



UNIVERSIDADE DO VALE DO ITAJAÍ
CENTRO DE CIÊNCIAS TECNOLÓGICAS
DA TERRA E DO MAR
Curso Superior de Tecnologia em Gestão de
Emergências

A UTILIZAÇÃO DE POLÍMEROS SUPERABSORVENTES EM
COMBATE A INCÊNDIO EM EDIFICAÇÕES

Willian Leal Nunes

Orientadora: Rachel Faverzani Magnago, Dr^a

Co-orientador: Cap. BM Paulo Diniz Arruda Nunes

São José, Junho/2009



UNIVERSIDADE DO VALE DO ITAJAÍ
CENTRO DE CIÊNCIAS TECNOLÓGICAS
DA TERRA E DO MAR
Curso Superior de Tecnologia em Gestão de
Emergências

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

A UTILIZAÇÃO DE POLÍMEROS SUPERABSORVENTES EM
COMBATE A INCÊNDIO EM EDIFICAÇÕES

Willian Leal Nunes

Monografia apresentada à banca examinadora do Trabalho de Conclusão de Curso Superior de Tecnologia em Gestão de Emergências como parte dos requisitos necessários para a obtenção do grau de Tecnólogo em Gestão de Emergências.

São José, Junho/2009

WILLIAN LEAL NUNES

A UTILIZAÇÃO DE POLÍMEROS SUPERABSORVENTES EM INCÊNDIOS EM EDIFICAÇÕES

Esta Monografia foi julgada adequada para a obtenção do título de Tecnólogo em Gestão de Emergências e aprovada pelo Curso Superior de Tecnologia em Gestão de Emergências, da Universidade do Vale do Itajaí, Centro de Educação de São José.

Florianópolis, 15 de junho de 2009.

Prof. Dra. Rachel Faverzani Magnago
UNIVALI – CE de São José
Orientadora

Major BM Vanderlei Vanderlino Vidal
Corpo de Bombeiros Militar de Santa Catarina
Membro

Capitão BM Marcos Alves da Silva
Corpo de Bombeiros Militar de Santa Catarina
Membro

Dedicatória

A meus pais, pelo caráter exemplar que sempre demonstraram e por acreditar em mim desde o princípio.

E à Andréia, pela resignação à minha constante ausência, o que não foi pretexto para reduzir nosso sentimento.

AGRADECIMENTOS

Agradeço ao Grande Arquiteto do universo, Deus, por me dar esta e outras oportunidades, às quais nem sempre fui merecedor;

Aos meus pais, José Carlos e Márcia, e os de minha esposa, Valmor e Divanir, por sempre ter uma palavra de apoio nos ajudando a superar os obstáculos que a vida nos propõe;

À minha irmã, Angela, e seu marido, Diego, pela ajuda e suas presenças eventuais que aliviaram meu espírito;

Meus colegas de classe, Anderson, Andreyra, Alves, Elis, Fábio, Felipe, Henrique, Iranildo, Muniz, Maxuell, Nilton, Priscila, Rafael, Ribeiro e Thiago, que muito me ajudaram no curso, mesmo quando discordando das minhas opiniões;

À professora Rachel Faverzani Magnago, pela presteza em apoiar esta obra desde sua concepção;

Aos capitães Diniz e Marcos, pelo apoio técnico deste trabalho e pela disponibilidade para monitorar o teste em escala real;

E principalmente à minha esposa Andréia, por se manter sempre ao meu lado, incondicionalmente, ante as minhas dificuldades e angústias.

Que Deus lhes abençoe.

“Muitos teriam chegado à sabedoria se não
acreditassem que já eram suficientemente sábios.”

Juan Luís Vives

RESUMO

Desde o início da atividade do corpo de bombeiros a água é utilizada para apagar incêndios. Uma nova possibilidade surge com a utilização de polímeros superabsorventes que agregam moléculas d'água em sua cadeia, em fortes ligações que não permitem que esta água evapore, mesmo sob intensas condições de calor.

Este tipo de polímero é a composição do Barricade Fire Blocking Gel®, um retardante de chamas. Este trabalho avaliou a eficácia deste produto, que misturado em proporções entre 3% e 0,75% forma um gel, o qual foi aplicado na superfície de diversos tipos de combustíveis sólidos.

O primeiro ensaio foi realizado em ambiente controlado, no laboratório de química da Univali em São José, onde se aplicou o gel em amostras de madeira, tecido e espuma, e então as mesmas foram submetidas à ação direta das chamas de um Bico de Bunsen. Neste ensaio, o Barricade Fire Blocking Gel® se mostrou muito eficaz, retardando a combustão dos combustíveis sólidos quando comparado com amostras semelhantes sem qualquer tratamento.

Outro ensaio foi realizado, em escala real, no laboratório de combate a incêndio do CBMSC em Joaçaba, utilizando-se engradados de madeira como combustível sólido, os quais foram envoltos pelas chamas de 2 litros de gasolina.

Na proporção de 0,75% o gel se mostrou eficaz, debelando as chamas com tempos de 3 e 4 segundos nos ensaios, tempo menor que o de combate com água (pura) nas mesmas condições, que foi de 10 e 13 segundos.

Resultados positivos também foram obtidos no ensaio que avaliou a retardância do gel nos engradados. Pôde-se perceber que a eficácia do gel na proporção de 3% foi maior que a 0,75%, devido à espessura da camada de proteção.

Ao final dos ensaios, conclui-se que o Barricade Fire Blocking Gel® é eficaz, seja aplicado como retardante de chamas ou como agente extintor, todavia, não é eficiente se utilizado com os equipamentos hidráulicos já existentes na corporação, sendo necessário desenvolver outro método para a aplicação do gel.

Palavras Chave: Polímeros superabsorventes, combate a incêndio, incêndio em edificações.

ABSTRACT

Since the beginning the fire fighter activity water is used for extinguishing fires. A new opportunity arises with the use of superabsorbent polymers that add water molecules in its chain in strong ties which prevents the water from evaporating, even under conditions of intense heat.

This type of polymer is the composition of Barricade Fire Blocking Gel ®, a flame retardant. This study evaluated the effectiveness of this product, which mixed in proportions between 3% and 0.75% as a gel, which was applied to the surface of several types of solid fuels.

The first test was conducted in a controlled environment in the chemistry laboratory of Univali in São José, where the gel was applied in samples made of wood, fabric and foam, and then they were subjected direct to a flame source which was Bunsen burner. In this test, the Barricade Fire Blocking Gel ® was very efficient, slowing the combustion of solid fuels when compared to similar samples without any treatment.

Another test was conducted in scale in the laboratory firefighting of CBMSC in Joaçaba, using wooden crates as solid fuel, which was wrapped in flames, 2 liters of gasoline.

In proportion of 0.75% gel was effective, tackled the flames with times of 3 and 4 seconds in the trials, less than the time to fight with water (pure) under the same conditions, which was 10 to 13 seconds.

Positive results were also obtained in the test that assessed the slowing of the gel in crates. It was aware that the effectiveness of the gel at a ratio of 3% was higher than 0.75%, due to the thickness of protection.

At the end of the tests, was concluded the Barricade Fire Blocking Gel ® is effective, used as flame retardants or as the extinguishing agent, however, is not effective if used with the hydraulic equipment in the existing corporation, being necessary to develop another method for applying the gel.

Keywords: superabsorbent polymers, fire fighting, fire in buildings.

SUMÁRIO

Agradecimentos.....	II
Resumo	IV
Abstract	V
Sumário	VI
Lista de Fotos	VIII
1 Introdução.....	1
2 Referencial Teórico.....	3
2.1 Propriedades Químicas dos Polímeros.....	4
2.2 Corpo de Bombeiros Militar de Santa Catarina	12
2.2.1 <i>Histórico da atividade</i>	12
2.2.2 <i>Previsão Legal</i>	14
2.2.3 <i>O Corpo de Bombeiros no novo milênio</i>	15
3 Objetivos.....	20
3.1 Geral.....	20
3.2 Específico	20
4 Metodologia	21
4.1 Teste em laboratório	21
4.1.1 Materiais utilizados:	21
4.1.2 Procedimento	22
4.2 Teste em escala real.....	25
4.2.1 Materiais utilizados:	25
4.2.2 <i>Pré-testes</i>	42

4.2.3	<i>Procedimento</i>	42
5	Resultados e Discussões.....	44
5.1	Teste em laboratório	44
5.2	Pré-testes	48
5.3	Ensaio em escala real.....	49
5.3.1	Extinção com água	50
5.3.2	Retardância do Barricade Fire Blocking Gel® (solução 3%)	52
5.3.3	Retardância do Barricade Fire Blocking Gel® (solução 0,75%)	58
5.3.4	Extinção com Barricade Fire Blocking Gel® (solução 0,75%).....	62
6	Conclusão.....	65
7	Referencial Bibliográfico	67

LISTA DE FOTOS

Foto 1: Viscosidade da mistura a 3% de Barricade Fire Blocking Gel® e água.	22
Foto 2: Viscosidade da mistura a 0,75% de Barricade Fire Blocking Gel® e água.	23
Foto 3: Amostra de madeira com a mistura à 3% e outra amostra molhada com água.	23
Foto 4: Chama do Bico de Bunsen posicionada de forma paritária entre as amostras de madeira.....	24
Foto 5: Tecido de algodão molhado à esquerda e mistura a 0,75% à direita, com a chama no centro.....	24
Foto 6: Espuma molhada e com a mistura a 0,75% de gel.	25
Foto 7: Chama posicionada bem ao centro da espuma.	25
Foto 8: Barricade Fire Blocking Gel®.....	27
Foto 9: Caixa d'água de 500 litros.....	28
Foto 10: Cronômetro digital.....	29
Foto 11: Funil de plástico.....	29
Foto 12: Embalagem PET 2 litros.	30
Foto 13: Isqueiro.....	30
Foto 14: Engradado de madeira.....	31
Foto 15: Engradado de madeira (vista superior).	32
Foto 16: Blocos de cimento.....	32
Foto 17: Fôrma metálica.....	33
Foto 18: Gasolina.....	33
Fotos 19 e 20: Bomba-reboque.....	34
Foto 21: Redutor Storz de cobre.....	35
Foto 22: Esguicho regulável.....	36
Foto 23: Mangueira de incêndio.....	37
Foto 24: Remo de madeira.....	38
Foto 25: Mangote.....	39
Foto 26: Válvula de pé de crivo.....	39

Foto 27: Viatura Auto Bomba Tanque e Resgate.....	40
Foto 28: Equipamento de Proteção Individual de combate a incêndio.	41
Foto 29: Capacete Galett.....	41
Foto 30: Sistema para o ensaio (cotado).	43
Foto 31: Detalhe da parte inferior do sistema.....	43
Fotos 32 e 33: Parte da amostra a 3% que sofreu carbonização externa (parte mais próxima da outra amostra e diretamente sob as chamas).	44
Foto 34: Início da queima do tecido na parte que estava molhada com água.	45
Foto 35: Resultado final da combustão do tecido. Apenas a parte umedecida com água foi carbonizada até o fim.....	46
Foto 36: Espuma seca em combustão.....	47
Foto 37: Espuma seca completamente queimada.....	47
Foto 38: Queima do combustível líquido.....	48
Foto 39: Engradado após 6 minutos.	49
Foto 40: Engradado após um dos ensaios. Prova de combustão intensa.	50
Foto 41: Válvula de retenção submersa e conectada ao mangote.	51
Foto 42: Sistema hidráulico completo.	51
Foto 43: Engradado queimando.....	52
Foto 44: Mistura a 3%.....	53
Foto 45: Engradado sendo submergido no gel com 3% de concentração.....	54
Foto 46: Engradado sendo submetido às chamas.	55
Foto 47: Engradado após 4 minutos e 40 segundos.	56
Foto 48: Engradado ainda com gel, ao final do teste de retardância.....	56
Foto 49: Engradado após teste de retardância com 3%.....	57
Foto 50: Lado mais exposto ao fogo.	57
Foto 51: Mistura a 1,5%.....	58
Foto 52: Engradado sendo submergido no gel a 0,75%.....	59
Foto 53: No final do teste, permaneceram poucas chamas.	60
Foto 54: Pequenas chamas na parte posterior do engradado.....	60

Foto 55: Depois de 9 minutos do início do teste.....	61
Foto 56: Camada de gel ainda presente sobre o engradado.....	62
Foto 57: Camada de gel sobre as ripas do engradado.....	63
Foto 58: A intensa combustão reduziu a seção das ripas.	64

1 INTRODUÇÃO

A interação entre o homem e o fogo é tão antiga que não há data certa de quando esta se iniciou. Mas é certo que esta relação é muito estreita desde seu início.

