

Pós-Graduação

Segurança de Processos



PREVENÇÃO DE INCÊNDIOS COM INFLAMÁVEIS NA INDÚSTRIA DE PROCESSO

Helena C. Mendes

RESUMO

Neste trabalho foram realizadas análises de dois grandes incidentes associados a incêndios em instalações de armazenamento de hidrocarbonetos líquidos, relacionando suas causas e consequências a fim de investigar instruções que possam prevenir as ocorrências. Para isso, foram usadas as normas brasileiras vigentes NR-20 e NBR 17505 que abordam o tema de prevenção de incêndios, ou até mesmo mitigar as consequências. O conhecimento das características dos incêndios e suas consequências são informações fundamentais para um eficiente projeto contra incêndios. A maioria das formas de prevenção e mitigação estão incorporadas nas normas técnicas, critérios e recomendações de projeto. Entretanto, percebe-se que ainda há uma incidência considerável de eventos associados a incêndios de inflamáveis na indústria.

As análises efetuadas permitiram concluir que embora o campo de estudo dos produtos inflamáveis líquidos ainda requeira muito estudo e aprimoramento, as normas brasileiras vigentes NR-20 e NBR 17505 possuem instruções suficientes para prevenir a ocorrência ou mitigar as consequências dos cenários analisados.

Palavras-chave: inflamáveis, indústria de processo, prevenção de risco de incêndio.

ABSTRACT

In this work, analyzes of two major incidents associated with fire in liquid hydrocarbon storage facilities were carried out, relating their causes and consequences in order to investigate instructions that can prevent occurrences. For this purpose, the current Brazilian standards NR-20 and NBR 17505 were used, which address the issue of fire prevention, or even mitigate the consequences.

Knowledge of fire characteristics and their consequences are fundamental information for an efficient fire protected design. Most forms of prevention and mitigation are incorporated in technical standards, criteria, and design recommendations. However, it is clear that there is still a considerable incidence of events associated with flammable fires in the industry.

The analyzes carried out allowed us to conclude that although the field of study of liquid flammable products still requires much study and improvement, the current Brazilian standards NR-20 and NBR 17505 have sufficient instructions to prevent the occurrence or mitigate the consequences of the scenarios analyzed.

Keywords: *Flammables, process industry, fire risk prevention.*

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	5
1.1. ACIDENTES NA INDÚSTRIA	7
1.2. OBJETIVOS	8
2. DESENVOLVIMENTO.....	9
2.1. METODOLOGIA	9
2.2. PRINCIPAIS CARACTERÍSTICAS.....	9
2.3. NR-20: LÍQUIDOS COMBUSTÍVEIS E INFLAMÁVEIS	14
2.4. NBR 17505: ARMAZENAMENTO DE LÍQUIDOS INFLAMÁVEIS E COMBUSTÍVEIS.....	20
3. ESTUDOS DE CASO.....	30
3.1. IGNIÇÃO POR FILTRO DE CARVÃO ATIVADO	31
3.2. EXPLOSÃO NA CARIBBEAN PETROLEUM COORPORATION (CAPECO) 35	
4. CONCLUSÃO	41
5. REFERÊNCIAS	44

1. INTRODUÇÃO

Apesar dos grandes avanços na ciência do fogo, ainda não há consenso mundial para definir o fogo (SEITO *et al.*, 2008). Esse fato é percebido pelas definições usadas nas normas de vários países. Tem-se assim:

- a) Brasil – NBR 13860: fogo é o processo de combustão caracterizado pela emissão de calor e luz;
- b) Estados Unidos – NFPA: fogo é a oxidação rápida autossustentada acompanhada de evolução variada da intensidade de calor e de luz.
- c) Internacional - ISO 8421-1: fogo é o processo de combustão caracterizado pela emissão de calor acompanhado de fumaça, chama ou ambos.
- d) Inglaterra - BS 4422 *Part 1*: fogo é o processo de combustão caracterizado pela emissão de calor acompanhado por fumaça, chama ou ambos.

Embora ainda existam algumas diferenças na sua definição, é de conhecimento comum que existem diferentes fatores que influenciam no surgimento do fogo e na sua capacidade em se manter no material combustível, tais como: estado da matéria (sólido, líquido ou gasoso), massa específica, superfície específica, calor específico, calor latente de evaporação, ponto de fulgor, ponto de ignição, inflamabilidade (explosividade) da mistura, quantidade de calor, composição química, quantidade de oxigênio disponível, umidade, etc.. (SEITO *et al.*, 2008).

Quando ocorre o descontrole do fogo temos o cenário chamado de incêndio, que, de acordo com a ISO 8421-1 é o processo de combustão rápida que se dissemina de forma descontrolada no tempo e espaço. SEITO *et al.*, (2008) destacam que o incêndio se inicia, normalmente, com intensidade reduzida e que seu crescimento dependerá do primeiro item ignizado, das características do comportamento ao fogo dos materiais na proximidade do item ignitado e sua distribuição no ambiente.

No caso de ignição de uma nuvem de vapores inflamáveis pré-misturados com o agente oxidante, onde as velocidades de propagação da chama aceleram até altas velocidades, capazes de produzir uma sobrepressão significativa, esse fenômeno é definido como explosão (CCPS, 1998). Os impactos de uma explosão dependem de vários fatores, tais como: a pressão máxima, a duração da interação da onda de choque com estruturas, entre outros.

É importante a distinção entre os fenômenos de incêndio e explosão originada de um processo de combustão de um gás inflamável na atmosfera:

- explosões são fenômenos de curta duração, onde a chama percorre uma nuvem onde já há uma mistura formada de combustível com o ar. Embora produza calor, a principal consequência de uma explosão é a onda de pressão gerada;
- incêndios são fenômenos de combustão que ocorrem, em sua maioria, de forma mais lenta, onde a principal consequência danosa é a quantidade de radiação térmica seguida, em menor escala, pela fumaça gerada (caracterizada pelos efeitos tóxicos, asfixiantes e de calor contido).

SEITO *et al.*, (2008) ponderam que, na maioria das vezes, a ignição de uma nuvem de vapor resulta em uma deflagração, que é uma forma de propagação da chama onde a velocidade de queima é subsônica relativa ao gás não queimado à frente da chama, isto é, a velocidade de queima é menor do que a velocidade do som, no gás não queimado. Nos casos em que há aceleração da frente de chama a tal ponto que sua velocidade seja superior à do som no meio, tem-se uma classe de explosão mais intensa, denominada detonação.

Quando esses conceitos são analisados sob a óptica da indústria, WEHMEIER *et al.*, (2016) pontuam que a maioria dos piores e maiores acidentes na indústria química envolveram produtos inflamáveis.

Figura 1 – Incêndio em um Parque de Tancagem de uma indústria petroquímica



Fonte: LUCK, 2019

1.1. ACIDENTES NA INDÚSTRIA

Embora a preocupação com a segurança venha aumentando a cada ano e exista uma pressão maior dos órgãos regulamentadores e sociedades classificadoras para que as empresas tornem seus processos mais seguros, ainda se observa um número considerável de acidentes no setor industrial. As indústrias de óleo e gás, mais especificamente, apresentam uma taxa de fatalidade 7 vezes maior do que as demais indústrias, sendo incêndios e explosões algumas das principais causas registradas (HAMEL, 2020).

Dentre os equipamentos presentes na indústria de processos químicos, o item que apresenta maior taxa de envolvimento em acidentes são os tanques de estocagem. Kletz (1999) justifica esse dado pelo fato de os tanques serem frágeis e facilmente danificados por pequenos desvios de pressão (sobrepessão ou vácuo).

Devido ao fato de uma grande porcentagem desses tanques operar com produtos inflamáveis, o número de acidentes registrados envolvendo falha de tanques com produtos inflamáveis é significativamente superior aos demais casos. Tauseef *et al.*, (2018) estimam que este cenário corresponda a 97% de todos os acidentes envolvendo tanques ao redor do mundo.

Uma análise realizada por Chang & Lin (2006) mostrou que 85% dos acidentes envolvendo tanques de armazenamento na indústria de óleo e gás que ocorreram entre 1960 e 2003 foram relacionados a incêndio e explosão sendo que, deste total, 33% foram causados por raios e 30% por falha humana. Além desses fatores, também foram registrados como causas iniciadoras falha de equipamento, sabotagem, fratura e ruptura, vazamento e falha de tubulação, eletricidade estática, chama aberta dentre outros.

