

Artigo

Avaliação de Riscos Decorrentes da Liberação de Etanol em Tanques de Armazenamento em Indústria Sucoenergética

Oliveira, A. F. A.;* Sousa, R. C. S.; Rodrigues, F. A.

Rev. Virtual Quim., 2020, 12 (2), 389-404. Data de publicação na Web: 6 de Abril de 2020

<http://rvq.sbg.org.br>

Risk Assessment Due to Ethanol Release in Storage Tanks in a Sugar-Energy Industry

Abstract: The sugar-energy sector has a secular origin in Brazil, and currently, this sector is responsible for the largest processing of sugar cane around the world. With the increase of this sector and the high flow of these products, the sugar-energy industry and equipment need to readjust to the new process and operating conditions and some risks have potentiated concerning the impact that they can generate. The ethanol storage was studied to analyse the risk about this process (release, fire and flammability). This study used different risk analyses methods to observe the impact of ethanol release, for example, was used Preliminary Risk Analysis (PRA) and the software ALOHA®. Also was used the method Checklist to evaluated probably a source of this kind of release; this method was used too to identify forms to control these events. This study shows that the atmospheric conditions have a large influence on the impacts of ethanol release the same occurs when events of fire and inflammability joint an ethanol release are simulated. Is relevant that in case of ethanol release (like was studied) the evacuation of the operation works occurs in the zone of hazard, also is important that has not ignition source in this zone to prevent biggest accidents and that ensure the security methods been available to use.

Keywords: Risk analyses; sugar-energy sector; fire; explosion; ALOHA®, Checklist.

Resumo

O setor sucoenergético no Brasil tem origem secular e vem se tornando responsável pelo maior processamento de cana-de-açúcar no mundo. Com o crescimento do setor e altas vazões de produtos, as indústrias precisaram se readequir às novas condições de processo e de operação, que passaram a potencializar alguns riscos inerentes ao processo em relação ao impacto que podem causar devido à grande produção. O armazenamento do etanol foi estudado a fim de avaliar os riscos intrínsecos a este processo, decorrentes do derramamento, inflamabilidade e incêndio. Foram utilizados diferentes métodos de análise de risco industrial, como o método de Análise Preliminar de Risco (APR), utilização do software ALOHA®, que permite observar os raios atingidos por impactos de eventos indesejados na região da ocorrência e o método de análise de riscos Checklist usado para avaliar possíveis fontes causadoras de eventos indesejados dessa operação, assim como possíveis formas de controle. Pôde-se observar que, em condições de derramamento, incêndio ou área de inflamabilidade, as condições atmosféricas impactam nos raios das áreas de risco. É relevante que, na possibilidade de ocorrer os eventos estudados neste trabalho, o raio de segurança seja respeitado, com a evacuação dos trabalhadores que operam naquele raio e que haja a garantia de ausência de fontes de ignição dentro desse perímetro, garantindo que as salvaguardas necessárias estejam aptas a serem utilizadas.

Palavras-chave: Análise de risco; setor sucoenergético; incêndio; explosão; ALOHA®, Checklist.

* Universidade Federal de Viçosa, Centro de Ciências Exatas e Tecnológicas, Departamento de Química, Campus Viçosa, CEP 36570-900, Viçosa-MG, Brasil.

 oliveira.anafla@gmail.com
DOI: [10.21577/1984-6835.20200031](https://doi.org/10.21577/1984-6835.20200031)

Avaliação de Riscos Decorrentes da Liberação de Etanol em Tanques de Armazenamento

Ana Flávia A. Oliveira,* Rita de Cássia S. Sousa, Fábio de A. Rodrigues

Universidade Federal de Viçosa, Centro de Ciências Exatas e Tecnológicas, Departamento de Química, Campus Viçosa, CEP 36570-900, Viçosa-MG, Brasil.

*oliveira.anafla@gmail.com

Recebido em 2 de Dezembro de 2019. Aceito para publicação em 18 de Março de 2020

1. Introdução

2. Metodologia

- 2.1. Análise de risco no armazenamento de etanol
- 2.2. Caracterização Atmosférica
- 2.3. Análise Preliminar de Risco – APR
- 2.4. Programa computacional ALOHA®
- 2.5. Dados de entrada para o programa computacional ALOHA®
- 2.6. Níveis Tóxicos de Preocupação (LOC's) para simulação no ALOHA®

3. Resultados e Discussão

- 3.1. Análise Preliminar de Risco – APR
- 3.2. Estimativa de consequência para incêndio em poça
- 3.3. Estimativa de consequência para nuvem tóxica de vapor
- 3.4. Estimativa de consequência para área de inflamabilidade em derramamento em poça

4. Conclusão

1. Introdução

A indústria sucroalcooleira está presente no Brasil desde os tempos da colonização. O setor evoluiu e hoje se tem a indústria sucroenergética, responsável por grandes produções de açúcar, etanol e energia. Simultaneamente, as condições de operação também evoluíram, utilizando-se equipamentos mais avançados, caldeiras com maiores pressões e estocagem de maior quantidade de combustíveis. Estes fatores fazem com que os danos causados por acidentes

envolvendo materiais combustíveis, em indústrias que processam esse tipo de material, tenham consequências graves para as empresas e para o meio ambiente.¹

Na indústria sucroenergética, grandes quantidades de etanol são estocados para venda, e dessa forma, essa operação envolve riscos. São comuns notícias de tanques de armazenamento de etanol que se incendiam. Além dos danos à empresa, as proporções desse tipo de evento podem afetar as pessoas que estão próximas ao local do acidente. Outros fatores como perda de produtos, riscos financeiros e danos para a

imagem das empresas, estão associados à estes eventos.

A cadeia produtiva industrial do setor sucroenergético inicia-se com a recepção da cana-de-açúcar, o preparo e a extração, de onde se resulta o caldo da cana e o bagaço.² O bagaço é direcionado à queima, para cogeração de energia e geração de vapor para a indústria, enquanto o caldo segue para a etapa de tratamento que consiste na correção de pH, clarificação, e evaporação.³ O caldo com maior teor de sacarose, denominado caldo primário (originário do primeiro terno de extração das moendas), após tratado é direcionado à produção de açúcar. O caldo secundário (também denominado caldo misto) é direcionado para produção de etanol, tendo como etapa seguinte ao tratamento de caldo a fermentação. Após a fermentação, o vinho segue para o processo de destilação que tem como produto final o etanol. O etanol e o açúcar são posteriormente armazenados para futura comercialização.^{2,4}

Diversos equipamentos utilizados no processo industrial necessitam de condições específicas de operação como pressão, temperatura, alimentação de vapor e rotação. A demanda por condições particulares em cada etapa do processo produtivo implica em riscos operacionais, ambientais e ao processo. Dessa forma, torna-se necessário o estudo das variáveis que possam ocasionar estes riscos ao processo, aos trabalhadores envolvidos e à população que, por virtude de algum cenário indesejado, possa ser afetada.¹

