

INCÊNDIO EM EQUIPAMENTO AGRÍCOLA

RISCO DE INFLAMABILIDADE DO PÓ DE
CANA-DE-ACUCAR EM MOTORES DE
MAQUINAS / EQUIPAMENTOS AGRÍCOLAS



ISBN N° 978-65-01-63253-7





É permitido copiar, divulgar ou guardar este material, desde que o nome do autor seja citado. No entanto, não se pode fazer alterações na obra, nem usá-la para obter lucro.

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
(Câmara Brasileira do Livro, SP, Brasil)

Nuvem, Wanderlei Sena

Incêndio em equipamento agrícola [livro eletrônico] : risco de inflamabilidade do pó de cana-de-açúcar em motores de máquinas/equipamentos agrícolas / Wanderlei Sena Nuvem. -- 2. ed. -- Belo Horizonte, MG : Ed. do Autor, 2025.

PDF

Bibliografia.

ISBN 978-65-01-63253-7

1. Agricultura 2. Cana-de-açúcar 3. Equipamentos contra incêndio 4. Incêndios - Combate 5. Incêndios - Prevenção - Normas I. Título.

25-292540.0

CDD-630

Índices para catálogo sistemático:

1. Equipamentos : Incêndios agrícolas 630

Aline Grazielle Benitez - Bibliotecária - CRB-1/3129

Direitos Autorais

© 2025 Wanderlei Sena Nuvem

Todos os direitos reservados.

Nenhuma parte deste livro pode ser reproduzida, armazenada em sistema de recuperação ou transmitida, seja por qualquer meio eletrônico, mecânico, fotocópia, gravação ou outro, sem autorização prévia por escrito do autor.

Publicação registrada conforme normas da Câmara Brasileira do Livro (CBL) e Lei nº 9.610, de 19 de fevereiro de 1998.

ISBN: (ISBN Nº 978-65-01-63253-7)

Sumário

1. Introdução

2. Tema

3. Revisão da literatura

4. Problema

5. Objetivos

6. Metodologia

7. Propriedades físico-químicas do pó de cana

8. Temperatura de Ignição

9. Comparação de risco com outras poeiras vegetais

10. Acúmulo e dispersão de poeira nos motores agrícolas

11. Riscos de explosões por poeira e normas aplicáveis

12. Casos registrados

13. Sistema de combate a incêndios

14. Estratégias de segurança e redução de riscos

15. Resultados

16. Conclusão

17. Referências

INCÊNDIO EM EQUIPAMENTO AGRÍCOLA RISCO DE INFLAMABILIDADE DO PÓ DE CANA-DE-AÇÚCAR EM MOTORES DE MÁQUINAS / EQUIPAMENTOS AGRÍCOLAS

Wanderlei Sena Nuvem¹

Resumo

[DOI.zenodo.org/records/16812556](https://doi.zenodo.org/records/16812556)

Este estudo examina como o pó de cana se comporta — sendo um material que pega fogo facilmente — em motores de tratores e colheitadeiras. A investigação baseia-se em padrões técnicos e em evidências científicas, demonstrando que o pó começa a pegar fogo espontaneamente entre 400 °C e 500 °C. O trabalho analisa os fatores que contribuem para a criação de ambientes explosivos, como a presença de pó fino disperso no ar e o calor gerado pelos motores. Ao comparar com outros pós vegetais, como serragem e pó de milho, percebe-se que os riscos são similares. O estudo envolveu revisão bibliográfica abrangente, análises em dois veículos agrícolas (casos reais), avaliação de normas técnicas e exemplos práticos de incidentes. Os achados indicam risco efetivo de fogo e explosão em ambientes rurais. Conclui-se que medidas como ventilação eficiente, eliminação de áreas superaquecidas, aterramento adequado e controle do pó são cruciais para mitigar esses riscos, em conformidade com as normas NFPA 652, ISO 6184 e orientações da ABNT.

Palavras-chave: Incendiarismo; Pó de cana material acelerante, Inflamabilidade, Palha de cana.

¹Perito de Incêndio Automotivo – Certificação ABINVI – CORPO DE BOMBEIROS – ES

² Pós Graduado e técnico em química Forense – CRQ 024022665. ³ graduado no curso de Direito, Instrutor de Técnico de Trânsito DETRAN MG RG: 268/02 livro 193 fl. 02, Pós-graduado em Criminalística, Pós-graduado em Trânsito / Transportes, Pós-graduado Engenharia Automotiva, Pós-graduado em Química Forense, Técnico em Química CRQ II 024022665, Técnico em Mecânica e Eletrotécnica CRT II MG RG: 74560484600, Técnico em bateria nível I e II - Bosch, Laboratório Test Mat de Análise de Falhas e Deformações de Material Ferrosos, não Ferroso, Confiabilidade de Equipamento e Produtos, Metalografia e Identificação e Procedência Veicular DECKA e SENASP – Ministério da Justiça MJ - membro da ABCCRIM – Academia Brasileira De Ciências Criminais com função técnica de Perito Criminalista Forense / membro do Instituição IAAI – International Association Of Arson Investigators – Associação Internacional de Investigadores de ARSON registro nº 1405179 / NAFI - National Association of Fire Investigators registro - Number: 26200, e Especialista de Trânsito / Acidentologia na empresa WSN PERÍCIA - Trânsito e Transportes Consultoria Ltda - ME - MAT 392, credenciado pelo CONPEJ - Conselho Nacional Dos Perito Judiciais da República Federativa do Brasil - MAT: 01.00.1259 / ASPEJUDI RG: 1192 - Associação dos Peritos Judiciais, Árbitros, Conciliadores e Mediadores de Minas Gerais. Especialista em micro vestígios, Perícia de Incêndio em Edificações, Química Forense – Armas Químicas e Explosivos, GASES - Produção, transporte e utilização na indústria, laboratórios e medicina, Análise Química Instrumental - Princípios e Cotidiano Profissional. Química Forense: técnicas de revelação de impressões digitais

Abstract

This study examines how sugarcane dust, a material that easily catches fire, behaves in tractor and harvester engines. The investigation is based on technical standards and existing scientific findings, showing that the dust begins to ignite on its own between 400°C and 500°C. The work analyzes what contributes to creating environments that can explode, such as very fine dust dispersed in the air and heat from engines. When compared with other plant dusts, such as sawdust and corn dust, the hazards are similar. The study involved a comprehensive review, tests on two agricultural vehicles (real cases), analysis of regulations, and real-world examples of problems. The findings show that there is a real risk of fire and explosion in rural areas. The conclusion is that implementing measures such as strong ventilation, eliminating very hot areas, using grounding, and controlling dust are crucial to reducing the hazards, following NFPA 652, ISO 6184, and ABNT guidelines.

Keywords: Arson; Sugarcane powder accelerant material, Flammability, Sugarcane straw

1. INTRODUÇÃO

Resultante do processamento da cana (a partir do bagaço ou palha), o pó é um material vegetal fibroso, rico em celulose, hemicelulose e lignina, apresentando, em média, cerca de 44–50% de celulose, 20–30% de lignina e 5–10% de cinzas. Sua estrutura porosa e vasta área superficial facilitam a combustão quando seco. Partículas pequenas ($<500\ \mu\text{m}$) são consideradas perigosas e explosivas, conforme a norma NFPA 652. Em equipamentos agrícolas (como tratores e colheitadeiras), o pó pode se acumular em filtros de ar, espaços internos do motor e escapamentos. A vibração e o movimento do ar podem suspender essa poeira, formando nuvens inflamáveis. Situações comuns, altas temperaturas das peças, faíscas geradas por atrito metálico ou eletricidade estática, podem iniciar a ignição. Por isso, é fundamental avaliar a inflamabilidade do pó de cana nesses ambientes parcialmente fechados.

