

# COMBUSTÃO ESPONTÂNEA: ESTUDO DA FERMENTAÇÃO DO ALGODÃO COMO FATOR GERADOR DE INCÊNDIOS EM INDÚSTRIAS TÊXTEIS

Bruno Souza de Albuquerque<sup>1</sup>

Rodrigo Gonçalves Basílio<sup>2</sup>

## RESUMO

No contexto da investigação de incêndio, o algodão é um dos materiais mais conhecidos quando o assunto diz respeito ao fenômeno da combustão espontânea. Incêndios ocasionados pela combustão espontânea do algodão já foram registrados em diversos países do mundo, implicando, alguns deles, vultosos prejuízos econômicos. Santa Catarina é um estado com um forte polo industrial têxtil, sendo o algodão uma das principais matérias-primas. Diversos estudos já foram realizados por pesquisadores internacionais, de modo a examinar a influência de variáveis no fenômeno do autoaquecimento do algodão, cuja apresentação constitui o objetivo precípua desta pesquisa, o que ocorrerá por meio de um método bibliográfico. Pelos estudos selecionados, nota-se que cinco dessas variáveis são determinantes para a combustão espontânea do algodão: temperatura, umidade, densidade de armazenamento, modo de armazenamento e variedade do algodão. Na conclusão, verifica-se que, estando presentes as supracitadas variáveis, da forma como são explanadas neste artigo, e, correlacionando-as com os demais vestígios encontrados na cena, será possível validar uma hipótese de combustão espontânea.

**Palavras-chave:** Investigação de incêndios, Algodão, Combustão Espontânea

---

<sup>1</sup>1º Tenente do Corpo de Bombeiros Militar de Santa Catarina, perito em incêndio e explosão, bacharel em engenharia química pela Universidade do Sul de Santa Catarina, com especialização em gestão de eventos críticos pelo Centro de Ensino Bombeiro Militar. E-mail: b.albuquerque@cbm.sc.gov.br

<sup>2</sup> 1º Tenente do Corpo de Bombeiros Militar de Santa Catarina, perito em incêndio e explosão, bacharel em comunicação pela Universidade Federal de Goiás (UFG), com especialização em limites constitucionais da investigação pela Universidade Anhanguera. E-mail: basilio@cbm.sc.gov.br

## 1 INTRODUÇÃO

Descobrir as causas de um incêndio é a principal atribuição de um perito que atue nessa área. Em Santa Catarina, tal mister cabe ao Corpo de Bombeiros Militar, por força da própria Constituição Estadual, a qual estabeleceu, no inciso IV do seu art. 108, a atribuição de “realizar perícias de incêndio e áreas sinistradas”, respeitado o limite de suas competências, vale dizer, sem invadir aquelas pertencentes ao Instituto Geral de Perícias (SANTA CATARINA, 2017).

Entre as causas possíveis de um sinistro ocorrer, a combustão espontânea está entre as mais incompreendidas. Comprovar a ocorrência da autoignição não é tarefa das mais fáceis, visto que os mecanismos de sua ocorrência são complexos e não raras vezes desconhecidos ao investigador de incêndio, o que pode levá-lo à conclusão de que muitos incêndios acidentais tenham sido espontâneos somente porque não foram localizados uma fonte de ignição óbvia ou eventuais indícios de ação humana. (DEHAAN, 2007)

Entre os materiais suscetíveis ao autoaquecimento está o algodão, o qual é amplamente utilizado pela indústria têxtil e já causou diversas hecatombes em todo o mundo. Em fevereiro de 2010, houve um incêndio em um depósito de algodão em Qingdao, na província de Shandong na China, devido à combustão espontânea do algodão, causando o colapso das estruturas em apenas 30 minutos e um prejuízo aproximado de 1 bilhão de remimbi (aproximadamente 548 milhões de reais). Outro incêndio iniciado pela ignição espontânea do algodão, no dia 22 de abril de 2010, em Jiaonan, também na província de Shandong, terminou com um prejuízo de 1 milhão de remimbi e 100 toneladas de algodão queimado. (JU, 2016)

