados ou arremessado para cima.

Para a operação por pessoas com treinamento de combate a incêndio e para estabelecimentos em que o risco de incêndio é notadamente maior sugere-se que este limite seja acrescentado levando em consideração a capacidade dos operadores e as forças de propulsão geradas pelas vazões que forem estabelecidas.

No capítulo 7 deste estudo encontram-se propostas de vazões de acordo com o risco de incêndio e se o estabelecimento possui ou não brigadas de incêndio próprias.

4.5 SISTEMA FIXO DE PROTEÇÃO CONTRA INCÊNDIO POR HIDRANTE

O sistema fixo de proteção contra incêndio por hidrante será basicamente constituído de fonte de abastecimento, rede de abastecimento, hidrantes e meios auxiliares de combate e registro de bloqueio (PARANÁ, 2001, p. 33)

HIDRANTE

Conforme definição da NBR 13714 (2000, p. 3) hidrante é o “ponto de tomada de água onde há uma (simples) ou duas (duplo) saídas contendo válvulas angulares com seus respectivos adaptadores, tampões, mangueiras de incêndio e demais acessórios.” Por esta mesma norma, o abrigo do hidrante é definido como

“Compartimento, embutido ou aparente, dotado de porta, destinado a armazenar mangueiras, esguichos, carretéis e outros equipamentos de combate a incêndio, capaz de proteger contra intempéries e danos diversos.

MANGUEIRAS

As mangueiras de incêndio constituem-se essencialmente de um duto flexível dotado de uniões que servem para conduzir o agente extintor a partir do hidrante ou bomba até próximo do incêndio. São utilizadas também para abastecimento de reservatórios e tanques de viaturas de combate a incêndio. Elas são divididas em cinco tipos de acordo com a finalidade, com pressão de trabalho desde 10 até 15 Kgf/cm² e mais algumas particularidades como maior ou menor resistência à abrasão e a superfícies quentes (NBR 11861, 1998, p.2).

Uma característica importante das mangueiras de incêndio é sua elasticidade. Isto faz aumentar seu comprimento e diâmetro quando é pressurizada. A elasticidade pode aumentar o comprimento da mangueira em até 10% para as mangueiras do tipo 1, 2, 4 e 5 e até 8% para as do tipo 3, de acordo com a norma brasileira NBR 11861, 1998. Tal característica dificultou bastante a precisão das medidas da força de propulsão por intermédio do arranjo experimental. Foram necessárias várias medidas para se determinar um método que minimizasse os erros causados pelo alongamento durante as pressurizações.

ESGUICHOS

Esguichos são dispositivos adaptados na extremidade das mangueiras para dar forma, direção e controle ao jato, podendo ser do tipo de jato ajustável (neblinado ou compacto) ou de jato compacto (NBR 13714, 2000, P.3). Tanto os esguichos de jato ajustável quanto os de jato compacto existem em diferentes modelos, as figuras abaixo representam alguns destes modelos. Nos esguichos de jato compacto há ainda uma peça em sua extremidade de saída denominada de

requinte, a qual determina o diâmetro do esguicho. Já os esguichos de jato ajustável ou regulável existem em vários tipos, como básico, vazão constante, vazão ajustável, automático de pressão constante (NBR 14870, 2002, p. 2). Abaixo são apresentados nas figuras 3 e 4 os esguichos utilizados nesta pesquisa.



Figura 3 – Esguicho de jato compacto, com requinte adaptável de 13 a 32 mm
Fonte: Autor, 2011.



Figura 4 – Esguichos ajustáveis, à esquerda o tipo pistola de 38 mm, ao centro o comum de 63 mm e à direita o comum de 38 mm
Fonte: Autor, 2011.

5 METODOLOGIA

A pesquisa para determinação dos limites seguros das vazões do sistema fixo de proteção contra incêndios por hidrantes pode ser classificada quanto aos fins como exploratória, utilizando o método experimental, numa abordagem quantitativa.

Procurou-se estabelecer uma seqüência metodológica para buscar responder ao problema levantado pela pesquisa e atingir seus objetivos. Assim, buscou-se primeiro validar a equação da força de propulsão das mangueiras de incêndios (equação 2) pelo método experimental. Uma vez validada a equação, ela foi utilizada para calcular as forças de propulsão que poderiam ser geradas pelas vazões das normas preventivas do Paraná e da ABNT. Com os cálculos destas forças fez-se uma análise comparativa com o limite de força de propulsão estabelecido nos pressupostos de capacidade física dos usuários em operar as mangueiras de sistemas de hidrantes. Ainda na análise, foi realizado um comparativo dos resultados obtidos para as forças de propulsão dos esguichos de ângulo ajustável com os de jato compacto ou sólido. Na seqüência, propuseram-se vazões que respeitassem o limite de força estabelecido além de outras proposições constantes no capítulo 8.

A validação da equação de propulsão das mangueiras de incêndio pelo método experimental ocorreu da seguinte forma:

- a) Foi desenvolvido pelo autor um arranjo experimental que possibilitou mensurar as forças de propulsão das mangueiras de incêndio com experimentação das vazões estabelecidas na norma de prevenção de incêndios do CB/PMPR e da ABNT. As medidas foram todas comparadas com as previsões teóricas das forças de propulsão estabelecidas para cada vazão, medindo-se as vazões pelo Tubo de Pitot;
- b) O arranjo experimental foi constituído de uma estrutura metálica tubular, com uma plataforma deslizante, que permitiu a leitura da força de propulsão por intermédio de uma célula de carga instalada na parte de trás do arranjo, conforme indica a figura 5.

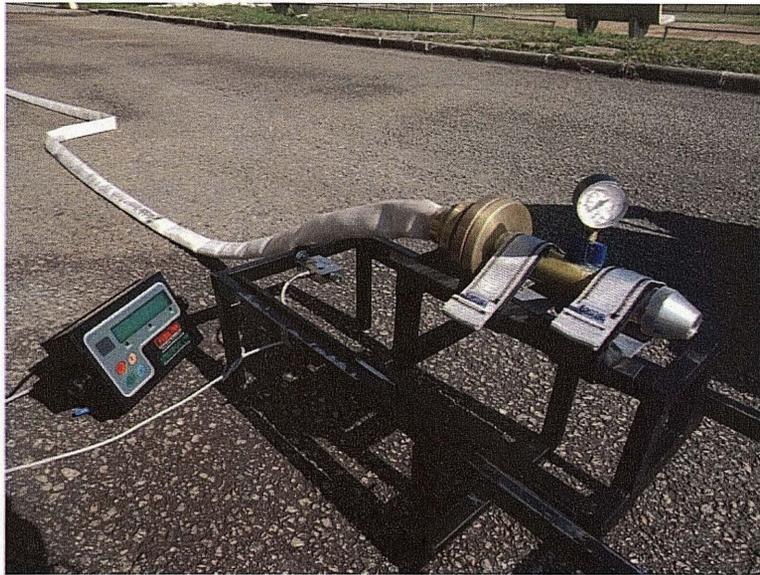


Figura 5 – Foto do arranjo experimental montado, com célula de carga e *display* digital

Fonte: Autor, 2011.

- c) Ele foi projetado para que a força de propulsão gerada na saída da água pelo esguicho fosse transferida para a célula de carga por intermédio da plataforma móvel, que conectada a um painel digital fez a leitura com uma precisão de $\pm 0,025$ Kgf. Para que esta transferência ocorresse, bastou fixar de forma alinhada e nivelada o esguicho a esta plataforma. O arranjo, na idéia original do autor, deveria ser totalmente estável, pois a aplicação da força de propulsão e da força de resistência da célula de carga estariam alinhadas, com resultante nula. Porém, por necessidade de ajuste ao projeto para que a célula de carga não sofresse interferências externas, elevou-se o ponto de fixação do esguicho em 15 cm, gerando então um torque pela aplicação destas forças em planos diferentes. Para equilibrar tal torque, tornou-se necessária a fixação por estais ou a amarração de pesos em sua base, conforme figura 6;

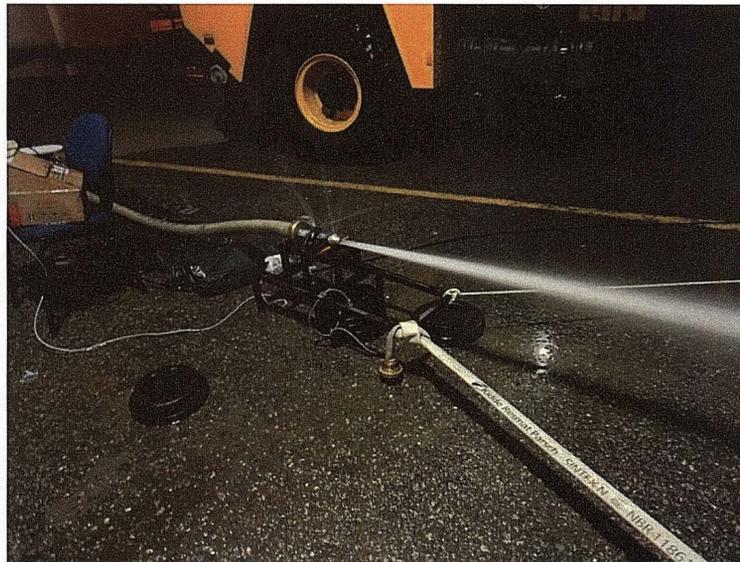


Figura 6 – Foto do arranjo experimental em funcionamento
Fonte: Autor, 2011.