Após produzido, o etanol é direcionado à armazenagem em tanques com capacidade para armazenar grandes volumes.² Tanques de armazenagem de etanol devem seguir as normas da ABNT NBR 7505-1 (Armazenagem de Líquidos Inflamáveis e Combustíveis), que definem as estruturas necessárias para os tanques.⁵

Na referida norma, pode-se encontrar especificações para controle de vazamento e derrames, arranjo dos tanques, dispositivos de segurança pertinentes e dispositivos de emergências contra incêndio. Além disso, as atividades desta indústria devem estar em conformidade com as normas NR 20 – Segurança e Saúde no Trabalho com Inflamáveis e Combustíveis e NR 23 – Proteção Contra Incêndio. A NR 20 estabelece as normas básicas contra fatores de risco de acidentes decorrentes de operações com líquidos inflamáveis e líquidos combustíveis. A NR

23 discorre sobre o dever de os empregadores adotarem medidas de prevenção de incêndios, de acordo com a legislação vigente.⁶

Todos esses cuidados se tornam necessários para mitigar os riscos inerentes à armazenagem do etanol, uma vez que se trata de um líquido combustível que pode causar sérios riscos ambientais, ao processo produtivo, aos trabalhadores e população no entorno.¹

A análise dos riscos dos processos industriais tem como principal objetivo quantificar e avaliar os riscos técnicos e de operação de um determinado processo químico.⁷ É importante identificar os pontos fracos ou falhas que podem ocasionar acidentes, avaliar o risco que é oferecido, qualitativa e quantitativamente, bem como propor medidas mitigadoras para estes riscos. As conclusões de uma análise de risco podem ter influência direta na tomada de decisões sobre a operação industrial, uma vez que o sistema de gestão de riscos visa a garantia da segurança do trabalho e minimização dos riscos ambientais. A gestão de riscos correlatos a um processo engloba a identificação, análise e controle dos riscos presentes no setor avaliado.⁸

Para se obter dados e estudos das análises, foram desenvolvidos diversos métodos de análise de riscos.⁷ A Análise Preliminar de Riscos (APR) usualmente é o primeiro método utilizado para se avaliar os riscos de um processo sendo capaz de identificar riscos antes mesmo da implantação de um projeto.⁹ Segundo Maia¹⁰, este é um método de análise que visa identificar os riscos, os agentes causadores do risco, as implicações decorrentes do risco estudado e por fim, propor medidas de controle para prevenir que o evento indesejado em questão ocorra.

Na APR correlaciona-se a operação e seus riscos de acordo com a frequência e impacto do risco que a envolve, essa correlação tem como objetivo categorizar o risco como baixo risco, risco moderado ou alto risco, dando origem à matriz de risco.¹¹

O método de análise de risco conhecido como *Checklist* consiste na análise de risco de baixa complexidade executada através da verificação dos padrões desejados para o processo analisado. Ao se realizar este método de análise é possível identificar as diferenças entre o padrão e a situação real encontrada. Barros¹² ressalta que tal método, após desenvolvido é de fácil aplicação e ao ser executado traz resultados rápidos de verificação de conformidades. O *Checklist* é o método que

identifica variáveis que não se enquadram nos padrões estabelecidos.

A Avaliação Quantitativa de Riscos, também referida como QRA (*Quantitative Risk Assessment*) apresenta-se como metodologia fundamental para determinar os riscos e implicações de operações com substâncias perigosas e sua utilização facilita prever os potenciais efeitos de sinistros ligados à liberação dessas substâncias.¹

Os autores Mendes-Silva et al.¹ consideram esta ferramenta valiosa ao modelar as consequências da liberação de gases, incêndios e explosões, assim como os efeitos da toxicidade desses materiais liberados sobre a saúde humana e para o ambiente. Consideram também que eventos como incêndios e explosões devam ser estudados devido ao potencial de perdas de ativos e capital das empresas em que estes eventos possam ocorrer. Segundo os mesmos, na Avaliação Quantitativa de Riscos determina-se primeiro o sistema alvo de estudo e as informações do processo como, as características físico químicas dos materiais utilizados no processo, diagramas do processo e informações sobre a tecnologia e a química do processo relevantes para a análise. Os dados geográficos do local de estudo foram coletados para as etapas posteriores de determinação das consequências e análise de vulnerabilidade.

Quando ocorre a liberação de material inflamável, seja em forma líquida ou em forma de vapor, o cenário e condições de ambiente em que ocorre esse evento podem implicar em incêndios ou explosões. Os incêndios ocorrem quando um material combustível e o oxigênio reagem a partir de uma fonte de ignição gerando gases e calor e as explosões são caracterizadas por uma liberação rápida de gases ou energia armazenada.^{1,13}

Alguns tipos de explosões e incêndios são conhecidos e dentre eles Explosão de nuvem de vapor, o *Flash fire*, o BLAVE (*Boiling liquid expanding vapor explosions*), piscinas de fogo e jatos de fogo, estão associados à liberação indesejada de material combustível/inflamável.¹³

A explosão da nuvem de vapor é caracterizada por um vazamento de gás ou líquido inflamável resultando em uma nuvem de vapor inflamável no ar que circunda a região do vazamento. Caso a dissipação dessa nuvem de vapor não seja suficiente para levar sua concentração abaixo do limite inferior de inflamabilidade (LFL – *Lower flammability limit*) uma possível fonte de ignição na região pode levar à explosão.¹³

O *Pool Fire*, incêndio em piscina, se inicia através do derramamento de material inflamável de um equipamento ou processo. Na maioria dos casos de armazenamento de líquidos combustíveis em plantas industriais, o volume do líquido derramado é contido em uma bacia de contenção, formando-se uma piscina/poça do material. A partir da formação da poça do material inflamável caso exista a presença de uma fonte de ignição inicia-se o incêndio. O incêndio dos líquidos armazenados em temperaturas abaixo do ponto de ebulição desta substância pode ocorrer através da queima do vapor resultado da volatilização do líquido derramado. Os efeitos dessa piscina de fogo podem ser expressivos quanto à radiação térmica emitida de acordo com o tipo de líquido inflamável, duração da queima e localização do acidente.¹³

Os níveis tóxicos de preocupação (*Level of Concern – LOC*) de uma substância são concentrações a partir das quais a saúde dos indivíduos expostos começa a ser comprometida quando ocorre a inalação.¹⁴ Dessa forma, ao se realizar um estudo de riscos e consequências de eventos indesejados é importante determinar quais são os níveis tóxicos de preocupação da substância analisada. Segundo Jones et. al.¹⁴ os LOC's são delineados para que se possa estimar em que concentrações de substâncias tóxicas no ar a população atingida pela liberação das mesmas sofrerá efeitos adversos à saúde.