Como se pode perceber, a ignição espontânea é um perigo silencioso, potencialmente fatal e que pode causar prejuízos na casa dos milhões de reais caso não sejam tomadas as devidas precauções de modo a minimizar a probabilidade de sua ocorrência. Diante disso, este artigo tem por finalidade realizar um estudo na literatura consagrada, tanto nacional quanto internacionalmente, da combustão espontânea e do comportamento térmico do algodão, elencando, ao final, os principais fatores que levam ao seu autoaquecimento e, de igual forma, as precauções que devem ser adotadas pelos diferentes atores envolvidos na produção e na utilização do algodão, visando diminuir a possibilidade de ocorrência do mencionado fenômeno.

A pesquisa, então, reveste-se de caráter explicativo, sendo aquele no qual o pesquisador busca identificar os fatores que determinam ou de alguma forma estão diretamente relacionados a algum fenômeno (GIL, 2002). Dadas as fontes de pesquisa que serão utilizadas, a pesquisa pode ser classificada como bibliográfica, porquanto elaborada com base em materiais já publicados, com ênfase em livros e artigos científicos (GIL, 2002). Já o método utilizado será o indutivo, sendo aquele em que, por meio de dados particulares, infere-se uma verdade geral não contida nas partes examinadas (LAKATOS; MARCONI, 2003).

## 2 COMBUSTÃO ESPONTÂNEA

Antes de explorar especificamente as características do algodão que o tornam predisposto à autoignição, é necessário definir o que é o fenômeno da combustão espontânea, quais fatores estão relacionados à sua ocorrência, quais materiais são mais suscetíveis a ela e como se dá o mecanismo da reação de autoaquecimento.

### 2.1 O QUE É A COMBUSTÃO ESPONTÂNEA?

A NFPA (*National Fire Protection Association*) define o autoaquecimento como sendo o processo pelo qual determinada substância passa por um processo químico e tem sua temperatura aumentada somente pelas reações exotérmicas entre o material e a atmosfera do ambiente. (NFPA, 2011)

Essa reação química é muito lenta, podendo levar dias para que seja percebida. A energia exotérmica – ou seja, que libera calor ao ambiente – compete diretamente com a capacidade do material em dissipar este calor para o ambiente. Caso a taxa de liberação de energia seja maior que a capacidade de dissipar calor para o recinto circundante, a temperatura do material irá aumentar gradativamente. Esse aumento de temperatura irá elevar a velocidade da reação de oxidação, a qual irá liberar mais calor, podendo chegar ao ponto de material atingir seu ponto de ignição. (LENTINI, 2013)

Talvez a característica mais marcante desse tipo de fenômeno em sólidos “amontoados” seja que a combustão começa de uma forma silenciosa e sem chamas – conhecida no meio internacional como *smouldering* – no meio da massa sólida e vai vagarosamente se propagando em direção à superfície. Apesar de chamas poderem irromper

quando a frente de queima atinge o ar circundante, vestígios de uma queima prolongada serão encontrados no miolo do material. (DRYSDALE, 2002)



*Figura 1: Início do processo de autoaquecimento do algodão a partir do centro. Fonte: Quintiere et al., 2002.*

Entre os fatores que podem ser listados como chave para a ocorrência de desse fenômeno em determinada amostra, podem-se destacar: a) quantidade de material e porosidade, pois o primeiro está relacionado à capacidade de acumular o calor gerado em seu interior e o segundo, à capacidade do oxigênio de difundir-se e de fornecer oxigênio para reações de oxidação ou biológicas; b) presença de umidade, a qual é fundamental para a existência dos micro-organismos responsáveis pelos processos de decomposição e fermentação; c) contaminações em geral (presença de óleo de linhaça em trapos de algodão, por exemplo); e por fim, erros em processos, como o armazenamento de produtos que ainda não tenham se arrefecido o suficiente. (QUINTIERE, 2006)