- d) Os procedimentos para medição das forças de propulsão das mangueiras de incêndio foram desenvolvidos da seguinte forma:
- nivelamento do arranjo ao solo;
 - fixação do esguicho na plataforma móvel de forma alinhada e nivelada;
 - alinhamento da mangueira de incêndio, pressurizando-a até a pressão máxima que se desejava medir para estabilização de todo sistema e retornar a pressão inicial de medida;
 - com a mangueira pressurizada era medida a força de atrito e de resistência da mangueira para um gradiente de pressão;
 - após retornar a pressão inicial de medida e verificar que não havia tensão por tração da mangueira na célula de carga, iniciava-se a pressurização gradativa com as leituras da pressão na saída do esguicho com o Tubo de Pitot e da força indicada no painel de leitura da célula de carga. Antes de passar para a próxima leitura eram tabulados os dados em planilha de cálculo para verificar se a diferença estava dentro do aceitável;
- e) Uma das dificuldades encontradas nas medições da força de propulsão foi a força de resistência oferecida pelas mangueiras de incêndio, devido ao seu enrijecimento quando pressurizadas, somada à força de atrito com o solo, além de outro fator bastante complicador que é o coeficiente de

elasticidade que pode conceder ao material um alongamento de até 8%, conforme prevê a NBR 11861 (1998). Tais dificuldades exigiram um rigor muito grande nas medições, tendo o pesquisador que encontrar para cada série de medidas o ponto neutro, partindo-se da pressão inicial da bomba da viatura;

- f) A viatura utilizada para as medições foi um caminhão de combate a incêndio em aeroportos, do Aeroporto Afonso Pena, Município de São José dos Pinhais, na Seção Contra Incêndios do aeroporto. Trata-se de uma viatura com capacidade de 5000 litros de água no tanque, equipado com uma bomba do tipo centrífuga de 6000 l/min de capacidade. Tal equipamento foi escolhido por ter leitor digital de pressão, com três algarismos significativos, além de controle automático da pressão;
- g) Todas as medidas de pressão eram conferidas por Tubo de Pitot nas saídas dos esguichos de jato compacto. Inicialmente tais medições foram conferidas por dois destes aparelhos, para se ter maior confiabilidade nos resultados. Ressalta-se que foi verificado o laudo de calibração de ambos e se encontravam dentro da validade. Para os esguichos de jato ajustável foi lida somente a pressão do manômetro da viatura, com as devidas correções de perda de carga e possível diferença entre o manômetro da viatura e do Tubo de Pitot;
- h) As forças de propulsão eram calculadas instantaneamente por intermédio da tabulação dos dados em planilha do Excel, sendo estudadas na seqüência para se verificar a confiabilidade das medidas.

6 RESULTADOS E ANÁLISE DOS RESULTADOS

Os resultados obtidos foram divididos em três partes e analisados para seguir o encaminhamento metodológico: 1ª parte - medidas das forças externas e análise do quanto interferiram na medição das forças de propulsão; 2ª parte - medidas das forças de propulsão das mangueiras de incêndio, com análise de validação da equação (2); 3ª parte - cálculo das forças de propulsão para as vazões das normas do Corpo de Bombeiros do Paraná e da Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT, com emprego da equação 2.

6.1 RESULTADOS E ANÁLISE DAS FORÇAS EXTERNAS

Como já explicado na metodologia, a maior dificuldade encontrada na medição das forças de propulsão foi a força de resistência oferecida pelas mangueiras de incêndio. Para obter a confiabilidade das medidas da força de propulsão foi necessário estudar este comportamento. Abaixo se encontra a tabela 2 com as medidas da força de resistência encontrada para as mangueiras de 38 e 63 mm, sobre piso de concreto.

TABELA 2 – RESULTADOS DA FORÇA DE RESISTÊNCIA DAS MANGUEIRAS DE INCÊNDIO DE 38 E 63 MM

Pressão estática (Kgf/cm ²)	Força de resistência mangueira de 38 mm (Kgf)	Força de resistência mangueira de 63 mm (Kgf)
1,0	6,00	21,60
2,5	6,55	23,00
5,0	7,05	27,75
7,0	8,43	33,40
10,0	11,50	44,15

Nota: As forças foram medidas com mangueiras de 20 m de comprimento, do tipo II, sobre piso de concreto bruto.

Fonte: Autor, 2011

Para entendimento do comportamento destas forças externas foram traçados dois gráficos da força em relação à pressão, conforme abaixo se apresentam.

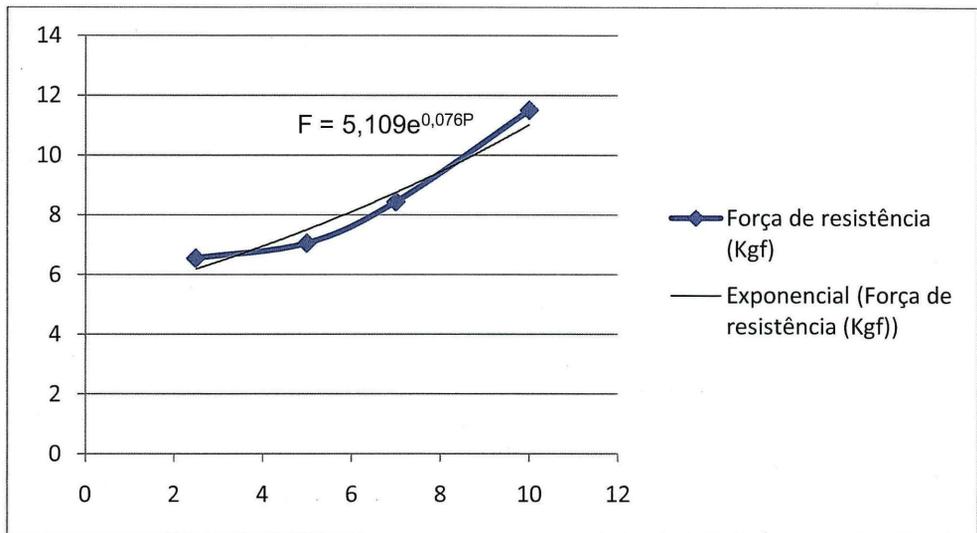


Gráfico 1 - Força de resistência mangueira de 38 mm (Kgf) em função da pressão estática (Kgf/cm²), referente tabela 2

Fonte: Autor, 2011.

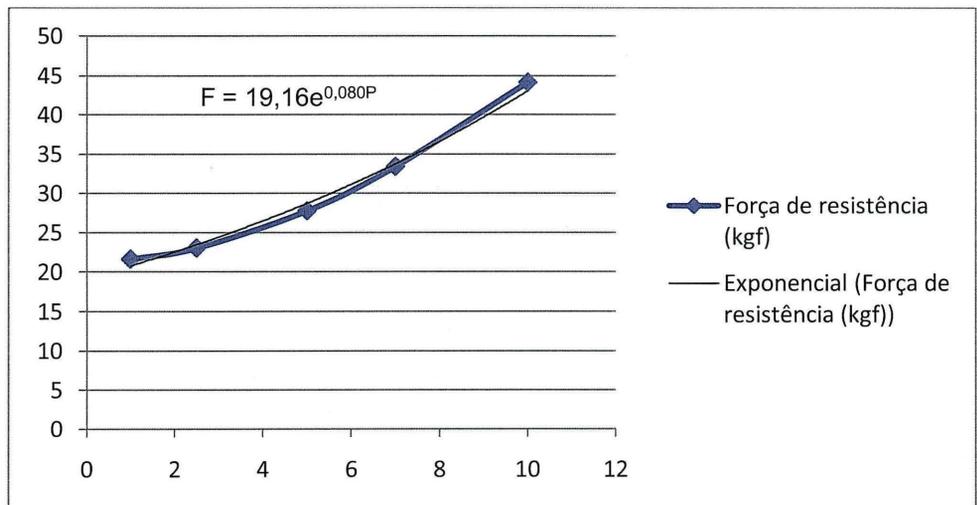


Gráfico 2 - Força de resistência mangueira de 63 mm (Kgf) em função da pressão estática (Kgf/cm²), referente tabela 2

Fonte: Autor, 2011.

As equações das funções exponenciais dos gráficos 1 e 2 são específicas deste experimento, não sendo uma generalização da força externa, que por análise da montagem experimental pode-se afirmar que se deve à força de resistência do material ao ser pressurizado, somada à força de atrito entre a mangueira e o solo. Para se ter uma generalização, seriam necessárias muitas medidas em diferentes tipos de terreno, pois para cada tipo de interação dos materiais da mangueira e do solo ter-se-á uma força diferente, devido às influências da força de atrito. Os dados acima apresentados são meramente um indicativo da existência desta força, que embora tenha influenciado no resultado das medidas da força de propulsão das mangueiras de incêndio ajudam a entender as diferenças das medidas da força real medida e da previsão teórica. A função exponencial foi a que melhor descreveu o comportamento desta força, pois pela análise desta função tem-se que quando a pressão aumenta bastante a força de resistência tende ao infinito. Para se imaginar como isto ocorreria, basta imaginar que para pressões elevadas a mangueira de incêndio tende a se comportar como uma tubulação rígida e não mais flexível. Abaixo estão dois gráficos com a expansão da função para verificação do que foi explicado.