Tabela 1 – Tipos de acidentes

Ano	Incêndio	Explosão	Derramamento	Liberação de gases tóxicos	Diversos	Total
1960-1969	8	8	0	0	1	17
1970-1979	26	5	5	0	-	36
1980-1989	31	16	3	2	1	53
1990-1999	59	22	2	1	1	85
2000-2003	21	10	8	10	2	51
Subtotal	145	61	18	13	5	242

Fonte: Adaptado de Chang & Lin, 2006

Algumas fontes de ignição, como por exemplo chamas abertas, iluminação industrial e trabalhos a quente, são facilmente identificáveis nas áreas de risco. Além disso, outros perigos como vazamento de gás inflamável ou Sulfeto de Hidrogênio (H₂S) podem ser detectáveis por vias olfativas. Contudo, existem perigos que não possuem odor ou que não podem ser facilmente previstos ou detectáveis, como acúmulo de energia estática (HAMEL, 2020).

Demonstrado esse contexto, o que inspira o desenvolvimento desse estudo é que, apesar da literatura técnica ser rica nas questões relacionados à prevenção e mitigação dos incêndios, ainda continuamos a observar acidentes significativos envolvendo materiais inflamáveis. Desta forma este trabalho realizará uma análise de acidentes reais ocorridos na indústria, envolvendo incêndio e explosão, para identificar se houve falha nos cumprimentos das medidas preventivas previstas e que, caso houvessem sido atendidas, teriam evitado ou minimizado os seus efeitos.

1.2. OBJETIVOS

1.2.1. Objetivo geral

Analisar acidentes reais ocorridos na indústria, envolvendo incêndio e explosão, a fim de investigar instruções que possam prevenir as ocorrências.

1.2.2. Objetivos específicos

- Verificar como as principais propriedades dos inflamáveis líquidos podem favorecer a ignição;
- Analisar as causas dos acidentes apresentados em dois estudos de caso;
- Avaliar o cumprimento das normas técnicas vigentes no que tange armazenamento de produtos inflamáveis;
- Verificar se a aderência às normas técnicas teria evitado ou minimizado o cenário acidental.

2. DESENVOLVIMENTO

2.1. METODOLOGIA

Segundo Chang & Lin (2006), tanques de estocagem de produtos são os itens com maior taxa de envolvimento em acidentes e os motivos são os mais diversos como raios, erros de manutenção, erro operacional, falha de equipamento, sabotagem, rachadura e ruptura, vazamento e ruptura da linha, eletricidade estática, chamas abertas, etc.

Para desenvolver o presente estudo, foi realizado um levantamento bibliográfico buscando o conhecimento necessário sobre as normas regulamentadoras e os requisitos de segurança exigidos. A pesquisa é do tipo bibliográfica, pois a revisão de literatura foi baseada em fontes públicas nacionais e internacionais tais como portal de periódicos, artigos publicados, livros, dissertações e teses.

Para realização da pesquisa, foram considerados estudos de caso com dois acidentes já publicados: O primeiro ocorreu com um parque de tancagem da Caribbean Petroleum Cooperation (CAPECO) onde um tanque de gasolina transbordou causando uma grande explosão. O segundo estudo de caso foi retirado da publicação CCPS, onde filtros de carvão ativado serviram como fonte de ignição provocando um incêndio em grandes tanques de produtos inflamáveis.

Os estudos de caso foram analisados e comparados com os parâmetros estabelecidos da Norma Regulamentadora 20 (Líquidos Combustíveis e Inflamáveis) em conjunto com a NBR 17505 (Armazenamento de líquidos inflamáveis e combustíveis), buscando identificar os critérios que, se houvessem sido atendidos, teriam contribuído na prevenção dos acidentes ou mesmo mitigado seus efeitos.

2.2. PRINCIPAIS CARACTERÍSTICAS

Para prevenção de incêndios é necessário, primeiramente, compreender os componentes necessários para ocorrência do fogo. São eles: combustível, oxidante ou comburente e a fonte de ignição. A combinação desses três elementos é popularmente conhecida como triângulo do fogo, conforme ilustrado na figura abaixo.

Figure 2 – Triângulo do fogo



Fonte: Marcondes, 2017

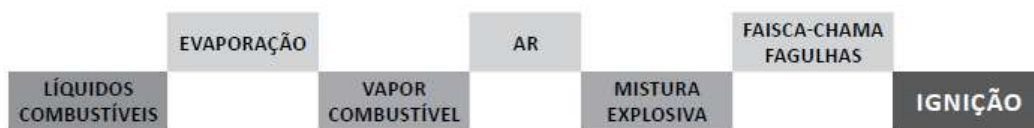
O combustível e o oxidante devem estar presentes em concentração próxima à estequiométrica para a ocorrência e manutenção do fogo e a fonte de ignição deve ter energia o suficiente para iniciar o fogo devendo atingir a temperatura de ignição da substância (ASFAHL, 2005).

A faixa de concentrações onde há a manutenção do processo de combustão é denominada faixa inflamável ou explosiva de um produto ou mistura, sendo definida pelos limites inferior (concentração mínima de combustível) ou superior (concentração máxima de combustível) de inflamabilidade ou explosividade. Estes conceitos são descritos a seguir com maiores detalhes e dados.

O oxigênio encontrado no ar é o mais comum dos oxidantes, mas outros materiais, como os cloratos, fluoretos e nitratos, podem atuar como oxidantes. Ressalta-se que a combustão sempre ocorre na fase vapor; líquidos são volatilizados e sólidos são decompostos anteriormente à essa etapa.

No caso específico dos combustíveis líquidos, para que haja ignição primeiramente ocorre a evaporação do produto, gerando uma nuvem de vapor combustível. Quando essa nuvem entra em contato com o ar, forma-se uma mistura inflamável que, na presença de uma fonte de energia ativante, pode vir a ser ignitada. A simplificação desse processo pode ser observada na Figura 3.

Figura 3 - Mecanismo de ignição do combustível líquido



Fonte: CROWL, 2012

Portanto, nota-se que a ocorrência de princípio de incêndio em inflamáveis líquidos não depende de um único fator. Entretanto, devido à ausência de princípios básicos de prevenção, esse evento continua ocorrendo em grande frequência.

A diferença entre um incêndio e uma explosão é a duração do evento e sua consequência. Incêndios normalmente ocorrem durante tempo mais longo e tem uma taxa de liberação de energia relativamente baixa. Explosões ocorrem num período muito curto – usualmente milissegundos ou microssegundos — e a taxa de liberação de energia é muito alta (CROWL, 2012).

Uma exceção são os incêndios denominados incêndios em nuvem (*vapor cloud*), onde a frente de chama ocorre numa nuvem de gás misturada com o ar. Entretanto, este é um evento de curta duração, cuja maior consequência limita-se às pessoas que eventualmente estejam no raio de alcance da nuvem, que serão queimadas. A intensidade da explosão está diretamente ligada às características da substância inflamável, porém de forma geral, eventuais danos a equipamentos ou estruturas próximos são normalmente reduzidos, pois o pouco tempo de exposição à radiação térmica não proporciona aumento significativo de temperatura. Face a isso, os incêndios avaliados neste trabalho serão aqueles de maior duração, originados de poças de líquidos (*pool fires* ou incêndio em poça) ou de liberação contínua de combustível proveniente de armazenagem em pressão considerável (*jet fires* ou incêndio em jato).

Os inflamáveis gasosos e líquidos são caracterizados com base em suas propriedades. Assim, os parâmetros de inflamabilidade são considerações importantes de segurança em várias aplicações industriais, indo desde projetos em câmaras de combustão até projetos em tanques de combustíveis. O conhecimento dos parâmetros de inflamabilidade são usados para avaliar as probabilidade e consequências de ignição e explosão em instalações ou processos industriais (NASSIMI *et al.*, 2017).

2.2.1. Limites de Inflamabilidade

Uma mistura de combustível e oxidante pode ser extremamente perigosa, se a razão oxidante/combustível estiver dentro de uma faixa específica que cause a propagação da chama, sendo os limites desta faixa chamados de limites de inflamabilidade (ou explosividade). O limite de inflamabilidade inferior (LII) é definido como a mínima concentração do combustível no oxidante que causaria a propagação da chama e o limite de inflamabilidade superior (LIS) é definido como a máxima concentração no oxidante que causaria a propagação da chama. (NASSIMI *et al.*, 2017).

Ambos o LII e o LSI possuem unidade de porcentagem de volume combustível no ar. A Tabela 2 lista o LII e o LSI para alguns produtos inflamáveis e a figura a seguir apresenta as faixas de inflamabilidade de tais substâncias.