2. TEMA

Risco de inflamabilidade do pó de cana-de-açúcar em motores de máquinas agrícolas e tratores: Análise Técnica, Termoquímica e Normativa.

3. REVISÃO DA LITERATURA

A moagem da palha ou do bagaço da cana-de-açúcar gera um resíduo em pó, denominado poeira combustível. Segundo a norma NFPA 652 (2019), essas partículas vegetais finas podem criar ambientes propensos a explosões quando expostas a calor ou faíscas.

Análises térmicas indicam que o bagaço seco se inflama espontaneamente entre 250 °C e 263 °C, faixa semelhante às temperaturas atingidas por peças em motores agrícolas, como escapamentos e turbinas, que podem ultrapassar 300 °C.

O índice Kst (indicador da força da explosão) do pó de cana varia de 90 a 105 bar·m/s, valor próximo ao do pó de milho (75 bar·m/s) e serragem (102 bar·m/s). A norma ABNT NBR IEC 60079-10-2:2016 — Atmosferas Explosivas — Parte 10-2: Classificação de Áreas — Atmosferas de Poeiras Explosivas aplica-se às áreas classificadas por presença dessas poeiras combustíveis.

Segue, a seguir, portaria governamental pertinente:

“...A Portaria Inmetro nº 115, de 21 de março de 2022, estabelece o Regulamento Consolidado para Equipamentos Elétricos para Atmosferas Explosivas, na forma dos Requisitos de Avaliação da Conformidade e das Especificações para o Selo de Identificação da Conformidade que é o documento oficial que rege a certificação destes equipamentos no país. Para a classificação de áreas, o Anexo I da Portaria Inmetro nº 115/2022, indica as normas ABNT NBR IEC 60079-10-1:2018 Versão Corrigida:2019 – Atmosferas explosivas – Parte 10-

1: Classificação de áreas – Atmosferas explosivas de gás, para as áreas classificadas com a presença de gases inflamáveis...”

Publicado em 23/11/2023 09h18min.

4. O PROBLEMA

Embora o risco de incêndios e explosões causados por poeira vegetal em ambientes industriais já seja conhecido, faltam estudos práticos relacionados às máquinas agrícolas, que operam em ambientes abertos e estão constantemente expostas à poeira de cana.

A ausência de normativas específicas para tratores e colheitadeiras que lidam com poeira inflamável representa risco à segurança do trabalho e ao funcionamento técnico desses equipamentos.



<https://www.canaonline.com.br/conteudo/incendios-em-colhedoras-de-cana-sao-frequentes-mas-podem-ser-evitados.html>



<https://midiamax.uol.com.br/policia/2015/colheitadeira-de-cana-de-acucar-pega-fogo-e-incendio-atinge-plantacao/>

5. OBJETIVOS GERAIS

Estudar detalhadamente a possibilidade de ignição espontânea do pó de cana-de-açúcar em motores de máquinas agrícolas, considerando suas propriedades físicas e químicas, condições operacionais e normativas técnicas aplicáveis.

5.1 Objetivos Específicos:

- Determinar a temperatura de ignição espontânea do pó de cana.
- Analisar risco de acúmulo e dispersão da poeira em motores.
- Comparar o potencial explosivo do pó de cana com outros pós vegetais.
- Identificar normas aplicáveis (ABNT, NFPA, ATEX).
- Sugerir medidas para redução de riscos em tratores e colheitadeiras.

6. METODOLOGIA

Pesquisa aplicada, de caráter descritivo e exploratório, fundamentada em revisão bibliográfica e análise técnica comparativa.

Abordagem qualitativa e quantitativa.

Coleta de dados mediante pesquisa em bases como ScienceDirect, Springer, NFPA, OSHA e ABNT; análise das normas NFPA 652 e ABNT NBR IEC 60079-10-2; estudo de dados termoquímicos em publicações técnicas.

Uso de dados experimentais e amostras de pó de bagaço de cana, serragem e pó de milho extraídos de artigos científicos e fichas técnicas.

Análise dos dados inclui comparação de índices de explosividade, identificação de situações de risco e verificação do atendimento às normas técnicas vigentes.

6.1 Coleta de Dados:

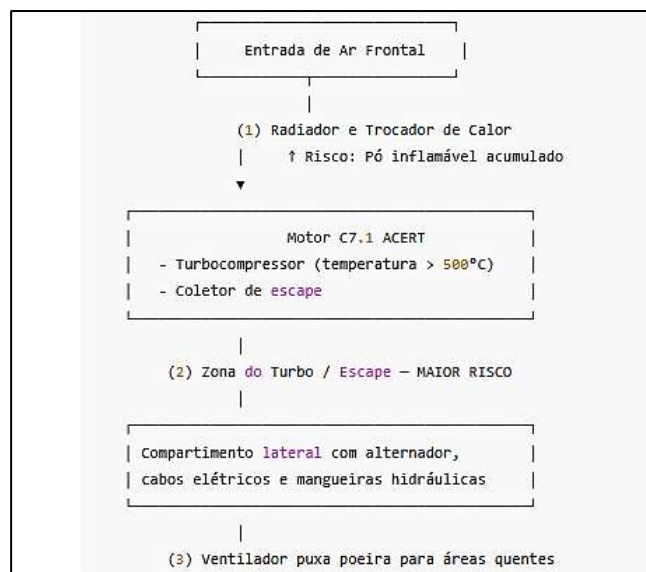
- Temperaturas de ignição: obtidas em estudos termooanalíticos (TGA/DSC).
- Kst e LEL (limite inferior de explosividade): extraídos de bancos de dados técnicos (*Dust Explosion Database*, OSHA, Oliver, 2013).
- Normas: informações coletadas diretamente nos textos normativos (NFPA, ABNT).

6.2 Análise de Dados:

- Comparação dos níveis de explosividade entre diferentes tipos de poeira vegetal.
- Identificação das situações de risco em motores agrícolas.
- Verificação do atendimento às normas técnicas.

6.3 Diagrama — Acúmulo de Pó de Cana e Risco de Incêndio

O acúmulo de resíduos de cana (bagaço moído/pó) em locais aquecidos e sujeitos a correntes de ar aumenta o risco de incêndio. O diagrama ilustra: (A) a direção do fluxo de ar; (B) os locais que costumam apresentar maior aquecimento; (C) as áreas de maior acúmulo; e (D) os pontos cruciais para limpeza e verificação.



Radiador/Permutador de calor: O acúmulo de pó, que se resseca, aumenta significativamente o risco de incêndio.

Turbo e saída de escape: Com temperaturas que excedem 500 °C, constituem a principal causa de incêndios.

Cabos e tubos hidráulicos: A combinação de pó e óleo eleva a facilidade de combustão.

6.4 Interpretação do esquema (em etapas):

1. Admissão de insumos (pré-filtro ciclônico): Em equipamentos de manuseio de cana, os pré-filtros ciclônicos retêm boa parte dos resíduos; porém, partículas menores e poeira ainda conseguem passar e se acumular em peças próximas.
2. Movimentação pelo fluxo de ar: Ventiladores e o fluxo de exaustão podem transportar poeira para áreas onde a velocidade do ar diminui, causando sua deposição e acúmulo (por exemplo, atrás do radiador, na parte superior do motor e próximo ao turbo).
3. Depósito em áreas de calor: O coletor de escape, o turbo e o abafador alcançam temperaturas elevadas e são os focos mais comuns de ignição da poeira acumulada.
4. Vazamentos de óleo/combustível/partículas quentes: Escapamentos de óleo hidráulico ou de combustível sobre superfícies quentes aumentam o risco de incêndio e contribuem para fixar a poeira nas áreas.
5. Poeira suspensa e risco de explosão: Se a poeira é suspensa (por ventilador ou fluxo reverso), uma nuvem de poeira pode se formar, gerando risco de deflagração ou explosão caso atinja a concentração crítica.