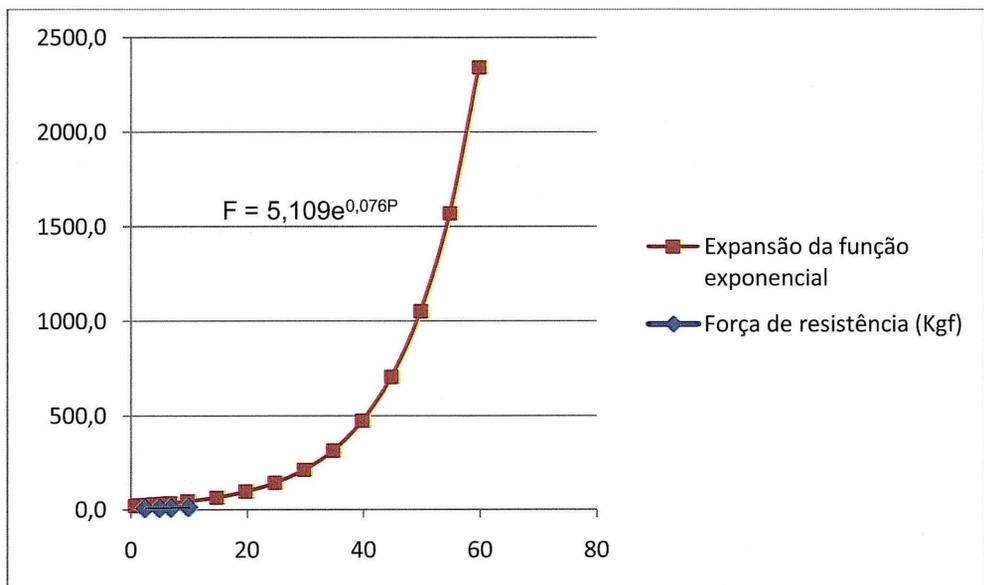


Gráfico 3 Expansão da função exponencial da força de resistência da mangueira de 38 mm, referente ao gráfico 1

Fonte: Autor, 2011

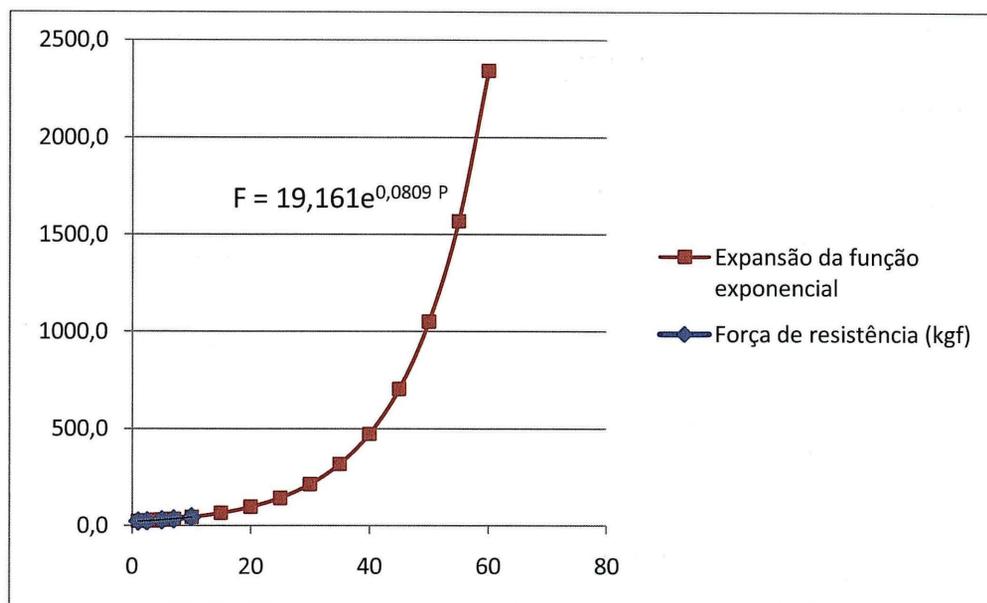


Gráfico 4 - Expansão da função exponencial da força de resistência da mangueira de 63 mm, referente ao gráfico 2

Fonte: Autor, 2011.

6.2 RESULTADOS E ANÁLISE DAS FORÇAS DE PROPULSÃO DAS MANGUEIRAS DE INCÊNDIO

Os resultados das medidas das forças de propulsão estão organizados por tipo de esguicho, e no caso dos esguichos de jato compacto, por diâmetro do requinte. Também foram realizadas medições com mangueiras de 38 mm e 63 mm.

Todas as tabelas de resultados serão acompanhadas de gráficos e análise para compreensão do fenômeno estudado.

Antes da apresentação, faz-se necessário esclarecer que a previsão teórica da força de propulsão das mangueiras de incêndio foi feita pela obtenção da vazão na saída dos esguichos de jato compacto com os requintes de 13, 19 e 25 mm, utilizando as mangueiras de 38 e 63 mm. Estas vazões foram obtidas utilizando o processo expedito de cálculo da vazão para bocais, trazido por Azevedo Netto et al.

(1998, p. 75), adaptada às unidades de pressão e vazão mais utilizadas pelos profissionais de engenharia e bombeiros, ficando com o seguinte formato:

$$Q = 0,654 \times D^2 \times (P)^{1/2} \quad (3)$$

Em que:

Q vazão em l/min

D diâmetro do requinte do esguicho em mm

P pressão lida com tubo de pitot na saída do esguicho em Kgf/cm²

Foram também comprovadas tais vazões por outras equações com variações insignificantes para o presente estudo. Com os resultados das vazões foi aplicada a equação da propulsão das mangueiras de incêndio (equação 2), conforme demonstrado na fundamentação teórica, equação esta que com dados de vazão e diâmetro do requinte pode-se calcular a força de propulsão.

Para os esguichos de jato ajustável foi estimado um diâmetro equivalente com base nos resultados obtidos nos esguichos de jato compacto, pois no jato ajustável não é possível obter a pressão dinâmica na saída do esguicho por intermédio do tubo de pitot. Uma das maneiras de obter a vazão nestes esguichos seria por medir o volume de água contra o tempo em um reservatório de volume conhecido, porém, foi testada pelo autor tal prática não obtendo valores precisos, pois a perda de carga aumenta conforme se aumenta a pressão e demandaria muito tempo e repetição de medidas para se aproximar a um valor confiável. Já que se tinham as medidas confiáveis da força de propulsão gerada no arranjo experimental, optou-se por aproveitar estes resultados para se determinar um diâmetro equivalente aos esguichos de ângulo ajustável para então poder utilizar a equação da força de propulsão.

Com a tabela 3 inicia-se a apresentação dos resultados para as forças de propulsão medidas com o arranjo experimental e sua previsão teórica.

**TABELA 3 – RESULTADOS DA FORÇA DE PROPULSÃO PARA ESGUICHO TIPO AGULHETA
COM REQUINTE DE 13 MM, MANGUEIRA DE 38 MM**

Pressão Bomba (Kgf/cm ²)	Pressão Tubo de Pitot (Kgf/cm ²)	Diâmetro Requite (mm)	Vazão (l/min)	Força Teórica (Kgf)	Força Medida (Kgf)	Diferença Teo/Med. %
3,2	3,4	13	204	8,9	8,70	1,91
3,8	4,3	13	229	11,2	10,95	2,38
5,0	5,5	13	259	14,3	13,85	3,47
6,0	6,5	13	282	17,0	16,10	5,05
7,5	8,0	13	313	20,9	19,70	5,60
8,4	8,9	13	330	23,2	21,55	7,18

Fonte: Autor, 2011

Ao analisar os dados da força de propulsão medida para o requinte de 13 mm e mangueira de 38 mm, conforme demonstra a tabela 3, verifica-se uma diferença entre a força medida e a previsão teórica com crescimento da diferença acompanhando o aumento da pressão. Estas diferenças devem-se à resistência pelo enrijecimento da mangueira de incêndio e pelo aumento da pressão, colaborada pela força de atrito que atua sobre todo sistema caminhão e mangueira, tornando-se uma força externa que age contrária à força de propulsão, conforme já foi explicado no item 6.1. O gráfico abaixo demonstra o comportamento destas forças.

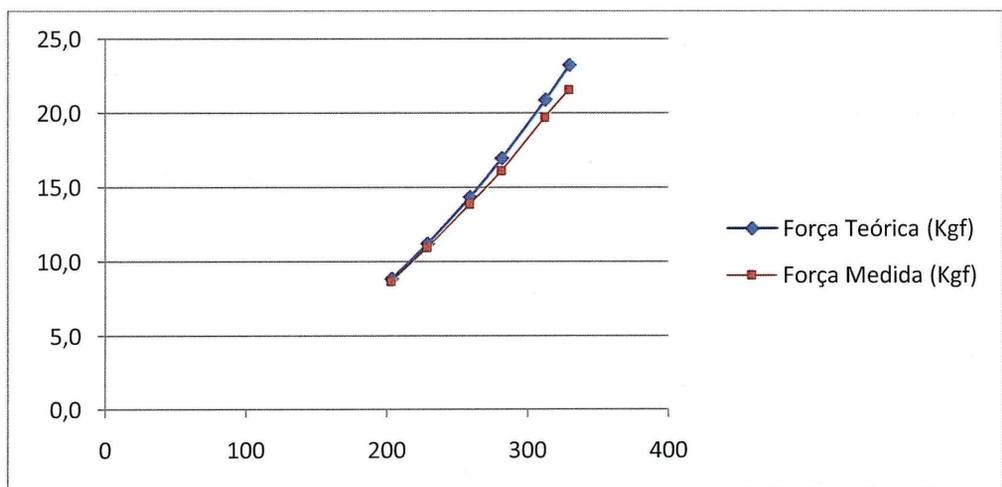


Gráfico - 5 Força de propulsão (Kgf) em função da vazão (l/min), referente tabela 3, mangueira de 38 mm, requinte de 13 mm

Fonte: Autor, 2011.