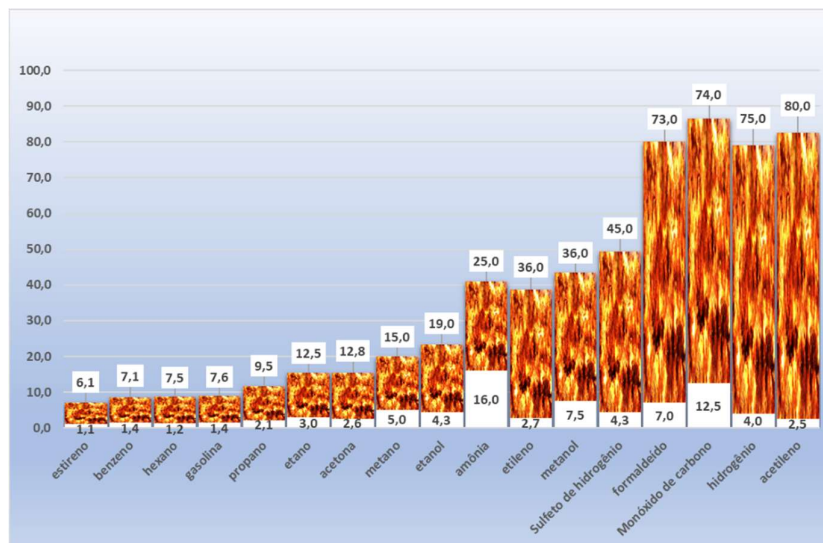
Tabela 2 - LSI e LII de alguns produtos inflamáveis.

Substâncias	LSI, vol% combustível	LII, vol% combustível
Metano	5,0	15,0
Etano	3,0	12,5
Propano	2,1	9,5
Hidrogênio	4,0	75,0
Amônia	16,0	25,0
Monóxido de carbono	12,5	74,0
Sulfeto de hidrogênio	4,3	45,0
Acetileno	2,5	80,0
Hexano	1,2	7,5
Etileno	2,7	36,0
Benzeno	1,4	7,1
Etanol	4,3	19,0
Metanol	7,5	36,0
Formaldeído	7,0	73,0
Acetona	2,6	12,8
Estireno	1,1	6,1
Gasolina	1,4	7,6

Fonte: Adaptado de Zabetakis, 1965

Observando a Figura 4, pode-se notar que as primeiras substâncias apresentam faixa de inflamabilidade pequena, o que torna a ignição mais difícil. Já as substâncias mais à direita possuem ampla faixa de inflamabilidade, fenômeno que facilita a ignição. Assim, quanto maior a faixa de inflamabilidade, maior o perigo que oferece a substância no que diz respeito à ocorrência de incêndios ou explosões.

Figura 4 - Faixa de inflamabilidade de algumas substâncias



Fonte: NASSIMI *et al.*, 2017

2.2.2. Ponto de Fulgor

Outra importante propriedade de um líquido inflamável é o seu ponto de fulgor (*flash point*), definido como a mínima temperatura na qual ocorre o desprendimento de vapores inflamáveis na superfície do líquido combustível, com alta probabilidade de ignição e explosão. Portanto, o ponto de fulgor mede diretamente a volatilidade de um líquido, que representa a tendência deste vaporizar; quanto menor o ponto de fulgor, maior a volatilidade do líquido e, conseqüentemente, maior o risco de fogo em substâncias inflamáveis (BEYLER, 2016).

Dessa forma, substâncias com ponto de fulgor abaixo da temperatura ambiente são bastante vulneráveis para entrar em ignição, por estarem continuamente emitindo vapores para o ambiente. Este é o caso, por exemplo, da gasolina, cujo ponto de fulgor é -45°C . Por outro lado, substâncias com ponto de fulgor acima da temperatura ambiente,

não volatilizarão e, em consequência não entram em ignição nessas condições, já que o líquido não é capaz de entrar em ignição, mas tão somente os seus vapores. Somente quando o combustível se apresentar sob a forma de vapor, ele poderá, normalmente, entrar em ignição. Se esse combustível estiver em estado sólido ou líquido, excetuando-se os pós, haverá necessidade de que seja aquecido para que comece a liberar vapores (REIS, 1987).

O ponto de combustão dos líquidos está relacionado à temperatura em que a amostra, após inflamar-se pela passagem da chama piloto, continua a queimar por cinco segundos, no mínimo (CROWL, 2012), mesmo após a retirada da fonte de ignição.

As duas propriedades supracitadas são de grande relevância para determinação do uso e manuseio do produto.

2.2.3. Temperatura de Autoignição

Representa a menor temperatura a partir da qual ocorre a ignição de uma mistura combustível oxidante, normalmente medida na concentração estequiométrica. É determinada aquecendo-se a mistura até a temperatura na qual ocorre o início do processo de combustão. Portanto, a temperatura de autoignição permite determinar até que ponto a mistura pode ser aquecida de forma segura.

A Tabela 3 apresenta a temperatura de autoignição para alguns produtos inflamáveis.

Tabela 3 – Temperatura de autoignição de alguns produtos inflamáveis.

Substâncias	Temperatura de Autoignição
Éter	160 °C
Álcool	371 °C
Gasolina	257,2 °C
Óleo Lubrificante	417,2 °C
Querosene de Aviação	238 °C

Fonte: Engsfafety, 2017

2.3. NR-20: LÍQUIDOS COMBUSTÍVEIS E INFLAMÁVEIS

A Norma Regulamentadora nº 20 (NR-20) estabelece requisitos mínimos para as atividades de extração, produção, armazenamento, transferência, manuseio e manipulação de produtos inflamáveis e líquidos combustíveis visando garantir a segurança e saúde dos trabalhadores desses setores.

Cada tipo de instalação possui requisitos específicos em função da sua classificação, que vai da Classe I a Classe III, de acordo com sua atividade ou sua capacidade de armazenamento de inflamáveis ou líquido combustível.

Adicionalmente, de forma específica, a norma estabelece critérios para tanques de inflamáveis líquidos no interior de edifícios e exposição ocupacional ao benzeno em postos de serviços revendedores de combustíveis automotivos.

O texto a seguir apresenta, de forma resumida, os principais pontos abordados pela norma que apresentam relevância direta com o assunto abordado neste trabalho.

2.3.1 Projeto da Instalação

Em função da classificação de cada instalação, uma série de requisitos e critérios são descritos, começando pelo projeto. A NR-20 estabelece que o projeto das instalações classes I, II e III, devem considerar as normas vigentes visando a integridade física dos trabalhadores. Além disso, toda instalação deve possuir uma documentação clara, em língua portuguesa, que contenha a descrição das atividades, planta geral, informações dos produtos químicos manipulados, especificação técnica dos equipamentos, plantas, desenhos e especificação técnica do sistema de segurança e identificação das áreas classificadas.

Com relação ao projeto, é determinante que se observe as distâncias seguras entre componentes da instalação além das distâncias com as comunidades e áreas públicas extramuros. A instalação deve ser dotada de mecanismos de segurança capazes de mitigar possíveis acidentes envolvendo os produtos inflamáveis e/ou combustíveis.

Devem ser consideradas medidas preventivas para evitar emissão de vapores e gases inflamáveis e controlar a presença de eletricidade estática durante processos de transferência e/ou enchimento de recipientes.

Para tal, a norma estabelece que as instalações devem possuir estudos de análise de risco, para identificar os possíveis perigos e, se necessário, determinar medidas de proteções adicionais. Ademais, qualquer modificação ou ampliação que possa afetar a segurança dos trabalhadores é passível de um estudo de análise de risco.

2.3.2. Prontuário da Instalação

A Norma estabelece que um prontuário contendo a principal documentação da instalação deve ser mantido atualizado e organizado de forma a estar disponível às autoridades competentes e para consulta aos trabalhadores e representantes.

O prontuário deve ser composto do projeto da instalação, plano de inspeção e manutenção, análise de risco, plano de prevenção e controle de perda de contenção e plano de resposta à emergência.

2.3.3. Análise de risco

Para elaboração dos estudos de análise de risco, a norma estabelece que devem ser empregadas metodologias apropriadas em função das características de cada instalação e que as avaliações sejam realizadas por uma equipe multidisciplinar contendo um trabalhador com experiência na instalação.

No caso das instalações Classe II e III, as análises devem ser coordenadas por um profissional habilitado e o mesmo será o responsável pela definição da metodologia a ser adotada. Para instalações Classe I, a norma prevê a elaboração de Análise Preliminar de Perigo/Risco.

As recomendações oriundas dos estudos devem ser implementadas dentro dos prazos estipulados. Caso contrário, as mesmas devem ser justificadas e documentadas.

É preciso que as análises sejam mantidas atualizadas e que cumpram o prazo de revisão estipulado.

2.3.4. Segurança na Construção e Montagem

Assim como determinado para fase de projeto, a NR-20 determina que sejam seguidas as normas vigentes além das especificações de projeto e que as inspeções e testes realizados durante essa fase sejam devidamente documentados.

A norma também prevê que todos os equipamentos e instalações sejam identificados e sinalizados.

2.3.5. Segurança Operacional

Visando a segurança operacional é imprescindível que os procedimentos operacionais estejam atualizados e sejam de conhecimento de todos os trabalhadores. Além disso, os procedimentos das instalações Classe II e III devem possuir instruções claras para o desenvolvimento de todas as fases de operação, sendo elas emergenciais ou rotineiras, desde a pré-operação até a parada da instalação.