Muitos pesquisadores já desenvolveram modelagens matemáticas para avaliar a propensão de determinado combustível sólido iniciar um processo de autocombustão, sendo um dos mais famosos o modelo de Frank-Kamenetskii. Neste, a relação da temperatura crítica de ignição está associada a uma série de parâmetros, como a constante dos gases ideais, a energia de ativação e a geometria do material (DRYSDALE, 2002)

No entanto, o modelo supracitado foge do escopo desta pesquisa por dois principais motivos: 1º) a metodologia usada por Frank-Kamenetskii é uma prática de tentativa e erro em condições controladas e o Corpo de Bombeiros Militar ainda não possui seu próprio

laboratório de Ciências do Fogo; e 2º) a modelagem matemática é bastante complexa para investigadores de incêndio que não sejam oriundos da área das ciências exatas e engenharias.

Alguns materiais suscetíveis ao autoaquecimento são trazidos na tabela abaixo, para conhecimento e referência ao investigador de incêndio:

Tabela 1 – Materiais suscetíveis ao autoaquecimento

Material	Tendência à Combustão Espontânea	Forma de Armazenamento	Precauções	Observações
Carvão Vegetal	Alta	Sacos, granel	Manter seco. Fornecer ventilação.	Carvão de madeira de lei deve ser cuidadosamente preparado. Evitar molhar e subsequentemente secar.
Grãos secos com teor de óleo	Moderada	Granel	Manter o teor de umidade entre 7-10% e abaixo de 38°C antes do armazenamento.	Muito perigoso se o teor de umidade baixar de 5%.
Farinha de peixe	Alta	Sacos, granel	Manter o teor de umidade entre 6-12%. Evitar exposição a temperaturas elevadas.	Perigoso se completamente seca ou se empacotada acima de 38°C.
Borracha espuma	Moderada	Separar almofadas de borracha espuma de peças de vestuário que passarão por equipamentos de secagem. Se materiais contendo borracha espuma foram secos artificialmente, eles devem ser resfriados antes de serem empilhados ou empacotados.		Pode continuar aquecendo espontaneamente depois de sujeito à secagem forçada ou a outras fontes de calor. Secagem natural não causa combustão espontânea.
Grãos (vários tipos)	Leve	Sacos, granel	Evitar teor de umidade extremo	Podem autoaquecer quando úmidos e quentes.
Feno	Moderada	Sacos, granel	Manter seco e frio.	Feno úmido e armazenado imprópriamente é quase certo aquecer em dias quentes. Fardos de feno raramente atingem autoignição.
Óleo de linhaça	Alta	Tanques, latas, vidros	Evitar contato com recipientes com panos, algodão ou outros materiais combustíveis fibrosos.	Tecidos impregnados com esse óleo são extremamente perigosos. Evitar pilhas, etc. Armazenar em recipientes fechados, de preferência metálicos
Adubo	Moderada	Granel	Evitar os níveis máximos inferiores e superiores de umidade. Ventilar as pilhas.	Evitar o armazenamento ou carregamento não ventilado do adubo.
Panos com óleo	Alta	Fardos	Evitar armazenamento em ambientes abertos.	Perigoso se molhado com óleo

Panos (trapos)	Variável	Fardos	Evitar contaminação com óleos. Evitar carbonização. Manter frio e seco.	Depende do uso prévio. Parcialmente queimado ou carbonizado pode ser perigoso
Serragem	Possível	Granel	Evitar contato com óleo, calor e umidade	Parcialmente queimada ou carbonizada pode ser perigosa
Resíduos de lã	Moderada	Granel, fardos	Manter frio e ventilado ou armazenado em recipientes fechados. Evitar alta umidade	Possuem óleo de tecelagem que são responsáveis pelo autoaquecimento, bem como quando molhados

Fonte: Drysdale apud Marques e Vidal, adaptado (2015)

## 2.2 MECANISMO DE REAÇÃO DA COMBUSTÃO ESPONTÂNEA

A literatura aponta que dois fatores principais determinam a ocorrência da combustão espontânea, quais sejam: a) o material precisa ser poroso o suficiente para permitir que o ar escoe sem grandes dificuldades pelo material; e b) o material deve se carbonizar firmemente durante a decomposição termal. Sabe-se que a combustão começa no centro da massa de material, onde os efeitos do autoaquecimento são mais pronunciados. (DRYSDALE, 2002)