O gráfico 5 mostra o crescimento desta diferença podendo ser observada pelo distanciamento da curva da força medida em relação à força teórica calculada com a utilização da equação 2, com as pressões obtidas pela leitura na saída do esguicho com o Tubo de Pitot.

Trazem-se, na seqüência, os resultados da tabela 4, relativos às medidas realizadas com o esguicho de jato compacto, com requinte de 19 mm e mangueira de 63 mm.

TABELA 4 – RESULTADOS DA FORÇA DE PROPULSÃO PARA ESGUICHO TIPO AGULHETA COM REQUINTE DE 19 MM, MANGUEIRA DE 63 MM

Pressão Bomba (Kgf/cm ²)	Pressão Tubo de Pitot (Kgf/cm ²)	Diâmetro Requite (mm)	Vazão (l/min)	Força Teórica (Kgf)	Força Medida (Kgf)	Diferença Teo/Med. %
3,7	4,2	19	484	23,4	15,95	31,85
5,1	5,3	19	544	29,5	21,05	28,73
6	6,2	19	588	34,5	24	30,53
7	7,2	19	634	40,1	27,7	30,96
8,6	8,6	19	692	47,9	33,25	30,62
10	10	19	747	55,7	37,4	32,88
11	11	19	783	61,3	38,4	37,35
12	11,6	19	804	64,6	39,4	39,05

Fonte: Autor, 2011

Observa-se que a diferença entre a força medida e a teórica já se iniciou maior em relação aos dados anteriores. Isto se deve à diferença entre a força de resistência da mangueira de 38 mm e a de 63 mm, que é maior, como já foi visto no item 6.1. Pode-se verificar graficamente esta diferença representada a seguir no gráfico 6.

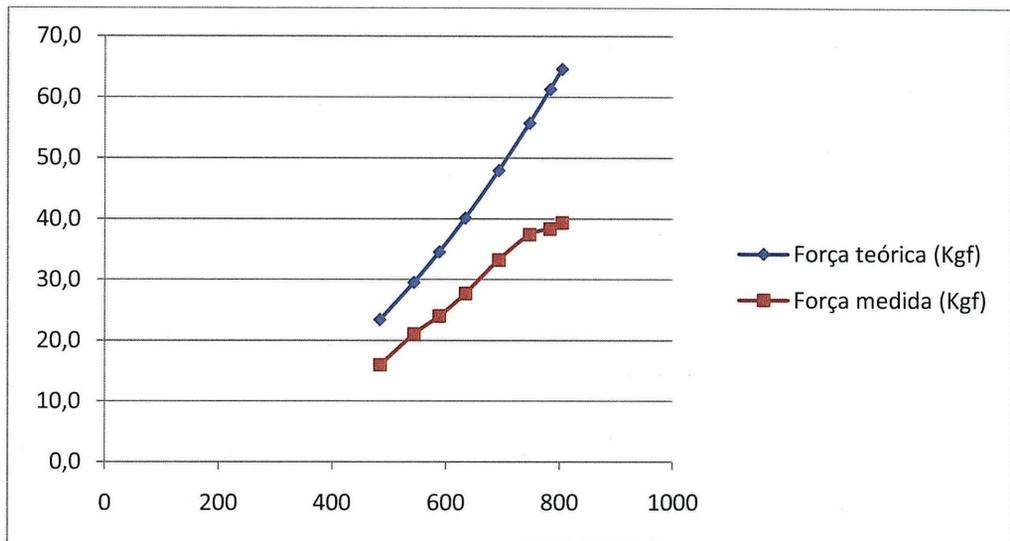


Gráfico 6 Força de propulsão (Kgf) em função da vazão (l/min), referente tabela 4

Fonte: Autor, 2011

Constata-se pela observação do gráfico acima que a curva da força medida ao seu final tende a se estabilizar e não crescer mais com o aumento da vazão. Já foi demonstrado que o aumento da vazão é em consequência do aumento da pressão. Ora, como visto no item 6.1 que com o aumento da pressão a força de resistência da mangueira de incêndio cresce de forma exponencial, logo, se esperava que a força medida tivesse tal comportamento por sofrer ação contrária da força de resistência.

Na tabela abaixo estão os resultados para o mesmo esguicho com requinte de 19 mm, porém com mangueira de 38 mm.

TABELA 5 – RESULTADOS DA FORÇA DE PROPULSÃO PARA ESGUICHO TIPO AGULHETA COM REQUINTE DE 19 MM, MANGUEIRA DE 38 MM

Pressão Bomba (Kgf/cm ²)	Pressão Tubo de Pitot (Kgf/cm ²)	Diâmetro Requite (mm)	Vazão (l/min)	Força Teórica (Kgf)	Força Medida (Kgf)	Diferença Teo/Med. %
2,4	2	19	334	11,1	10	10,27
2,5	2,1	19	342	11,7	11	6,00
5	4	19	472	22,3	20,1	9,82
7,5	5,9	19	573	32,9	27,7	15,75
10	7,4	19	642	41,2	33,25	19,37
12	9	19	708	50,2	37,4	25,43

Fonte: Autor, 2011

Abaixo, observa-se no gráfico 7 que a diferença entre as forças foi menor em relação ao gráfico anterior, entretanto, com comportamento semelhante da curva da força medida, por influência contrária da força de resistência da mangueira de incêndio.

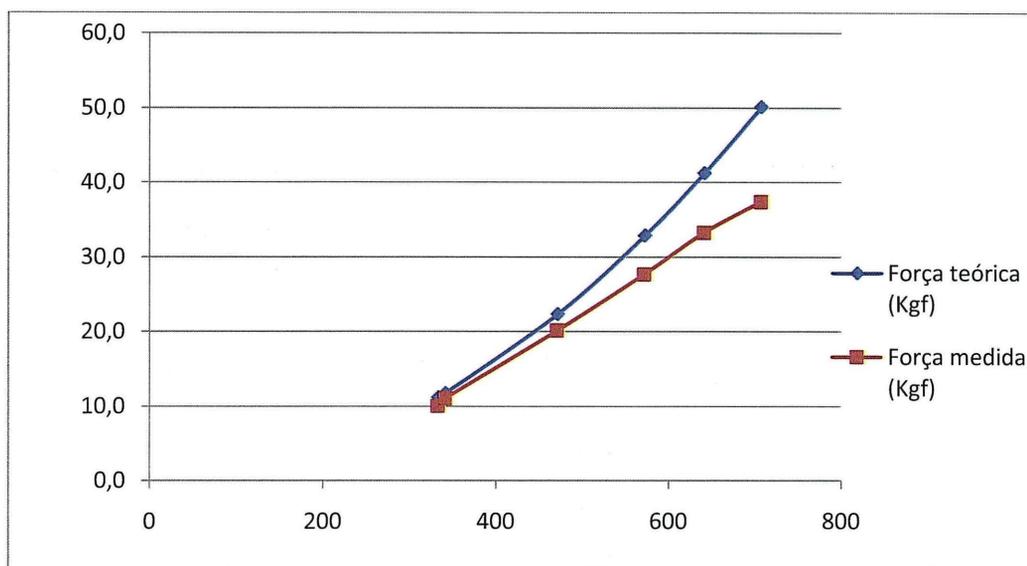


Gráfico 7 - Força de propulsão (Kgf) em função da vazão (l/min), referente tabela 5, mangueira de 38 mm, requinte de 19 mm

Fonte: Autor, 2011

Na seqüência, a tabela 6 apresenta os resultados para as forças de propulsão medidas com esguicho de jato compacto, com requinte de 25 mm e mangueira de 63 mm.

TABELA 6 – RESULTADOS DA FORÇA DE PROPULSÃO PARA ESGUICHO TIPO AGULHETA COM REQUINTE DE 25 MM, MANGUEIRA DE 63 MM

Pressão Bomba (Kgf/cm ²)	Pressão Tubo de Pitot (Kgf/cm ²)	Diâmetro Requite (mm)	Vazão (l/min)	Força Teórica (Kgf)	Força Medida (Kgf)	Diferença Teo/Med. %
3,4	3,4	25	754	32,8	23,0	29,9
5,5	5,5	25	959	53,1	38,0	28,4
6,5	6,5	25	1042	62,7	43,7	30,3
10,5	10	25	1293	96,5	70,0	27,4

Fonte: Autor, 2011

O gráfico abaixo representa o comportamento das forças medidas e das forças teóricas relativas à tabela 6. Não se observa ao final da curva da força medida uma visível tendência a se estabilizar, conforme foi observada nos gráficos 6 e 7. Isto se deve, provavelmente, a se terem poucas medidas e não ter sido elevada mais a pressão como nas duas séries de medidas anteriores.