Segundo Mendes-Silva et.al.¹, pode-se utilizar alguns critérios criados por órgãos governamentais como referência para limites de exposição. Essas metodologias foram desenvolvidas de forma a auxiliar nos planos de atendimento a emergência (PAE).¹⁴ As principais delas, segundo o NOAA's Office of Response and Restoration (2019)¹⁵ são:

O AEG (*Acute Exposure Guideline Levels*) é uma metodologia empregada para ponderar as concentrações que, na população comum, apresenta efeitos nocivos à saúde durante um período de exposição ao composto químico. É considerado pelo NOAA's Office of Response and Restoration (2019)¹⁵ como a melhor diretriz de níveis tóxicos de preocupação já desenvolvidos, são criteriosamente revisados e destinados ao público em geral, incluído indivíduos sensíveis.

O ERPG (*Emergency Response Planning Guidelines*) estima as concentrações nocivas ao público adulto e saudável submetidos à uma hora de exposição ao agente químico. Este tipo de diretriz não considera o público sensível.

O PAC (*Protective Action Criteria for Chemicals*) é uma combinação dos dados de AEGL e ERPG. O IDLH (*Immediately Dangerous to Life and Health Limits*) é um limite de exposição no local de trabalho para os trabalhadores que estão expostos à substâncias tóxicas.

Cada uma dessas diretrizes pode ser utilizada para definir uma zona de perigo de acordo com os efeitos esperados para a substância tratada. Em cada uma das diretrizes existem níveis de preocupação em que o primeiro nível se trata de concentrações em que o indivíduo atingido apresenta apenas efeitos leves e temporários, o segundo nível é aquele em que o indivíduo afetado apresenta efeitos incapacitantes e, por último, o terceiro nível é aquele em que as concentrações da substância analisada pode conferir risco de morte ao indivíduo afetado.¹⁵

Diferentes métodos de análise podem ser utilizados para identificação, avaliação e controle dos riscos de um processo industrial. Neste trabalho utilizaram-se métodos de análise de risco para identificar, analisar e incrementar métodos de redução dos potenciais riscos decorrentes do derramamento, inflamabilidade e incêndio no armazenamento de etanol. Iniciou-se utilizando a APR (Análise Preliminar de Risco) como primeira forma de análise dos riscos que envolvem o processo de armazenamento de etanol. Em seguida, utilizou-se o software ALOHA® para se estimar as regiões de impacto e, por fim, foi proposto um *Checklist* com objetivo de avaliar fatores que possam ser a iminência de derramamento ou eventos indesejados bem como as formas de controlá-los.

2. Metodologia

O presente estudo utiliza diferentes metodologias de análise de risco (Análise Preliminar de Riscos, programa computacional ALOHA® para análise quantitativa, e método *Checklist*) aplicadas ao setor de armazenamento de etanol de uma indústria sucroenergética. Com base em avaliações e análises de pontos críticos das etapas do processo produtivo foram pontuados possíveis cenários de eventos indesejáveis que possam ser fonte de risco físico, químico e ambientais por liberação do etanol, produto final da indústria sucroenergética.

2.1 Análise de risco no armazenamento de etanol

Foram analisados os riscos inerentes ao processo de armazenagem do combustível, as medidas de contenção necessárias e possíveis impactos à segurança do processo, dos trabalhadores envolvidos e ao meio ambiente. Pelas características do etanol, os riscos no armazenamento envolvem o perigo de incêndio, ruptura do tanque e descarga elétrica pelo acúmulo de energia estática no processo de carregamento de etanol (do tanque para os caminhões tanque).

Inicialmente, utilizando a Análise Preliminar de Riscos (APR), identificou-se os possíveis riscos decorrentes da operação de armazenagem de etanol. Na sequência, utilizando o programa computacional ALOHA®, foram analisados os impactos decorrentes da liberação de etanol na operação de armazenagem do produto.

Por fim, com base na APR e nos resultados obtidos nas simulações realizadas no programa computacional ALOHA®, foi proposto um *Checklist* operacional, de forma a contemplar as necessidades diárias de monitoramento e inspeções do sistema de armazenamento de etanol. Tal *Checklist* visa identificar, ainda em estado inicial, possíveis fontes de vazamentos, fissuras ou avarias no sistema de armazenamento e combate a incêndios.

2.2. Caracterização Atmosférica

A região estudada tem suas condições meteorológicas acompanhadas principalmente por dois órgãos, a EMPRAPA Agropecuária do Oeste¹⁶ e pelo INMET – Instituto Nacional de Meteorologia.¹⁷ Esses dois órgãos serviram como base para as principais informações utilizadas para o estudo.

Segundo a EMPRAPA Agropecuária do Oeste (2019), a intensidade dos ventos pode ser classificada de acordo com a escala de Beaufort (Tabela 1).

A EMBRAPA Agropecuária do Oeste possui dados diários das condições climáticas arquivados desde 07/09/2016, enquanto o INMET possui dados horários das condições climáticas arquivados por 365 dias. Nota-se que os dados médios requeridos para simulação são bem

Tabela 1. Classificação da intensidade dos ventos segundo escala de Beaufort

Escala	Velocidade (km/h)	Categoria
0	<2	Calmo
1	2 a 5	Quase calmo
2	6 a 10	Brisa
3	11 a 20	Leve
4	21 a 30	Moderado
5	31 a 40	Forte
6	41 a 50	Muito forte
7	51 a 60	Fortíssimo
8	61 a 75	Ventania
9	76 a 100	Vendaval
10	>101	Tornado

Fonte: EMBRAPA Agropecuária do Oeste, 2019

próximos entre os mensurados pelos dois órgãos. Uma vez que existe maior disponibilidade de dados pelo INMET, este órgão foi tomado como base de forma a analisar os efeitos do vazamento de etanol em diferentes condições climáticas.

De acordo com os dados obtidos pela estação automática do INMET (2019), as condições atmosféricas médias do período entre 01/06/2018 e 30/06/2019 podem ser descritas na tabela 2.

Com base nos dados do INMET (2019) pode-se buscar as características atmosféricas em momentos adversos, como por exemplo, momentos de ventos fortes e temperaturas elevadas, assim como momentos de baixa umidade do ar. O conhecimento das condições atmosféricas, nos momentos descritos anteriormente, é fundamental para a análise de risco do sistema e devem ser levadas em consideração nas análises, para que se estime corretamente a direção e o alcance dos perigos associados ao derramamento.

De acordo com a condição atmosférica que ocorra um possível vazamento, o alcance, direção da chama e da radiação térmica, assim como a concentração de gases podem variar.

Foram simulados os efeitos da liberação de etanol causando incêndio em poça, nuvem

tóxica e região potencial de inflamabilidade, considerando-se os dados atmosféricos aqui descritos.

Para um estudo que preveja os cenários de risco iminentes em diferentes condições, foram analisados também os impactos de uma liberação indesejada quando as condições climáticas apresentam ventos acima de moderados. Os impactos de uma liberação indesejada no momento de pico de velocidade do vento também foram previstos.