Processos de degradação podem ocorrer tanto por vias química quanto bioquímicas, sendo que o processo biológico é predominante em temperaturas inferiores a 65 °C. É sabido que os micro-organismos são capazes de funcionar como catalisadores de reações químicas, diminuindo a energia de ativação necessária para que ocorram. Acima de 65 °C, os processos acontecem majoritariamente pelo processo químico. (MOQBEL, 2009)

Na degradação biológica de substratos orgânicos, o processo acontece por duas vias principais: aeróbia e anaeróbia. Na primeira, os produtos da reação são o dióxido de carbono, a água e a liberação de calor. Já na segunda, os produtos são o metano, dióxido de carbono e calor. A degradação aeróbia gera muito mais calor que sua contraparte anaeróbia, sendo que, durante a transição de uma para a outra, pode haver uma tendência de estabilização da liberação de energia. (MOQBEL, 2009)

Grande parte dos materiais orgânicos vai reagir com o oxigênio e se oxidar, com consequente liberação de calor. No entanto, esse desprendimento de calor não é uma característica exclusiva das reações de oxidação, podendo acontecer por diversas outras reações químicas, como a polimerização. Tal processo acontece com frequência nos materiais orgânicos devido à presença de ácidos graxos polinsaturados, os quais reagem com o oxigênio

de maneira exotérmica. Moléculas insaturadas contêm ligações duplas entre carbonos, as quais são muito reativas. (NFPA, 2011)

Conquanto a reação de oxidação tenha produtos muito parecidos com o processo de degradação biológica aeróbia, o primeiro processo possui maior taxa de liberação de calor e consumo de oxigênio. Isso porque as maiores temperaturas atingidas durante a oxidação permitem que a energia de ativação de outras partes do material seja atingida mais rapidamente. Além disso, os micro-organismos responsáveis pelo processo de degradação consomem um pouco do carbono presente e do oxigênio para sua própria sobrevivência. (MOQBEL, 2009)

### 2.3 COMBUSTÃO ESPONTÂNEA DO ALGODÃO

O algodão está entre as fibras naturais mais importantes da indústria, principalmente por ser um produto biodegradável, sustentável e por possuir, naturalmente, uma boa absorção de água. Estudos vêm sendo conduzidos de modo a propor o uso do algodão como uma alternativa ecológica ao uso de polímeros sintéticos. As fibras *in natura* desse produto são constituídas basicamente de celulose – 95%. Os outros 5% compreendem proteínas, aminoácidos, ceras, ácidos orgânicos, entre outros. (CEYLAN et al, 2013)

Muitos estudos já foram realizados internacionalmente a respeito das propriedades de queima e da combustão espontânea do algodão, cujos resultados pretende-se apresentar nos próximos parágrafos. Propriedades inerentes à própria matéria-prima e às condições do ambiente são determinantes no início facilitado do autoaquecimento ou não. Essas informações são muito importantes para o perito em incêndios – visto que com informações passíveis de serem obtidas na cena do sinistro, além depoimentos ou dados angariados posteriormente, é possível estimar quantos fatores de risco estavam presentes no caso concreto e o quanto a hipótese do incêndio ter se iniciado pela combustão espontânea afigura-se provável ou não.