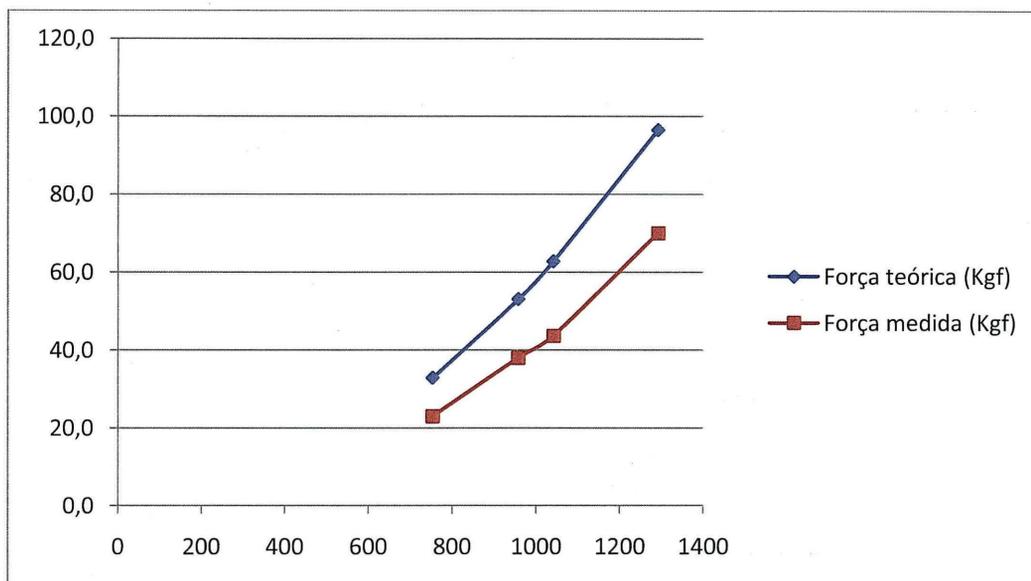


Gráfico 8 - Força de propulsão (Kgf) em função da vazão (l/min), referente tabela 6 – mangueira de 63mm, requinte de 25 mm

Fonte: Autor, 2011

A seguir, são apresentadas as medidas para o mesmo tipo de esguicho e diâmetro de requinte, mudando para a mangueira de 38 mm.

TABELA 7 – RESULTADOS DA FORÇA DE PROPULSÃO PARA ESGUICHO TIPO AGULHETA COM REQUINTE DE 25 MM, MANGUEIRA DE 38 MM

Pressão Bomba (Kgf/cm ²)	Pressão Tubo de Pitot (Kgf/cm ²)	Diâmetro Requite (mm)	Vazão (l/min)	Força Teórica (Kgf)	Força Medida (Kgf)	Diferença Teo/Med. %
3,4	2,9	25	696	28,0	17,2	38,5
4,4	3,6	25	776	34,7	22,0	36,7
5,0	4,1	25	828	39,6	25,5	35,5
6,7	5,3	25	941	51,1	32,5	36,4
7,5	5,9	25	993	56,9	37,0	35,0
8,5	6,5	25	1042	62,7	41,0	34,6
9,5	7,4	25	1112	71,4	46,0	35,6

Fonte: Autor, 2011

No gráfico 9, relativo aos dados da tabela 7, volta-se a observar o comportamento semelhante aos identificados nos gráficos 6 e 7, ou seja, crescimento da diferença entre a curva da força medida e teórica, com leve tendência a se estabilizar por parte da força medida pelo arranjo teórico.

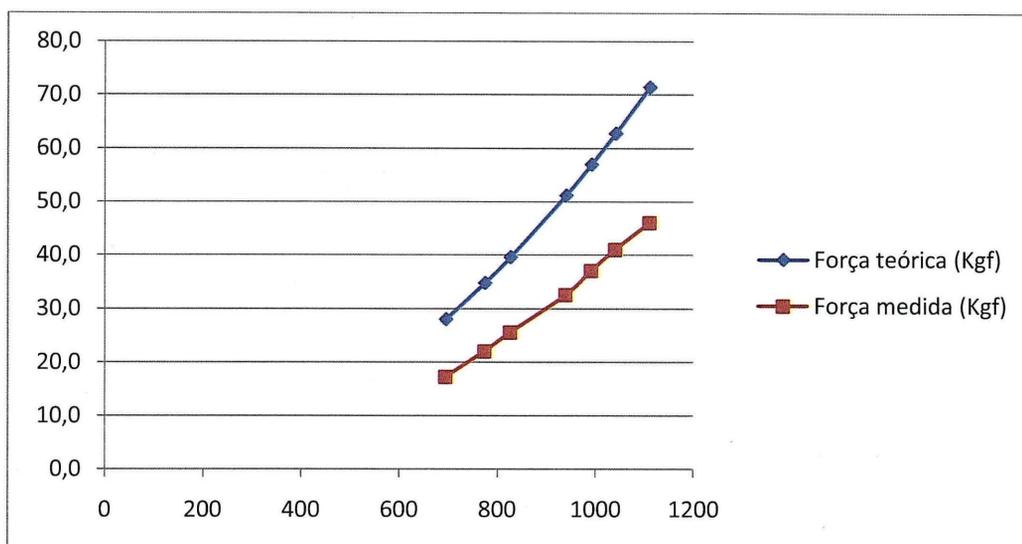


Gráfico 9 - Força de propulsão (Kgf) em função da vazão (l/min), referente tabela 7 – mangueira de 38 mm, requinte de 25 mm

Fonte: Autor, 2011

Passa-se, na sequência, a trazer os resultados das medidas de força com a utilização dos esguichos de jato ajustável.

TABELA 8 – RESULTADOS DA FORÇA DE PROPULSÃO PARA ESGUICHO DE ÂNGULO AJUSTÁVEL DE 63 MM, MANGUEIRA DE 63 MM

Pressão Bomba (Kgf/cm ²)	Diâmetro* equivalente (mm)	Vazão (l/min)	Força Teórica (Kgf)	Força Medida (Kgf)	Diferença Teo/Med. %
3,8	17	368	17,0	16,4	3,3
5,2	17	431	23,2	20,0	13,8
6,7	17	489	29,9	26,0	13,0
8,5	17	551	37,9	32,5	14,3
9,5	17	583	42,4	35,5	16,2
11,3	17	635	50,4	42,0	16,7
13,4	17	692	59,8	50,0	16,4
14,2	17	712	63,3	52,0	17,9

Nota: * Diâmetro equivalente obtido por experimentação da força de propulsão.

A pressão foi considerada sem cálculo de perda de carga, por observação de não haver perdas em mesma condição com requinte de 19 mm (ver tabela 4).

Fonte: Autor, 2011

Verifica-se comportamento parecido deste tipo de esguicho em relação aos de jato compacto. O gráfico 10 mostra este comportamento. Os dados foram coletados com o esguicho regulado para fornecer um jato semi neblinado, por ter sido comprovado que nesta posição a força medida era máxima. Tal critério foi seguido também para a coleta das medidas da tabela 9. Constata-se ainda pela análise das diferenças entre as forças teóricas e as forças medidas pelo arranjo experimental, para os esguichos ajustáveis, que elas são menores quando comparadas às diferenças apresentadas pelas forças geradas pelos esguichos de jato compacto. Isto se deve, na opinião deste pesquisador, pelo fato deste tipo de esguicho possibilitar melhor ajuste do arranjo experimental para a coleta das medidas.

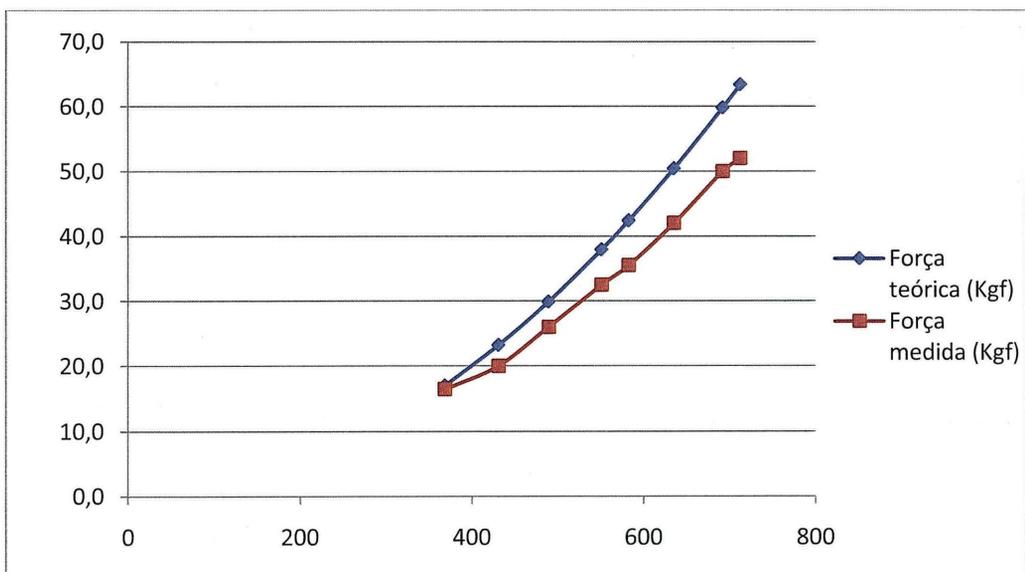


Gráfico 10 - Força de propulsão (Kgf) em função da vazão (l/min), referente tabela 8 – mangueira de 63 mm, esguicho ajustável de 63 mm

Fonte: Autor, 2011

Observa-se também na curva da força medida, a exemplo dos gráficos 6, 7 e 9, leve tendência ao final em se estabilizar por interferência contrária da força de resistência da mangueira de incêndio.