Com base na Tabela 3, houve 141 ocorrências de medições atmosféricas que se enquadraram nas condições de ventos moderados a muito fortes e que os ventos são predominantemente direcionados a S (Sul) e a NW (Noroeste).

Portanto, as simulações foram baseadas nessas duas condições (S e NW), além da condição média de características atmosféricas para ventos acima de moderados. Esses dados foram selecionados no banco do INMET. As condições climáticas na região estudada são descritas na Tabela 4.

Foram avaliados os efeitos da liberação de etanol nas diferentes estações do ano, considerando as características climáticas médias de cada uma delas. As características atmosféricas médias das estações do ano, na região aqui estudada, podem ser visualizadas na Tabela 5.

Tabela 2. Condições atmosféricas médias do período entre 01/06/2018 e 30/06/2019 na região estudada

Temperatura	Umidade relativa do ar	Velocidade do vento	Direção do vento (predominante)
23,4 °C	68,8 %	8,4 km/h	E (Leste)

Fonte: INMET, 2019.

Tabela 3. Número de eventos com ventos moderados a muito fortes de acordo com a direção do vento no período 01/06/2018 a 30/06/2019

Direção do vento	Número de eventos
Norte (N)	20
Nordeste (NE)	1
Leste (E)	4
Sudeste (SE)	6
Sul (S)	46
Sudoeste (SW)	7
Oeste (W)	9
Noroeste (NW)	48

Fonte: INMET, 2019.

Tabela 4. Condições climáticas médias de ventos moderados a muito fortes, condições climáticas médias quando os ventos moderados a muito fortes se direcionam ao S e ao NW e na máxima velocidade do vento registrada no período de 01/06/2018 a 30/06/2019 na região estudada

Escala de Vento acima de moderado	Temperatura (°C)	Velocidade do Vento (km/h)	Umidade relativa do ar (%)	Direção do vento
Condição média	29,5	24,97	62,2	NW
Vento a S	19,9	25,8	76,4	S
Vento a NW	30,8	24,8	50,25	NW
Máxima registrada	22,6	43,2	81	S

Fonte: INMET, 2019.

Tabela 5. Condições climáticas médias por estação do ano entre 01/06/2018 e 30/06/2019 na região estudada

Estação do ano	Temperatura (°C)	Velocidade do vento (km/h)	Rajadas (km/h)	Direção do vento	Umidade relativa do ar (%)
Verão	26,5	7,6	18	NE	73,5
Outono	22,5	8,8	17,4	E	71,7
Inverno	21	7,9	18,7	E	61,2
Primavera	25,4	9,2	20,8	E	69,1

Fonte: INMET, 2019

Também foram avaliadas as condições do vento em momentos de máxima e de mínima temperatura registrada (Tabela 6), assim como no momento em que a umidade relativa do ar se apresenta dentro da faixa de risco para a saúde humana (segundo a Embrapa (2019) umidades relativas abaixo de 30 % apresentam risco a saúde humana). Esses pontos foram identificados como pontos críticos para os efeitos gerados pelo vazamento e influentes na abrangência dos efeitos quantitativos.

Todas as condições foram simuladas considerando diferentes quantidades de liberação (100 m³, 500 m³, 1000 m³, 5000 m³ e 10000 m³) do material tóxico em questão, o etanol.

2.3. Análise Preliminar de Risco – APR

A Análise Preliminar de Riscos (APR) foi utilizada para se identificar os riscos do armazenamento de etanol.

Tabela 6. Condições climáticas em momentos de umidade relativa baixa e temperaturas máximas e mínimas no período de 01/06/2018 a 30/06/2019 na região estudada

Condição	Temperatura (°C)	Velocidade do vento (km/h)	Rajadas (km/h)	Direção do vento	Umidade relativa do ar (%)
Umidade relativa <30 %	30,6	11,2	25,8	N	26,5
Temperatura máxima	38,1	5,04	19,4	N	27,5
Temperatura mínima	6,7	4,3	6,8	W	61,2

Fonte: INMET, 2019

Neste trabalho utilizou-se a matriz de risco visualizada na Figura 1, onde no eixo X tem-se a probabilidade que se aconteça o evento e no eixo Y, tem-se os impactos do evento em questão.

A APR construída para análise dos riscos das operações de armazenamento de etanol segue o modelo da Figura 2.

2.4. Programa computacional ALOHA®

Para análise quantitativa de riscos e impactos da liberação do etanol, foi utilizado o programa computacional ALOHA® (versão 5.4.7), desenvolvido e disponibilizado gratuitamente pela Environmental Protection Agency – EPA.

IMPACTO	Catastrófico	Risco Moderado	Risco Alto	Risco Extremo	Risco Extremo	Risco Extremo
	Grande	Risco Moderado	Risco Alto	Risco Alto	Risco Extremo	Risco Extremo
	Moderado	Risco baixo	Risco Moderado	Risco Alto	Risco Alto	Risco Extremo
	Pequeno	Risco baixo	Risco Moderado	Risco Moderado	Risco Alto	Risco Alto
		Improvável	Baixa	Possível	Alta	Muito alta
		FREQUÊNCIA				

Figura 1. Matriz de Risco. Fonte: Adaptada de Ministério do Planejamento, Desenvolvimento e Gestão (2017)¹¹.

ANÁLISE PRELIMINAR DE RISCO				
Operação:				Data:
Evento indesejado	Causas	Consequências	Risco	Formas de controle

Figura 2. Modelo de APR

Segundo Silva et al.¹⁸, tal programa computacional é recomendado para avaliação dos riscos de incêndios e explosão, e apresenta bons resultados ao simular os efeitos causados e o alcance provocado por esse tipo de incidentes.

O método *Checklist* também foi utilizado para avaliar as instalações e operações realizadas nesta etapa do processo. A seguir são apresentadas as considerações utilizadas para simulação.

2.5. Dados de entrada para o programa computacional ALOHA®

Para se realizar as simulações no ALOHA®, é necessário fornecer ao programa alguns dados como localização, qual a substância química será analisada, as condições atmosféricas que caracterizam o local da simulação, caracterização do derramamento a ser estudado, e por fim, o tipo de evento que se deseja simular.

Com base nos dados atmosféricos mencionados anteriormente nas Tabelas 2, 4, 5 e 6, que caracterizam diferentes condições climáticas encontradas na região estudada, foram realizadas simulações para estimar os raios e efeitos da radiação térmica em caso de incêndio em poça.

Também com base nos dados atmosféricos obtidos para a região, e já mencionados anteriormente no item 4.3, foram realizadas simulações para o caso de derramamento sem incêndio, para estimar os efeitos da dispersão de vapores tóxicos e região de inflamabilidade no entorno do derramamento.