Fato notório, o fogo permitiu ao homem uma evolução que o elevou perante as outras espécies, como fornecimento de luz, calor, proteção, preparação de alimentos e posteriormente seu uso nas indústrias.

Mas este mesmo fogo que acelerou a evolução humana também se mostrou muito perigoso quando fugia do controle que o homem tentava lhe impor. Assim surgiram os primeiros incêndios, e a necessidade do homem de combatê-los.

Rotineiramente, usa-se água para supressão do fogo. Todavia, não se admite mais que os bombeiros empreguem grandes quantidades de água para combater pequenos incêndios, tendo em vista que os danos gerados pela água podem ser maiores que os causados pelo fogo.

Há exemplos de incêndios em Portugal¹, Itália² e Estados Unidos³ em que os danos causados pela água foram muito superiores aos causados pelo fogo, tanto na estrutura do imóvel quanto nos bens que lá estão.

Embora atualmente novas técnicas estejam sendo desenvolvidas para minimizar os danos causados pelos bombeiros nos incêndios, nas décadas que se precederam, não ocorreu nenhuma mudança significativa na forma de se apagar incêndios.

Então, como promover o desenvolvimento de novas técnicas de combate a incêndio? Podemos inovar em procedimentos ou em novos agentes extintores de chamas.

Novos procedimentos sempre são complicados para se aplicar nas corporações, devido ao costume das guarnições, e sua transição é mais lenta do que a utilização de um novo agente extintor, mesmo que exija a aplicação de uma nova técnica.

No início da década de 90, o bombeiro John Bartlett do estado da Califórnia, nos Estados Unidos, encontrou uma fralda intacta durante o rescaldo⁴ de um incêndio,

¹ <<http://diario.iol.pt/sociedade/porto-universidade-incendio-fogo-reitoria-bombeiros/948494-4071.html>>. Acesso em: 22 jul. 2008.

² <<http://www.aber.org.br/v2/noticia.php?IdNoticia=1788>>. Acesso em: 25 ago. 2008.

³ <http://www.hploco.com/wtc/Acontecimentos_...html>. Acesso em: 25 ago. 2008.

⁴ O rescaldo é uma operação de revisão efetuada pelos bombeiros logo após a extinção das chamas

dentro de uma lixeira. A fralda ainda estava úmida com a urina do bebê que a havia utilizado, mesmo permanecendo sob as chamas que haviam queimado todo o material que estava na lixeira.⁵

O incêndio não teve nada de extraordinário, mas a fralda molhada chamou a atenção do bombeiro. Bartlett descobriu que o gel absorvente da fralda evitou a evaporação do líquido, e assim não permitiu que a mesma fosse carbonizada, pois criou uma barreira que protegeu a fralda das chamas.

O gel que estava na fralda é formado pela retenção de água por um polímero superabsorvente. O nome deste polímero superabsorvente é poliacrilato de sódio (PEREIRA et al., 2007).

Com base neste polímero, a empresa Barricade Inc, de propriedade de John Bartlett, criou um produto retardante de chamas, o Barricade Fire Blocking Gel®.

Há vários depoimentos de bombeiros com mais de 15 anos de serviço que afirmam a eficiência do produto, além de outros que garantem ter suas vidas salvas graças à proteção do gel.

Para tanto, este trabalho objetiva avaliar a aplicação desta nova tecnologia em combate a incêndios estruturais que é a aplicação de polímeros superabsorventes como aditivos à água de combate a incêndio.

Para tal serão realizadas experiências em laboratórios, ambientes controlados, e também em escala real, utilizando os recursos da própria corporação, numa pesquisa inédita no Brasil, colocando o Corpo de Bombeiros Militar de Santa Catarina na vanguarda dos outros corpos de bombeiros.

a fim de extinguir qualquer fonte que possa causar uma re-ignição dos materiais combustíveis, como brasas ou combustíveis em alta temperatura.

⁵ Diversas fontes.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

A milenar interação entre o homem e o fogo dispõe de um novo capítulo: nos Estados Unidos foi desenvolvido um produto que permite aos corpos de bombeiros um combate às chamas mais eficaz.

Desde os anos 90 o Departamento de Incêndio de Los Angeles (LAFD) vem utilizando o Barricade Fire Blocking Gel®, para proteger residências que estão no caminho de incêndios florestais que avançam sem controle, prevenindo que as casas sejam queimadas.

Este produto vem sendo utilizado amplamente no combate e controle de incêndios florestais nos Estados Unidos e na Austrália, sendo que bombeiros com mais de 15 anos de serviço afirmam ter tido suas vidas salvas pela atuação do gel⁶.

O capitão Gorden Sabo do Departamento de Incêndio de Rockerville, em Dakota do Sul (EUA), que conta com 18 anos de serviço, afirmou que num incêndio florestal onde as chamas chegavam a mais de 200 pés (60 metros) de altura as estruturas protegidas pelo gel do Barricade permaneceram intactas enquanto todas as outras foram dizimadas.

O Chefe Joe Lowe Coordenador estadual de incêndios florestais em Dakota do Sul (EUA) diz que o Barricade é uma importante ferramenta de trabalho e que produz resultados extraordinários.

Não só os bombeiros combatentes, mas especialistas afirmam que o produto é muito eficaz. Dentre estes, Dr. Hal Ellis, pesquisador sobre a criação de barreiras ao fogo nos Estados Unidos, garante que o Barricade é um degrau gigante para o combate a incêndios florestais, e que o produto pode salvar mais casas e valores do que se pode contar.

Esta interação entre o polímero e a atividade bombeiril será explanada neste referencial teórico, em dois capítulos, no primeiro sobre polímeros e suas características, e no segundo, um apanhado sobre a atividade do Corpo de Bombeiros Militar de Santa Catarina (CBMSC).

⁶ Disponível em < <http://www.firestopllc.com/>>.

2.1 PROPRIEDADES QUÍMICAS DOS POLÍMEROS

Polímeros são macromoléculas de alta massa molar, formadas por unidades de moléculas menores, chamadas monômeros (MARCONATO e FRANCHETTI, 2002).

O termo poli vem do grego e significa muitos. Já o termo meros significa partes (FRIED, 1995). Assim, etimologicamente, polímeros são muitas partes de algo que se repete.

Hein e Arena (1998) sugerem que a origem do termo polímero vem da palavra polumeres, a qual significa “que tem muitas partes”.

Vale salientar que polímeros são macromoléculas, e não apenas um agrupamento de alguns monômeros. Se algumas unidades de monômeros forem agrupadas, o resultado será um polímero de baixo peso molecular, o qual é chamado de oligômero como descreve Stevens (1999).

O termo oligos vem do grego, e significa poucos. Assim, pode-se ver com clareza que a caracterização de um polímero está na grande quantidade de meros congregados e seu alto peso molecular.

Os polímeros podem ser classificados através de seu Grau de Polimerização (figura 2). Este valor é dado pelo número de meros por molécula, e é encontrado através da divisão da massa molecular do polímero pela massa molecular do mero (VAN VLACK, 1970), conforme descrito na figura 2:

$$\text{Grau de Polimerização} = \frac{\text{Massa molecular do polímero}}{\text{Massa molecular do mero}}$$

Figura 1: Fórmula de cálculo do Grau de Polimerização. Fonte: do autor.

Outras classificações dividem os polímeros pela sua origem (natural ou sintética), número de monômeros (homopolímero ou copolímero), método de preparação (por adição, condensação ou modificação de outro polímero), dentre outros critérios (MANO; MENDES, 1999).

O poliacrilato de sódio é uma cadeia polimérica que nas extremidades possui um sal orgânico, e esse é solúvel em água através de dissociação.

Russel (1994) afirma que a intensidade das pressões osmóticas produzidas por comparação de soluções diluídas é muito alta, citando o exemplo de uma solução 1,00 mol/L a 0°C:

$$\pi = (1,00 \text{ mol L}^{-1})(0,0821 \text{ L atm K}^{-1})(273 \text{ K}) \rightarrow \pi = 22,4 \text{ atm}$$

A pressão de 22,4 atm é suficiente para suportar uma coluna de água com 230 metros de altura, o que demonstra que a pressão osmótica é muito forte.

A retenção de água no poliacrilato de sódio ocorre porque há um sal orgânico na cadeia polimérica. Os sais têm esta característica porque se dissociam em água.

Hein e Arena (1998) definem sais como compostos derivados de reação entre ácidos e bases, constituídos de um metal positivo, combinado com íons não-metálicos negativos, sendo que o positivo provém da base e o negativo do ácido.

Rozemberg (2002) usa a teoria de Arrhenius para definir sal como uma substância que em solução aquosa fornece ao menos um cátion diferente de H⁺ e um ânion diferente de OH⁻, como exemplo:



Russel (1994) recorda que geralmente os sais são sólidos iônicos, e os conceitua da mesma maneira que Rozemberg.

Segundo Allinger et al. (1978) os compostos orgânicos, especialmente os ácidos carboxílicos (R-CO-OH) podem funcionar como ácidos próticos. Quando o ácido carboxílico se ioniza, o anion resultante (R-CO-O⁻) é estabilizado por ressonância e o cátion comumente é um metal, sendo mais comum encontrar os metais alcalinos e metais alcalinos terrosos como cátions em sais de ácidos carboxílicos.

Uma experiência de Marconatto e Franchetti (2002) comprovou que o poliacrilato de sódio utilizado em fraldas descartáveis absorveu 140 vezes seu peso em água destilada durante um tempo de 50 minutos, conforme a tabela 1.

Amostra	Massa de poliacrilato de sódio /g	Massa de poliacrilato de sódio hidratado /g	Massa de água absorvida
Água Destilada	0,25	35,25	35,00
Água Mineral	0,25	29,98	29,73
Água de Torneira	0,25	21,51	21,26

Tabela 1: Aumento de massa do poliacrilato de sódio após contato de 50 minutos com diferentes amostras de água e soluções. Fonte: Química Nova na Escola, São Paulo, v. 15, p. 43, 2002

Como se nota na tabela 1, as quantidades absorvidas de água mineral e água de torneira foram menores do que a água destilada, devido à presença de eletrólitos. Explica bem Marconatto e Franchetti:

É interessante observar que a presença de eletrólitos na água reduz a capacidade absorvente do poliacrilato de sódio. Isto ocorre porque o mecanismo de absorção dá-se por osmose. Esse fenômeno pode ser melhor visualizado utilizando um pouco do gel de PAS⁸ (PAS com água) e adicionando sobre ele cloreto de sódio sólido (sal de cozinha). A adição de sal faz com que ocorra uma liberação de solvente (água), quase que instantaneamente, no sentido de que a concentração de íons sódio seja equilibrada dentro e fora do polímero.

Como as guarnições de combate a incêndio do Corpo de Bombeiros utilizam água de hidrantes, a amostra que mais se aproxima é a de água de torneira, a qual foi absorvida em mais de 85 vezes seu peso em água.

Na figura 3, pode ser observada a ilustração do poliacrilato de sódio seco e hidratado.

⁸ Poliacrilato de Sódio.

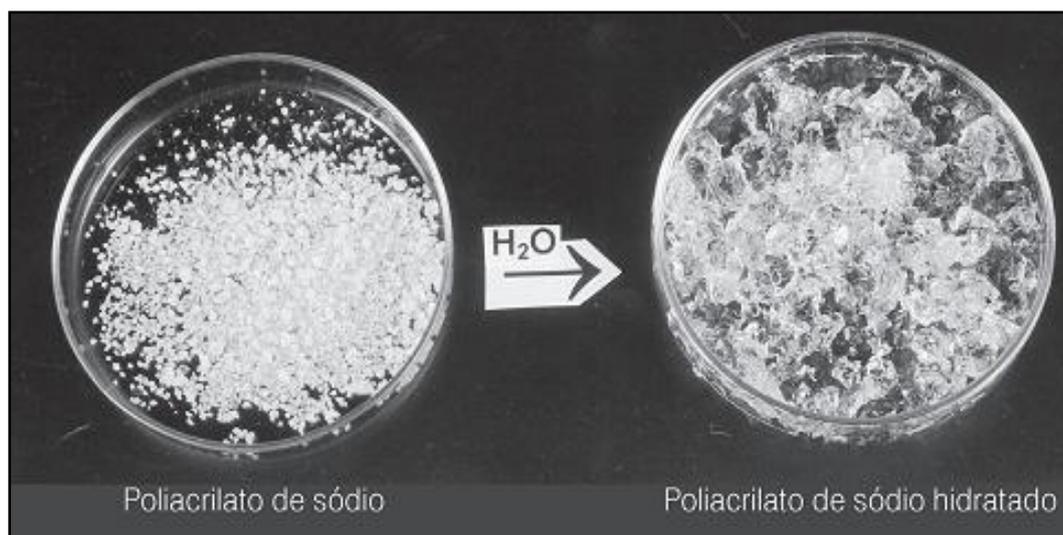


Figura 3: Poliacrilato de sódio seco e hidratado. Fonte: Química Nova na Escola, São Paulo, v. 15, p. 44, 2002.