Abaixo são apresentados os resultados das medidas para o esguicho de jato ajustável de 38 mm.

TABELA 9 – RESULTADOS DA FORÇA DE PROPULSÃO PARA ESGUICHO DE ÂNGULO AJUSTÁVEL DE 38 MM, MANGUEIRA DE 38 MM

Pressão Bomba (Kgf/cm ²)	Pressão com desconto perda de carga (Kgf/cm ²)	Diâmetro* Equivalente (mm)	Vazão (l/min)	Força Teórica (Kgf)	Força Medida (Kgf)	Diferença Teo/Med. %
3,8	3,0	16	292	12,0	12,0	0,1
5,0	4,0	16	335	15,8	14,4	8,9
6,6	5,3	16	385	20,9	18,2	12,8
7,5	6,0	16	410	23,7	20,4	14,0
8,4	6,7	16	434	26,6	22,6	14,9
9,6	7,7	16	464	30,3	25,6	15,6
10,0	7,9	16	471	31,2	27,3	12,6
10,7	8,5	16	487	33,4	28,2	15,6
11,6	9,0	16	504	35,8	29,6	17,2
13,3	10,4	16	539	41,0	35,0	14,6

Nota: * Diâmetro equivalente obtido por experimentação da força de propulsão.

A pressão foi considerada com perda de carga média de 22 %, por observação das perdas em mesma condição com requinte de 19 mm (ver tabela 5).

Fonte: Autor, 2011

O gráfico 11 representa o comportamento das forças apresentadas na tabela

9.

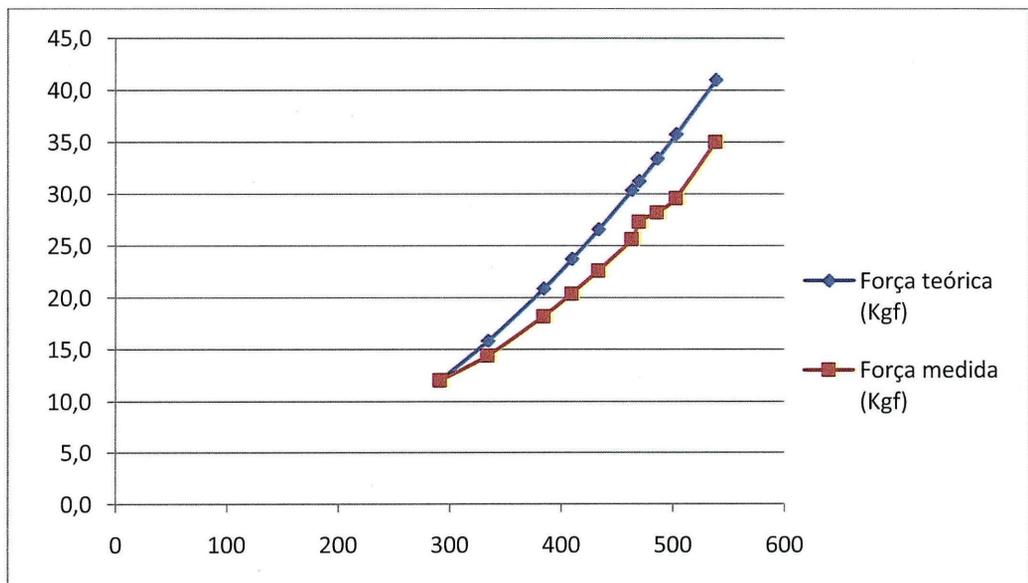


Gráfico 11 - Força de propulsão (Kgf) em função da vazão (l/min), referente tabela 9 – mangueira de 38 mm, esguicho ajustável de 38 mm

Fonte: Autor, 2011

Pela observação do gráfico 11, vê-se comportamento semelhante aos anteriores, contudo, não se observa a leve tendência ao final da curva de estabilização do crescimento da força medida, isto, possivelmente pela menor resistência que a mangueira de 38 mm oferece.

A seguir, traz-se os dados do esguicho de jato ajustável do tipo pistola, verificando-se comportamento atípico aos até então apresentados. Observa-se que as diferenças entre as forças medidas e as teóricas foram muito pequenas como se pode ver na tabela 10 e em suas curvas no gráfico 12.

TABELA 10 – RESULTADOS DA FORÇA DE PROPULSÃO PARA ESGUICHO TIPO PISTOLA AJUSTÁVEL DE VAZÃO CONSTANTE DE 38 MM, MANGUEIRA DE 38 MM

Pressão Bomba (Kgf/cm ²)	Pressão com desconto da perda de carga (Kgf/cm ²)	Diâmetro* Equivalente (mm)	Vazão (l/min)	Força Teórica (Kgf)	Força Medida (Kgf)	Diferença Teo/Med. %
7,0	5,6	15,5	372	20,8	19,9	4,2
8,5	6,8	15,5	410	25,2	24,9	1,3
9,4	7,5	15,5	431	27,9	28,2	-0,9
10,4	8,2	15,5	450	30,5	30,0	1,5

Nota: * Diâmetro equivalente obtido por experimentação da força de propulsão.

A pressão foi considerada com perda de carga média de 22 %, por observação das perdas em mesma condição com requinte de 19 mm (ver tabela 5).

Fonte: Autor, 2011

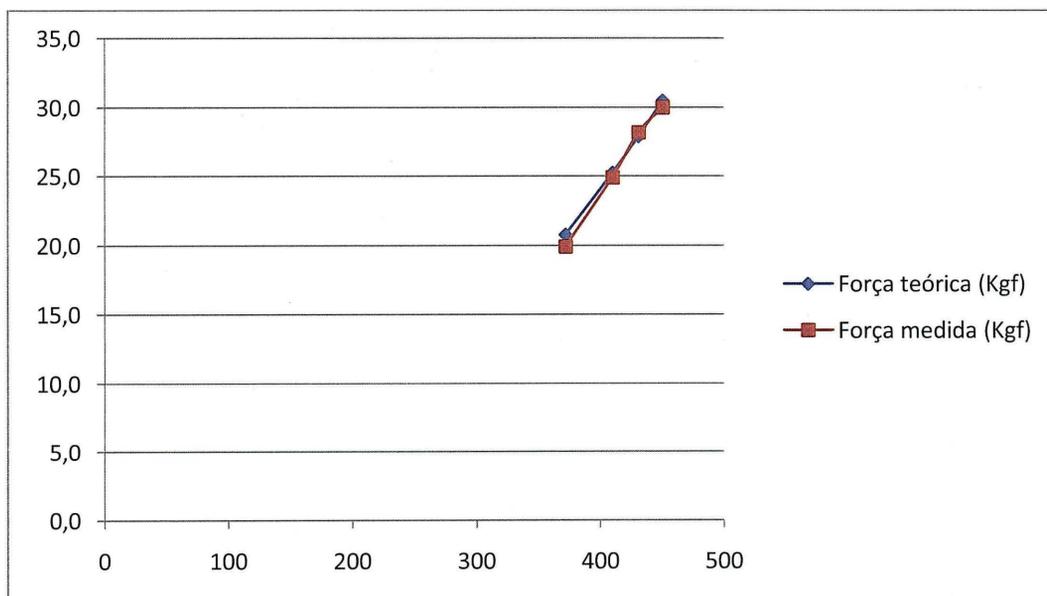


Gráfico 12 - Força de propulsão (Kgf) em função da vazão (l/min), referente tabela 10 – mangueira de 38 mm, esguicho ajustável tipo pistola de 38 mm

Fonte: Autor, 2011

Da análise do gráfico 12, acredita-se que tais diferenças ficaram minimizadas pelos dispositivos mais avançados de controle de jato que este tipo de esguicho possibilita quando comparado com o ajustável comum, representado pelos gráficos 10 e 11. Este esguicho tem registro independente do ajuste do jato e trabalha a uma pressão a partir de 6,8 Kgf/cm², fornecendo para uma mesma pressão vazão constante, independente do jato, o que não ocorre com o esguicho ajustável comum.

6.2.1 Validade da equação de propulsão das mangueiras de incêndio

Ao analisar as tabelas e gráficos das forças de propulsão verifica-se que a força de propulsão medida é diferente da previsão teórica. As tabelas trazem em sua última coluna esta diferença em percentuais. Pôde-se verificar também que, em geral, tal diferença aumenta com o aumento da pressão. Isto se deve porque a força de propulsão medida pelo arranjo experimental nada mais é que uma resultante de forças entre a força de propulsão propriamente dita e outras forças externas. Dentre as forças externas que atuam pode-se atribuir a maior interferência à força de atrito e ao enrijecimento da mangueira pelo aumento da pressão. Para entender como isto acontece, torna-se necessário resgatar a equação 1.

$$m_c \times \Delta v_c / \Delta t = \Delta P / \Delta t + \Delta m_c / \Delta t \times v_{exp}$$

Conforme já foi explanado na fundamentação teórica, esta equação traz a aceleração que todo sistema caminhão, bombeiro e mangueira de incêndio poderiam ganhar ao expelir água. Ocorre que no caso real a força de atrito impede que o caminhão se desloque na direção contrária de saída da água, como ocorre analogamente com os foguetes que jogam combustível pelo processo de queima para uma direção e se deslocam para outra. Situação semelhante irá acontecer quando se usa a mangueira de incêndio de um hidrante, este não irá se deslocar, pois está fixo.