Para garantir que os procedimentos estejam sempre atualizados, a norma estabelece um prazo de revisão, que dependerá da classificação da instalação.

Com relação ao número de trabalhadores, a norma preconiza que instalações Classe III ou de processo contínuo de produção devem dimensionar o efetivo de trabalhadores de forma a garantir que as tarefas operacionais sejam realizadas de forma controlada e segura, sendo que os critérios utilizados para esse dimensionamento precisam estar registrados pela empresa.

2.3.6. Manutenção e Inspeção das Instalações

As instalações Classes I, II e III devem possuir plano de inspeção e manutenção contendo informações dos tipos de intervenções existentes, procedimentos, cronograma anual, pessoa responsável, identificação de equipamento crítico para segurança e sistemas e equipamentos de proteção coletiva e individual. Esses planos devem ser constantemente revisados e atualizados e as atividades realizadas por profissionais capacitados.

A determinação da periodicidade das inspeções e intervalos de manutenção deve estar em concordância com as normas vigentes bem como recomendações dos fabricantes. Além disso, devem ser consideradas recomendações dos relatórios de segurança e investigações de acidentes e incidentes ou, ainda, reavaliadas em caso de condições ambientais agressivas que possam acelerar o processo de deterioração do equipamento.

Para execução das atividades não rotineiras, a norma determina que seja elaborada permissão de trabalho caso a atividade envolva trabalho a quente, espaço confinado, isolamento de equipamentos, trabalho em altura ou equipamentos elétricos. As atividades rotineiras devem ser precedidas de instrução de trabalho. E as paradas de manutenção da

instalação devem ser planejadas e executadas considerando saúde e segurança no trabalho.

A NR-20 também determina que as tubulações de água do sistema de combate a incêndio façam parte do plano de inspeção e manutenção da instalação e que operações de soldagem e corte a quente devem contar com dispositivo contra o retrocesso de chama na saída do cilindro e chegada do maçarico.

2.3.7. Inspeção em Segurança e Saúde no Ambiente de Trabalho

Com relação ao quesito segurança e saúde no ambiente de trabalho, a NR-20 preconiza que as instalações Classes I, II e III devem ser periodicamente inspecionadas de acordo com um cronograma previamente estabelecido em função dos riscos das atividades realizadas.

As inspeções realizadas devem ser devidamente documentadas e as recomendações resultantes devem ser atendidas dentro do prazo estipulado ou, caso contrário, o não atendimento deve ser justificado e documentado. Os relatórios devem estar disponíveis para consulta dos funcionários e autoridades competentes.

2.3.8. Capacitação dos trabalhadores

Os trabalhadores que estejam envolvidos em atividades de extração, produção, armazenamento, transferência, manuseio ou manipulação de inflamáveis e/ou líquidos combustíveis devem estar devidamente capacitados de acordo com a atividade desempenhada, classe da instalação e tipo de contato com o processo ou processamento.

Para melhor entendimento, a norma relaciona o tipo de atividade realizada pelo trabalhador, a classe da instalação, o tipo de curso exigido e a carga horária necessária.

Além disso, a norma também estabelece uma periodicidade para atualização do curso, a carga horária requerida e o tipo de profissional qualificado para ser instrutor ou responsável técnico. Em caso de acidentes e/ou incidentes ou ocorrência de alguma modificação significativa na instalação, também deverá ser realizado o curso de atualização.

2.3.9. Controle de Fontes de Ignição

De forma a minimizar o risco de incêndio e/ou explosões, a NR-20 apresenta algumas medidas de controle das principais fontes de ignição encontradas nas instalações, como equipamentos e instalações elétricas, equipamentos de comunicação, equipamentos de controle de descargas atmosféricas, equipamentos que possam gerar chama, calor e/ou centelha e veículos que possam circular em áreas sujeitas à existência de atmosferas explosivas.

Além disso, a norma preconiza o controle da geração, acúmulo e descarga de eletricidade estática e a sinalização da proibição do uso de fontes de ignição nas áreas sujeitas à atmosfera explosiva.

2.3.10. Prevenção e controle de vazamentos, derramamentos, incêndios, explosões e emissões fugitivas

A instalação deverá possuir um plano atualizado de prevenção e controle de vazamentos, derramamentos, incêndios e explosões, devendo esse ser revisado em caso de perda de contenção ou recomendações de estudos ou inspeções de segurança.

De forma a prevenir possíveis incidentes, os locais sujeitos a atividades de trabalhadores devem possuir identificação das fontes de emissão fugitivas e possuir sistemas de prevenção e controle adequados aos perigos existentes.

Em caso de tanques de armazenamento de produtos inflamáveis e/ou combustíveis, deve ser previsto sistema de contenção de vazamentos construídos de acordo com as normas vigentes. A norma observa também que é proibido o armazenamento de materiais dentro das bacias de contenção salvo durante atividades de manutenção e inspeção.

No caso de esferas de armazenamento, os dispositivos de segurança devem passar por testes de funcionamento.

2.3.11. Plano de Resposta a Emergências da Instalação

A Instalação deve possuir plano de resposta a emergências com ações a serem adotadas em caso de vazamentos ou derramamentos de inflamáveis e/ou líquidos combustíveis, incêndios ou explosões, contendo possíveis cenários de emergência, procedimentos de resposta à emergência para cada cenário, ações que visem a proteção das comunidades vizinhas, caso aplicável, e cronograma e metodologia para execução de

exercícios simulados.

Os exercícios simulados devem ocorrer de forma periódica, retratando a rotina de trabalho dos funcionários da empresa. Os resultados devem ser considerados para avaliação do plano de resposta a emergência estabelecido, conforme critérios previamente definidos, e devem ser divulgados aos trabalhadores envolvidos.

2.3.12. Comunicação de ocorrências

Em caso de sinistros com ocorrência de vazamento, incêndio ou explosão e que envolvam feridos necessitando internação hospitalar, morte de trabalhador ou acionamento do plano de emergência, deverá ser feita uma comunicação aos órgãos cabíveis em até dois dias úteis.

Além disso, deve ser elaborado um relatório de investigação e uma análise da ocorrência de forma a identificar as causas básicas do acidente e as medidas preventivas adotadas para evitar recorrência.

2.3.13. Contratante e Contratada

A NR-20 esclarece que tanto a contratante quanto a contratada são responsáveis pelo cumprimento da norma e define as responsabilidades de cada uma das partes, sendo a contratante responsável por verificar e avaliar o desempenho em segurança nos serviços realizados e informar sobre os riscos existentes e as medidas de segurança aplicáveis. À contratada cabe garantir o cumprimento dos requisitos de segurança e garantir a capacitação dos funcionários.

2.4. NBR 17505: ARMAZENAMENTO DE LÍQUIDOS INFLAMÁVEIS E COMBUSTÍVEIS

A Norma Brasileira ABNT 17505 (todas as Partes) tem como objetivo geral estabelecer requisitos aplicáveis a projetos de instalação de armazenamento, manuseio e uso de líquidos inflamáveis e combustíveis contidos em tanques estacionários e/ou recipientes nas unidades terrestres (*onshore*).

A norma é dividida em sete partes que abrangem: Disposições gerais;

Armazenamento em tanques, em vasos e em recipientes portáteis com capacidade superior a 3.000 litros; Sistemas de tubulações; Armazenamento em recipiente e tanques portáteis; Operações; Requisitos para instalações e equipamentos elétricos; Proteção contra incêndio para parques de armazenamento com tanques estacionários.

O texto a seguir apresenta, de forma resumida, os principais pontos abordados pela norma que apresentam relevância direta com o assunto abordado neste trabalho. Embora a norma apresente ainda uma seção voltada à operação de tanques, o foco deste trabalho são as medidas construtivas do tanque e da instalação que poderiam evitar ou mitigar um acidente e, por isso, o tema operação não será abordado aqui.

2.4.2. Classificação de líquidos

Os líquidos inflamáveis são classificados pela norma seguindo um sistema de uniformização que considera os pontos de fulgor e de ebulição, conforme ilustrado no Quadro 1.

O ponto de fulgor deve ser determinado seguindo os critérios apresentado nas normas ABNT NBR 7974, ABNT NBR 14598, ASTM D 3278 ou ASTM D 3828 de acordo com a viscosidade do fluido ou caso não sejam abrangidos por nenhuma das normas citadas.