Um dos aspectos trazidos pela literatura envolve os efeitos da densidade no início da queima do tipo *smoldering*. Hagen (2011) fez uso de uma metodologia baseada em diferentes densidades de empacotamento sobre uma superfície aquecida para determinar a temperatura de ignição dos corpos de prova e a velocidade com que essa frente de queima avançava pelo material. Para mais detalhes da metodologia utilizada, poderá o leitor se valer das referências deste artigo, tencionando efetuar uma leitura completa. Dessa forma, veja-se a tabela abaixo:

Tabela 2 – Temperatura de ignição e velocidade de queima para diferentes densidades de empacotamento do algodão

Densidade (Kg/m <sup>3</sup> )	Temperatura de Ignição (°C)	Velocidade média (cm/min)
20	320	0,4
40	319	0,3
60	309	0,2
80	301	0,2
100	295	0,2

Fonte: Hagen, 2011 (adaptado)

Como se pode notar, os dados experimentais trazidos pelo autor reportam que um aumento na densidade de empacotamento do algodão traz como resultado uma temperatura de ignição menor. A par dessa informação, cabe ao investigador de incêndio ter em mente que depósitos ou indústrias que fazem uso de algodão apresentarão maior risco de incêndio caso armazenem seu material de maneira mais compactada.

Um estudo referência na área é o elaborado por Qingsong et al. (2008), o qual usou um calorímetro para identificar a liberação de energia de diferentes algodões com diferentes proporções de água em sua composição. Novamente, o leitor interessado pode verificar as referências deste artigo para se aprofundar nas metodologias utilizadas. Um conceito importante do artigo é a Temperatura Auto Acelerante de Decomposição (*Self Accelerating Decomposition Temperature* no original), representado pela sigla TACD, que é a temperatura ambiente mínima na qual o calor gerado pela reação e o calor dissipado ficam desbalanceados, com conseqüente acúmulo de temperatura, no período de uma semana.

O modelo utilizado pelo autor é importante ao mostrar a influência da umidade no processo de autoaquecimento do algodão. Por ser um material orgânico, o algodão comumente está contaminado por diversos micro-organismos, os quais, quando em presença de um ambiente com umidade, se reproduzem com mais facilidade. Ainda, o algodão é rico em óleos, ceras e sacarídeos, os quais servem de alimento para os micróbios. Assim sendo, especula-se que a degradação biológica das fibras do algodão envolve metano e oxigênio, que, em fase gasosa, podem levar à combustão espontânea, uma vez que a zimólise do algodão pode fazer a temperatura interna de um fardo chegar a 80 °C. (QINGSONG ET AL., 2008)

Em seus resultados, verificou-se que a proporção de 1:1 (uma parte de algodão para uma de água) foi a que forneceu a menor temperatura ambiente para iniciar o processo de autoaquecimento cumulativo. Quantidades de água maiores que esta aumentaram essa

temperatura, sugerindo que umidades elevadas além de certo ponto prejudicam as reações que colaboram para a autoignição. Outra consideração é a de que os resultados obtidos se referem a fardos individuais de algodão, sendo que o armazenamento em conjunto pode fazer com que a temperatura na qual a TACD é atingida seja ainda menor.

Também merece destaque a pesquisa conduzida por Ju (2016), na qual fez uso de uma técnica chamada *Event and Fault Tree Analysis* para elencar fatores que diminuem a chance da ocorrência de tragédias envolvendo a combustão espontânea do algodão. Ao leitor interessado no estudo completo e na pormenorização da metodologia utilizada, vide as referências na parte final deste artigo. Os resultados são da mais alta importância ao investigador de incêndio, na medida em que, caso os fatores enumerados estejam presentes na cena do sinistro, é possível propor uma hipótese válida de combustão espontânea com mais propriedade.

Os resultados da pesquisa foram: a) temperaturas superiores a 34,85 °C e umidade acima de 70% favorecem a liberação de calor pela absorção de umidade, fermentação e oxidação do algodão; b) os fardos de algodão não devem ser empacotados de maneira muito “apertada”, pois o calor gerado em uma possível reação de autoaquecimento não irá conseguir se dissipar, gerando um acúmulo de calor no fardo; e c) prateleiras de armazenamento de material não devem estar separadas por menos de 2 metros e tampouco distar menos que 50 cm de paredes e 20 cm de colunas, de modo a diminuir a possibilidade de colapso estrutural dos galpões (JU, 2016)

Outro fator importante a ser levado em consideração é a variedade do algodão armazenado, pois respondem de maneiras diferentes ao autoaquecimento. Em uma análise feita por Zhao et al. (2013), foram examinadas três variedades de algodão, com semente de fibra curta, com semente de fibra longa e sem semente. Os resultados mostraram que as variedades de algodão com semente geram mais calor uma vez iniciadas as reações de autoaquecimento e por isso deve-se ter mais cuidado ao armazenar esses tipos de algodão.