Como não há o deslocamento do caminhão de bombeiro na direção contrária, a mangueira de incêndio sofre uma força de resistência, além da

resistência dela mesma pelo atrito com o solo. Por encontrar esta resistência do caminhão, a mangueira sofre uma compressão tendendo a se dobrar. Ocorre que ela se torna um duto semi – rígido pelo aumento da pressão interna, quanto maior a pressão, maior a resistência – ver gráficos 3 e 4. Tal comportamento constitui-se numa força externa que corresponde ao termo da equação $\Delta P/\Delta t$. Esta força não é estável, pois depende da pressão no interior da mangueira de incêndio. Somada a esta força tem-se a força de atrito, que também não é uma força estável e de fácil determinação. Neste trabalho procurou-se medir uma situação de atuação destas duas forças juntas, o que pode ser observado na tabela 2 e nos gráficos de 1 a 4. Pela análise dos gráficos, chegou-se à conclusão de que o aumento desta força se dá numa curva exponencial, ou seja, quanto mais se aumenta a pressão mais maior é o seu crescimento. Isto explica as aberturas acentuadas das curvas no final das medidas dos gráficos das forças de propulsão.

Para o cumprimento dos objetivos deste estudo esta força de resistência não será levada em consideração, pois apesar de agir aparentemente auxiliando o usuário do sistema preventivo, ela depende de muitos fatores que podem não coincidir, sendo os principais: a linha de aplicação da força resistência geralmente não coincide com a linha de aplicação da força de propulsão da mangueira, portanto, elas não se equilibram sem a ação de outra força, que normalmente é a força que o usuário deve aplicar; a força de atrito é uma força de contato que depende da força normal e do coeficiente de atrito, assim, irá variar para cada tipo de revestimento externo da mangueira e tipo de piso, se as superfícies estão secas ou molhadas, logo não se pode determinar sua contribuição com facilidade.

Fica, então, comprovada por medidas experimentais que a equação de propulsão de foguetes, adaptada à força de propulsão de mangueiras de incêndio é válida para o cálculo das forças de propulsão. Sua aplicabilidade é vasta, pois para qualquer vazão encontrada, basta saber o diâmetro do requinte do esguicho para se ter o valor da força de propulsão.

6.3 RESULTADOS E ANÁLISE DOS CÁLCULOS DAS FORÇAS DE PROPULSÃO DAS VAZÕES PREVISTAS EM NORMA

Abaixo serão apresentados valores da força de propulsão das mangueiras de incêndio calculados com base nas vazões estabelecidas pelo Código de Prevenção de Incêndios do Paraná (2001) e pela ABNT, NBR 13714 (2000), utilizando-se a equação 2.

TABELA 11 – FORÇAS DE PROPULSÃO PARA AS VAZÕES DO CÓDIGO DE PREVENÇÃO DE INCÊNDIOS DO PARANÁ - RISCO LEVE

Tipo de Esguicho	Esguicho diâmetro (mm)	Mangueira diâmetro (mm)	Vazão simples (l/min)	Vazão máxima (l/min)	F. Prop. Vz. simples (Kgf)	F. Prop. Vz. máxima (Kgf)
Agulheta	13	38	200	240	8,5	12,3
Agulheta	19	38	200	240	4,0	5,8
Ajustável* (storz 38mm)	16	38	200	240	5,6	8,1

Nota: * Diâmetro equivalente obtido por experimentação do próprio autor.
Fonte: Autor, 2011.

Verifica-se na tabela 11 que as forças geradas pelas vazões do risco leve estão abaixo do limite seguro estabelecido dentro dos pressupostos de capacidade física do usuário constantes no capítulo 4, item 4, que é de 20 Kgf.

TABELA 12 – FORÇAS DE PROPULSÃO PARA AS VAZÕES DO CÓDIGO DE PREVENÇÃO DE INCÊNDIOS DO PARANÁ - RISCO MODERADO

Tipo de Esguicho	Esguicho diâmetro (mm)	Mangueira diâmetro (mm)	Vazão simples (l/min)	Vazão máxima (l/min)	F. Prop. Vz. simples (Kgf)	F. Prop. Vz. máxima (Kgf)
Agulheta	19	38 ou 63	440	528	19,4	27,9
Agulheta	25	38 ou 63	440	528	11,2	16,1
Ajustável* (storz 38mm)	16	38	440	528	27,3	39,3
Ajustável* (storz 63mm)	17	63	440	528	24,2	34,8

Nota: * Diâmetro equivalente obtido por experimentação do próprio autor.
Fonte: Autor, 2011.

Para o risco moderado observa-se que para a vazão máxima permitida de 8,80 l/s ou 528 l/min tem-se algumas forças que estão acima do limite estabelecido no presente estudo, com os seguintes percentuais: para o esguicho de jato compacto com requinte de 19 mm, 28,2%, para o esguicho ajustável de 38 mm, 49,1% e para o esguicho ajustável de 63 mm, 42,1%.

TABELA 13 – FORÇAS DE PROPULSÃO PARA AS VAZÕES DO CÓDIGO DE PREVENÇÃO DE INCÊNDIOS DO PARANÁ - RISCO ELEVADO

Tipo de Esguicho	Esguicho diâmetro (mm)	Mangueira diâmetro (mm)	Vazão simples (l/min)	Vazão máxima (l/min)	F. Prop. Vz. simples (Kgf)	F. Prop. Vz. máxima (Kgf)
Agulheta	25	38 ou 63	660	792	25,2	36,2
Agulheta	32	38 ou 63	660	792	15,4	22,1
Ajustável* (storz 63mm)	17	63	660	792	54,4	78,3

Nota: * Diâmetro equivalente obtido por experimentação do próprio autor.
Fonte: Autor, 2011.

Nos cálculos do risco elevado, tem-se que para a vazão máxima permitida de 13,2 l/s ou 792 l/min, todas as forças ultrapassam o limite seguro estabelecido pelo presente trabalho nos seguintes percentuais: para o esguicho de jato compacto com requinte de 25 mm, 44,8%, para o esguicho de jato compacto com requinte de 32 mm, 9,5% e para o esguicho ajustável de 63 mm, 74,5%.

Tabela 14 – Forças de propulsão para as vazões da ABNT - NBR 13714 (2000) – Maior Risco

Tipo de Esguicho	Esguicho diâmetro (mm)	Mangueira diâmetro (mm)	Vazão simples (l/min)	Vazão máxima (l/min)	F. Prop. Vz. simples (Kgf)	F. Prop. Vz. máxima (Kgf)
Jato compacto	25	63	450	450	11,7	11,7
Regulável* (storz 65mm)	17	63	450	450	25,3	25,3

Nota: * Diâmetro equivalente obtido por experimentação do próprio autor.
Fonte: Autor, 2011.

Ao observar os dados da tabela 14, constata-se que a norma NBR 13714 (2000) da ABNT ultrapassa o limite de segurança na vazão simples de 450 l/min, com o esguicho ajustável, em 21%.

7 PROPOSTA DE LIMITES SEGUROS PARA VAZÕES DO SISTEMA PREVENTIVO

Com a aplicação da equação da força de propulsão (2) e considerando o limite seguro estabelecido como referência no item 4.4, de 20 Kgf, calcularam-se todas vazões máximas do Código de Prevenção de Incêndios do Paraná (2001), do risco moderado e elevado, para que respeitassem o limite de segurança. Abaixo são apresentadas as tabelas com as propostas de vazões a partir do risco moderado, por verificar que as vazões do risco leve não ultrapassaram o limite seguro.

TABELA 15 – PROPOSTA DE VAZÕES PARA O RISCO MODERADO

Tipo de Esguicho	Esguicho diâmetro (mm)	Mangueira diâmetro (mm)	Vazão simples (l/min)	Vazão máxima (l/min)	F. Prop. Vz. simples (Kgf)	F. Prop. Vz. máxima (Kgf)
Jato compacto	19	38 ou 63	400	440	16	19
Jato compacto	25	38 ou 63	400	440	9	11
Ajustável* (storz 38mm)	16	38	350	380	17	20
Ajustável* (storz 63mm)	17	63	380	400	18	20

Nota: * Diâmetro equivalente obtido por experimentação do próprio autor.

Fonte: Autor, 2011.

Abaixo é apresentada a tabela com as propostas de vazões de risco elevado para os estabelecimentos que não tem brigada própria, e na sequência, para os que têm brigada própria.

TABELA 16 – PROPOSTA DE VAZÕES PARA O RISCO ELEVADO – ESTABELECIMENTOS SEM BRIGADA PRÓPRIA

Tipo de Esguicho	Esguicho diâmetro (mm)	Mangueira diâmetro (mm)	Vazão simples (l/min)	Vazão máxima (l/min)	F. Prop. Vz. simples (Kgf)	F. Prop. Vz. máxima (Kgf)
Jato compacto	25	38 ou 63	500	550	14	17
Jato compacto	32	38 ou 63	500	550	9	11
Ajustável* (storz 63mm)	17	63	380	400	18	20

Nota: * Diâmetro equivalente obtido por experimentação do próprio autor.