7. PROPRIEDADES FÍSICO-QUÍMICAS DO PÓ DE CANA

O pó de cana é proveniente de substâncias vegetais fibrosas, como serragem ou palha. Sua constituição comum (cerca de 45–50 % de celulose, 25–30 % de hemicelulose e 20–25 % de lignina) garante elevado teor orgânico e potencial energético para queima. De modo geral, define-se pó combustível como minúsculas partículas sólidas ($\leq 500 \mu\text{m}$) de material que pode pegar fogo ^[2]. Partículas muito pequenas ampliam a área do combustível; de acordo com a NFPA 652-14, quanto menor o pó, maior a superfície e mais explosivo ele se torna ^{[2][3]}. Análises da queima de bagaço bem triturado revelaram que o pó de cana apresenta índices de explosão semelhantes aos de outras biomassas agrícolas: por exemplo, classificação Kst do pó de bagaço em torno de 90–105 bar·m/s ^[4] (classe St1 a St2), semelhante aos $\approx 75 \text{ bar·m/s}$ do pó de milho e $\approx 102 \text{ bar·m/s}$ da serragem ^{[5][6]}. A umidade também impacta a capacidade de inflamar; bagaço recente pode conter 45–55 % de água, porém o pó seco (como após torra ou secagem em colheitadeiras) torna-se altamente inflamável. O tamanho comum do pó de cana varia de dezenas a centenas de micrômetros (material moído), semelhante à farinha ou à serragem fina. Conforme analisado, partículas menores têm mais chances de inflamar e se espalhar no ar ^[7].

8. TEMPERATURA DE IGNIÇÃO

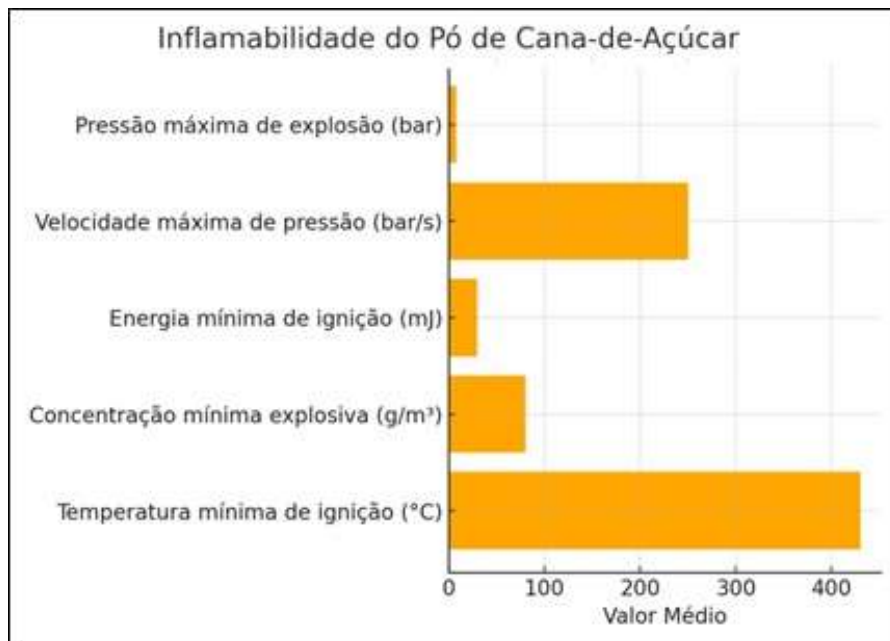
O bagaço de cana entra em combustão espontânea (sem necessidade de uma chama) a temperaturas elevadas, mas que podem ser alcançadas em locais muito quentes. Estudos com termogravimetria mostram que o bagaço começa a pegar fogo entre 250 e 263 °C ^[8]. É nesse ponto que o material inicia a queima sozinho, sem auxílio de uma chama. Para referência, a celulose pura se auto incende por volta de 260–300 °C, e a maioria das poeiras vegetais pega fogo entre 250 e 400 °C. Dentro de um motor, algumas partes, como os escapamentos, podem aquecer consideravelmente, chegando próximo a essas temperaturas. É importante observar que a velocidade de aquecimento do material altera a temperatura de ignição: um teste mostrou que o pó de cana começou a queimar a

260 °C [8], enquanto outro indicou faixa entre 205 e 236 °C. De qualquer forma, esses dados evidenciam que peças muito quentes ou faíscas podem facilmente inflamar o pó de cana acumulado.

8.1 Análise Detalhada – Risco de Incêndio com Pó de Cana em Equipamentos Agrícolas

Esta análise apresenta informações técnicas sobre a facilidade com que o pó de cana-de-açúcar pode inflamar em máquinas agrícolas, fundamentando-se em elementos cruciais identificados em estudos relevantes

Fator Avaliado	Valor Médio
Temperatura mínima de ignição (°C)	400.0
Concentração mínima explosiva (g/m³)	80.0
Energia mínima de ignição (mJ)	30.0
Velocidade máxima de pressão (bar/s)	250.0
Pressão máxima de explosão (bar)	7.8



Fonte: Pesquisas técnicas e normas aplicáveis (NFPA 61, OSHA, ABNT NBR ISO 80079-20-2)