Quadro 1 - Classificação dos líquidos inflamáveis e combustíveis

Líquidos	Ponto de Fulgor PF	Ponto de ebulição PE
Inflamáveis		
Classe I	PF < 37,8 °C e PV < 2068,6 mm Hg	
Classe IA	PF < 22,8 °C	PE < 37,8 °C
Classe IB	PF < 22,8 °C	PE ≥ 37,8 °C
Classe IC	22,8 °C ≤ PF < 37,8 °C	-
Combustíveis		
Classe II	37,8 °C ≤ PF < 60 °C	-
Classe IIIA	60 °C ≤ PF < 93 °C	-
Classe IIIB	PF ≥ 93 °C	-
Nota: PV é a pressão de vapor		

Fonte: NBR 17505-1 - Disposições Gerais

2.4.3. Projeto e Construção de tanques de armazenamento

Com relação aos materiais a serem adotados, a norma estabelece que os tanques devem ser adequados, de aço ou outros materiais não combustíveis, devendo estar de acordo com os requisitos aplicáveis mencionados em 4.2.1.1 a 4.2.1.5 da NBR 17505. Os materiais utilizados na construção dos tanques e seus acessórios devem ser compatíveis com o produto a ser armazenado. Em caso de dúvida sobre as propriedades do líquido a ser armazenado, deve ser consultado o fabricante do produto.

Os tanques equipados com respiros, que operem com pressões superiores a 17 kPa, os tanques de baixa pressão e os vasos de pressão devem ser projetados de modo a permitir que as descargas dos respiros e os drenos sejam dispostos de tal forma que se previna o superaquecimento localizado ou o contato de chama em qualquer parte do tanque ou vaso, no caso da ignição dos vapores expelidos.

A norma ainda subdivide os tanques em três categorias: tanques atmosféricos, tanques de baixa pressão e vasos de alta pressão. As classificações determinarão as normas que devem ser seguidas para sua fabricação e os limites operacionais.

Os tanques atmosféricos podem operar de pressões que vão desde a pressão atmosférica até 6,9 kPa, desde que construídos de acordo com a ABNT NBR 7821. Caso contrário, sua pressão de operação deve ser limitada à 3,5 kPa. Além disso, os tanques atmosféricos não podem ser utilizados para armazenamento de líquidos a temperaturas iguais ou superiores ao seu ponto de ebulição.

Os tanques de baixa pressão podem operar com pressões até 100 kPa e devem ser projetados e construídos de acordo com API 620 e ASME Code, ou outras normas internacionalmente aceitas.

Já os vasos de pressão com pressão de armazenamento acima de 100 kPa devem ser projetados e construídos de acordo com ASME Code ou outras normas internacionalmente aceitas. Esse tipo de vaso ainda deve levar em conta a possibilidade de exposição à chama para sua construção.

O tanque de baixa pressão pode ser utilizado como tanque atmosférico enquanto os vasos de pressão podem ser utilizados tanto como tanque atmosférico quanto tanque de baixa pressão.

Contudo, independentemente de sua classificação, os tanques de armazenamento devem ser dotados de dispositivo para prevenir ocorrência de sobrepressão ou vácuo durante operações de enchimento ou esvaziamento. Os respiros devem ser localizados acima do nível máximo de líquido para evitar extravasamento. Pressões fora de sua faixa de operação podem comprometer a integridade física do equipamento levando, inclusive, ao seu rompimento.

Os respiros normais devem ser projetados seguindo a API 2000 ou devem possuir diâmetro igual ou superior aos bocais de entrada e saída de produto. Caso o tanque possua mais de uma conexão para enchimento ou esvaziamento, o diâmetro do respiro deve ser dimensionado para atender a vazão simultânea máxima.

Com relação ao produto armazenado, tanques que contenham líquidos de classe IA devem ser equipados com dispositivos de ventilação normalmente fechados, exceto nos casos de operação sob pressão ou sob vácuo e nos tanques com teto flutuante ou tanques com selo flutuante. Tanques que contenham líquidos de classe IB e IC devem ser equipados com dispositivos de ventilação ou corta-chamas adequados ao uso.

A norma estabelece ainda que bocais de enchimento que entrem pelo teto do tanque devem ser prolongados 150 mm do fundo do tanque, excetuando-se os casos de tanques inertizados ou que não operem na faixa de inflamabilidade ou, ainda, que manuseiem líquidos com potencial mínimo de acumulação de energia estática.

Com relação à corrosão, tanques metálicos devem ser projetados conforme normas aceitas ou deve ser considerada uma espessura adicional de metal ou revestimento interno adequado, a fim de compensar a perda de massa esperada ao longo da vida útil do tanque. Em casos de tanques não-metálicos, caso esse não sejam projetados segundo as normas aceitas, deve ser prevista uma espessura adicional de material, aplicação de pinturas ou de um revestimento aprovado para o mesmo fim do caso anterior.

2.4.4. Prevenção e controle de incêndio

De acordo com a NBR 17505, as instalações de armazenamento devem estabelecer e implementar métodos de prevenção e controle de incêndio para garantir a segurança das pessoas, para minimizar as perdas de patrimônio e para reduzir a exposição ao fogo das propriedades adjacentes resultantes de incêndio e explosão. Devem ser tomadas precauções para prevenir a ignição de vapores inflamáveis por fontes como as

seguintes: chamas abertas, descargas atmosféricas, superfícies quentes, calor irradiante, corte e solda, eletricidade estática, dentre outros.

A norma estabelece ainda que uma avaliação de engenharia das instalações e operações deve ser conduzida para determinar os procedimentos para prevenção e controle de incêndios e explosões. A avaliação deve contemplar análise dos riscos para incêndio e explosão das instalações; análise das condições locais como exposição para as propriedades adjacentes; potencial para inundações ou potencial para terremotos; limites da propriedade e as instalações adjacentes e o tempo de resposta do Corpo de Bombeiros ou do Plano de Auxílio Mútuo (PAM).

As instalações com tanques de armazenamento de líquidos inflamáveis devem possuir planos de prevenção e de ação de emergência contra incêndio e explosão resultante de uma liberação dos líquidos. Os planos devem ser adequados para identificar, avaliar e controlar os riscos envolvidos no processamento e manuseio de líquidos inflamáveis e combustíveis.

As instalações devem contar com um Plano de Ação de Emergência (PAE) para atender a incêndios, explosões e outras emergências. Esse plano deve conter procedimentos a serem seguidos em caso de emergência, planejamento e treinamento do pessoal, manutenção dos equipamentos de resposta à emergência, exercícios de combate a emergências, desligamento ou isolamento de equipamentos para controlar vazamentos eventuais e medidas alternativas para garantir a segurança do pessoal enquanto qualquer equipamento de proteção contra fogo estiver desligado ou inoperante.

Os procedimentos de emergência devem permanecer disponíveis nas áreas operacionais e devem ser revisados e atualizados sempre que as condições forem alteradas.

A norma ainda estabelece que o pessoal responsável pela utilização dos equipamentos de proteção contra incêndio deve ser treinado para o uso dos mesmos e que, anualmente, deve ser realizado a atualização dos treinamentos.

Os equipamentos de proteção contra incêndio devem ser submetidos à manutenção periódica de acordo com a legislação e recomendação de fabricantes. A inspeção e manutenção de tais equipamentos devem ser realizadas por pessoal treinado e habilitado.

Além disso, é importante garantir que as áreas ao redor das instalações de tanques de armazenamento estejam livres de ervas daninhas, lixo e outros materiais combustíveis.

2.4.5. Prevenção de transbordamento

Segundo a NBR 17505, tanques de superfície com capacidade acima de 5.000 litros, armazenando líquidos de classe I ou II, devem possuir método de prevenção de transbordamento. A prevenção pode ser feita por meio de aferição do volume do tanque em campo, dispositivo para alarme de nível alto equipado com dispositivo eletrônico de autoavaliação para indicar falhas no sistema de medição e alarme ou, ainda, podem ser equipados com sistema de detecção de nível alto que interrompa ou desvie automaticamente o fluxo.

As instalações devem possuir procedimentos escritos com instruções para verificação do alinhamento e recebimento do bombeio inicial para o tanque selecionado, requisitos para o treinamento e monitoração do pessoal responsável pela operação e supervisão dos tanques, planos e procedimentos para inspeção e calibração dos equipamentos de medição de nível alto.

Os tanques devem ser providos de dispositivo para alertar ao operador de que seu completo enchimento está próximo e também para paralisar a transferência de líquido antes de atingir o nível máximo.

2.4.6. Localização de tanques de armazenamento de superfície

A NBR 17505 estabelece requisitos para a localização dos tanques de armazenamento em relação aos limites de propriedade, vias de circulação interna e edificações importantes.

Para a determinação do distanciamento mínimo, a norma segrega os tanques em grupos de acordo com as características do fluido armazenado, conforme descrito abaixo:

- Líquidos estáveis de classe I, classe II ou classe IIIA e operando com pressões manométricas que não excedam 17 kPa;
- Líquidos estáveis de classe I, classe II ou classe IIIA e operando com pressões manométricas superiores a 17 kPa;
- Líquidos com característica de ebulição turbilhonar;
- Líquidos instáveis;
- Líquidos estáveis de classe IIIB.