De forma experimental, os autores corroboram a eficiência do polímero poliacrilato de sódio como material com grande capacidade de retenção de água.

Outra característica dos sais, além da retenção de água, é a resistência a altas temperaturas. Os sais, em regra, alteram o ponto de congelamento e de ebulição da água.

Um exemplo desta mudança ocorre quando se coloca sal de cozinha na água. As moléculas de água formam cristais enquanto congelam. Íons de Na^+ e Cl^- do sal ficam no caminho das moléculas de água, dificultando sua reorganização em cristais. Isso significa que a água salgada continua em estado líquido por mais tempo quando a temperatura diminui.

Por este motivo, próximo aos pólos a água do mar permanece em estado líquido, mesmo onde sua temperatura fica abaixo de zero grau Celsius.

Este fenômeno denomina-se crioscopia e foi observado primeiramente por François-Marie Raoult (1830-1901). A Lei de Raoult afirma que a pressão parcial de cada componente em uma solução ideal é dependente da pressão de vapor dos componentes individuais e da fração molar dos mesmos componentes. (SANTOS et al., 2002)

A presença de sal em água também eleva a temperatura de ebulição da mistura. Este fenômeno se chama ebulioscopia, e também foi observado por Raoult.

Na água salgada, os íons Na^+ e Cl^- ocupam parte do espaço entre as moléculas de água. Conforme a temperatura aumenta, apesar de as moléculas de água agitarem-se mais rapidamente, elas estão em menor número, então há menos colisões e a pressão do vapor é mais baixa em comparação com água pura na mesma temperatura. (MARCONATO, 2002)

Por isso é preciso mais energia (temperatura) para a pressão do vapor de água salgada chegar até a pressão atmosférica e ultrapassá-la e começar a ferver.

A pressão de vapor da água depende apenas da temperatura a que a água é submetida, e é a responsável pela evaporação da água que está em contato com o oxigênio do ar atmosférico (RUSSEL, 1994).

A evaporação ou vaporização é o nome dado ao processo que leva um líquido a se tornar gás (KOTZ; TREICHEL JUNIOR, 2006). Segundo os autores, num recipiente com um líquido sempre há alguma molécula com maior energia, e se esta estiver próxima à superfície, em movimento ascendente, pode separar-se das demais e entrar na fase gasosa.

O processo de vaporização é endotérmico, ou seja, ele consome calor, assim, é necessário que exista uma fonte de calor que atenda à necessidade que o fluido exige para passar à fase gasosa.

Todavia essa reação não se dá em um só sentido. Se a temperatura elevar-se, o líquido absorverá calor e sofrerá em maior ou menor quantidade evaporação.

Segundo o fabricante do Barricade Fire Blocking Gel®, é necessária uma energia calorífica muito elevada (1.926°C ou 3500 Fahrenheit) para romper a ligação entre o polímero e água, energia esta, não encontrada na maior parte dos incêndios em edificações.

Para OLIVEIRA (2005) os incêndios em edificações, como residências, por exemplo, não superam os 1000°C na maioria das vezes. Todavia, este valor depende do tipo e da quantidade de material combustível existente.

Processo inverso à vaporização, a condensação ocorre quando uma molécula gasosa perde energia e retorna à fase líquida (KOTZ; TREICHEL JUNIOR, 2006). Isso pode se dar pelo choque da molécula gasosa com a superfície do líquido, por exemplo. Ao contrário à vaporização, este processo é exotérmico.

No uso de polímeros pela indústria, muitos devem ser resistentes ou retardantes de chamas, como as capas de fios elétricos, forros de PVC, etc. (STEVENS, 1999) É comum as empresas utilizarem retardantes de chama como forma de aditivação destes polímeros.

Segundo Rabello (2000) dentre os aditivos utilizados um dos mecanismos utilizados é a formação de um revestimento impermeável ao fogo, evitando o acesso do oxigênio ao polímero e dificultando a troca de calor.

O poliacrilato de sódio, embora consiga absorver grande quantidade de água e suportar altas temperaturas, o que pode ser utilizado com um enorme potencial no combate a incêndios, não pode ser descartado na natureza após seu uso, pois não se decompõe com facilidade.

Para que um polímero possa ser descartado no meio ambiente este deve ser biodegradável, e esta característica vem ao encontro das necessidades dos bombeiros, uma vez que não há uma captação da água utilizada no combate às chamas.

A biodegradabilidade de um polímero é difícil devido ao seu grande peso molecular, já que se trata de uma cadeia muito extensa. E o conceito de biodegradabilidade dos polímeros é muito bem explicada por Rosa et al.:

A biodegradação consiste na degradação dos materiais poliméricos através da ação de organismos vivos. (...) Polímeros biodegradáveis são polímeros degradáveis nos quais a degradação resulta primariamente da ação de microorganismos tais como bactérias, fungos e algas de ocorrência natural. Em geral, derivam desse processo CO_2 , CH_4 , componentes celulares microbianos e outros produtos.

Segundo este mesmo autor, os compostos com alta massa molecular que melhor apresentam biodegradabilidade são os poliésteres, uma vez que os fungos atacam o grupo dos ésteres através de hidrólise.

Hidrólise significa “quebra pela água”, e é uma reação entre um ânion ou um cátion e a água, que fornece íons OH^- ou H^+ para a solução (RUSSEL, 1994). É uma reação que remove prótons da molécula de água, os quais se combinam com o anion inicial.

Os ésteres sofrem substituição nucleofílica, o ataque ocorre no carbono carbonílico que é deficiente em elétrons, e resulta na substituição do grupo $-\text{OR}'$ do éster por outro grupo que pode se $-\text{OH}$, $-\text{OR}''$ ou $-\text{NH}_2$. Os ésteres carboxílicos são

hidrolisados para ácidos carboxílicos e álcool (ou fenol) quando aquecido com solução aquosa de ácido (HCl_{aq}) ou base (NaOH_{aq}), conforme na figura 4 (BOYD, 1992).

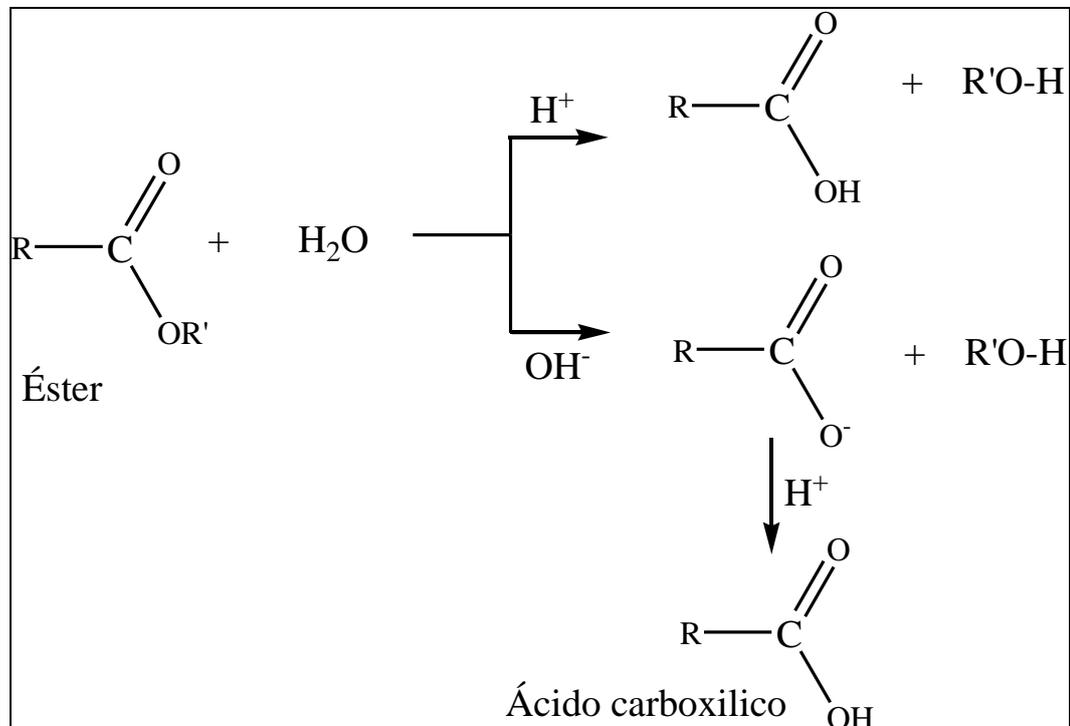


Figura 4: Reação de hidrólise de éster com catalise ácida ou básica. Fonte: do Autor.

A introdução de grupos ésteres na busca de polímeros com propriedades semelhantes a apresentadas pelo poliacrilato de sódio pode possibilitar a hidrólise do éster no solo, assim tornando o composto mais solúvel e talvez biodegradável. O pH do solo pode variar de pH ácido a básico, dependendo da formação original do solo ou ainda de contaminantes presentes (BRAGA, 2005). Dependendo das características do solo pode auxiliar no processo de hidrólise, ácida ou básica, de polímeros que apresentem na sua estrutura grupo éster.

O processo para tornar um polímero biodegradável deve reduzir o tamanho de sua cadeia, e assim seu peso molecular. Para tal pode-se “inserir” no meio da cadeia uma ligação mais fraca, como os ésteres, que permita aos microorganismos que existem no solo romper esta ligação, dividindo a cadeia até que se torne biodegradável.

Outra forma de degradação das cadeias poliméricas é a oxidação. Exemplo se dá com a borracha, que forma ligações cruzadas e sofre envelhecimento, devido ao grande número de ligações insaturadas ao longo da cadeia, como descreve Van Vlack (1970).

Mas o mesmo autor descreve que nem toda degradação de polímero é nociva ou prejudicial, e cita o exemplo do petróleo que sofre ruptura em suas ligações para produzir moléculas mais leves e mais combustíveis.

Stevens (1999) lembra que o gerenciamento do lixo urbano produzido em alta escala, principalmente nos grandes centros, se torna mais difícil devido à grande quantidade de plásticos existentes.

Este autor ensina que a síntese dos polímeros pode se dar através da luz solar e pela ação de microorganismos presentes no solo. Estes agentes biológicos catalisam a degradação dos polímeros pela hidrólise e oxidação.

Pesquisas para tornar polímeros biodegradáveis, principalmente plásticos e aqueles com aplicação na área médica (FALCONE, 2008), são muito comuns hoje em dia e os problemas citados por Stevens vêm à tona também por organizações voltadas ao meio-ambiente.

Falcone, Agnelli e Faria (2007) sustentam que as pesquisas sobre biodegradabilidade de polímeros são dirigidas principalmente aos plásticos. Todavia estas pesquisas são caras e o custo do produto biodegradável é muito elevado.

Na maioria das pesquisas é utilizado o método de degradação através dos microorganismos do solo. O método de degradação primário do poliácrlato de sódio no Barricade Fire Blocking Gel® se dá através da radiação ultravioleta dos raios solares.

2.2 Corpo de Bombeiros Militar de Santa Catarina

2.2.1 *Histórico da atividade*

Segundo o manual de prevenção de incêndio do Estado do Tocantins o homem se relaciona com o fogo a aproximadamente 1,2 milhões de anos.

Para Zeferino (2001) o fogo sempre foi um dos grandes aliados do ser humano, e por isso o homem lhe atribuiu um caráter divino, como se fosse uma forma de manifestação do poder sagrado dos deuses.

Como afirmou Uberto C. Grosby⁹ em 1900, o mesmo fogo que criava segurança ao homem com uma faceta, retirava-a de forma voraz com outra.

Em todos os locais do mundo os corpos de bombeiros foram instituídos após a ocorrência de um grande incêndio ou de outro desastre de grande vulto. Assim, esclarece Zeferino (2001, p.09):

“Com certeza a evolução dos bombeiros está relacionada com as grandes tragédias vividas pela humanidade ao longo dos últimos séculos. Os grandes incêndios forçaram a organização de sistemas de combate ao fogo, com a estruturação destas entidades por áreas territoriais e por modelos de organização.”

E esta posição é reiterada por Oliveira (2005, p.18):

“Certamente a preocupação com incêndios é tão antiga como a própria vida social, nas diferentes culturas do mundo, e certamente, a evolução dos serviços de bombeiros está diretamente ligada com as grandes tragédias vividas pela humanidade ao longo dos últimos séculos. Foi a partir dessas grandes tragédias, que surgiu a necessidade de se criar um serviço para fazer frente a esse tipo de sinistro. Assim nasceram as primeiras corporações de bombeiros.”