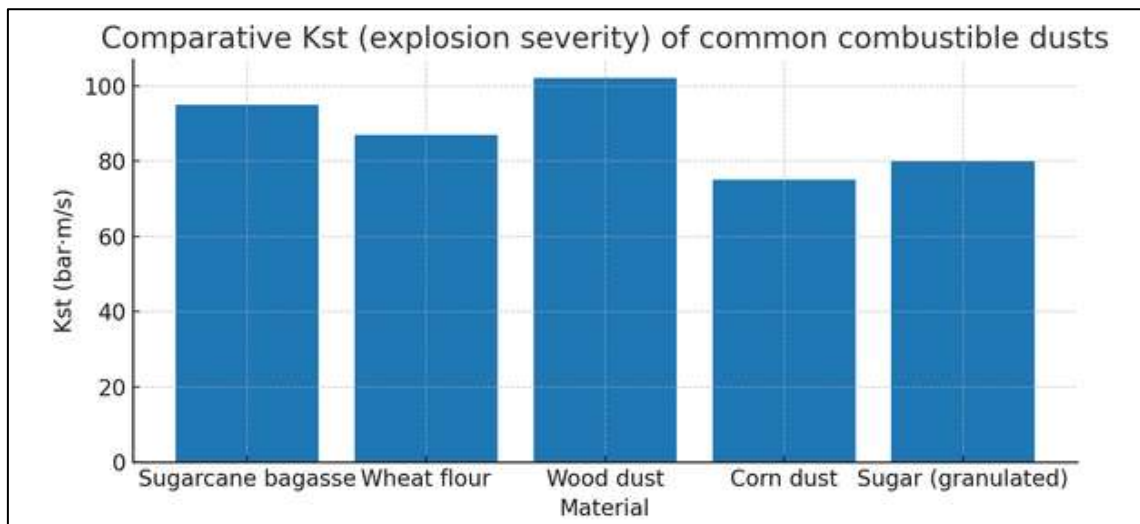
8.2 Principais resultados

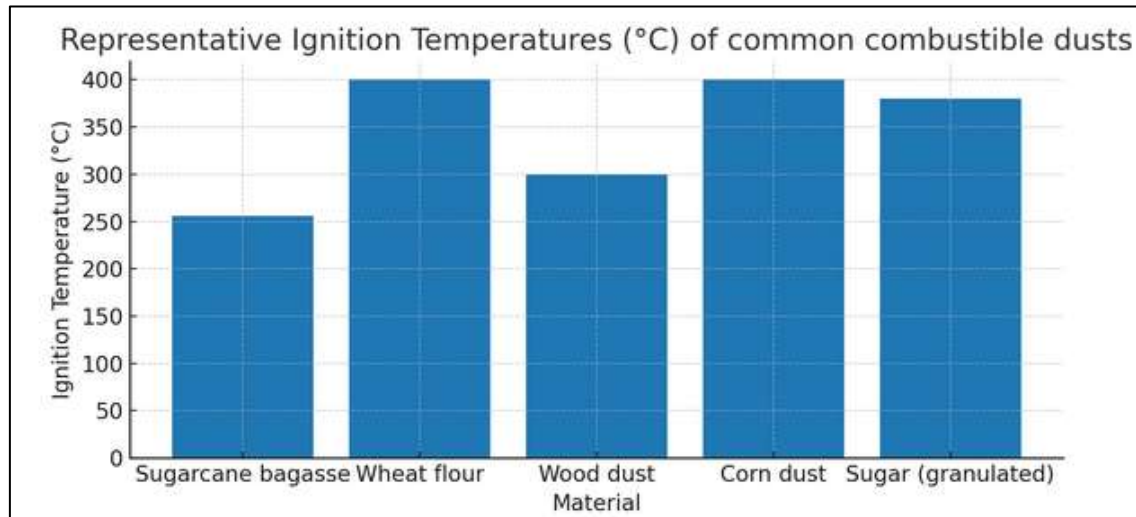
Temperatura de ignição (valores representativos):

- **Pó de cana (bagasse):** ~250–263 °C (método de interseção em TGA). *Clean Technol.* **2022**, 4(4), 1127-1137.
- **Farinha de trigo** (referência): ~400 °C (BAM/MAIT). staubex.ifa.dguv.de
- **Poeira de madeira (wood dust):** ordem de ~300 °C (LIT/MAIT variam com espécie/umidade). Prime: Process Safety Center Academia

- **Índice de severidade Kst (valores representativos):**

- **Pó de cana (bagasse):** ~90–105 bar·m/s (classificação St1–St2, valores de literatura sobre biomassas pulverizadas).
<https://www.mdpi.com/2571-8797/4/4/68>
- **Comparativos:** wood dust ≈102, wheat flour ≈87, corn dust ≈75 (tabelas consolidadas de Kst). <https://sites.create-cdn.net>





Relatórios técnicos (TGA/DSC para autoignição, estudos de explosividade para K_{st}) e normas (NFPA/OSHA). *Clean Technol.* **2022**, 4(4), 1127-1137; <https://doi.org/10.3390/cleantechnol4040068> / <https://www.osha.gov>

Na prática, a temperatura em que o bagaço de cana em suspensão pega fogo é mais baixa do que a de pós de cereais comuns, conforme indicam análises térmicas ($\approx 250\text{--}263\text{ }^{\circ}\text{C}$). Contudo, o perigo depende de diversos fatores, como energia mínima de ignição, concentração mínima explosiva, teor de água e tamanho das partículas. A força da explosão do bagaço é semelhante à de outros pós orgânicos, indicando que ele representa um risco concreto em maquinário agrícola quando está seco e suspenso no ar.

9. COMPARAÇÃO DE RISCO COM OUTRAS POEIRAS VEGETAIS

Análises da força de explosão (índice K_{st}) mostram que o milho ($K_{st} \approx 75\text{ bar}\cdot\text{m/s}$, grupo St1), a serragem ($\sim 102\text{ bar}\cdot\text{m/s}$, St1) e a farinha de soja ($\sim 110\text{ bar}\cdot\text{m/s}$, St1) [5][6] se enquadram nessa categoria. Para o bagaço, os testes indicam um K_{st} de cerca de $90\text{ bar}\cdot\text{m/s}$ (podendo chegar a ~ 105) [4], colocando-o na classe moderada (St1/St2). Isso significa que o pó de cana é tão perigoso quanto o pó de madeira ou de grãos; inclusive, pesquisas revelam que o bagaço pode ser mais reativo que a palha de trigo em determinadas condições [4]. Essas poeiras têm em comum baixas energias mínimas de ignição

(10–50 mJ) e limites amplos de combustibilidade, típicos de biomassa. Concluindo, a probabilidade de explosão por nuvem de pó de cana assemelha-se à de pó de açúcar, farinha ou outros resíduos vegetais finos.

10. ACÚMULO E DISPERSÃO DE POEIRA NOS MOTORES AGRÍCOLAS

É comum que máquinas utilizadas na agricultura acumulem resíduos de cana-de-açúcar em locais como filtros de ar, estrutura do motor, radiadores e áreas próximas ao escapamento. A ausência de um espaço completamente fechado diminui parcialmente o risco, mas o ventilador do radiador e a ventilação do motor podem espalhar partículas finas pelo compartimento do motor. Qualquer pequena vibração, como ligar o motor, trepidação mecânica ou falha no sistema de filtragem, pode levantar a poeira acumulada e formar uma nuvem no ar. Pesquisas de segurança indicam que uma fina camada de poeira (menor que 1 milímetro) que cubra mais de 5% do chão ou dos equipamentos já representa risco considerável, podendo causar explosão se suspensa no ar ^[9]. Em motores de tratores ou colheitadeiras, isso significa que restos de palha ou bagaço grudados nas paredes da proteção podem gerar nuvens inflamáveis durante o uso. Conexões elétricas soltas, calor excessivo e descargas estáticas são exemplos de fontes de ignição. Em usinas, por exemplo, é possível observar explosões em transportadores de açúcar com pó acumulado e atrito, evidenciando o perigo quando a poeira grudada se dispersa no ar ^[10]. Em resumo, a combinação de baixa umidade, acúmulo de eletricidade estática na poeira e fontes de calor ou faíscas em máquinas agrícolas facilita tanto o acúmulo quanto a dispersão do pó de cana, criando um ambiente propenso a explosões.

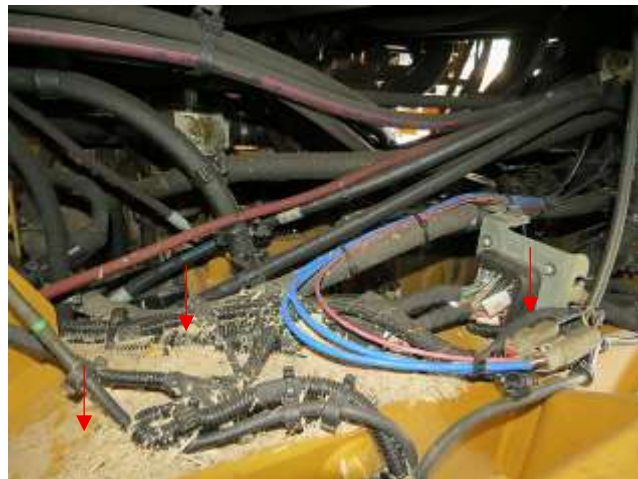
REVISTA BRASILEIRA DE INCÊNDIOS

Revista técnica da ciência do fogo

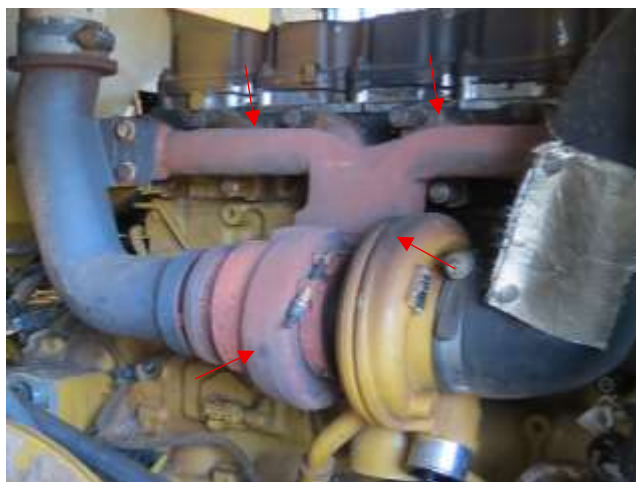
Artigo Publicado Vol. 01 – Primeira Edição 21 julho 2025 – ISSN 3086-0539

Versão online www.revistabrasileiraincendios.com.br

APOIO TÉCNICO WSN PERÍCIA



Figuras 01 a 04 (autor, 2023) – Mostram-se panorâmicas das fiações, tubulações e baterias em sua base primária, sem anormalidades técnicas por falhas ou danos estruturais, sendo constatada a impregnação de pó e bagaço de cana nas fiações, tubulações e nas partes externas das baterias (suportes) por material adverso (pó de extrato de cana-de-açúcar), o que promoveu o entupimento do sistema de segurança (suspiro / ar) da bateria, o que gerou acúmulo de gases internos altamente inflamáveis (hidrogênio).