2.6. Níveis Tóxicos de Preocupação (LOC's) para simulação no ALOHA®

As simulações de poça de fogo foram realizadas a partir dos LOC's de radiação térmica considerados pelo National Oceanic and Atmospheric Administration - NOAA (2019). Segundo o NOAA (2019), não existem padrões bem definidos quanto aos riscos que envolvem a radiação térmica e que esses riscos dependem do tempo de exposição do indivíduo à radiação. As simulações do ALOHA® para radiação térmica consideram valores padrões de radiação conforme tabela 7.

Para realizar as simulações de nuvem tóxica, foram considerados os LOC's ERPG, uma vez que a região em que a indústria sucroenergética estudada é uma região rural e os indivíduos presentes nas proximidades dos tanques de armazenamento são trabalhadores da empresa. Dessa forma em caso de ocorrência de eventos não desejados seriam afetados indivíduos adultos com boas condições de saúde.

Segundo este tipo de diretriz, o ERPG-1 apresenta efeitos leves/momentâneos, o ERPG-2 é a concentração da substância no ar em que o indivíduo afetado apresenta efeitos incapacitantes e o ERPG-3 é a concentração na qual existe risco de morte aos afetados.

Os níveis de preocupação quando se trata de ERPG para o etanol, segundo o a AIHA - American Industrial Hygiene Association (2016)¹⁹, são apresentados na Tabela 8.

Para realizar simulações que prevejam a área de inflamabilidade, o ALOHA® estipula, dentro da

Tabela 7. LOC's Radiação Térmica

Radiação térmica	Risco associado (exposição de 60 segundos)	Zonas
10 (kW/m ²)	Potencial letal	Vermelha
5 (kW/m ²)	Queimaduras de 2º grau	Laranja
2 (kW/m ²)	Dor	Amarela

Fonte: NOAA, 2019.

Tabela 8. Concentrações ERPG do etanol

Nível	ERPG	Zona
ERPG-1	1800 ppm	Amarela
ERPG-2	3300 ppm	Laranja
ERPG-3	Não recomendado	Vermelha

nuvem de vapor, as regiões onde a concentração desse vapor gera o risco de inflamabilidade¹⁴.

No entanto, segundo o NOAA (2019), a dispersão de uma substância no ar não é uniforme, podendo-se formar bolsões em que se atinge concentrações acima do limite inferior de inflamabilidade. O software utiliza como níveis de preocupação a concentração de 60 % em relação ao nível inferior de explosividade para estabelecer a região vermelha, de grande risco, uma vez que dentro da região que tem essa concentração, pode haver bolsões em concentrações maiores, podendo estar na concentração ideal de mistura para ocorrer a combustão (NOAA, 2019). O programa computacional utiliza a concentração de 10 % em relação ao limite inferior de explosividade para estabelecer a região amarela de risco. Neste caso, não há regiões de risco intermediário apontado pelo programa computacional.¹⁴

3. Resultados e Discussão

3.1. Análise Preliminar de Risco – APR

Com base na metodologia de APR já apresentada foi construída a Tabela 9, onde são observados os principais riscos presentes no armazenamento de etanol, assim como suas possíveis causas e medidas mitigadoras.

Pode-se notar que os riscos analisados qualitativamente através da APR podem ser fontes de consequências graves tanto para a saúde dos colaboradores da planta, como para a estrutura de ativos da empresa. Portanto, as medidas de controle e prevenção desses eventos são de extrema importância.

Caso ocorra algum desses eventos indesejados, a análise quantitativa realizada através do

Tabela 9. Análise preliminar de risco armazenamento de etanol

Análise Preliminar De Risco				
Operação: Armazenamento de Etanol				Data: 11/08/2019
Evento indesejado	Causas	Consequências	Risco	Formas de controle
Vazamento de Etanol de baixas proporções	Vazamento em flanges, vazamento em juntas, fissuras em tubulações	Dispersão de gases tóxicos, criação de atmosfera explosiva, contaminação de solo, pequena perda de Etanol	Risco Alto	Monitoramento das linhas, das espessuras de tubos, das interligações das linhas. Sinalização adequada. Acompanhamento das atividades próximas às linhas e tanques de armazenamento. Utilização de espaçamento entre flanges corretos. Utilização de juntas adequadas.
Vazamento de Etanol de médias proporções	Erro operacional, falta de acompanhamento de instalações, corrosão de tubulações e tanques de armazenamento, vazamento em flange, em juntas ou fissuras em tubulações por longo período de tempo	Nuvem tóxica, atmosfera explosiva, contaminação do solo, perda de produto final	Risco Alto	Verificação diária das aberturas/fechamento de válvulas, supervisão e aprovação de novas instalações, <i>checklist</i> operacional, inspeção estrutural. Monitoramento das linhas, das espessuras e das interligações de linhas. Utilização de juntas adequadas e de espaçamento correto entre flanges. Acompanhamento das atividades próximas às linhas de etanol e aos tanques.
Vazamento de Etanol de grandes proporções	Ruptura de tubulações ou da estrutura de armazenamento.	Grande raio de atmosfera explosiva e nuvem tóxica de vapores, contaminação do solo, perda de grande quantidade de Etanol, perda de capital da empresa, danos à imagem da empresa.	Risco Extremo	Inspeção da estrutura de armazenamento, incluindo válvulas de alívio de pressão e vácuo.
Incêndio	Fonte de ignição diretamente nos tanques ou linhas de armazenamento, fonte de ignição nas proximidades de poças em casos de vazamento	Grande radiação térmica em dissipação, aquecimento de tanques adjacentes, ferimentos graves/mortes em trabalhadores das proximidades do tanque ou poça em combustão, grande perda de etanol e da estrutura de armazenamento. Dispersão de gases tóxicos, contaminação ambiental e danos à imagem da empresa.	Risco Extremo	Evitar trabalhos a quente nas proximidades do armazenamento (área classificada), para-raios na região, em caso de derramamento deve-se retirar possíveis fontes de ignição da região até o raio de concentração dos vapores de etanol próximos ao limite de inflamabilidade, controlar vazamentos.

software ALOHA® consegue prever e estimar os raios e as áreas afetadas.

3.2. Estimativa de consequência para incêndio em poça

Assimulações para possíveis eventos de incêndio em poça foram realizadas utilizando-se o programa computacional ALOHA®. Resumidamente, observa-se que, independentemente da quantidade de etanol derramada, o alcance dos efeitos da combustão será o mesmo quando se tem a mesma condição atmosférica. Justifica-se pelo fato de o líquido derramado estar dentro de uma bacia de contenção de dimensões conhecidas. Assim, como a combustão ocorre somente na superfície da poça, onde existe a fase gasosa em que o combustível tem contato com o oxigênio (elemento oxidante)¹¹, este alcance será o mesmo. No entanto, o tempo de queima do material será alterado já que o volume total de combustível é diferente. Dessa forma, após as primeiras simulações, foram mantidas apenas as simulações com derramamento de 100 m³, que mostra os raios de perigo, tamanho da chama e taxa de combustão para cada uma das condições atmosféricas retratadas, fatores estes que independem da quantidade derramada.