Desde os primórdios da atividade de bombeiro, a água foi utilizada como agente extintor de incêndio. Naqueles tempos, o foco era apagar o incêndio. Os danos causados para combater o fogo não eram condições que modificassem a conduta de extinguir as chamas a qualquer custo.

Sabe-se que já no ano 27 antes de Cristo, em Roma, já existiam os “*triumviri nocturni*”, que eram grupos organizados com o objetivo de extinguir incêndios (ZEFERINO, 2001).

No Brasil, a origem da atividade de bombeiro remonta ao ano de 1710, quando o Corsário Francês Jean François Duclerc atacou a Alfândega do Rio de Janeiro, causando um grande incêndio (LACOWICZ, 2002).

⁹ APUD Oliveira 2005.

Conforme os anos se passaram e os incêndios chegaram, ficou notória a necessidade de organizar a atividade de combate as chamas. Como os marinheiros já possuíam certa experiência nesta atividade, o Alvará régio de 1797 determinou que esta organização se desse através do Arsenal da Marinha (LACOWICZ, 2002).

Com a criação da Divisão Militar da Guarda Real de Polícia do Rio de Janeiro, hoje Polícia Militar do Estado do Rio de Janeiro, surge o primeiro vestígio de uma corporação para debelar chamas de incêndios, uma vez que a função desta nova organização era a de combate ao contrabando e ao fogo (LACOWICZ, 2002).

O primeiro Corpo de Bombeiros do Brasil, oficialmente instituído para este fim, foi criado em 02 de julho de 1856, através do Decreto nº 1.775. O Decreto de Dom Pedro II fundou o Corpo Provisório de Bombeiros da Corte, no Rio de Janeiro, capital do Império na época (OLIVEIRA 2005).

Claro que de brigadas voltadas ao combate das chamas existem desde que o homem passou a se relacionar com o fogo, todavia nacionalmente comemora-se o dia 02 de julho como dia do bombeiro.

2.2.2 Previsão Legal

A Constituição Federal fez a previsão dentro da estrutura da segurança pública a presença dos corpos de bombeiros militares dos estados, e ainda atribuiu-lhes a função de auxiliar a defesa civil:

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

[...]

V – polícias militares e corpos de bombeiros militares.

[...]

§ 5º - [...] aos corpos de bombeiros militares, além das atribuições definidas em lei, incumbe a execução de atividades de defesa civil.

No estado de Santa Catarina a Constituição Estadual, alterada pela EC nº 33/2003, à qual deu autonomia administrativa ao Corpo de Bombeiros Militar de Santa Catarina, no artigo 108 do código legal prevê as atividades a serem desempenhadas pela corporação:

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

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

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

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

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

V – colaborar com órgãos da defesa civil;

VI – exercer a Polícia judiciária militar, nos termos da lei federal;

VII – estabelecer a prevenção balneária por salva-vidas; e

VIII – prevenir acidentes e incêndios na orla marítima e fluvial.”

Podemos perceber que há um grande rol de atividades que são atribuídas ao Corpo de Bombeiros Militar de Santa Catarina. E este grande número de funções obriga a corporação a ser polivalente, tendo que abranger diversas áreas do conhecimento para executar sua função.

2.2.3 O Corpo de Bombeiros no novo milênio

Segundo a Agência Brasil, em 2007 apenas 11,41% dos 5.564 municípios brasileiros contam com corpo de bombeiros militar, ou seja, estatal.

Essa deficiência de corporações é mais tênue em Santa Catarina, onde existem 89 corporações¹⁰ de bombeiros em 293 municípios (30,4%), que é o melhor índice estadual do país (excluído o DF). Mesmo assim, o ideal seria ter uma corporação presente em cada cidade.

A falta de efetivo nas corporações é a principal causa da deficiência apontada acima. Por isso torna-se fundamental que a atuação das corporações existentes seja

¹⁰ Nestes cálculos não são computados os municípios que possuem apenas corporações voluntárias, às quais não são de responsabilidade estatal.

muito eficiente, para compensar o tempo que poderá levar até o atendimento de um incêndio em uma cidade distante.

Infelizmente, a atividade de combate a incêndio hoje é deixada num patamar inferior por grande parte das corporações. Como pode-se ver na explanação de Silveira (2005, p. 52):

“Percebe-se que, no surgimento do Corpo de Bombeiros, a sua atividade se restringia ao combate a incêndio. Hoje, essa atividade é apenas uma das inúmeras atividades desenvolvidas pelo Corpo de Bombeiros Militar.” (Grifo nosso).

O combate a incêndios se tornou um simples ramo da atividade bombeiril, deixando de ter lugar de destaque até mesmo dentro dos próprios corpos de bombeiros.

Mesmo dentro das corporações é muito penoso falar sobre este assunto. Sabe-se e fala-se que o combate a incêndio está defasado, todavia não é comum ver publicações expressando esta opinião, devido ao temor que o público externo tome ciência que as corporações utilizam técnicas ancestrais de combate ao fogo.

Todavia ainda restam alguns bombeiros que vêem como necessária uma evolução nas técnicas de combate às chamas. Neste sentido, Oliveira (2005) corrobora da seguinte maneira:

“O bombeiro do século XXI precisa agora focar sua atenção na avaliação de riscos e na identificação das melhores opções táticas para assegurar-se de que toda a aproximação e combate sejam realizados corretamente pela combinação segura de técnicas de acesso e supressão do fogo.”

A ênfase dada ao combate a incêndios jamais deve ser esquecida, pois foi por esta razão que a corporação foi concebida. Muito embora nos dias atuais o índice de atendimentos de ocorrências de incêndios seja bem menor do que outras atividades, não se pode deixar a segundo plano esta missão.

O Corpo de Bombeiros Militar de Santa Catarina não pode nem deve ficar alheio a novas pesquisas sobre a forma de aumentar a eficiência do combate a incêndios, ou de apenas investir em pesquisas em novas áreas de atuação, esquecendo daquela para qual foi criado.

Uma corporação que pretende ser reconhecida pela excelência em serviços prestados não deve esperar que novos métodos sejam desenvolvidos para depois cogitar sua aplicação.

O problema da atual forma de combate é que se utiliza água em excesso. O controle da água utilizada é muito precário, e apenas lembrado quando há o risco desta faltar.

O MTB-02¹¹ (Manual de Técnicas de Bombeiros) do estado de São Paulo define bem como é realizado o combate a incêndios no Brasil e no mundo:

“Os incêndios são, em sua grande maioria, combatidos com o emprego de água como agente extintor. Essa característica tem sua causa principal no fato da água ser abundante e barata na natureza, o que torna economicamente viável para a maioria dos incêndios; facilidade de armazenagem, facilidade de transporte, multiplicidade de aplicação do jato, forma líquida, etc.”

Dentre os fatores que o manual citou como forma de ilustrar o uso da água em combate às chamas, pode-se perceber que o fator econômico é o fiel da balança.

Em alguns casos, onde é exigida maior eficiência no combate, e a questão pecuniária não grita aos olhos, a água não é o principal agente extintor.

Um exemplo prático são as brigadas de incêndio dos aeroportos. Neste caso, o agente extintor por excelência é a espuma, e secundariamente o pó químico seco. Como há recursos financeiros suficientes para prover estas brigadas, a água é utilizada apenas para formar a espuma, e não como agente extintor primário.

Isto também ocorre em indústrias químicas, refinarias de petróleo, centros de processamento de dados e outros locais onde arriscar perder o material que ainda não queimou pelo uso equivocado da água num incêndio não compensa.

Todavia a maioria das corporações de bombeiros pelo mundo ainda utilizam apenas água como agente extintor. Mesmo sabendo que a espuma seria mais indicada em muitos casos, as viaturas saem dos quartéis e nem sequer levam um galão de LGE¹², caso deparem-se com um incêndio que exija este agente extintor.

¹¹ Da Coletânea de Manuais de Técnicas de Bombeiro – Suprimento de água em combate a incêndios.

¹² Líquido gerador de espuma, que é misturado à água para então, através de turbilhonamento formar a espuma.

Isso porque o LGE é caro, e não há recursos suficientes para munir as guarnições com a quantidade necessária para fazer um bom trabalho.

Percebe-se que, via de regra, é a dificuldade financeira que impede às corporações de disporem de meios mais eficientes de combate as chamas.

De qualquer forma, não se pode justificar uma estagnação tecnológica em combate a incêndios devido à falta de recursos. O estudo de novas tecnologias deve estar sempre à frente das corporações que buscam a excelência na prestação de seus serviços.

E o uso de polímeros para auxiliar a atividade do corpo de bombeiros, como é o caso do Barricade Fire Blocking Gel® não se trata de algo tão inovador.

Polímeros similares são utilizados no controle a incêndios florestais no Brasil (PARIZOTTO, 2007). Aplica-se o gel em linhas livres de material combustível, denominadas aceiros, a fim de controlar as chamas, todavia com rendimento e eficiência muito inferiores.

A utilização de um agente extintor de chamas mais eficiente no combate aos incêndios em edificações permitiria aos corpos de bombeiros precaverem diversos prejuízos causados pela água que é utilizada em excesso no combate.

A ênfase dada aos incêndios em edificações (incêndios urbanos) se justifica por ser a espécie de incêndio que mais provoca danos à sociedade contemporânea.

É claro que o dano ambiental de um incêndio florestal é tão grande quanto o incêndio que o originou, todavia, em termos pecuniários, os incêndios que ocorrem nas cidades podem causar perdas e danos infinitamente maiores.

E não só o combate às chamas, mas a prevenção de incêndios deve ser proporcional ao valor agregado a um bem ou propriedade a ser salva ou protegida.

Utilizar as técnicas mais eficientes de combate a incêndio minimizará os prejuízos causados pelo fogo, além de prevenir danos à estrutura da edificação causados por choque térmico.

Eidt (2008) avaliou os efeitos da temperatura nos riscos de colapso estrutural em concreto. No trabalho, foi verificada a perda de resistência do concreto quando este é aquecido e resfriado. E ainda a diferença entre um resfriamento lento e um resfriamento abrupto do concreto.

O estudo comprovou, através de ensaios, que o resfriamento abrupto do concreto que foi aquecido a 500 °C diminui sua resistência em mais de 75% e se este for aquecido a 700 °C o resfriamento abrupto pode causar a desintegração do concreto por choque térmico.

Tais considerações vêm ao encontro do trabalho proposto, uma vez que este se apoiará no uso contido da água para efetuar combate a incêndios estruturais, o que proporcionará ao corpo de bombeiros a possibilidade de conter as chamas de um incêndio sem causar um resfriamento abrupto ou um choque térmico na estrutura da edificação, uma vez que a quantidade de água utilizada seria muito pequena e a absorção de calor proporcionalmente menor.

Neste sentido, EIDT (2008, p. 72) corrobora:

“Portanto, deve-se evitar (na medida do possível) a aplicação de água em estruturas de concreto superaquecido, a fim de evitar o favorecimento da perda de sua resistência (e conseqüentemente da capacidade de carga estrutural) garantindo assim a segurança dos usuários e dos próprios bombeiros combatentes no local de trabalho.”

É necessário encontrar uma forma de reduzir a quantidade de água empregada nos incêndios e ainda assim debelar as chamas. Destarte seria permitido aos corpos de bombeiros do mundo uma atuação mais rápida, eficiente e segura.

3 OBJETIVOS

3.1 GERAL

Avaliar a eficiência de polímeros superabsorventes como retardante de chamas e como agente extintor.

3.2 ESPECÍFICO

- Diluir o produto com nome comercial Barricade Fire Blocking Gel®, em água nas proporções de 3,0% e 0,75% em água;
- Montar um sistema para avaliar a combustão de materiais combustíveis classe “A”;
- Aplicar o Barricade Fire Blocking Gel® como agente preventivo da combustão de combustíveis classe “A” nas proporções de 3,0% e 0,75%;
- Aplicar uma mistura de 3% como retardante de chamas num incêndio em escala real;
- Aplicar uma mistura de 0,75% como agente extintor num incêndio em escala real; e
- Avaliar a aplicação das misturas utilizando os recursos já existentes na corporação.

4 METODOLOGIA

Para aferir a funcionalidade e eficácia do Barricade Fire Blocking Gel®, dentro do Corpo de Bombeiros Militar de Santa Catarina, a pesquisa foi elaborada da seguinte maneira:

Um teste laboratorial em ambiente controlado, onde o produto foi aplicado em combustíveis classe “A”¹³, nas proporções de 0,75 e 3,0%, e então submetido às amostras com o gel formado pelo Barricade Fire Blocking Gel® e água, e outras similares sem nenhum tratamento, às chamas de um bico de Bunsen, para avaliar seu desempenho enquanto retardante de chamas.