Figuras 05 a 08 (autor, 2023) – Mostram panorâmicas do motor (turbina, escapamento, coletor de escape e cabeçote), sendo constatado depósito de sujeira, como poeira e fragmentos de cana-de-açúcar. Essa sujeira aderiu à estrutura do motor, caminhos de entrada de ar e próximo à turbina, que emite gases extremamente quentes. A presença dessa sujeira em áreas críticas para a dissipação de calor pode causar incêndios, principalmente quando o motor opera por longos períodos e atinge altas temperaturas.

11. RISCOS DE EXPLOSÕES POR POEIRA E NORMAS APLICÁVEIS

Para que ocorra uma explosão de poeira, é necessário que os cinco elementos do denominado "pentágono da explosão" estejam presentes simultaneamente: material combustível (partículas finas de poeira), agente oxidante (principalmente oxigênio), fonte de ignição (energia suficiente para iniciar a combustão), poeira suspensa na atmosfera formando uma nuvem explosiva, e um ambiente parcialmente confinado que permita o acúmulo de pressão. ^[11].

Para que uma explosão de poeira aconteça, é essencial que cinco componentes estejam presentes ao mesmo tempo, formando o chamado "pentágono da explosão":

Um material que possa queimar, que são pequenas partículas de poeira que pegam fogo facilmente;

Um elemento que alimente o fogo, normalmente o oxigênio que está no ar;

Algo que inicie a faísca, ou seja, energia forte o bastante para começar a queima (como faíscas, calor excessivo, eletricidade estática ou labaredas);

Poeira no ar, criando uma nuvem com a quantidade certa para explodir;

Um espaço meio fechado, onde a pressão aumente rapidamente quando a nuvem de poeira pegar fogo.

Se um desses componentes estiver faltando, a explosão não acontece. Por isso, é muito importante controlar sempre esses fatores para evitar problemas e diminuir os perigos e riscos.



Fonte criado pelo autor / diagrama

A poeira de cana, por exemplo, funciona como material combustível e atende a esses requisitos.

De acordo com a NFPA 652 (2019), "poeira combustível" é qualquer material sólido em partículas pequenas que pode pegar fogo ou explodir quando está no ar [2]. Além disso, quanto menores as partículas, menor a energia necessária para iniciar a explosão e mais rápido ela se espalha [3]. Existem normas internacionais específicas sobre o tema. A ATEX/IEC define áreas com risco de explosão por poeiras, enquanto a ABNT NBR IEC 60079-10-2 (2016) detalha como classificar áreas com atmosferas de poeira explosiva, seguindo as normas europeias [12]. Nos Estados Unidos, a NFPA 652 exige que indústrias que manipulam materiais combustíveis finos realizem uma análise de risco de poeira (DHA) e adotem medidas para prevenir explosões. Normas específicas para cada setor, como a

NFPA 61 (grãos e agricultura) e a NFPA 664 (madeira), fornecem orientações adicionais para proteger motores e ventiladores. A OSHA não possui uma norma exclusiva para explosões de poeira, mas disponibiliza informações técnicas (como em seu manual ^[21]) e recomenda boas práticas em locais com risco de poeira. No Brasil, normas da ABNT (IEC 60079-0, IEC 60079-20-2, entre outras) e exigências relativas a equipamentos elétricos podem ser aplicadas a motores expostos à poeira inflamável.

12. CASOS REGISTRADOS

Na pesquisa pública, não encontramos menções claras sobre incêndios ou detonações causados por pó de cana em tratores ou colheitadeiras. Os casos conhecidos referem-se principalmente a pós de açúcar processado ou de outros setores alimentícios. Um exemplo é a explosão ocorrida em 7 de fevereiro de 2008, em uma refinaria de açúcar nos EUA, que feriu várias pessoas e causou a morte de 13 indivíduos [13]. Esse episódio evidencia que pós orgânicos finos representam risco quando dispersos no ar.

Embora não existam relatos diretos de acidentes agrícolas ligados ao pó de cana, a semelhança com explosões de pó de açúcar e de madeira indica a necessidade de atenção. Ao examinar a estrutura de uma máquina agrícola, observa-se que o depósito de poeira e restos de cana em suas peças e áreas externas pode, gradativamente, gerar problemas. Tais avarias ocorrem, em grande parte, devido à ausência ou ineficácia de revisões preventivas e reparos realizados no tempo adequado, considerando a intensidade e o uso constante de cada máquina. Negligenciar essas ações compromete a capacidade de resfriamento, favorece o entupimento dos sistemas de ventilação, e aumenta o risco de incêndio pelo acúmulo de material inflamável em pontos críticos.

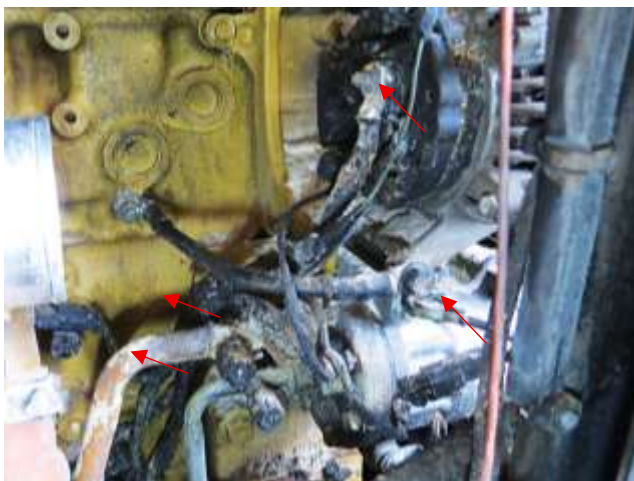
REVISTA BRASILEIRA DE INCÊNDIOS

Revista técnica da ciência do fogo

Artigo Publicado Vol. 01 – Primeira Edição 21 julho 2025 – ISSN 3086-0539

Versão online www.revistabrasileiraincendios.com.br

APOIO TÉCNICO WSN PERÍCIA



Figuras 09 a 12 (autor, 2023) – Ao analisar a panorâmica geral do motor, observamos cabos grossos, o alternador e outras peças próximas com a proteção danificada, algo geralmente causado pelo calor. Também identificamos uma camada de pó branco de cana-de-açúcar aderida a essas partes. É importante destacar que não encontramos evidências de curto-circuito ou superaquecimento nos fios por falhas elétricas. O que se constatou, indica que o nexo causal foi provocado pela combustão do material inflamável depositado sobre superfícies de altas temperaturas.

REVISTA BRASILEIRA DE INCÊNDIOS

Revista técnica da ciência do fogo

Artigo Publicado Vol. 01 – Primeira Edição 21 julho 2025 – ISSN 3086-0539

Versão online www.revistabrasileiraincendios.com.br

APOIO TÉCNICO WSN PERÍCIA



Figuras 13 e 14 (autor, 2025) – mostram panorâmica da parte superior do motor, com uma camada de pó branco de cana-de-açúcar impregnadas na superfície.