Fonte: Autor, 2011.

TABELA 17 – PROPOSTA DE VAZÕES PARA O RISCO ELEVADO – ESTABELECIMENTOS COM BRIGADA PRÓPRIA

Tipo de Esguicho	Esguicho diâmetro (mm)	Mangueira diâmetro (mm)	Vazão simples (l/min)	Vazão máxima (l/min)	F. Prop. Vz. simples (Kgf)	F. Prop. Vz. máxima (Kgf)
Jato compacto	25	38 ou 63	550	600	17	20
Jato compacto	32	38 ou 63	550	600	11	13
Ajustável* (storz 63mm)	17	63	450	500	25	30

Nota: * Diâmetro equivalente obtido por experimentação do próprio autor.

Fonte: Autor, 2011.

Observa-se que todas as vazões respeitaram o limite de segurança para as forças de propulsão geradas pelas vazões de 20 Kgf, com exceção da proposta de risco elevado para estabelecimentos que sejam exigidos por norma a constituição de brigadas de incêndio, e mesmo assim, extrapolou somente no esguicho de ângulo ajustável que permite maior controle da vazão.

Para saber quais pressões são necessárias para proporcionarem estas vazões de acordo com cada tipo de esguicho utilizado, foi utilizada a equação do cálculo expedito da vazão (3), sendo apresentada na tabela 18 uma relação de pressão, vazão e força de propulsão para as vazões acima propostas.

Esta tabela também tem a proposta de fazer um comparativo com os diversos tipos de esguichos que podem ser utilizados no sistema preventivo. Verifica-se que os esguichos de ângulo ajustável exigem pressões maiores para se ter a mesma vazão. Regra geral, eles fornecem uma vazão cerca de 29% - esguicho de 38mm e 20% - esguicho de 63 mm, menor que o esguicho de jato compacto com requinte de 19 mm, que seria o esguicho com diâmetro mais próximo dos de ângulo ajustável de acordo com a norma do Paraná (2001). Pode-se dizer também que eles exigem uma pressão de aproximadamente 50% - esguicho de 38 mm e 35% - esguicho de 63 mm maior para fornecer uma mesma vazão do esguicho de jato compacto com requinte de 19 mm. Tais diferenças podem até se constituir uma incongruência das normas de prevenção que exigem dois tipos de esguichos para o mesmo sistema, pois eles não operam com as mesmas pressões. Fica, então, mais uma sugestão para as normas de prevenção em adequar a compatibilidade de esguichos ajustáveis ou compacto, não possibilitando o uso simultâneo no mesmo

sistema de hidrantes, salvo se forem de diâmetros aproximados, no caso requinte de 16 mm.

A prática e a experiência de bombeiro militar dizem que os esguichos ajustáveis são melhores para a maioria das operações de combate a incêndios, possibilitando melhor vaporização da água e maior controle do jato. Em algumas situações a falta de controle do jato, como é o caso dos esguichos de jato compacto que não possuem registro, pode causar maior dano pela água do que pelo próprio fogo.

TABELA 18 – RELAÇÃO DE PRESSÃO, VAZÃO E FORÇA DE PROPULSÃO PARA AS VAZÕES SUGERIDAS NAS TABELAS 15 A 17

Tipo de esguicho	Pressão saída do esguicho (Kgf/cm ²)	Diâmetro requinte (mm)	Vazão (l/min)	Força teórica (Kgf)
Jato compacto	3,5	19	440	20
Jato compacto	1,2	25	440	11
Jato compacto	1,5	25	500	15
Jato compacto	1,8	25	550	17
Jato compacto	2,1	25	600	20
Jato compacto	0,6	32	500	9,0
Jato compacto	0,7	32	550	11
Jato compacto	0,8	32	600	13
Ajustável* (storz 38mm)	4,5	16	350	18
Ajustável* (storz 38mm)	5,1	16	380	20
Ajustável* (storz 63mm)	4,0	17	380	18
Ajustável* (storz 63mm)	4,4	17	400	19
Ajustável* (storz 63mm)	5,8	17	450	26
Ajustável* (storz 63mm)	7,0	17	500	30

Nota: * Diâmetro equivalente obtido por experimentação do próprio autor.
Fonte: Autor, 2011.

8 CONCLUSÃO

O estudo desenvolvido neste trabalho comprova que a equação de propulsão de foguetes, adaptada à propulsão de mangueiras de incêndio se constitui numa ferramenta para se mensurar as forças de propulsão geradas pelas mangueiras de incêndio dos sistemas de hidrantes ou de outros sistemas que utilizem mangueiras de incêndio.

A força de propulsão das mangueiras de incêndio é proporcional ao produto da vazão de massa pela vazão volumétrica e inversamente proporcional à área da seção transversal do requinte dos esguichos ($F_{\text{propulsão}} = \Delta m/\Delta t \times Q/A$). Para os esguichos de ângulo ajustável foi estimado por observação experimental das forças de propulsão geradas por eles um diâmetro equivalente de 16mm para o esguicho de 38 mm e de 17mm para o esguicho de 63 mm. Tais valores podem ter variação de acordo com o fabricante do esguicho. No experimento foram utilizados esguichos em uso pelo Corpo de Bombeiros do Paraná.

Com o emprego da equação de propulsão das mangueiras de incêndio foi possível estimar as forças geradas pelas vazões da norma preventiva do Paraná (2001) e da ABNT, NBR 13714 (2000), comparando-as com o limite de segurança para operação de mangueiras de incêndio de 20 Kgf, estabelecido com base em experiências práticas e análise do peso médio do brasileiro do sexo feminino e masculino, entre 18 e 64 anos. Da análise que se fez destas forças comprova-se que as vazões do risco moderado e elevado podem gerar forças acima do limite seguro variando de 28,2 a 49,1% para o risco moderado e de 9,5 a 74,5% para o risco elevado.

Diante do quadro acima, foram apresentadas propostas de vazões que respeitam o limite de segurança, variando entre 350 e 440 l/min para o risco moderado e 380 a 550 l/min para o risco elevado, sugerindo uma subclasse dentro do risco elevado para os estabelecimentos em que for exigida por norma a constituição de brigadas de incêndio próprias, podendo variar a vazão entre 450 e 600 l/min.

Com a equação da força de propulsão foi possível também traçar um comparativo entre os esguichos de jato compacto e os de ângulo ajustável, verificando-se que os esguichos ajustáveis exigem maior pressão de trabalho para

fornecer uma mesma vazão em relação aos esguichos de jato compacto requeridos pelas normas preventivas do Paraná (2001) e da ABNT, NBR 13714 (2000). Propõe-se que haja compatibilidade na exigência das normas entre os diâmetros dos esguichos de jato compacto com os esguichos de ângulo ajustável, para que nenhum deles ultrapasse o limite de segurança.

Conclui-se que a equação da força de propulsão de mangueiras de incêndio se constitui numa ferramenta útil para estimar forças de propulsão, possibilitando adequar vazões dos sistemas preventivos por hidrantes dentro do limite aceitável de segurança para a operação das mangueiras de incêndio, sejam por usuários leigos ou por profissionais da prevenção e combate a incêndios.

REFERÊNCIAS

- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 11861**: Mangueiras de incêndio – Requisitos e métodos de ensaio. Rio de Janeiro, 1998.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5626**: Instalação predial de água fria. Rio de Janeiro, 1999.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 13714**: Sistemas de hidrantes e de mangotinhos para combate a incêndio. Rio de Janeiro, 2000.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 14870**: Esguichos de jato regulável para combate a incêndio. Rio de Janeiro, 2002.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 12779**: Inspeção manutenção e cuidados em mangueiras de incêndio. Rio de Janeiro, 2004.
- AZEVEDO NETTO, J. M.; FERNANDEZ, M. F.; ARAÚJO, R.; ITO, A. E. **Manual de Hidráulica**. 8.ed. São Paulo: E. Blucher, 1998.
- BRASIL. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). **Médias de altura e peso da população**. Disponível em: <http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/populacao/condicaodevida/pof/2008_2009_encaa/tabelas_pdf/tab1_1.pdf>. Acesso em: 28 abr. 2011.
- FOX, ROBERT W.; MCDONALD, ALAN T.; PRITCHARD, PHILIP J. **Introdução à Mecânica dos Fluidos**. 6.ed. Rio de Janeiro: LTC, 2004.
- NATIONAL FIRE PROTECTION ASSOCIATION. **NFPA 14**: Standard for the Installation of Standpipe and Hose Systems. Atlanta, 2003.
- PARANÁ. Polícia Militar do Paraná. Comando do Corpo de Bombeiros. **Código de Prevenção de Incêndios**. Curitiba, 2001.
- PARANÁ. Polícia Militar do Paraná. Comando do Corpo de Bombeiros. **Manual de Combate a Incêndios**. Curitiba, 2008.
- SEITO, A. I. et al. **A Segurança Contra Incêndios no Brasil**. São Paulo: Projeto Editora, 2008.
- TIPLER, P. A. **Física para engenheiros e cientistas**. 4. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2000.