Teste em escala real, no laboratório de incêndios do CBMSC em Joaçaba, um ambiente estrutural simulando um incêndio em uma edificação, e os equipamentos da corporação para a aplicação do gel formado entre o Barricade Fire Blocking Gel® e água.

O combustível utilizado foi madeira, no formato de ripas, dispostas em engradados, que foram posicionadas sobre um recipiente com combustível líquido (gasolina). A NBR 9443 foi utilizada para nortear este ensaio.

4.1 TESTE EM LABORATÓRIO

Sob a orientação da Prof. Dra. Rachel Faverzani Magnago, submeteram-se amostras de materiais combustíveis classe “A”, à exposição direta de chamas, em um ambiente controlado.

4.1.1 Materiais utilizados:

- 6 ml do produto Barricade Fire Blocking Gel®;
- 450 ml de água;
- Três béqueres de 250 ml;
- Um bastão de vidro;
- Uma espátula;
- Uma pipeta;
- Uma proveta;

¹³ Combustíveis sólidos, que queimam em profundidade, como madeira, roupas, papel, etc.

- Seis pedaços de madeira (*eucalyptus robusta*), de dimensões 5,0 x 3,0 x 1,0 cm;
- Dois pedaços de espuma de 3,0 x 4,0 x 9,0 cm;
- Um isqueiro;
- Dois pedaços de pano (tecido de algodão) de 4,0 x 14,0 cm;
- Um suporte;
- Uma garra;
- Uma tela de aço; e
- Bico de Bunsen;

4.1.2 Procedimento

Seguindo a recomendação do fabricante, o Barricade Fire Blocking Gel® deve ser misturado com água numa proporção entre 1 e 6%. Neste trabalho, utilizou-se a proporção de 0,75 e 3,0%.

Para obter uma solução aquosa de Barricade Fire Blocking Gel® a 3%, foi utilizada uma proveta, para medir o fluido. Foram medidos 6 ml do produto. Esta quantidade foi inserida em um béquer de 250 ml. Adicionou-se 200 ml de água e misturou-se bem a combinação.

Formou-se então um gel de alta viscosidade (Foto 1). Desta mistura (3%) retirou-se $\frac{1}{4}$, ou seja, 50 ml, e colocou-se em outro béquer.



Foto 1: Viscosidade da mistura a 3% de Barricade Fire Blocking Gel® e água.
Fonte: do autor

No segundo béquer, foi adicionado mais 150 ml de água, formando uma mistura de Barricade Fire Blocking Gel® de 0,75% (3/4), a qual apresentou menor viscosidade como pode ser visto na foto 2:



Foto 2: Viscosidade da mistura a 0,75% de Barricade Fire Blocking Gel® e água.
Fonte: do autor.

A garra foi acoplada ao suporte, acima do bico de Bunsen, e sobre ela foi inserida a tela de aço. Sobre este sistema foram inseridas duas amostras de madeira conforme pode ser visto na foto 3, das quais uma foi mergulhada em água por 5 segundos, e outra foi mergulhada no gel na proporção de 3%:



Foto 3: Amostra de madeira com a mistura à 3% e outra amostra molhada com água.
Fonte: do autor.

A chama proveniente do bico de Bunsen foi posicionada ao centro do sistema, de forma que ambas as amostras fossem atingidas pelas chamas e de forma igual, como pode ser visto na foto 4.

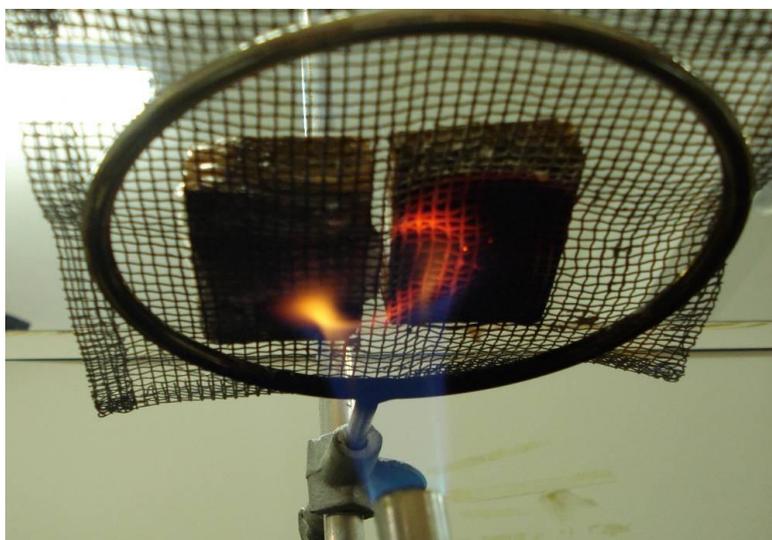


Foto 4: Chama do Bico de Bunsen posicionada de forma paritária entre as amostras de madeira.
Fonte: do autor.

Utilizou-se na experiência seguinte um pedaço de pano de algodão, dobrado, sendo que aproximadamente metade do mesmo foi embebida na solução de 0,75% de Barricade Fire Blocking Gel® em água, e a outra metade foi encharcada com água. A chama foi posicionada ao centro do tecido, conforme mostra a foto 5.



Foto 5: Tecido de algodão molhado à esquerda e mistura a 0,75% à direita, com a chama no centro.
Fonte: do autor.

Na experiência seguinte, utilizou-se um pedaço de espuma, o qual foi pincelado parte com a solução de 0,75% de Barricade Fire Blocking Gel® em água, e outra parte com água até encharcar. (Foto 6). A chama foi posicionada exatamente ao centro da espuma, atingindo tanto a metade com água como a metade com gel (foto 7).

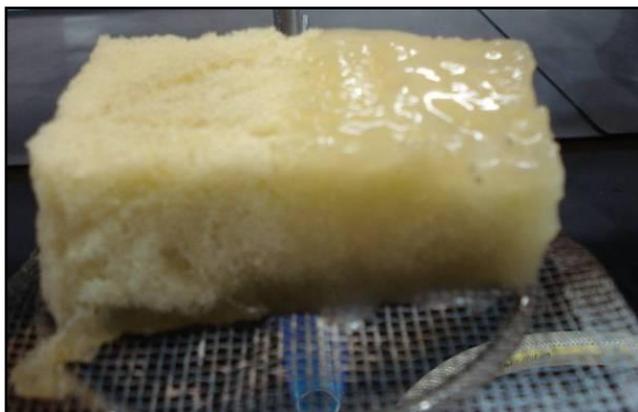


Foto 6: Espuma molhada e com a mistura a 0,75% de gel.
Fonte: do autor.



Foto 7: Chama posicionada bem ao centro da espuma.
Fonte: do autor.

Por fim, repetiu-se esta experiência, todavia, sem molhar a outra metade da amostra, ou seja, um pedaço de espuma metade embebido no gel a 0,75% e a outra metade sem receber nenhum tipo de tratamento. A chama também foi posicionada ao centro da espuma, como no experimento anterior.

4.2 TESTE EM ESCALA REAL

Sob a orientação dos Capitães Bombeiro Militar Paulo Diniz Arruda Nunes e Marcos Alves da Silva, amostras de materiais combustíveis classe “A” (engradados de madeira) foram submetidos à exposição direta de chamas, em um ambiente controlado.

4.2.1 Materiais utilizados:

- 2 galões (7,57 litros) do produto Barricade Fire Blocking Gel®;
- 2000 litros de água;
- Uma caixa d’água de 500 litros;

- Um cronômetro;
- Um funil;
- Uma embalagem PET de 2 litros (descartável);
- Um isqueiro;
- 7 engradados de madeira (*pinnus taeda*), todos do mesmo lote, dispostos em 15 fileiras de 4 ripas intercaladas de dimensões 0,66 x 0,66 x 0,40 m e vazios de 0,2 x 0,2 m;
- Dois blocos de cimento de dimensões 0,20 x 0,40 x 0,10 m (alt. x comp. x exp.);
- Uma fôrma metálica de dimensões 0,79 x 0,40 x 0,10 m (compr. x larg. x alt.);
- 20 litros de gasolina comum;
- Uma bomba-reboque;
- Um adaptador;
- Duas mangueiras de incêndio de 1 ½' de 20 metros;
- Um esguicho regulável;
- Um remo;
- Um mangote de 3' com 3,10 metros de comprimento;
- Uma válvula de pé de crivo;
- Uma viatura Auto Bomba Tanque Resgate padrão do CBMSC;
- Um conjunto de Equipamento de Proteção Individual de combate a incêndio padrão no CBMSC;
- Uma sala com paredes refratárias de dimensões 2,60 x 2,35 x 2,70 m (comp. x larg. x alt.), com uma porta de 2,10 x 0,80 m.

4.2.1.1 BARRICADE FIRE BLOCKING GEL®

O Barricade Fire Blocking Gel® é um produto líquido, composto por um polímero que agrega moléculas de água através de dissociação, transformando-se em um gel que

umededece as superfícies, não permitindo que estas entrem em combustão. Cada galão possui 3,78 litros (Foto 8).



Foto 8: Barricade Fire Blocking Gel®.
Fonte: do Autor

4.2.1.2 CAIXA D'ÁGUA DE 500 LITROS DE FIBRA DE VIDRO:

A caixa d'água é um recipiente que serve para armazenar água. A caixa d'água utilizada possui diâmetro inferior de 0,98 m e diâmetro superior de 1,03 m, e era composta por fibra de vidro (Foto 9).



Foto 9: Caixa d'água de 500 litros.
Fonte: do autor.

4.2.1.3 CRONÔMETRO

O cronômetro é um dispositivo que mede o tempo, podendo ser digital ou analógico. O cronômetro utilizado no teste possui uma escala de centésimos de segundo (Foto 10).



Foto 10: Cronômetro digital.

Fonte: <http://www.labbenfer.com.br/loja/images/cronometro.gif>.

4.2.1.4 FUNIL

Funil é um equipamento que serve para converter um fluido para um ponto, permitindo que não haja desperdício (Foto 11).



Foto 11: Funil de plástico.

Fonte: do autor.

4.2.1.5 EMBALAGEM PET 2 LITROS

É um recipiente para líquidos, com capacidade de armazenagem de 2 litros, que ficou muito conhecido pelo uso das empresas de refrigerante (Foto 12).

4.2.1.6 ISQUEIRO

Dispositivo que armazena uma pequena quantidade de gás e um aparelho que produz faíscas, permitindo assim, formar uma pequena chama (Foto 13).



Foto 12: Embalagem PET 2 litros.
Fonte: do autor



Foto 13: Isqueiro.

Fonte:

http://s3.amazonaws.com/rede_prod/assets/0043/7729/BIC_MINI_thumb.jpg.

4.2.1.7 ENGRADADO DE MADEIRA

Os engradados de madeira construídos para o teste eram compostos por ripas de madeira, todas do mesmo lote, com dimensões de 2,5 X 2,5 X 66 cm, dispostas em 15 camadas intercaladas, em sentido inverso, possuindo dimensões finais de 66 X 66 X 40 cm, e espaços internos entre as ripas de 20 X 20 cm (Fotos 14 e 15).



Foto 14: Engradado de madeira.
Fonte: do autor.

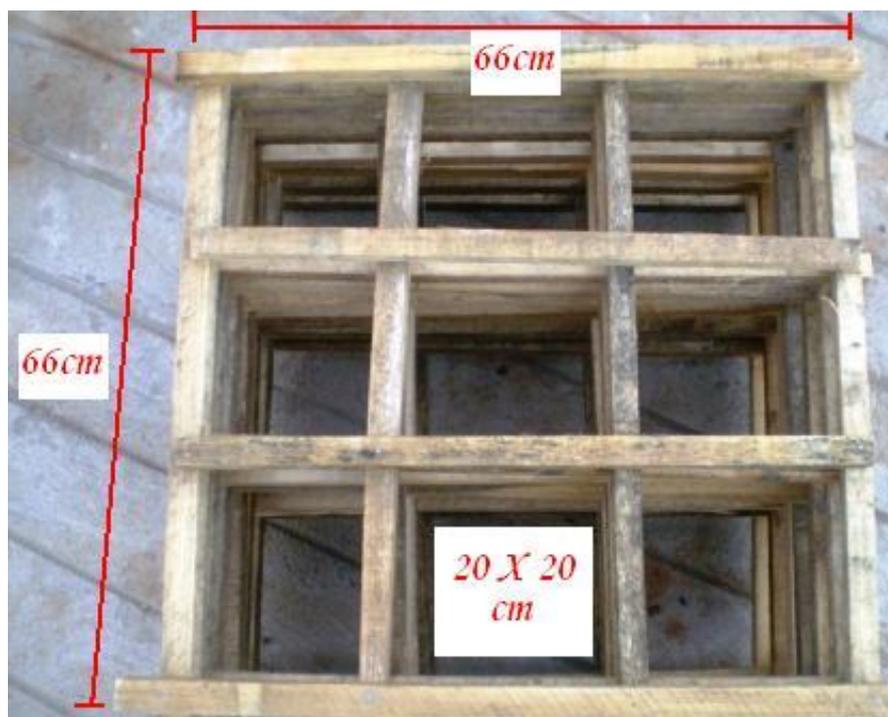


Foto 15: Engradado de madeira (vista superior).
Fonte: do autor.