REVISTA BRASILEIRA DE INCÊNDIOS

Revista técnica da ciência do fogo

Artigo Publicado Vol. 01 – Primeira Edição 21 julho 2025 – ISSN 3086-0539

Versão online www.revistabrasileiraincendios.com.br

APOIO TÉCNICO WSN PERÍCIA

Figuras 15 a 18 (autor, 2025) – mostram panorâmica da lateral direita (caixa evaporadora) com acúmulo de Pó e bagaço de cana de açúcar.



Figuras 19 a 22 (autor, 2023) – panorâmica geral do motor (coletor de escape), com uma camada de pó branco de cana-de-açúcar aderida às superfícies, o que favoreceu a propagação do fogo, por se tratar de material altamente inflamável próximo a áreas de altas temperaturas.

13. DO SISTEMA DE COMBATE A INCÊNDIOS

A partir da análise do sistema de combate a incêndios instalado no veículo agrícola (trator), a perícia constatou que o referido sistema foi implementado de forma deficiente e irregular, em desacordo com os padrões técnicos. Observou-se a instalação inadequada dos difusores e a má distribuição dos agentes extintores, posicionados fora das zonas críticas de risco de ignição, como nas proximidades da turbina, do coletor de escape, do cabeamento elétrico e dos compartimentos de maior dissipação térmica.

Tal posicionamento incorreto comprometeu a eficácia do sistema, resultando em supressão ineficiente durante o acionamento automático ou manual. A deficiência técnica verificada infringe os critérios estabelecidos para cada equipamento, que definem os requisitos mínimos para a instalação de sistemas fixos de supressão de incêndio.



Figuras 23 e 24 (autor, 2023) – Mostram sistema (supressores/ sprinklers) de combate a incêndio instalado por terceiros na região superior dianteira do motor apresenta evidências de instalação inadequada. Observa-se que os difusores e as linhas do sistema não alcançam de forma eficaz os pontos críticos de geração térmica e os potenciais fontes de ignição (turbina, motor de arranque, alternador e coletor de escape), comprometendo a eficiência da supressão em caso de princípio de incêndio na parte inferior.

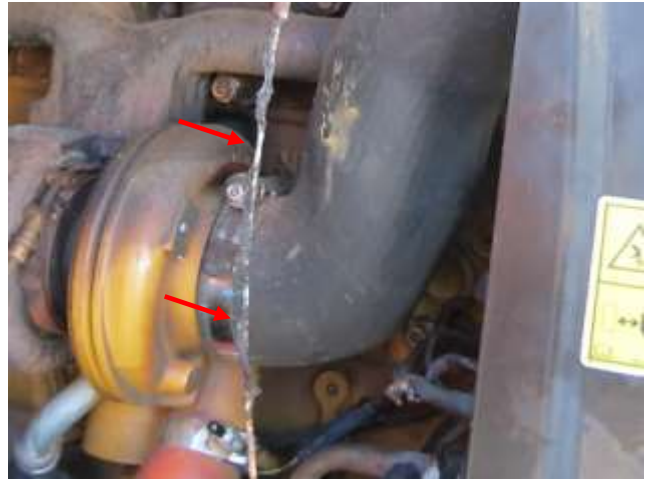
REVISTA BRASILEIRA DE INCÊNDIOS

Revista técnica da ciência do fogo

Artigo Publicado Vol. 01 – Primeira Edição 21 julho 2025 – ISSN 3086-0539

Versão online www.revistabrasileiraincendios.com.br

APOIO TÉCNICO WSN PERÍCIA





Figuras 25 a 35 (autor, 2025) mostram O sistema de fiação do sensor de temperatura apresenta danos por queima em sua estrutura, decorrentes da instalação inadequada dos condutores em áreas de alta temperatura da estrutura do equipamento. A exposição direta dos cabos a pontos térmicos críticos comprometeu o isolamento dos cabos, ocasionando degradação do material e aumentando o risco de falhas funcionais no sensor.

13.1 Avaliação da Montagem Existente

Posição: A configuração de agora se encontra na frente do motor, perto da caixa do filtro de ar e do sistema de escape.

Partes: Inclui registros, uniões hidráulicas maleáveis (tubos) e condutores rígidos.

Defeitos notados:

Calor excessivo próximo: O tubo e as uniões ficam perto demais do escapamento e do turbo, o que aumenta a chance de danificar o material e causar incêndio.

Flexibilidade ruim: Os tubos parecem esticados ou dobrados, o que prejudica a vida útil e a firmeza das uniões.

Acesso complicado: O local atual dificulta o alcance aos registros e uniões para reparos ou inspeção.

Perigo / risco de sujeira: Perto do alternador e do motor de partida, há risco de respingos de óleo ou sujeira atingirem as uniões elétricas ou hidráulicas.

13.2 Orientações para Montagem Ideal

Localização:

Prender os tubos e registros perto do motor de partida e do alternador, mas longe do escapamento e do turbo, mantendo uma distância de pelo menos 150–200 mm de superfícies muito quentes.

Apoios e fixações:

Utilizar suportes firmes e isolantes térmicos para manter os tubos e mangueiras seguros, prevenindo vibrações ou contato com partes em movimento.

Caminhos hidráulicos:

Os tubos rígidos devem seguir caminhos retos, evitando curvas demais. Os tubos flexíveis devem ter uma curvatura correta.

Fiações / sensores;

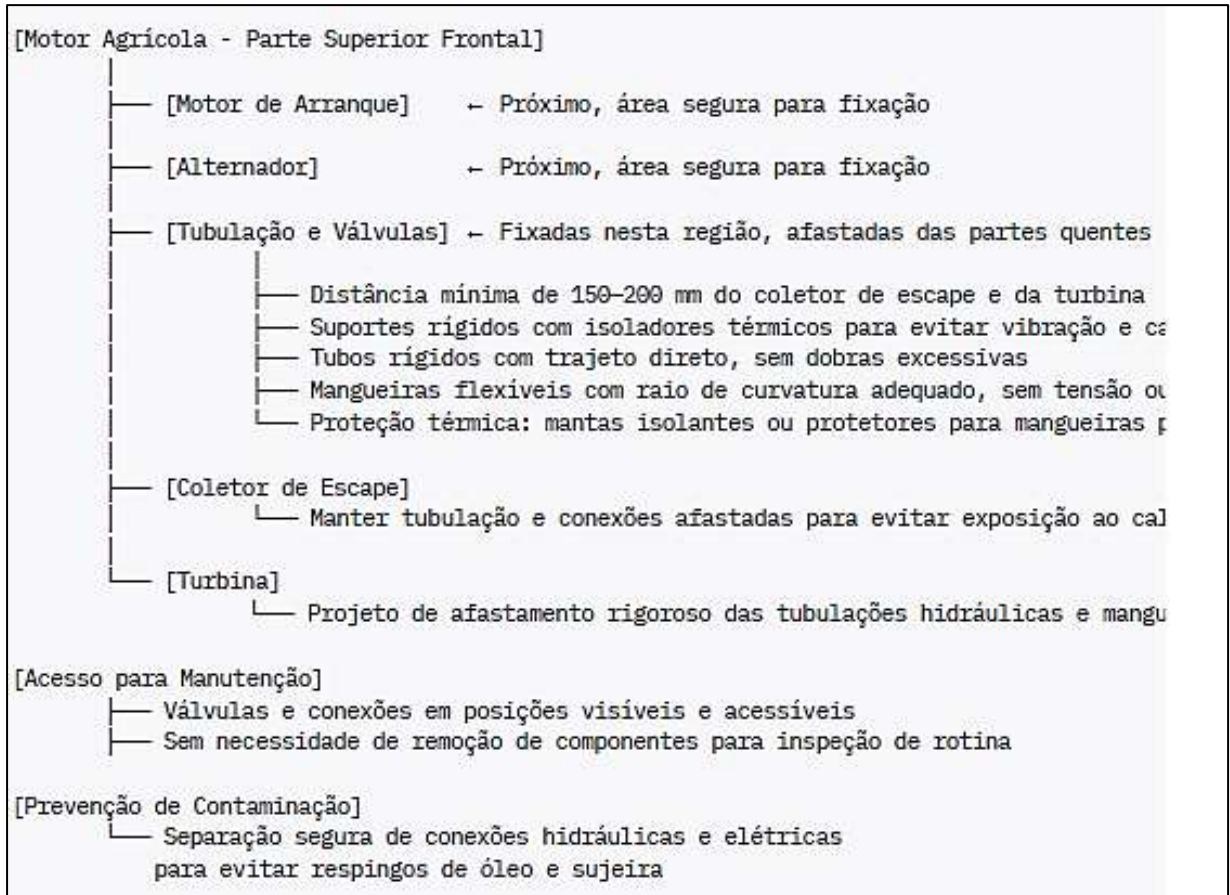
Instalação dos cabos fora dos pontos de alta temperatura, para evitar danos térmicos e falhas no acionamento automático ou manual.