Para cada um dos grupos, é destinado uma tabela específica contendo informações que relacionam características físicas dos tanques, como por exemplo tipo do tanque, capacidade, proteção da vizinhança, etc., com as distâncias mínimas requeridas. Em caso de tanques horizontais, os mesmos devem ser posicionados de forma que o eixo longitudinal fique paralelo às propriedades adjacentes ou instalações próximas.

Além disso, caso haja mais de um tanque na mesma instalação, também devem ser respeitados os limites de distanciamento estabelecidos entre eles, de acordo com o tipo de fluido armazenado.

No caso de tanques contendo fluidos classe I ou II, localizados em bacias de contenção ou próximo ao curso do canal de drenagem para a bacia de contenção e agrupados em três ou mais fileiras, devem ser previstos maior espaçamento ou outros meios para fazer com que os tanques com esta disposição possam ficar acessíveis para situações de combate a incêndios.

Em caso de armazenamento de GLP, a norma prevê itens específicos que vão desde distanciamento até diques e canais de drenagem para evitar acúmulo de fluidos sob os vasos destinados ao armazenamento deste produto.

2.4.7. Alívio de emergência em caso de exposição a fogo

Para casos de exposição a fogo, a norma prevê que todo tanque de armazenamento de superfície possua dispositivos de emergência que permitam o alívio da pressão causada pela exposição ao fogo. O sistema de alívio pode ser de caráter construtivo, por meio da adoção de teto flutuante ou solda fragilizada, por exemplo.

Em caso de armazenamento de líquidos instáveis, o dimensionamento dos dispositivos deve levar em consideração os efeitos do calor e dos gases resultantes de processos químicos.

Escoamentos bifásicos ocorridos durante um alívio de emergência devem possuir dispositivos de alívio dimensionados para esse fim.

Caso opte-se exclusivamente por dispositivos de alívio de pressão, o mesmo deve ser dimensionado para capacidade total de ventilação normal e de emergência, visando evitar o rompimento do tanque. Para dimensionamento dos dispositivos, a norma apresenta uma série de diretrizes que compreendem desde a área molhada do tanque a ser considerada até os fatores de redução aceitos em função das características do sistema de proteção contra incêndios existente na instalação.

2.4.8. Controle de derramamentos

A NBR 17505 também estabelece que todos os tanques que armazenem líquidos de classe I, classe II ou classe IIIA devem ser dotados de meios que impeçam que a ocorrência accidental de derramamento de líquidos venha a colocar em risco instalações importantes ou propriedades adjacentes, ou alcancem cursos d'água.

Caso o meio de controle seja feito por bacias de contenção à distância, as mesmas devem ser dotadas de declividade no piso para um canal de fuga, de forma que o líquido contido não fique acumulado junto aos tanques. A bacia de contenção deve ser projetada para a capacidade do maior tanque que possa ser drenado para ela e as paredes do dique devem ser crescidas de 0,20 m para conter movimentações de líquidos, água pluviais e água de combate a incêndio.

Em condições normais de operação, as bacias de contenção devem estar sempre vazias, inclusive para evitar a contenção de produtos incompatíveis.

No caso de contenção por bacia de contenção em torno de tanques dotadas de diques, deve-se garantir uma declividade mínima de 1% no piso da bacia para evitar acúmulo de líquido.

Com relação ao dimensionamento, a capacidade volumétrica da bacia deve ser igual ou maior do que o volume do maior tanque cheio e a altura do dique deve ser o somatório da altura que atenda à capacidade volumétrica da bacia de contenção e, assim como nas bacias de contenção à distância, a altura das paredes deve ser acrescida de 0,20 m.

As bacias devem possuir facilidades de acesso tanto em situações normais quanto em emergências e seu sistema de drenagem deve ser dotado de válvulas de bloqueio permanentemente fechadas no lado externo.

Outro meio possível de controle de derramamento é a contenção secundária aplicada a um tanque. Neste caso, o tanque primário deve possuir capacidade inferior a 45.000 litros, quando armazenando líquidos de classe I, ou 76.000 litros, quando armazenando líquidos de classe II ou IIIA.

Para esta solução, todas as conexões com o tanque devem ser feitas acima do nível máximo de líquidos e devem ser previstos meios de detecção do nível de líquido, que devem estar acessíveis aos operadores.

2.4.9. Proteção contra incêndio para parques de armazenamento

Com relação aos meios de proteção, a NBR 17505 estabelece que o sistema fixo de água e espuma é requerido para tanques que possuem diâmetro superior a 9 metros ou altura superior a 6 metros, para as classes I e II, independente do volume da instalação, com exceção dos tanques com produtos armazenados à temperatura igual ou superior a 100 °C.

No caso dos tanques isentos do sistema fixo de água e espuma, devem ser previstos extintores de incêndio cuja quantidade e tipo são determinados de acordo com a capacidade de armazenamento dos tanques.

O projeto desses sistemas leva em consideração o maior risco quanto à demanda de água ou espuma e baseado na ocorrência de um único evento por vez. A água utilizada deve ser oriunda de uma fonte inesgotável e isenta de óleos ou outras substâncias incompatíveis com a produção de espuma.

O sistema de resfriamento é tabelado na norma e considera o tipo do tanque, classe do líquido armazenado, altura e capacidade do tanque. Com posse dessas informações a norma identifica o tipo de sistema a ser adotado dentre aspersores, mangueiras a partir de hidrantes ou canhão-monitor.

Diferente do sistema fixo de água e espuma, o dimensionamento do sistema de resfriamento considera também os tanques vizinhos desde que a distância entre eles seja inferior a 1,5 vezes o diâmetro do tanque em chamas ou 15 m, o que for menor.

Com relação às bombas de combate a incêndio, a norma determina que deve sempre existir ao menos uma bomba reserva capaz de manter as condições de projeto e, em caso de existir mais de uma bomba principal, a vazão deve ser distribuída de forma igualitária.

As bombas acionadas por eletricidade devem possuir uma fonte de alimentação alternativa e, caso as bombas sejam movidas a combustão, cada bomba deve possuir um sistema independente de alimentação.

2.4.10. Presença de Sistema de Alarme e Detecção de Vazamento

Segundo a NBR 17505, deve existir nas instalações um meio garantido de comunicação imediata de incêndio ou emergências ao PAM e/ou à Corporação de Bombeiros local. As áreas, incluindo edificações, onde exista um potencial de

vazamentos de líquidos inflamáveis, devem ser monitoradas de forma adequada. Os seguintes métodos podem ser utilizados:

- Observação pessoal;
- Equipamentos de monitoração de processo que indiquem a ocorrência de vazamentos;
- Instalação de detectores de gás para monitoramento contínuo das áreas desassistidas.

2.4.11. Classificação de áreas

A classificação das áreas é de fundamental importância para definir os equipamentos elétricos que podem estar presentes em cada localidade sem colocar em risco a instalação.

Para essa definição a NBR 17505 faz uso da tabela de definição de zonas e extensões de áreas classificadas, onde é correlacionado o local ou tipo do tanque à zona na qual ele está inserido e a extensão da área classificada.

A Tabela 4 apresenta de forma parcial a classificação estabelecida na norma.

Tabela 4 - Definição de zonas e extensões de áreas classificadas para tanques de superfície com teto fixo

Local	Zona	Extensão da área classificada
Tanques de superfície com teto fixo	0	Interior de tanque de teto fixo
	1	Área interna da bacia de contenção, circundada por diques, onde a altura do dique for maior que a distância do costado do tanque até o dique e quando esta situação abranger mais do que 50% do perímetro externo do tanque
	2	Até 3,0 m do costado, das extremidades ou teto do tanque; também a área no interior da bacia até a altura do topo do dique
	0	Área no interior do bocal ou da tubulação do respiro

1	Área compreendida em um raio de até 1,5 m a partir da extremidade aberta do respiro, estendendo-se em todas as direções
2	Área compreendida entre os raios de 1,5 m e 3,0 m a partir da extremidade aberta do respiro, estendendo-se em todas as direções

Fonte: NBR 17505

2.4.12. Controle de fontes de Ignição

De acordo com a NBR 17505, devem ser tomadas precauções para prevenir a ignição de vapores inflamáveis por fontes como chamas abertas; descargas atmosféricas; superfícies quentes; calor irradiante; cigarros e similares acesos; corte e solda; ignição espontânea; calor de fricção ou faíscas; eletricidade estática; faíscas elétricas; correntes parasitas; fornos, chaminés e equipamentos de aquecimento (fornalhas); telefones celulares e máquinas fotográficas.

2.4.13. Comentários gerais

A Norma NBR 17505 é muito extensa e abrange diversos itens além daqueles aqui apresentados. Este trabalho busca apresentar, de forma resumida, os itens mais relevantes para o desenvolvimento e análise dos casos que serão apresentados.

3. ESTUDOS DE CASO

Para o desenvolvimento deste trabalho, dois casos internacionais envolvendo acidentes reais foram selecionados como modelo e analisados.