4.2.1.8 BLOCOS DE CIMENTO

São peças de alvenaria, compostas por cimento de dimensões 20 X 40 X 10 cm (alt. x comp. x exp.). Foram utilizados como suporte (Foto 16).



Foto 16: Blocos de cimento.
Fonte: <http://www.extravase.com/blog/wp-content/uploads/2009/01/tijolo.jpg>

4.2.1.9 FÔRMA METÁLICA

A fôrma utilizada no teste possuía dimensões de 79 x 40 x 10 cm (compr. x larg. x alt.), sendo metálica para resistir sem deformações ao aumento de temperatura (Foto 17).



Foto 17: Fôrma metálica.
Fonte: do autor.

4.2.1.10 GASOLINA

A gasolina é um derivado de petróleo, composto por hidrocarbonetos, e é comumente utilizada em motores de combustão interna (Foto 18).



Foto 18: Gasolina.
Fonte: http://www.b2cwi.com/cadastro_postos_de_gasolina.JPG

4.2.1.11 BOMBA-REBOQUE

Bomba-reboque é um equipamento hidráulico, composto por um motor à combustão interna, acoplado a uma bomba hidráulica, que permite fazer a sucção de um ponto, aumentando sua pressão e velocidade em outro. Esse equipamento, no Corpo de Bombeiros Militar de Santa Catarina, é colocado sobre um reboque com rodas, o que permite sua mobilidade (Fotos 19 e 20).



Fotos 19 e 20: Bomba-reboque.
Fonte: do autor.

4.2.1.12 REDUTOR HIDRÁULICO

É um equipamento hidráulico que serve para adaptar uma entrada de rosca Storz de 2 ½ ' para 1 ½ '. É constituído por uma mistura, metálica, formada basicamente por cobre (Foto 21).



Foto 21: Redutor Storz de cobre.

Fonte: <http://www.proincendio.com.br/pop/42.htm>

4.2.1.13 ESGUICHO REGULÁVEL

É um dispositivo hidráulico, utilizado como terminal de uma mangueira de incêndio, que permite o controle da vazão, ângulo e abertura do jato d'água (Foto 22).



Foto 22: Esguicho regulável.
Fonte: <http://www.bombeiros.com>

4.2.1.14 MANGUEIRA DE INCÊNDIO

É um dispositivo em formato tubular, destinado a transportar a água para combater incêndios, possuindo uma camada impermeável (interna), resistente a pressão, e outra camada de proteção (externa). Nas extremidades possui duas juntas de união de engate rápido tipo Storz. A mangueira utilizada no teste possuía um diâmetro de 1 ½ ' (38mm) e comprimento de 20 metros (Foto 23).



Foto 23: Mangueira de incêndio.

Fonte: http://www.seton.com.br/aanew/produtos/detalhe_mc.asp?pagina=0&merchandisecodeid=A015

4.2.1.15 REMO

É um equipamento utilizado para conduzir embarcações, que pode ser confeccionado por diversos materiais. No teste, foi utilizado para facilitar a mistura do Barricade Fire Blocking Gel® com a água (Foto 24).

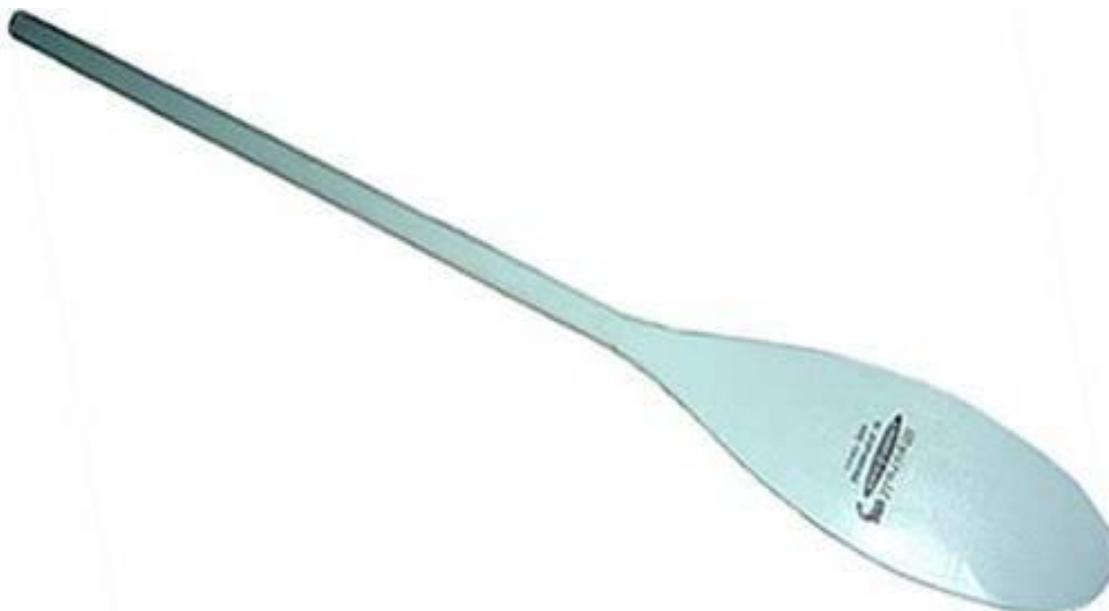


Foto 24: Remo de madeira.

Fonte: <http://www.martinellishop.com.br/img/prod/30-8-2007-16-58-54-g.jpg>

4.2.1.16 MANGOTE

Tubo rígido utilizado para conduzir fluidos através de sucção. O mangote utilizado possuía um diâmetro interno de 3' (76,2 mm) e comprimento de 3,10 metros (Foto 25).



Foto 25: Mangote.

Fonte: http://www.superjato.com/produtos/lav_500.jpg

4.2.1.17 VÁLVULA DE PÉ DE CRIVO

É um acessório hidráulico utilizado na ponta de um mangote, que visa filtrar o fluido evitando que partículas sólidas entrem no sistema (Foto 26).



Foto 26: Válvula de pé de crivo.

Fonte: do autor

4.2.1.18 VIATURA AUTO BOMBA TANQUE RESGATE

O Corpo de Bombeiros Militar de Santa Catarina possui de maneira padronizada viaturas destinadas a efetuar combate a incêndio e resgate, as quais receberam a sigla ABTR (Auto Bomba Tanque Resgate). Estas viaturas são modificações de chassis de caminhões que possuem um tanque que armazena água, variando entre 500 e 4000 litros, uma bomba hidráulica ligada ao motor principal do veículo, e ainda compartimentos para alocação de materiais e equipamentos de resgate (Foto 27).

Estas viaturas, assim como outros veículos tanque, dispõe de uma série de paredes internas que compartimentam o tanque com a função de reduzir a energia do líquido em deslocamento, chamada de “quebra-onda” (Figura 5). Estas paredes internas possuem um espaço que interliga todos os compartimentos.



Foto 27: Viatura Auto Bomba Tanque e Resgate.
Fonte: do autor

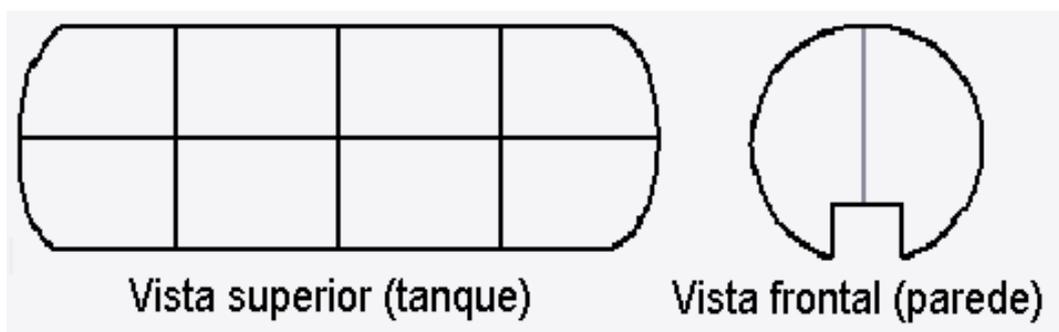


Figura 5: Detalhe do quebra-onda.
Fonte: do autor

4.2.1.19 EQUIPAMENTO DE PROTEÇÃO INDIVIDUAL

A roupa de proteção de combate a incêndio utilizada pelo Corpo de Bombeiros Militar de Santa Catarina é composta por bota, calça, jaqueta, balaclava e luvas (Foto 28), e capacete (Foto 29), todas específicas para resistência às chamas e ao calor.



Foto 28: Equipamento de Proteção Individual de combate a incêndio.
Fonte: <http://www.cooperminio.com.br/imagens/img/bombeiro.jpg>



Foto 29: Capacete Galett.

Fonte:

http://extincendios.pt/pt/components/com_virtuemart/shop_image/product/822dc8c77cea15d5bfec69903d6da704.jpg

4.2.2 *Pré-testes*

Os pré-testes foram realizados para definir alguns parâmetros antes dos testes em escala real, a fim de determinar quantidade de combustível líquido e o tempo para início do combate ao fogo.

Inicialmente, deve-se considerar que os engradados foram montados com ripas de 25 mm X 25 mm X 660 mm, com 15 camadas, tendo suas dimensões finais semelhantes com o ensaio classe 2-A.

Todavia, deve-se ressaltar que a NBR 9443 utiliza uma seção mínima de 45 X 45 mm, e que o teste realizado utilizou uma seção menor, de 25 X 25 mm, sendo assim, algumas adaptações tiveram de ser feitas ao ensaio, comparado à referida norma.

Assim, o primeiro pré-teste definiu a quantidade de combustível líquido que seria utilizado no ensaio. A NBR 9443 utiliza 2 litros para iniciar a queima do engradado classe 2-A.

Segundo a referida norma, para os ensaios 1-A a 4-A, deve-se aguardar que o combustível líquido queime completamente e aguardar 10 minutos do início da combustão para efetuar o combate.

Todavia, devido à redução da seção das ripas que formam o engradado, seria provável que após 10 minutos o fogo já estivesse na fase de declínio. Desta maneira, definiu-se que todo o combustível líquido iria queimar, e aguardar-se-ia o momento em que o fogo atingisse seu ápice, para definir o momento para iniciar a extinção.

4.2.3 *Procedimento*

Como não existe um ensaio padronizado de incêndio no Brasil, foi formulado um ensaio, tendo como base a NBR 9443 – Extintor de incêndio classe A – Ensaio de fogo em engradado de madeira.

A norma define que o engradado deve permanecer sobre suportes metálicos e abaixo deve-se queimar combustível líquido até que o engradado esteja em chamas.

Como pode ser verificado nas fotos 30 e 31, o método de ensaio foi definido tendo os engradados de madeira sobre os blocos de cimento, os quais serviram de

suporte, e entre os blocos que possuíam uma altura de 20 cm, foi inserido uma fôrma metálica, na qual o combustível líquido foi derramado, e após incendiado.



Foto 30: Sistema para o ensaio (cotado).
Fonte: do autor.



Foto 31: Detalhe da parte inferior do sistema.
Fonte: do autor.

5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Para melhor compreensão dos resultados, estes foram divididos em duas partes, uma específica para o teste em laboratório e outra para o teste em escala real.

5.1 TESTE EM LABORATÓRIO

Foi verificada a eficácia do Barricade Fire Blocking Gel® nas proporções de 0,75 e 3,0% em água para proteger as amostras de madeira, quando comparadas a amostras iguais molhadas.

Todavia, comparando as amostras das soluções, percebeu-se que o gel formado pela mistura de 0,75% de Barricade Fire Blocking Gel® em água evaporou num tempo menor, e escorreu (devido à viscosidade mais baixa) o que expôs a superfície da amostra ao fogo.

Notou-se que as amostras de madeira, ao serem submetidas às chamas, aquela que havia sido submersa em água pura entrou em combustão antes que a outra, a qual estava envolvida pela solução aquosa de 3% de Barricade Fire Blocking Gel®, perdesse sua parede de gel (Foto 32);

Todavia, percebeu-se que a parte da amostra com gel (3%) que estava mais próxima à outra amostra (molhada) e mais exposta à chama inicial, teve uma área com carbonização externa (Foto 33);



Fotos 32 e 33: Parte da amostra a 3% que sofreu carbonização externa (parte mais próxima da outra amostra e diretamente sob as chamas).