Proteção e cuidado:

Os registros e as uniões devem estar em um local de fácil acesso, sem precisar desmontar peças do motor.

Usar protetores térmicos ou capas isolantes nos tubos perto do motor.

Esquema técnico sugerido para instalação de sistema hidráulico no motor agrícola



Fonte criado pelo autor / diagrama

Indicadores chave:

- Distância mínima recomendada: 150–200 mm e/ou ajustes técnicos das superfícies de altas temperaturas.
- Suportes e isoladores rígidos para fixação.
- Rotas hidráulicas sem dobras forçadas nem tensões.
- Fácil acesso às válvulas de corte.
- Fiações / sensores do sistema de prevenção, fora das áreas de alta temperatura.

14. ESTRATÉGIAS DE SEGURANÇA E REDUÇÃO DE RISCOS

Para prevenir o surgimento de incêndios causados por partículas de cana, a aplicação de práticas de segurança eficientes aliada a métodos técnicos é indispensável. Algumas delas incluem:

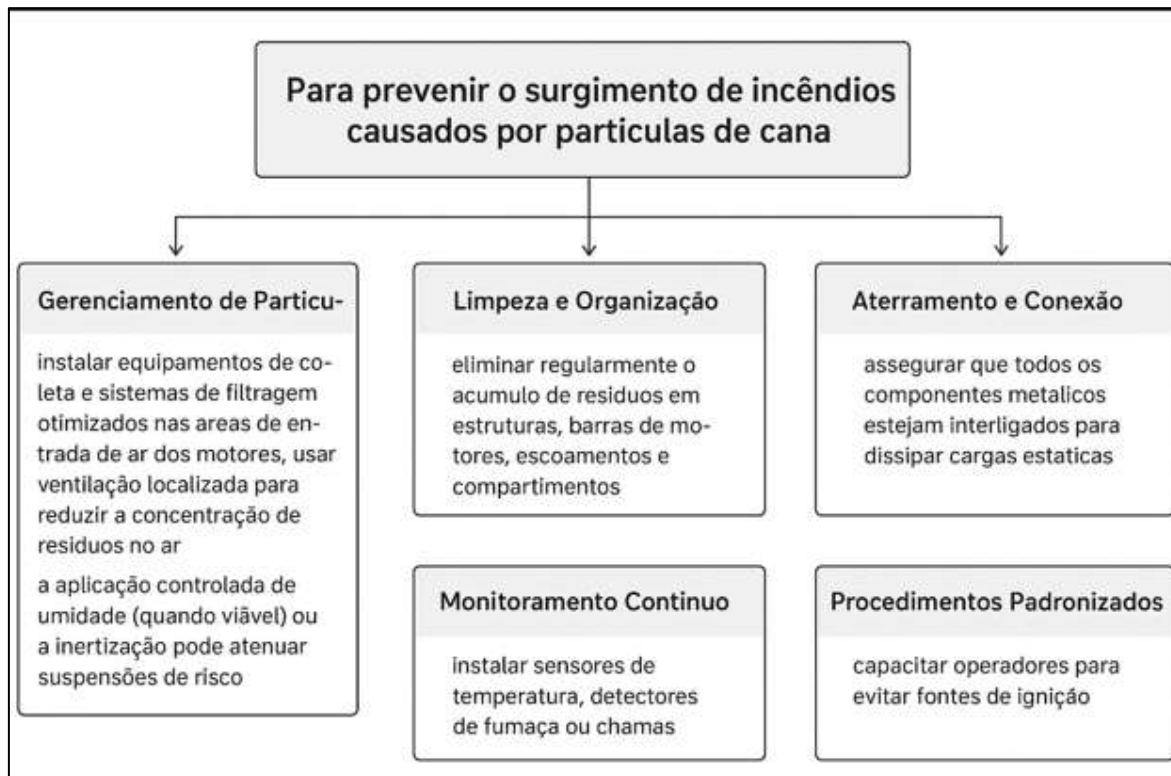
- **Gerenciamento de Partículas:** instalar equipamentos de coleta e sistemas de filtragem otimizados nas áreas de entrada de ar dos motores; usar ventilação localizada para reduzir a concentração de resíduos no ar ^[14]; a aplicação controlada de umidade (quando viável) ou a inertização pode atenuar suspensões de risco.
- **Limpeza e Organização:** eliminar regularmente o acúmulo de resíduos em estruturas, barras de motores, escoamentos e compartimentos. Conforme alerta do CCPS, uma camada delgada (<1 mm) em uma área extensa já representa risco de explosão se dispersa ^[9]. A limpeza frequente impede o acúmulo perigoso.
- **Aterramento e Conexão:** assegurar que todos os componentes metálicos estejam interligados para dissipar cargas estáticas. O CCPS orienta a conexão de estruturas e tubulações à terra para evitar faíscas eletrostáticas ^[15].
- **Equipamentos Elétricos Seguros:** utilizar motores, bombas e instalações elétricas com certificação “Ex” em áreas de risco (Zona 20/21/22 de partículas). Por exemplo, em áreas de descarga de grãos, recomenda-se o uso de motores intrinsecamente seguros ou com proteção para evitar faíscas ^[10]. No contexto agrícola, proteger o sistema de ignição e o escapamento de tratores impede o contato com as partículas.
- **Monitoramento Contínuo:** instalar sensores de temperatura nos rolamentos e sistemas de escape para detectar superaquecimento precoce. Detectores de fumaça ou de chamas próximos a ventiladores alertam sobre focos de incêndio. Em instalações fixas, sistemas automáticos de supressão (sprinklers/CO₂) nos coletores de resíduos e silos são aconselháveis e devem ser dimensionados adequadamente.

• **Procedimentos Padronizados:** capacitar operadores para evitar fontes de ignição (ferramentas elétricas defeituosas, restrição de fumo etc.) e conduzir análises de risco de partículas. Manuais devem incluir desligamento automático em condições anormais (compressão de filtro, altos níveis de resíduos etc.).

• **Áreas-chave para revisão e limpeza (lista rápida):**

- Limpar e examinar turbo, coletor de escape e abafador.
- Verificar e limpar a carenagem do ventilador, radiador e intercooler (entre as lâminas).
- Examinar o pré-filtro ciclônico/elemento do filtro de ar e assegurar manutenção constante.
- Conferir tubulações hidráulicas e conexões em busca de vazamentos que retêm poeira.
- Retirar poeira acumulada em tampas do motor, suportes e na estrutura interna.
- Inspecionar sistemas elétricos e isolamentos expostos ao acúmulo de poeira.

A combinação dessas ações (controle de partículas, aterramento, uso de equipamentos adequados e detecção precoce) é vital para diminuir significativamente o risco de explosões em máquinas agrícolas.