A seguir será apresentada a descrição do evento buscando identificar os pontos que contribuíram para o seu desenrolar. Por fim, será feita uma correlação das exigências normativas apresentadas anteriormente que não foram seguidas ou que foram parcialmente atendidas e como seu atendimento teria contribuído para evitar ou mitigar o acidente.

3.1. IGNIÇÃO POR FILTRO DE CARVÃO ATIVADO

Uma matéria publicada no Process Safety Beacon (2013) revela que um terminal com capacidade de armazenar grandes quantidades de líquidos inflamáveis sofreu uma explosão seguida de incêndio. O incêndio atingiu outros tanques na proximidade fazendo com que o combate às chamas durasse 3 dias e as comunidades vizinhas fossem evacuadas.

3.1.1. Acidente

Um Parque de Tancagem com capacidade para armazenar grandes quantidades de líquidos inflamáveis havia entrado recentemente em operação, porém nem todos os itens previstos em contrato haviam sido instalados.

Cada tanque deveria ser equipado com um dispositivo corta-chamas e possuir sistema de combate de espuma, porém, devido ao marco imposto para início das operações, esses itens não puderam ser instalados a tempo.

Além disso, os tanques possuíam tambores de carvão ativado conectados no sistema de respiro, visando controlar as emissões e os odores de hidrocarboneto.

Quando o tanque foi enchido com líquidos, vapores inflamáveis começaram a dissipar e fluírem para os filtros de carvão ativado através do sistema de respiro. Quando os vapores passaram pelo leito do filtro, os materiais orgânicos presentes começaram a reagir com o carvão, gerando uma reação exotérmica. Essa reação fez com que a temperatura do leito aumentasse exponencialmente, atingindo um valor superior à temperatura de autoignição do gás.

O gás ignitado gerou uma frente de chama que retornou pelo sistema de respiro do tanque e, ao encontrar uma atmosfera explosiva confinada, gerou a explosão do tanque e, com a falha estrutural do mesmo, espalhamento de material inflamável.

O produto vazado fez com que o incêndio se espalhasse no parque atingindo outros tanques na proximidade que, aquecidos pela radiação térmica do incêndio, também entraram em combustão.

A equipe de resposta à emergência foi acionada e as comunidades vizinhas foram evacuadas, iniciando o combate às chamas e controle da emergência, conforme plano de resposta à emergência da unidade.

Foram necessários três dias para extinção das chamas além da necessidade de fazer a disposição correta da água contaminada utilizada para o combate as chamas e do produto vazado de outros tanques.

Figura 5 – Imagem do combate a incêndio na instalação



Fonte: Process Safety Beacon, 2003

3.1.2. Causas contribuintes para o acidente

Ao analisar as circunstâncias do acidente, o primeiro ponto que se destaca foi a inabilidade de identificar o leito de carvão ativado como uma possível fonte de ignição ou mesmo de avaliar corretamente as reações químicas presentes no processo.

Quando os componentes orgânicos do gás inflamável entram em contato com o carvão ativado é desencadeada uma reação exotérmica. Como essa reação não foi devidamente mapeada, não foram previstos meios de dissipação de calor, fazendo com que a temperatura no interior do equipamento continuasse aumentando até atingir o nível crítico, ou seja, até atingir a temperatura de autoignição do gás.

Com o desencadeamento da reação exotérmica no filtro, um trabalhador bem treinado e com conhecimento na instalação e no processo poderia ter identificado o rápido aumento da temperatura no leito do filtro e ter tomado medidas para interromper ou

extinguir a reação. Neste caso, caberia também à unidade um procedimento claro com os possíveis cenários e as medidas cabíveis a serem adotadas em cada um deles para evitar um acidente.

Após a ocorrência da ignição do gás, houve retorno de chama para tanque contendo uma mistura de líquidos inflamáveis e ar, levando à explosão do tanque e derramamento de fluido inflamável, o que agravou significativamente o acidente. Neste caso, a situação teria sido evitada se o tanque estivesse equipado com dispositivo corta-chamas a montante do filtro, impedindo a entrada da chama no interior do tanque.

O corta-chamas deveria ter sido posicionado na linha de respiro do tanque fazendo com que, caso haja uma deflagração exterior ao tanque, ao passar pela malha intrincada que compõe o interior do corta-chamas, ocorra dissipação da energia da chama, fazendo com que a mesma não seja capaz de atingir o interior do tanque.

Com o derramamento do líquido inflamável e propagação do incêndio, a falta de um sistema de espuma para combater o incêndio faz com que as chamas se desenvolvessem livremente, atingindo outros tanques do parque que estavam localizados na mesma bacia de contenção.

Após o espalhamento das chamas, dois fatores poderiam ter sido essenciais para mitigação do acidente. O primeiro fator seria a drenagem correta da bacia com caimento suficiente para evitar acumulação de líquido ao redor dos tanques. Esse sistema teria feito com que o líquido vazado fosse direcionado para um canal de fuga afastado dos demais produtos inflamáveis armazenados no parque e, com isso, evitado que produtos de outros tanques entrassem em combustão devido ao aumento de temperatura externo causado pelas chamas.

Além disso, caso os tanques estivessem equipados com sistema de resfriamento, seria possível evitar o superaquecimento dos mesmos, preservando sua integridade estrutural e fazendo com que a temperatura no interior dos demais tanques não atingissem a temperatura de autoignição dos produtos contidos. Essa medida teria evitado o escalonamento do acidente para os tanques vizinhos e tornado mais fácil o trabalho de brigada de combate às chamas.

3.1.3. O que falam as normas?

Tanto a NR-20 quanto a NBR 17505 abordam a identificação e controle das fontes de ignição porém, embora a NR-20 foque em fontes de eletricidade, trabalhos à quente e

presença de veículos, a NBR 17505 trata especificamente de superfícies quentes e calor irradiante como fonte de ignição a ser observada. No acidente estudado, caso o filtro de carvão ativado tivesse sido identificado como uma possível fonte de ignição, o mesmo poderia estar equipado com dispositivos que evitariam o aumento de temperatura acima do nível crítico ou, até mesmo, ter sido substituído por outro equipamento que não provocasse uma reação exotérmica, eliminando assim a fonte de ignição.

Com relação ao treinamento dos funcionários, a NR-20 é categórica ao afirmar que trabalhadores envolvidos em atividades com produtos inflamáveis devem estar devidamente capacitados de acordo com a atividade desempenhada, classe da instalação e tipo de contato com o processo ou processamento. No caso em questão, um operador com treinamento eficiente poderia ter identificado com antecedência o aumento anormal de temperatura no filtro e ter tomado ações para interromper a reação exotérmica, evitando a ignição do gás.

Além disso, para que o operador soubesse as medidas adequadas a serem tomadas, a NR-20 estabelece que as instalações devem possuir estudos de análise de risco, para identificar os possíveis perigos e poderem determinar medidas de proteções adicionais sendo que essas medidas devem estar dispostas na documentação da instalação, juntamente com o plano de prevenção e controle de perda de contenção e plano de resposta à emergência. Adicionalmente, a NBR 17505 estabelece que a instalação deve possuir um plano de prevenção e de ação de emergência adequado para identificar, avaliar e controlar os riscos. Essas informações, em posse e conhecimento dos operadores, poderiam tê-los feito reconhecer o perigo e agir de forma adequada para interromper a sequência acidental.

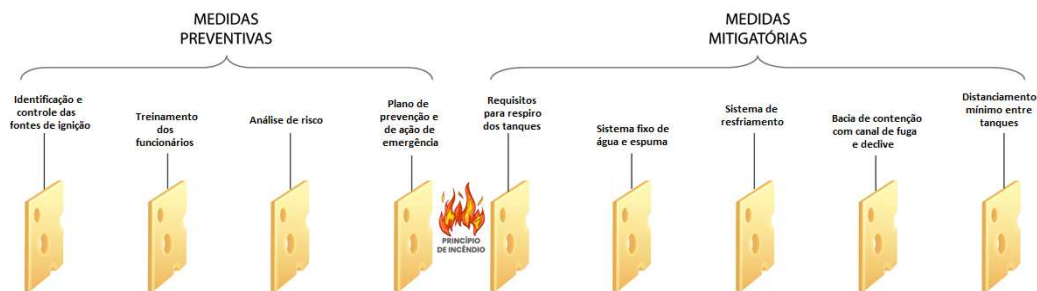
A partir do momento que houve a ignição do produto, as normas preveem uma série de medidas a serem adotadas para mitigar o acidente. Para o projeto dos tanques, a NBR 17505 determina que os respiros dos tanques devem ser dispostos de forma a prevenir o superaquecimento ou contato de chama no caso da ignição dos vapores expelidos. Podendo essa ser feita por meio de dispositivos de ventilação fechados ou instalação de dispositivos corta-chamas. No acidente estudado, os tanques foram postos em operação sem que o corta-chamas estivesse instalado, o que teria evitado o ingresso da chama e explosão no tanque.