Além disso, quando a temperatura e a umidade são mantidas constantes, o tamanho da chama é inversamente proporcional à velocidade do vento, enquanto os alcances dos impactos da combustão aumentam com o aumento da velocidade do vento (zona amarela). Como para uma mesma condição atmosférica, o raio de efeitos nocivos à saúde humana é o mesmo, independentemente

da quantidade derramada, tomaremos a condição em que o raio de energia nociva seja o maior possível para fins de medidas de segurança.

Dentro das condições simuladas, o pior cenário de alcance de energia térmica, ocorre em condição de dia quente, com ventos de baixa velocidade e tempo seco. Apesar de em outras condições de simulação, apresentarem zonas vermelhas e amarelas com um maior raio de alcance, a condição de maior raio para zona amarela é identificada como o pior cenário, pois requer cuidados em um maior raio. Isto ocorre uma vez que estes cuidados devem ser tomados para garantir a integridade dos indivíduos que estejam nas proximidades, dessa forma qualquer intervenção ou medida de evacuação deve ser tomada de forma garantir que na maior distância que este incêndio possa ter efeitos os indivíduos estejam em segurança, sem qualquer tipo de prejuízo a saúde e integridade dos mesmos.

Os raios de perigo da simulação podem ser verificados na Figura 3.

É importante que, caso ocorra esse tipo de cenário, as pessoas que trabalham no raio amarelo acima mencionado sejam evacuadas do local, para que não haja nenhum dano à integridade física das mesmas.

Como essa se mostrou a pior condição atmosférica para efeitos de raio de radiação térmica emitida, também foi simulada a hipótese de o incêndio ocorrer nessas condições somente dentro do tanque de etanol, sem derramamento do líquido combustível pela bacia de contenção. Os resultados dessa simulação podem ser visualizados na Figura 4 e melhor detalhados na Tabela 10.

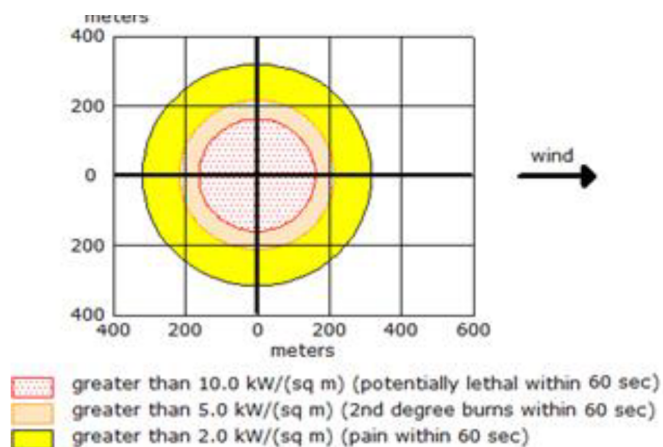


Figura 3. Raio de perigo para radiação térmica emitida na condição de poça de fogo

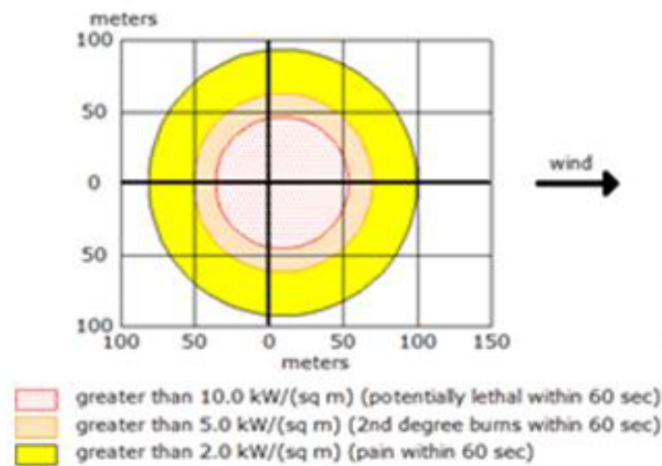


Figura 4. Resultados para a condição atmosférica da simulação de maior raio de perigo com área de queima equivalente à área do tanque de estocagem

Tabela 10. Resultados da simulação para incêndio em tanque com condição atmosférica

Temperatura (°C)	Velocidade do vento (m/s)	Direção do vento	Umidade Relativa do ar (%)	Zona Amarela (m)	Zona Laranja (m)	Zona Vermelha (m)
30,6	3,0	N	27	100	70	54

Dessa forma, caso ocorra um incêndio no tanque, sem derramamento do material combustível para fora da sua estrutura, indica-se a evacuação em um raio de 100 metros, já que raios menores que este já existe o potencial nocivo a saúde dos afetados.

É possível identificar na Figura 4 a influência da direção do vento nos raios de efeito da dissipação da energia térmica, uma vez que nota-se que o alcance desses efeitos é maior na direção do vento.

3.3. Estimativa de consequência para nuvem tóxica de vapor

Com base nas condições atmosféricas e quantidades de combustível derramado mencionados, foram simuladas no programa computacional ALOHA® condições de nuvem tóxica de vapor e área de inflamabilidade.

Observou-se que, na maioria dos casos, quanto maior a quantidade de líquido derramado em

uma mesma condição atmosférica, maior é o raio de efeitos tóxicos dos vapores dessa substância. Verifica-se também que, para as mesmas condições de temperatura e umidade do ar, temos a mesma quantidade de material liberado. O efeito da velocidade do vento é relevante e, quanto menor a velocidade do vento, maior o alcance dos gases tóxicos.

O resultado de dispersão com o maior raio de nuvem tóxica para as condições atmosféricas simuladas pode ser observado na Tabela 11. Nota-se que o maior raio de nuvem tóxica acontece na simulação onde tem-se a condição de temperatura alta (38,1°C), baixa umidade do ar (28 %) e velocidade do vento baixa (1,14m/s), sendo este um cenário de extrema atenção devido ao alcance dos gases dissipados.

Para fins práticos e garantias de segurança dos envolvidos com o processo, considerar-se o pior cenário (aquele com o maior raio de perigo) como raio de atenção e limites de referências em casos de derramamento. O raio da dispersão

Tabela 11. Resultados da dispersão de nuvem tóxica

Temperatura (°C)	Velocidade do vento (m/s)	Direção do vento	Umidade Relativa do ar (%)	Volume de material liberado (m3)	Zona Amarela (m)	Zona Laranja (m)
38,1	1,14	N	28	10000	694	503

para este caso pode ser melhor visualizado na Figura 5, onde pode-se observar como ocorre a dispersão dos gases no sentido do vento. Dessa forma o alcance de zona amarela de 694 metros ocorre no sentido do vento, no sentido oposto ao vento vemos que o alcance desses gases ocorre somente na proximidade da poça, não gerando grandes regiões de alerta nesse sentido.