Fonte criado pelo autor / diagrama

15. RESULTADOS

A temperatura de combustão espontânea do pó de cana foi determinada entre 250 e 263 °C, suficiente para inflamá-lo ao entrar em contato com partes quentes do motor.

O índice Kst do pó de cana varia de 90 a 105 bar·m/s, enquadrando-o nas classes St1 ou St2, o que indica risco de explosão moderado.

Comparado a outros pós, como o de milho (75 bar·m/s) e o de serragem (102 bar·m/s), o pó de cana apresenta perigo semelhante ou ligeiramente maior.

Partes do motor, incluindo escapamentos, turbocompressores e faíscas de ignição, constituem focos potenciais de ignição.

REVISTA BRASILEIRA DE INCÊNDIOS

Revista técnica da ciência do fogo

Artigo Publicado Vol. 01 – Primeira Edição 21 julho 2025 – ISSN 3086-0539

Versão online www.revistabrasileiraincendios.com.br

APOIO TÉCNICO WSN PERÍCIA

A ausência de proteção integral nas máquinas agrícolas não elimina o risco: o pó acumulado pode ser levantado por correntes de ar ou vibrações.

Embora não existam registros de incidentes com pó de cana em tratores, há ocorrências semelhantes em fábricas e transportadores de açúcar.

Parâmetro	Valor / Faixa	Significado / Risco	Medidas Preventivas
Temperatura de combustão espontânea do pó de cana	250–263 °C	Inflamação em contato com partes quentes do motor	Monitoramento de temperatura, ventilação, superfícies isoladas
Índice Kst	90–105 bar-m/s	Classe St1/St2 – risco de explosão moderado	Controle de poeira, sistemas antiexplosão, ventilação
Comparação com outros pós	Milho: 75 bar-m/s, Serragem: 102 bar-m/s	Perigo semelhante ou ligeiramente maior	Normas técnicas para manuseio de pós orgânicos
Partes críticas do motor	Escapamento, turbocompressor, faíscas de ignição	Pontos potenciais de ignição	Proteções físicas, manutenção preventiva
Acúmulo de pó	Pode ser levantado por ar ou vibrações	Risco de incêndio mesmo em áreas parcialmente abertas	Limpeza constante, sistemas de aspersão, ventilação
Tamanho das partículas	<0,5 mm	Inflamação fácil, gases inflamáveis	Monitoramento de partículas, filtragem, controle de umidade
Sistemas de combate a incêndio	Aspersores mal posicionados	Ineficácia em debelar chamas	Instalação correta conforme normas, manutenção periódica
Normas técnicas aplicáveis	NBR IEC 60079-10-2, NFPA 652/664, ISO 80079-20-2	Prevenção de acidentes graves	Treinamento, conformidade regulatória

Fonte criado pelo autor / diagrama

16. CONCLUSÃO

A poeira de cana-de-açúcar, um subproduto vegetal inflamável, representa risco significativo de incêndio ou explosão em tratores e propulsores agrícolas quando particulada. Suas características, como alta celulose, tamanho reduzido e capacidade de formar nuvens explosivas, a tornam comparável a outros pós orgânicos com riscos e perigosos, como milho, madeira e soja.

O bagaço de cana seco, se inflama espontaneamente em torno de **250–260 °C** [8], temperatura atingível em áreas de altas temperaturas dos motores ou por faíscas elétricas. Por isso, é essencial seguir normas de segurança, como NFPA, IEC/ATEX e regulamentações brasileiras equivalentes.

Medidas preventivas incluem controle constante da poeira, uso de sistemas de lavagem e chuveiros técnicos, aterramento, ventilação adequada e utilização de equipamentos antiexplosão e incêndios. A instalação de sistemas de combate a incêndio deve ser precisa e técnica, evitando falhas observadas em máquinas / equipamentos, como aspersores / **sprinklers** mal posicionados que espalham o agente extintor de forma ineficaz, distantes de áreas críticas (turbina, coletor de escape, motor de arranque e alternador), onde há fiação elétrica em regiões de altas temperaturas.

Falhas nas instalações comprometem a eficácia do sistema de proteção e combate a incêndio, que não consegue debelar as chamas automaticamente ou manualmente, evidenciando a não conformidade com requisitos de sistemas fixos de combate a incêndios.

Partículas de pó de cana-de-açúcar menores que 0,5 mm inflamam-se facilmente em motores, especialmente se secas ou contaminadas com substâncias liberadoras de gases. A temperatura das peças do motor é suficiente para provocar combustão do pó e gerar gases altamente inflamáveis quando misturados a óleos ou outras substâncias, mesmo em espaços parcialmente abertos, aumentando o risco imediato de incêndio.

Portanto, a conformidade com normas técnicas (NBR IEC 60079-10-2, NFPA 652/664, ISO 80079-20-2) é fundamental prevenir incêndios e acidentes graves envolvendo poeira de cana em maquinário agrícola e tratores.

17. REFERÊNCIAS

AIChE CCPS – Beacon. Existe o risco de explosão com açúcar? Maio 2008. CCPS–AIChE. p. 1–1. Disponível em: <https://ccps.aiche.org/sites/default/files/ccps-beacon/2008/5/2008-05-Beacon-Portuguese%20%28Brazil%29.pdf>. Acesso em: 08 ago. 2025.

Comquality Engenharia. O que são poeiras combustíveis e quais riscos elas oferecem? 2023. Disponível em: <https://comquality.com.br/o-que-sao-poeiras-combustiveis-e-quais-riscos-elas-oferecem-para-a-industria-comquality-engenharia/>. Acesso em: 08 ago. 2025.

REVISTA BRASILEIRA DE INCÊNDIOS

Revista técnica da ciência do fogo

Artigo Publicado Vol. 01 – Primeira Edição 21 julho 2025 – ISSN 3086-0539

Versão online www.revistabrasileiraincendios.com.br

APOIO TÉCNICO WSN PERÍCIA

GUTIÉRREZ-ANTONIO, A. et al. Thermochemical conversion of sugarcane bagasse: a comprehensive analysis of ignition and burnout temperatures. *Bioresources and Bioprocessing*, v. 8, p. 49, 2021. Disponível em: <https://bioresourcesbioprocessing.springeropen.com/articles/10.1186/s40643-021-00440-z>. Acesso em: 08 ago. 2025.

Jornal Cana. Ponto de riscos de inflamáveis e explosivos na indústria devem ser monitorados 24 h/dia. *Gestão Administrativa*, 2014. Disponível em: <https://jornalcana.com.br/administracao/gestao-administrativa/ponto-de-riscos-de-inflamaveis-e-explosivos-na-industria-devem-ser-monitorados-24-hdia/>. Acesso em: 08 ago. 2025.

MORAIS, L. et al. Thermochemical Conversion of Sugarcane Bagasse: A Comprehensive Analysis of Ignition and Burnout Temperatures. *Clean Technology*, v. 4, n. 4, p. 68, 2023. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2571-8797/4/4/68>. Acesso em: 08 ago. 2025.

OLIVER, S. Kst Values for Common Dusts. 2013. Disponível em: <https://sites.create-cdn.net/sitefiles/38/0/8/380894/Kst Values for Common Dusts.pdf>. Acesso em: 08 ago. 2025.

SAEED, M. et al. Combustion of Pulverized Biomass Crop Residues and Their Explosion Characteristics. *Combustion Science and Technology*, 2018. Disponível em: <https://eprints.whiterose.ac.uk/id/eprint/106710/1/Combustion%20Science%20and%20Techonology%20Paper%20GEA%206%20Title.pdf>. Acesso em: 08 ago. 2025.

Occupational Safety and Health Administration (OSHA). OSHA Technical Manual – Section IV, Chapter 6, Combustible Dusts. [S.I.], n.d. Disponível em: https://www.osha.gov/sites/default/files/otm_secIV_chap6.pdf. Acesso em: 08 ago. 2025.