Tendo em vista o grande número de informações trazidas nos parágrafos anteriores, abaixo é apresentado um quadro-resumo, de modo a facilitar a busca pelos fatores que influenciam nas reações de autoaquecimento do algodão, tanto por parte do investigador de incêndio quanto pelo produtor ou empresário que faça uso dessa matéria-prima e que deseje reduzir os riscos em sua atividade laboral.

Tabela 3 – Quadro resumo das pesquisas consultadas

Fator	Descrição	Embasamento
Temperatura	Quanto maior a temperatura ambiente no local onde estão armazenados os fardos de algodão, mais fácil irá iniciar a reação de autoaquecimento. Manter a temperatura dos locais de armazenamento abaixo de 34,85 °C.	Ju (2016)
Umidade	A umidade no local irá ser absorvida pelo algodão, o que favorece o crescimento dos microorganismos responsáveis pela fermentação do algodão. Manter a umidade no local de armazenamento abaixo de 70%. A proporção de água que mais impactou na geração de calor foi 1:1. Quantidades maiores de água afetaram negativamente o aumento da temperatura em relação a proporção anteriormente mencionada.	Qingsong et al. (2008); Ju (2016)
Densidade	O armazenamento muito compactado favorece o acúmulo de calor no interior do fardo, condição importante para a geração da combustão espontânea.	Hagen (2011); Ju (2016)
Espaçamento	O espaçamento insuficiente entre os fardos facilita o alastramento do incêndio, conforme análises realizadas pelo <i>Risk and Fault Tree</i> .	Ju (2016)
Variedade de algodão	Atualmente existem muitas variedades de algodão disponíveis, as quais têm comportamentos diferentes. Segundo pesquisas, as variedades de fibra longa e curta com semente geram maiores taxas de calor nas reações de fermentação e oxidação.	Zhao et al. (2013)

Fonte: do autor adaptado de Qingsong et al. (2008); Hagen (2011); Zhao et al. (2013) e Ju (2016)

Saber quais fatores influenciam o início da reação de autoaquecimento do algodão é indispensável ao perito em incêndio, uma vez que poderá identificar no local do sinistro quais eram as suas condições antes da ocorrência e, com isso, incluir ou não a hipótese de combustão espontânea no rol das possíveis causas do incêndio.

### 3 CONCLUSÃO

Em termos conclusivos, pode-se afirmar que a combustão espontânea é um fenômeno natural que pode ser desencadeado com maior ou menor facilidade em alguns materiais específicos, desde que presentes as seguintes condições: a) o material tem de ser suscetível ao autoaquecimento; b) as condições ambientais têm de ser favoráveis; e c) após a eclosão da queima com chamas ou do tipo *smouldering*, deverá haver outros combustíveis próximos para entrar em combustão e dar sequência ao incêndio.

No caso específico do algodão, por meio de pesquisa realizada na literatura disponível a respeito do tema, foram apresentados cinco “fatores nevrálgicos” que influenciam a ocorrência do autoaquecimento do algodão e a propagação do incêndio: temperatura, umidade, densidade, espaçamento e variedade do algodão. Essa lista não é taxativa, sendo possível que muitos outros fatores ainda não estudados deem causa ao autoaquecimento desse material.

A temperatura ambiente no local de armazenamento do algodão é de crítica importância, sendo que, quanto maior ela for, mais facilitada será a reação de autoaquecimento do algodão. A umidade, como apresentado, também é crucial para o processo, pois favorece a proliferação dos micro-organismos responsáveis pela degradação e fermentação nas fibras do algodão. A densidade de empacotamento irá influenciar na possibilidade de acúmulo de calor no interior dos fardos, de forma que, quanto mais apertados forem – respeitado certo limite –, maiores as probabilidades do calor dissipado pela reação de autoaquecimento se acumular. O espaçamento de armazenamento do material irá influenciar na possibilidade de propagação do incêndio, pois, tal como o curto-circuito, o incêndio só poderá evoluir caso outras substâncias próximas também se incendeiem. Por fim, foi visto que a variedade do algodão irá influenciar positivamente ou negativamente na própria autoignição.