Recomenda-se que, para um cenário de derramamento nessas proporções, a área abrangida pelos vapores tóxicos seja evacuada, de forma a evitar efeitos nocivos à saúde e segurança dos indivíduos que trabalham na região delimitada. Por medidas de segurança e para garantir a integridade dos trabalhadores do local, considera-se o pior cenário para realizar a evacuação, e apesar do raio de alcance máximo ocorrer somente no sentido do vento, é necessária evacuação da área em todo o raio da poça, uma vez que podem ocorrer instabilidades de direção de vento e a dispersão dos gases atingir valores indesejáveis em outras direções.

3.4. Estimativa de consequência para área de inflamabilidade em derramamento em poça

Foram simulados a partir das condições atmosféricas já mencionadas os efeitos do derramamento de etanol quando se trata da área de inflamabilidade gerada por este evento indesejado.

Nota-se que para os cenários atmosféricos simulados onde têm-se a mesma temperatura e mesma umidade do ar, os maiores raios de

concentração ocorrem quando a velocidade do vento é menor. Os maiores raios de atenção com a possibilidade de bolsões inflamáveis ocorrem nas condições atmosféricas de temperatura de 38,1°C, velocidade do vento 1,14m/s e umidade relativa do ar de 28 %, o que pode ser observado na Tabela 12. O que torna esse, um cenário de extrema atenção para o caso de derramamento de etanol, pois nessas condições o raio de atmosfera pode chegar a valores superiores a 0,5 km, bem superior às demais condições atmosféricas simuladas.

Dentro desse cenário, descrito na Tabela 12, observa-se ainda que, na simulação da maior quantidade de material liberado, tem-se o maior o raio de atmosfera inflamável. Nesse contexto, nota-se que acompanhando o que ocorre na dispersão de nuvem tóxica, o maior raio de inflamabilidade acontece no cenário atmosférico onde tem-se alta temperatura, baixa umidade do ar e ventos com baixa velocidade, dificultando a dispersão dos vapores tóxicos. Dessa forma é de extrema importância que em uma possível situação de derramamento, o raio retratado neste cenário seja respeitado de forma que dentro desses limites haja a garantia da ausência de fontes de ignição, evitando assim um possível incêndio/explosão.

O raio de atmosfera inflamável, assim como sua configuração em relação à direção do vento nesta condição pode ser visualizado na Figura 6, em que a dispersão e condição de atmosfera inflamável ocorrem preferencialmente na direção do vento.

Na grande maioria dos sistemas de estocagem de etanol das indústrias do setor, o

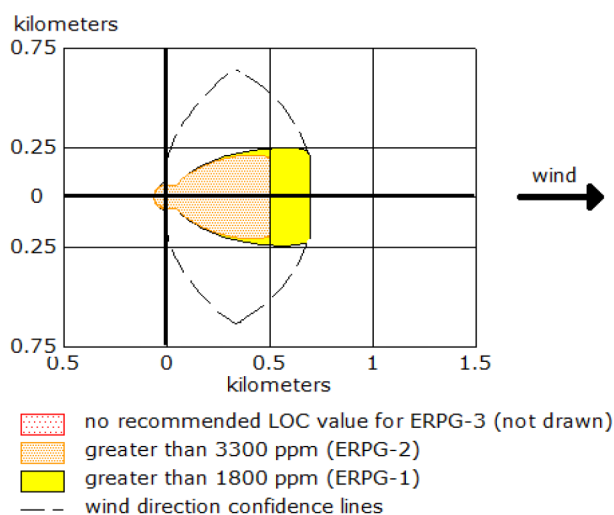


Figura 5. Raio de dispersão de nuvem tóxica de etanol para a simulação de maior raio de perigo

Tabela 12. Raio de atmosfera inflamável

Simulação nº	Temperatura (°C)	Velocidade do vento (m/s)	Direção do vento	Umidade Relativa do ar (%)	Volume de material liberado (m3)	Zona Amarela (m)	Zona Vermelha (m)
61	38,1	1,14	N	28	100	447	151
62	38,1	1,14	N	28	500	473	166
63	38,1	1,14	N	28	1000	483	171
64	38,1	1,14	N	28	5000	499	175
65	38,1	1,14	N	28	10000	502	176

carregamento de caminhões para a venda são as edificações mais próximas dos tanques de armazenagem do etanol (dentro dos limites mínimos de alcance dos efeitos nocivos à saúde humana que podem alcançar esses eventos). Assim, recomenda-se que, para qualquer tipo de cenário de derramamento ou incêndio, as pessoas que trabalham nesse ponto sejam evacuadas primeiramente e que haja garantias de ausência de fontes de ignição nesses locais. A evacuação das demais edificações da planta deve ser avaliada com o tipo de cenário e a distância em que se localizam.

Com base na gravidade que os impactos que um derramamento de etanol podem causar à saúde humana e associado ao risco financeiro da perda de um dos principais produtos da indústria sucroenergética, assim como a perda da estrutura de armazenamento devido a um incêndio ou fissura, propõe-se a melhoria do *Checklist* operacional, de forma a contemplar os principais riscos de derramamento com a possível consequência do incêndio.

O *Checklist* deve contemplar checagem nos pontos críticos que podem ser fontes de derramamentos, como, por exemplo, flanges, boca de visita, válvulas e demais juntas, dessa forma é possível identificar visualmente o início de um vazamento. Também é importante observar as proximidades do tanque e seu costado para uma possível visualização de vazamento na estrutura. Como nesse tipo de operação as válvulas são manuais, deve-se observar se todas elas estão direcionando o produto ao armazenamento em tanque com capacidade para o mesmo. É relevante também garantir que nas proximidades dos tanques não ocorra trabalho a quente ou quaisquer tipos de serviços que contenham componentes que podem ser fonte de ignição.

O *Checklist* contempla as principais fontes de perigo que podem causar sinistros no armazenamento de etanol, podendo ser utilizado para garantir que a operação esteja ocorrendo com segurança e em caso de incidentes, estes sejam observados em seu início, ampliando a capacidade de controle do evento.

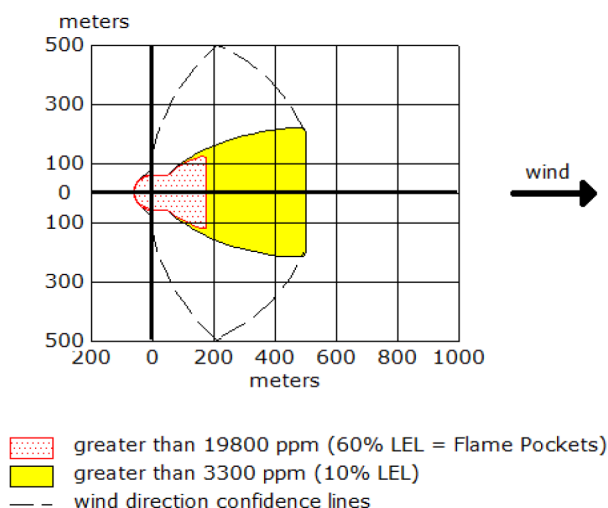


Figura 6. Raio de atmosfera explosiva de acordo com a simulação 65

4. Conclusão

O etanol, produto acabado da indústria sucroenergética, é um líquido inflamável e por isso suscetível a eventos inesperados e de grandes proporções, os quais colocam em risco a operação da planta, os trabalhadores e o meio ambiente na qual está inserida. Assim, é necessária uma análise efetiva dos riscos do armazenamento do etanol de forma a controlá-los. O uso de metodologias de análises e programas computacionais que identifiquem e quantifiquem os riscos associados às operações com esta substância é indispensável para garantia de segurança da empresa, das pessoas e dos ativos.