Fonte: do autor.

No teste com tecido, o Barricade Fire Blocking Gel® demonstrou-se eficaz como retardante de chamas, misturado à proporção de 0,75% em água, onde se pôde perceber exatamente onde foi aplicado o gel e onde não foi.

Quando a amostra foi submetida às chamas observou-se que não ocorreu a ignição imediata do mesmo; primeiramente o fogo teve que evaporar a água na metade molhada (Foto 34), para então entrar em combustão (com a presença de chama oriunda da amostra), enquanto que a metade que havia sido aplicado o gel sofreu sinais mais brandos de combustão.



Foto 34: Início da queima do tecido na parte que estava molhada com água.
Fonte: do autor.

Após 6 minutos, a metade do tecido que estava molhada reduziu-se a cinzas, sinal de uma combustão completa, enquanto que a outra metade ficou protegida, permanecendo praticamente intacta mesmo sob o fogo (Foto 35).



Foto 35: Resultado final da combustão do tecido. Apenas a parte umedecida com água foi carbonizada até o fim.

Fonte: do autor.

O teste com espuma molhada com água foi pouco proveitoso, uma vez que a amostra permaneceu molhada, haja vista a porosidade do combustível, o que retardou os efeitos da combustão em toda a amostra.

Percebeu-se também que na parte que estava molhada a água concentrou-se no fundo, região de exposição à chama, o que delongou a combustão, haja vista a dificuldade de evaporação desta água.

Após 10 minutos, parte da metade que havia sido molhada já havia entrado em combustão, porém a parte que tinha na superfície a solução aquosa de Barricade Fire Blocking Gel® (0,75%) não demonstrou sinais de queima.

Já a espuma seca entrou em combustão imediatamente ao receber o contato das chamas, enquanto que a metade embebida na solução aquosa de 0,75% de Barricade Fire Blocking Gel® não apresentou sinais de evaporação do gel ou de combustão, como pode ser observado na foto 36.

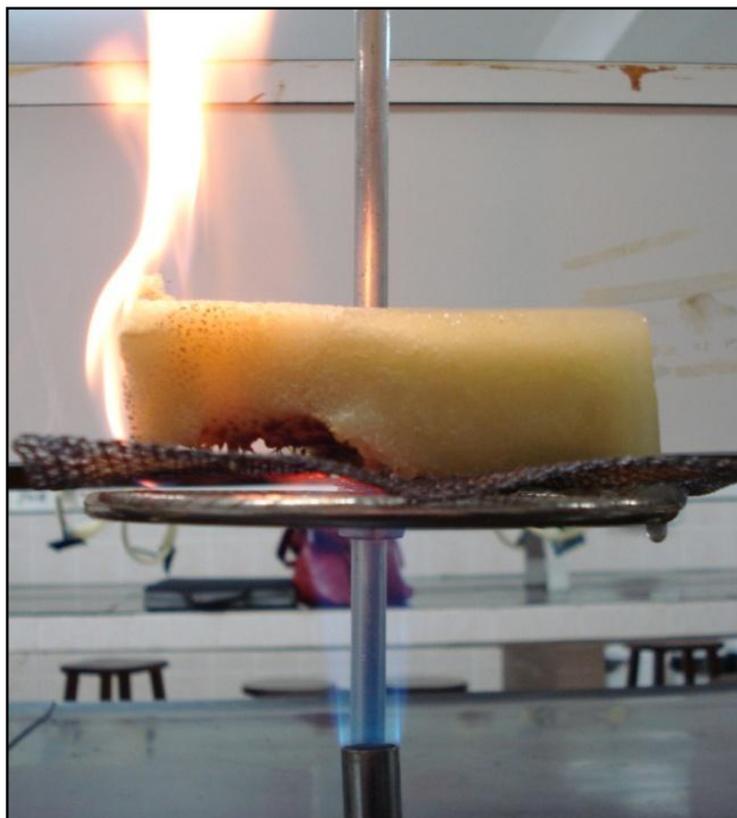


Foto 36: Espuma seca em combustão.
Fonte: do autor.

Ao final do experimento, a parte que estava seca foi completamente queimada, enquanto que a parte com o gel não sofreu nenhum sinal de combustão (Foto 37);



Foto 37: Espuma seca completamente queimada.
Fonte: do autor

5.2 PRÉ-TESTES

O primeiro pré-teste demonstrou que 2 litros de combustível líquido queimaram durante 4 minutos (Foto 38), tempo suficiente para incendiar um engradado com as dimensões a ser utilizadas nos testes.



Foto 38: Queima do combustível líquido.
Fonte: do autor.

O segundo pré-teste foi realizado para verificar qual a medida temporal em que o engradado atingiria o ápice das chamas. Neste pré-teste verificou-se que o fogo era mais intenso em 6 minutos do início da combustão, como pode ser visto na Foto 39.



Foto 39: Engradado após 6 minutos.
Fonte: do autor.

Antes dos 6 minutos, as chamas demonstravam crescimento, e após já começavam a diminuir. Assim, foi definido como sendo o ponto máximo da combustão, e o momento de iniciar o combate ao fogo.

5.3 ENSAIO EM ESCALA REAL

Com o objetivo de utilizar os equipamentos já existentes na corporação, utilizou-se um sistema hidráulico ordinário do Corpo de Bombeiros Militar de Santa Catarina.

Não foram realizados testes científicos quanto à aplicação do gel, formado pelo Barricade Fire Blocking Gel® e água, com outros equipamentos, ou com outros sistemas (tipo Venturi, por exemplo), uma vez que a intenção do ensaio era verificar se o gel apresentaria o mesmo desempenho que teve em laboratório, utilizando os sistemas hidráulicos mais comuns dentro da corporação.

A quantidade de combustível líquido (2 litros) se mostrou bem dimensionada, uma vez que em todos os testes os engradados sofreram um alto grau de carbonização, permanecendo em sua forma original devido aos meios utilizados para isso (pregos e arames), como pode ser notado na Foto 40.



Foto 40: Engradado após um dos ensaios. Prova de combustão intensa.
Fonte: do autor.

A mesma quantidade de combustível líquido foi utilizada nos testes de retardância, assim, pode-se afirmar que o agente, neste caso o gel, foi testado nas mesmas condições, as quais eram suficientes para incendiar o engradado.

5.3.1 Extinção com água

Para a extinção com água dos engradados foi montado um sistema hidráulico no qual foram acoplados a válvula de retenção (pé de crivo), o mangote de 3,1 metros, a moto-bomba, a mangueira de 1 ½ ' (20 metros) e o esguicho, conforme se pode ver nas fotos 41 e 42.



Foto 41: Válvula de retenção submersa e conectada ao mangote.
Fonte: do autor.



Foto 42: Sistema hidráulico completo.
Fonte: do autor.

O primeiro teste foi realizado com o agente extintor água, a fim de criar um parâmetro que servisse como base para comparações futuras sobre a eficácia do Barricade Fire Blocking Gel®.

Um sistema completo (fôrma, suporte e engradado) foi montado. Foram utilizados 2 litros de combustível líquido (gasolina) dentro da fôrma e então, iniciou-se sua combustão, conforme pode ser visualizado na foto 43, para dar início à combustão dos engradados.



Foto 43: Engradado queimando.
 Fonte: do autor.

Após 6 minutos, foi efetuado o combate do fogo, sendo que as chamas foram debeladas em 13 segundos. Repetido o teste, as chamas foram extintas em 10 segundos.

5.3.2 Retardância do Barricade Fire Blocking Gel® (solução 3%)

Para fazer uma solução aquosa de 3,0% de Barricade Fire Blocking Gel®, foi realizada a mistura de dois galões (7,57 litros) de Barricade Fire Blocking Gel® em 249 litros de água. Esta mistura formou um gel numa proporção de 3%.

Diâmetro da caixa d'água = 0,98 m

Profundidade da água = 0,33 m

$$\text{Volume} = \text{Prof.} * \left(\left(\frac{\text{Diâmetro}}{2}\right)^2\right) * \pi * 1000 \rightarrow \text{Volume} = 0,33 * \left(\left(\frac{0,98}{2}\right)^2\right) * 3,14 * 1000$$

Volume = 249 litros

Cálculo da proporção: $249 + 7,57 = 256,57 = 100\% \rightarrow 7,57 = X$

$$X = \frac{7,57 \cdot 100}{256} \rightarrow X = 3\%$$

A mistura do gel com a água foi realizada com a ajuda de um remo, e mesmo fazendo-a em um recipiente circular (caixa d'água), o que facilitou a mistura, conseguir a homogeneidade foi muito difícil, sendo que foi necessário misturar o Barricade Fire Blocking Gel® na água durante aproximadamente 10 minutos com intensa força muscular. A solução pode ser observada na foto 44.



Foto 44: Mistura a 3%.
Fonte: do autor.

Todavia, não foi possível fazer a sucção deste gel, o qual se mostrava muito espesso e não passava pela entrada da bomba.

Foi realizado então um teste de retardância com este gel (3%), no qual um engradado foi submerso na mistura, conforme se pode ver na foto 45.

Para os testes de retardância, o engradado teve de ser submergido na mistura de 3%, pois não foi possível aplicar o gel sobre os engradados através do sistema hidráulico disponível, já que o gel a 3% não fluiu pelo sistema hidráulico.



**Foto 45: Engradado sendo submergido no gel com 3% de concentração.
Fonte: do autor.**

A submersão dos engradados no gel conferiu a aplicação em todas as faces de todas as ripas que compunham o engradado, o que seria dificultado caso esta proteção fosse jateada com um esguicho. Todavia, há que se considerar que nas ocorrências de incêndio não são encontrados combustíveis com características construtivas tão complexas quanto os engradados utilizados.

Após a submersão o engradado foi submetido às chamas, conforme se pode observar na Foto 46.



Foto 46: Engradado sendo submetido às chamas.
Fonte: do autor.

Após a queima de todo o combustível líquido, que durou 4 minutos e 40 segundos, o engradado não estava em chamas, como se pode perceber nas fotos 47 e 48, que foram capturadas no instante em que o combustível líquido chegava ao fim de sua queima.



Foto 47: Engradado após 4 minutos e 40 segundos.
Fonte: do autor.



Foto 48: Engradado ainda com gel, ao final do teste de retardância.
Fonte: do autor.

O engradado foi retirado do sistema, e percebe-se na foto 49 que havia sinais de chamas no engradado, mas que o mesmo não foi carbonizado, e em uma parte ainda havia uma grossa camada de gel retardante.



Foto 49: Engradado após teste de retardância com 3%.
Fonte: do autor.

O lado do engradado mais exposto às chamas aparentava sinais brandos de queima, mas não suficiente para reduzir a seção das ripas, como está detalhado na foto 50.



Foto 50: Lado mais exposto ao fogo.
Fonte: do autor.

5.3.3 Retardância do Barricade Fire Blocking Gel® (solução 0,75%)

Preparou-se uma solução aquosa de 1,5% de Barricade Fire Blocking Gel®. Para isso, mais 243 litros de água foram adicionados à mistura original, fazendo com que a mistura passasse da concentração de 3,0% para 1,5%. A solução pode ser vista na foto 51.

Cálculo da proporção: $256,57 + 243 = 500 = 100\% \rightarrow 7,57 = X$

$$X = \frac{7,57 * 100}{500} \rightarrow X = 1,5\%$$



Foto 51: Mistura a 1,5%.
Fonte: do autor.

De forma semelhante à mistura a 3%, a concentração de 1,5% foi viscosa para fluir dentro do sistema hidráulico, o qual conseguiu fazer a sucção pelo corpo da bomba, mas não teve força suficiente para expedir pela mangueira de combate.

O fato das proporções de 3% e 1,5% não serem succionadas pela bomba, se deu devido alta viscosidade. Havia uma expectativa, baseada na experiência empírica, de que o gel a 3% tivesse uma fluidez menor, mas esperava-se que o gel a 1,5% passasse pelo sistema.

Desta forma, não foi possível realizar um teste de combate com as misturas de 3% e 1,5%, utilizando o sistema hidráulico disponível.

Para reduzir a concentração, foram mantidos 150 litros de gel na caixa d'água (na proporção de 1,5%) e adicionados mais 150 litros de água, o que formou um gel com proporção de 0,75% ($\frac{1,5}{2}$).

O ensaio consistiu na avaliação da retardância às chamas da solução aquosa de 0,75% de Barricade Fire Blocking Gel®. Embora a mistura a 0,75% tenha fluído sem problemas pelo sistema, o mesmo método (submersão) foi utilizado para esta proporção (Foto 52), a fim de conferir a mesma condição para os dois testes.