Deve o investigador, após ter descartado outras possibilidades – como fenômeno termoelétrico, ação humana intencional ou descarga atmosférica –, verificar se as supracitadas condições estavam presentes no momento do sinistro, de modo a poder validar ou não a ocorrência do autoaquecimento do algodão como fator gerador do incêndio que sucedeu.

Não obstante, os indícios apontando para a hipótese de combustão espontânea devem ser sopesados com os outros vestígios encontrados na cena de incêndios, de modo que possam

ser correlacionados com a dinâmica geral do sinistro para, assim, restarem comprovadas as teorias levantadas pelo investigador de incêndio.

## REFERÊNCIAS

- SANTA CATARINA. **Constituição Estadual**, de 5 de outubro de 1989. Disponível em: <[http://www.alesc.sc.gov.br/portal\\_alesc/sites/default/files/CESC%202017%20-%2072%20a%2074%20emds.pdf](http://www.alesc.sc.gov.br/portal_alesc/sites/default/files/CESC%202017%20-%2072%20a%2074%20emds.pdf)>. Acesso em: 4 fev. 2019.
- CEYLAN, Özgür et al. The effect of water immersion on the thermal degradation of cotton fibers. **Cellulose**, v. 20, n. 4, p. 1603-1612, 2013.
- DEHAAN, John D. **Kirk's fire investigation – 6th ed.** New Jersey. Pearson Prentice Hall, 2007.
- DRYSDALE, Dougal. **An introduction to fire dynamics**. 2. ed. San Francisco. Wiley: 2002.
- GIL, Antonio Carlos. **Como elaborar projetos de pesquisa**. 4ª Ed. São Paulo: Atlas, 2002.
- HAGEN, Bjarne C. et al. Onset of smoldering in cotton: Effects of density. **Fire Safety Journal**, v. 46, n. 3, p. 73-80, 2011.
- JU, Wen-hui. Study on fire risk and disaster reducing factors of cotton logistics warehouse based on event and fault tree analysis. **Procedia Engineering**, v. 135, p. 418-426, 2016.
- LAKATOS, Eva Maria; MARCONI, Marina de Andrade. **Fundamentos de metodologia científica**. São Paulo: Atlas, 2003.
- LENTINI, John L. **Scientific protocols for fire investigation**. EUA. Taylor & Francis Group. 2013.
- MARQUES, Marcos Leandro; VIDAL, Vanderlei Vanderlino. **Combustão Espontânea: entendendo os mecanismos de reação e a sua relação com a dinâmica do incêndio**. Florianópolis, 15 p. Trabalho não publicado.
- MOQBEL, Shadi Y. **Characterizing spontaneous fires in landfills: tese de doutorado**. Universidade da Florida. Orlando. 2009.
- NATIONAL FIRE PROTECTION ASSOCIATION. **NFPA 921: guide for fire and explosion investigations**. EUA. 2011.
- QINGSONG, Wang et al. Spontaneous combustion identification of stored wet cotton using a C80 calorimeter. **industrial crops and products**, v. 28, n. 3, p. 268-272, 2008.
- QUINTIERE, James G. **Principles of fire behavior**. EUA. Delmar Publishers, 1998.
- QUINTIERE, James G. et al. **Spontaneous Ignition in Fire Investigation**. Disponível em: <<https://www.ncjrs.gov/pdffiles1/nij/grants/239046.pdf>>. Acessado em: 06 de mar. 2019
- ZHAO, Xuejuan et al. Study on spontaneous combustion risk of cotton using a micro-calorimeter technique. **Industrial crops and products**, v. 50, p. 383-390, 2013.