Neste trabalho, a partir da modelagem simulada pelo programa computacional ALOHA® foi possível quantificar os possíveis efeitos dos eventos relacionados aos riscos do derramamento de etanol (inflamabilidade, dispersão de nuvem tóxica e incêndio). Verificou-se através das simulações que em caso de derramamento de etanol os piores cenários, com os maiores raios em que os efeitos desses eventos podem alcançar, ocorrem em condições atmosféricas de calor, baixa velocidade do vento, baixa umidade relativa do ar. Verificou-se que para esse tipo de derramamento os raios de efeitos nocivos são maiores na direção do vento, e ficam mais evidentes quando analisa-se a dissipação de gases tóxicos e área de inflamabilidade associada.

Para casos de dissipação de gases tóxicos e atmosfera inflamável a velocidade do vento é de grande relevância, onde com as demais características atmosféricas iguais tem-se um maior raio de efeitos nocivos quando tem-se uma menor velocidade do vento.

A APR - Análise Preliminar de Risco permitiu uma classificação qualitativa dos riscos que podem envolver o armazenamento de etanol. Observou-se que os riscos associados a essa operação são de grau alto e extremo, de acordo com a matriz de risco utilizada. Identificou-se as potenciais causas para que esses eventos indesejados se iniciem, assim algumas formas de controle para esses iniciadores.

Os resultados obtidos através do ALOHA® facilitam o gerenciamento do armazenamento do etanol, permitindo que a indústria

sucroenergética consiga estimar os efeitos de possíveis derramamentos e/ou incêndios ligados ao etanol. Assim, é possível traçar a melhor maneira de lidar com esses eventos para garantir a integridade das pessoas que ali trabalham, dos ativos e do ambiente que está inserida.

Por fim, a metodologia de análise de riscos *Checklist* permite que as possíveis fontes desses eventos indesejados sejam melhor observadas e controladas, a fim de evitar que se iniciem estes eventos.

Referências Bibliográficas

- ¹ Mendes-Silva, G. P.; Dib-Neto, I. K. G.; Fontoura, G. A. T.; Rodrigues, F. A. Avaliação Quantitativa de Risco como Ferramenta para Determinação dos Riscos de Processos Industriais. *Revista Virtual de Química* **2018**, *10*, 1056. [[CrossRef](#)]
- ² Valente, M. S.; Nyko, D.; Reis, B. L. S. F. S.; Milanez, A. Y. Bens de capital para o setor sucroenergético: a indústria está preparada para atender adequadamente a novo ciclo de investimentos em usinas de cana-de-açúcar? *BNDES Setorial* **2012**, *36*, 119. [[Link](#)]
- ³ Araújo, F. A. D. E. Processo de clarificação do caldo de cana pelo método da bicarbonatação. *Revista Ciência & Tecnologia* **2007**, *1*, 1. [[Link](#)]
- ⁴ Nova Cana. Processos de fabricação do etanol. Disponível em: < <https://www.nova.cana.com/etanol/fabricacao> >. Acesso em: 21 julho 2018.
- ⁵ Associação Brasileira de Normas Técnicas; *NBR 7505-1 Armazenagem de líquidos inflamáveis e combustíveis. Parte 1: Armazenagem em tanques estacionários*, ABNT: Rio de Janeiro, 2000.
- ⁶ Norma Regulamentadora NR 23; *Proteção Contra Incêndios*, 2011.
- ⁷ Aven, T.; Cox Jr, L. A. National and global risk studies: how can the field of risk analysis contribute?. *Risk Analysis* **2016**, *36*, 186. [[CrossRef](#)]
- ⁸ Junior, J. P. M.; Cutrim, S. S.; *Resumo do XXXIII Encontro Nacional de Engenharia de Produção*, Salvador, Brasil, 2013. [[Link](#)]
- ⁹ Souza, E. A.; *Dissertação de Mestrado*, Universidade Federal de Santa Catarina, Brasil, 1995. [[Link](#)]
- ¹⁰ Maia, A, L, M. Análise Preliminar de Riscos em uma Obra de Construção Civil. *Revista Tecnologia & Informação* **2014**, *3*, 55. [[Link](#)]

- ¹¹ Ministério do Planejamento, Desenvolvimento e Gestão. Matriz de Riscos. Disponível em: < <http://www.planejamento.gov.br/assuntos/gestao/controle-interno/matriz-de-riscos> >. Acesso em: 18 agosto 2019.
- ¹² Barros, S. S.; *Análise de Riscos*, Ministério da Educação, Rede e-Tec Brasil, Instituto Federal do Paraná: Curitiba, 2013.
- ¹³ American Institute of Chemical Engineers; *Guidelines for Consequence Analysis of Chemical Releases*, AICE: New York, 1999.
- ¹⁴ Jones, R; Lehr, W.; Simecek-Beatty, D.; Reynolds, R. M. ALOHA® (Areal Locations of Hazardous Atmospheres). Technical Documentation. NOAA Technical Memorandum NOS OR&R 43, Seattle, 2013.
- ¹⁵ NOAA's Office of Response and Restoration. Disponível em: < <https://response.restoration.noaa.gov/> >. Acesso em: 28 julho 2019.
- ¹⁶ EMBRAPA, Agropecuária do Oeste. Avisos e Alertas Meteorológicos. Guia Clima. Disponível em: < <https://clima.cpao.embrapa.br/?lc=site/avisos-meteorologicos/busca> >. Acesso em: 28 julho 2019.
- ¹⁷ INMET, Estações automáticas. Disponível em: <<http://www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=estacoes/estacoesAutomaticas>>. Acesso em: 28 julho 2019.
- ¹⁸ Silva, E. C. S.; Rodrigues, A. J. S.; Souza, K. S. F. Silva, M. H. L. F.; *Resumos do XXXVII Encontro Nacional de Engenharia de Produção*, Joinville, Brasil, 2017. [Link]
- ¹⁹ AIHA - American Industrial Hygiene Association. Guideline Foundation. Current ERPG Values. ERPG/WEELHandbook.2016. Disponível em: <<https://www.aiha.org/get-involved/AIHAGuidelineFoundation/EmergencyResponsePlanningGuidelines/Documents/2016%20ERPG%20Table.pdf> >. Acesso em: 20 julho 2019.