**Foto 52: Engradado sendo submergido no gel a 0,75%.
Fonte: do autor.**

Notou-se que a camada de gel que permaneceu sobre as ripas era menos espessa que a mistura a 3%.

As chamas do combustível líquido permaneceram acesas por 5 minutos. Após a queima do combustível líquido, restaram apenas pequenas chamas em uma das partes do engradado, como pode ser visto nas fotos 53 e 54, que foram capturadas no momento que o combustível líquido chegava ao fim de sua queima.



Foto 53: No final do teste, permaneciam poucas chamas.
Fonte: do autor.



Foto 54: Pequenas chamas na parte posterior do engradado.
Fonte: do autor.

As chamas remanescentes não foram apagadas, para verificar se as mesmas iriam extinguir-se ou aumentar. Depois de 4 minutos do fim do combustível líquido, ou 9 minutos do início do ensaio, as chamas aumentaram e já tomavam conta de boa parte do engradado (Foto 55).



Foto 55: Depois de 9 minutos do início do teste.
Fonte: do autor.

As chamas foram apagadas e verificou-se a condição do engradado. Neste caso, pôde-se perceber uma fina camada de gel, que permanecia sobre partes da superfície do engradado (Foto 56).



Foto 56: Camada de gel ainda presente sobre o engradado.
Fonte: do autor.

Dentre as proporções, percebeu-se que a amostra com 3% é mais resistente às chamas que a 0,75%, uma vez que proporcionou uma parede mais espessa naquela do que nesta, devido à diferença de viscosidade.

5.3.4 Extinção com Barricade Fire Blocking Gel® (solução 0,75%)

A solução aquosa de 0,75% de Barricade Fire Blocking Gel® fluiu pelo sistema hidráulico, semelhante à água, com pressão e vazão. Um sistema (fôrma, suporte e engradado) foi montado e incendiado, para efetuar-se o combate com a mistura a 0,75%.

Após 6 minutos iniciou-se o combate ao fogo, o qual ocorreu em 4 segundos. Repetido o ensaio, novamente as chamas foram apagadas em 3 segundos.

Comparando estes valores com os obtidos com o combate com água, que foram de 13 e 10 segundos, pode-se afirmar que a solução de 0,75% de Barricade Fire Blocking Gel® em água é mais eficiente que quando usado apenas água na extinção do fogo.

É importante ressaltar que não houve reignição do fogo, o que é fundamental nas operações de combate a incêndio, haja vista que uma fina camada de gel permaneceu sobre as superfícies que estavam em combustão, como se pode ver na foto 57.



Foto 57: Camada de gel sobre as ripas do engradado.
Fonte: do autor.

Esta camada de gel que permaneceu sobre a superfície retardou a combustão do engradado, conforme foi visto no teste de retardância com 0,75% de Barricade Fire Blocking Gel®.

Esta característica é importante para as operações de combate a incêndio porque evitará que o fogo reinicie onde o bombeiro já efetuou sua extinção e ainda porque não permitiria que os bombeiros em algum momento se encontrassem cercados pelo fogo, pois teriam criado um caminho incombustível por onde avançaram.

Pode-se comprovar na foto 58 que a combustão foi intensa sobre o engradado, o que causou inclusive a redução da seção das ripas que compunham o engradado. Assim, pode-se afirmar que o gel extinguiu chamas intensas na madeira.



Foto 58: A intensa combustão reduziu a seção das ripas.
Fonte: do autor.

6 CONCLUSÃO

Ao final dos experimentos, analisando os resultados obtidos, os combustíveis utilizados e as condições em que os ensaios foram realizados, pode-se concluir que:

O produto Barricade Fire Blocking Gel® foi eficaz, seja na proporção de 3% ou de 0,75%, como retardante de chamas, e os testes em escala real vieram ao encontro dos testes em laboratório.

A porosidade é fator relevante para a absorção do gel pelo combustível, sendo que quanto maior a porosidade, maior será a proteção, devido ao menor escoamento do gel na superfície.

Não seria possível realizar a mistura do produto Barricade Fire Blocking Gel® dentro do tanque de uma viatura ordinária do Corpo de Bombeiros Militar de Santa Catarina, devido à presença de quebra-ondas, o que impediria a homogeneização do gel dentro do tanque.

Conclui-se que para aplicar o gel utilizando uma viatura da corporação um novo método teria que ser desenvolvido, com um reservatório específico para acondicionar o Barricade Fire Blocking Gel®, e outro sistema que proporcionasse a mistura homogênea do gel.

Os testes de combate ao fogo também proporcionaram dados favoráveis ao produto, uma vez que a extinção das chamas se deu em menor tempo do que o mesmo teste comparado com água.

Isso significa que foi gasto uma quantidade menor de agente extintor (gel), o que traz uma redução de custos para a corporação, e ainda reduz o choque térmico com a estrutura da edificação incendiada, o que aumenta a segurança em relação ao risco de colapso estrutural.

Ainda, que uma camada de gel permaneceu sobre a superfície dos engradados, mesmo após a extinção das chamas, o que retardaria uma possível reignição deste combustível caso uma nova fonte de calor fosse aplicada sobre ele.

A aplicação deste gel (misturado a 0,75%) como agente extintor facilitaria o combate por parte das guarnições de incêndio, primeiramente por extinguir as chamas com eficiência, e secundariamente por criar uma barreira de gel retardante sobre as superfícies onde o fogo já foi combatido, dificultando sua reignição e proporcionando

uma segurança maior às guarnições, pois o risco de ficar circundado pelo fogo seria minúsculo, e o choque térmico seria menor, diminuindo os riscos de colapso estrutural.

De maneira sucinta, o teste em escala real afirmou que o produto é eficaz, seja aplicado como retardante ou como agente extintor, todavia não é eficiente se utilizado com os equipamentos hoje existentes na corporação, tendo que ser desenvolvido outro método ou tecnologia específica para a aplicação do gel.

7 REFERENCIAL BIBLIOGRÁFICO

BRADY, James E.; HUMISTON, Gerard E.. **Química Geral**. Rio de Janeiro: Ltc, 1996.

BRAGA, Benedito et al. **Introdução à Engenharia Ambiental**. 2. ed. São Paulo: Person Prentice Hall, 2005.

BOYD, Morrison et al. **Organic Chemistry**. 6. ed. New Jersey: Prentice-hall International, 1992.

BRASIL. **Constituição da República federativa do Brasil**: 1988. 28. ed. Brasília: Câmara Dos Deputados, Coordenação de Publicações, 2007. 88 p.

COMO funciona uma fralda descartável? Disponível em: <<http://fraldadepano.wordpress.com/2007/10/20/como-funciona-uma-fralda-descartavel/>>. Acesso em: 15 abr. 2008.

DISCOVERY CHANNEL. Os Pioneiros do Futuro: **Polímeros no combate a incêndio**. Apresentado em: 02 jan. 2007 às 14:00 horas.

EIDT, Marco Antônio. **Efeitos da temperatura nos riscos de colapso estrutural em concreto**. 2008. 75 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Tecnólogo) - Curso de Tecnologia em Gestão de Emergências, Univali, São José, 2008.

FALCONE, Daniele M. B.; AGNELLI, José Augusto M.; FARIA, Leandro I. L. de. Panorama Setorial e Perspectivas na Área de Polímeros Biodegradáveis. **Polímeros: Ciência e Tecnologia**, São Carlos, v. 17, n. 1, p.5-9, 2007.

FALCONE, Danielle Maria Bruno. **Modificação do poli(hicrdoxibutirato) - PHB com nucleantes e com o copolímero (etileno-co-acetato de vinila) - EVA**. 2008. 178 f. Tese (Doutorado) - Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2008.

FRIED, Joel R.. **Polymer Science and Technology**. New Jersey: Prentice Hall, 1995.

HEIN, Morris; ARENA, Susan. **Fundamentos de Química Geral**. 9. ed. Rio de Janeiro: Ltc, 1998.

INCÊNDIO na biblioteca da Universidade de Genebra Disponível em: <<http://www.aber.org.br/v2/noticia.php?ldNoticia=1788>>. Acesso em: 25 ago. 2008.

- LACOWICZ, Altair. **Corpo de Bombeiros Comunitário: A parceria que deu certo.** Chapecó: Imprimax, 2002.
- KOTZ, John C.; TREICHEL JUNIOR, Paul M.. **Química Geral e Reações Químicas.** São Paulo: Tomson Learning, 2006. 1 v.
- MANO, Eloísa B.; MENDES, Luiz Cláudio. **Introdução a polímeros.** 2. ed. São Paulo: Edgard Blücher, 1999.
- MARCONATO, J. C. ; FRANCHETTI, S. M. M. . Polímeros superabsorventes e as fraldas descartáveis - Um material alternativo para o ensino de polímeros. Química Nova na Escola, São Paulo, v. 15, p. 42-44, 2002.
- OLIVEIRA, Marcos de. Comando e Controle em Operações de Incêndio: Manual de estratégias, táticas e técnicas de combate a incêndio estrutural.. Florianópolis: Editograf, 2005.
- OLIVEIRA, Marcos de. **Estudo sobre incêndios de progresso rápido.** 2005. 88 f. Monografia (Especialização) - Curso de Planejamento e Gestão em Defesa Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2005.
- PARIZOTTO, Walter. Curso de Formação de Combatente em Incêndios Florestais. Xanxerê: sine nomine, 2007.
- PESQUISA FAPESP: Ciência e Tecnologia. São Paulo: Fapesp, v. 135, maio 2007. Mensal.
- PEREIRA, Maíra B. et al. Estudos de biodegradação de poliacrilatos. In: 30ª REUNIÃO ANUAL DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE QUÍMICA. Águas de Lindóia, 2007. p. 1 - 2.
- PORTO: incêndio provocou estragos em dois laboratórios Disponível em: <<http://diario.iol.pt/sociedade/porto-universidade-incendio-fogo-reitoria-bombeiros/948494-4071.html>>. Acesso em: 22 jul. 2008.
- RABELLO, Marcelo S.. **Aditivção de polímeros.** São Paulo: Artliber, 2000.
- RECOMINTE: Mangueiras aeronáuticas. Disponível em: <<http://www.recominte.com/portugues/homeval.htm>>. Acesso em: 22 set. 2008.
- ROSA, Derval S. et al. Biodegração de PHB, PHB-V e PCL em solo compostado. **Polímeros: Ciência e Tecnologia**, São Carlos, v. 12, n. 4, p.311-317, 2002.
- ROZEMBERG, Israel Mordka. **Química Geral.** São Paulo: Edgard Blücher, 2002.

- RUSSEL, John Blair. **Química Geral**. 2. ed. São Paulo: Makron Books, 1994. 1 v.
- RUSSEL, John Blair. **Química Geral**. 2. ed. São Paulo: Makron Books, 1994. 2 v.
- SANTA CATARINA. **Constituição do Estado de Santa Catarina**: 1989. Florianópolis: Editora da Assembléia Legislativa, 2004.
- SANTOS, Anderson R. Dos et al. Determinação da massa molar por crioscopia. **Química Nova**, São Paulo, v. 25, n. 5, p.844-848, 2002.
- SHAKHASHIRI, B. Z.. Chemical Demonstrations: A handbook for teachers of chemical. In: MARCONATO, J. C. ; FRANCHETTI, S. M. M. . **Polímeros superabsorventes e as fraldas descartáveis**: Um material alternativo para o ensino de polímeros. *Química Nova na Escola*, São Paulo, v. 15, p. 42-44, 2002.
- SILVEIRA, Henrique Piovezam da. **A RESPONSABILIDADE CIVIL DO SOCORRISTA DO CORPO DE BOMBEIROS MILITAR NO ATENDIMENTO PRÉ-HOSPITALAR**. 2005. 64 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado) - Curso de Direito, Unesc, Criciúma, 2005.
- STEVENS, Malcom P.. *Polymer Chemistry: An Introduction*. 3. ed. New York: Oxford University, 1999.
- VLACK, Lawrence Hall Van. **Princípios de ciência dos materiais**: Traduzido pelo Eng. Luiz Paulo Camargo Ferrão. São Paulo: Edgard Blücher, 1970. 427 p.
- WORLD Trade Center Disponível em:
<http://www.hploco.com/wtc/Acontecimentos_....html>. Acesso em: 25 ago. 2008.
- ZEFERINO, Hilton de Souza. **Operações de Busca e Salvamento Terrestre**. 2001. Trabalho de Conclusão de Curso (Especialização) - Curso de Especialização para Bombeiros Oficiais, CEBM, Florianópolis, 2001.