Outro ponto relevante estabelecido pela NBR 17505 é a presença de sistema fixo de água e espuma nos tanques. Embora este sistema não fosse efetivo no caso de explosão do tanque, caso houvesse um sistema de aplicação de espuma na bacia, o mesmo teria

auxiliado na extinção das chamas, evitando o escalonamento do acidente. Além disso, a norma também prevê sistema de resfriamento de acordo com as características do tanque e do produto armazenado, que teria ajudado no resfriamento dos tanques vizinhos evitando a perda de integridade e reduzindo o risco de combustão dos produtos armazenados. Neste caso também há a necessidade de corta-chamas nos respiros dos tanques vizinhos, para reduzir o risco de ingresso de chama.

Com relação ao controle de derramamento feito por meio de bacia de contenção, ambas as normas esclarecem que deve ser previsto um sistema de contenção de vazamento. A NBR 17505 preconiza que todas as bacias sejam dotadas de um canal de fuga de forma a evitar acúmulo de líquido junto aos tanques. Como na instalação estudada não havia declive suficiente nas bacias, o líquido em chamas permaneceu ao redor dos demais tanques, fazendo com que a temperatura dos mesmos subisse até a perda de integridade estrutural e/ou ignição dos produtos armazenados. Além disso, a norma também estabelece distanciamento mínimo entre tanques, no caso de haver mais de um tanque na mesma localidade. Embora não haja menção sobre o posicionamento dos tanques, o distanciamento adequado reduziria a probabilidade do incêndio em um tanque afetar os tanques vizinhos e também facilitaria o trabalho da equipe de combate às chamas.

Figura 6 – Diagrama do queijo suíço com as barreiras de segurança identificadas nas normas NR-20 e NBR 17505 para o caso de estudo 1.



3.2. EXPLOSÃO NA CARIBBEAN PETROLEUM CORPORATION (CAPECO)

Em 21 de outubro de 2009, uma instalação da Caribbean Petroleum Corporation, também conhecida como CAPECO, dotada de grandes tanques para recebimento e armazenamento de produtos líquidos inflamáveis sofreu uma grande detonação. A explosão destruiu 17 tanques da instalação e demorou 2 dias para que as chamas fossem contidas.

Figura 7 – Incêndio no parque de tancagem da CAPECO



Fonte: CSB, 2009

3.2.1. Acidente

O parque de tancagem da CAPECO, localizado a cerca de 4 km do porto, possuía uma operação rotineira de transferência de gasolina à distância, a partir das embarcações atracadas no porto.

No dia do acidente, foi iniciada uma operação de transferência de mais de 10.000.000 galões (~ 38 mil m³) de gasolina, porém, como o único tanque com capacidade para receber todo esse volume estava em uso, foi decidido dividir o volume total em 4 tanques menores em uma operação que demoraria mais de 24 horas para ser concluída.

Durante a transferência, um operador permanece no navio enquanto outro acompanha no campo. Ambos os operadores possuem rádios para comunicação. Após o enchimento dos primeiros tanques, os operadores direcionaram manualmente o fluxo para outros dois tanques.

Os tanques da unidade eram equipados com um dispositivo mecânico simples para detecção do nível e um transmissor eletrônico que enviava a leitura para a sala de controle. Contudo, um dos tanques alinhado estava com defeito no transmissor, de forma que a leitura do nível deveria ser feita no local pelo operador uma vez a cada hora.

Às 22h, quando um dos tanques atingiu sua capacidade máxima, os operadores abriram ao máximo as válvulas de alinhamento para o outro tanque, seguida de uma leitura de nível local feita pelo operador. Com base na leitura, o supervisor da unidade estimou o horário em que o enchimento estaria finalizado.

Porém, antes do horário previsto, o tanque transbordou de forma que a gasolina começou a vazar pelos respiros do tanque formando uma nuvem de gás inflamável e poça de líquido inflamável no dique de contenção.

Na noite do acidente a temperatura ambiente estava elevada e não havia vento no local, fazendo com que a gasolina evaporasse facilmente sem que houvesse dispersão dos gases.

Quando o operador da noite foi realizar a leitura do nível ele notou um forte odor de gasolina e alertou ao operador do porto para interromper a transferência, porém mais de 75 m³ de gasolina já haviam transbordado do vaso. Neste momento já era possível observar uma nuvem de aproximadamente 1 metro se elevando acima do chão.

A gasolina transbordada fluiu por válvulas do dique de contenção que haviam sido deixadas abertas, atingindo o sistema de tratamento de água. A unidade de tratamento de água não foi especificada para tratar produtos inflamáveis e, por isso, não era uma área classificada.

Os vapores de gasolina que se formaram na unidade de tratamento de água alcançaram equipamentos elétricos, e estes atuaram como fonte de ignição da nuvem de gás. A frente de chama gerada foi em direção aos tanques de armazenamento, provocando forte explosão. Em pouco tempo, 17 tanques da instalação foram envolvidos me chamas.

A onda de choque gerada na explosão danificou aproximadamente 300 casas localizadas na vizinhança da instalação, demandando mais de 2 dias para o controle das chamas e 17 tanques foram completamente destruídos. Além disso, houve dano significativo ao meio ambiente devido ao vazamento de petróleo para os corpos hídricos e infiltração no solo nas adjacências da instalação.

3.2.2. Causas contribuintes para o acidente

Após o acidente, uma investigação minuciosa revelou que o sistema para controle de nível era inadequado e não era confiável para monitorar e controlar o nível de gasolina dentro dos tanques, de forma que a leitura era feita de forma manual e pontual no campo e o controle do nível era feito por estimativas com base na experiência dos operadores, o que introduzia uma margem de erro significativa nos valores.

Também foi descoberto que os equipamentos não possuíam rotina de manutenção adequada e, muitas vezes, estavam fora de operação em diversos tanques simultaneamente. Adicionalmente, a equipe de investigação reportou que os cabos de transmissão que enviavam as leituras para a sala de controle estavam desconectados, o que impossibilitava os controladores de receberem sinais dos transmissores e pudessem acompanhar a operação em tempo real.

Outro ponto observado foi que o sistema de nível não contava com redundância, ou seja, não haviam outras camadas de proteção que poderiam ter sido acionadas ou utilizadas quando houve a falha do detector de nível. A falta de redundância fez com que a operação ocorresse praticamente às cegas, com exceção dos horários em que o operador realizava a leitura no local.

A unidade não contava com salvaguardas implementadas que pudessem prevenir a explosão. Após o extravasamento do produto inflamável houve uma formação de nuvem inflamável e que só foi detectada quando o operador foi realizar a leitura. Caso houvesse detectores de gás instalados, os operadores teriam descoberto o vazamento com antecedência, e teriam tempo de tomar as ações necessárias para reduzir significativamente o volume vazado.

Os tanques também não possuíam sistema de combate a incêndio, como sistema fixo de água e espuma nos tanques, o que teria auxiliado na extinção das chamas e evitado o escalonamento do acidente.

Outro ponto que contribuiu para o acidente foi o fato de que as válvulas do dique de contenção estarem abertas, de forma que permitiram a passagem de líquido inflamável para uma área não classificada onde foram expostos à equipamentos elétricos. Como não era esperado produtos inflamáveis na unidade de tratamento de água, os motores das bombas existentes não eram projetados para área classificada, o que fez com que a motores e as partes elétricas expostas servissem como fonte de ignição da nuvem.

Por fim, a empresa responsável pelo parque de tancagem não havia feito estudos de risco das operações nem avaliado os impactos nas comunidades vizinhas. Desta forma, não havia plano de alerta e evacuação das comunidades nem estudo do distanciamento

mínimo que os tanques deveriam ter dos limites da instalação. Embora não tenha havido vítima fatal, a proximidade com as comunidades resultou em danos significativos em mais de 300 imóveis.

3.2.3. O que falam as normas?

A NBR 17505 possui um item para tratar especificamente da prevenção de transbordamento, que pode ser feito por aferição do volume do tanque em campo, dispositivo para alarme de nível alto ou por sistema de detecção de nível alto que interrompa ou desvie automaticamente o fluxo. Embora no caso estudado tivesse sido realizada a aferição no campo, a mesma era realizada em intervalos espaçados, fazendo com que em grande parte do tempo, o volume fosse estimado. Neste caso a existência de um sistema mais robusto com transmissão de informação para a sala de controle, teria permitido um melhor monitoramento do processo.

A norma preconiza ainda que os tanques possuam dispositivos para alertar os operadores de que o completo enchimento está próximo e também para paralisar a transferência de líquido antes de atingir o nível máximo. Caso a instalação estivesse equipada com esses dispositivos, os operadores teriam conseguido identificar o momento em que o enchimento foi finalizado e ter interrompido a transferência, mesmo com a falha do sistema primários de detecção, evitando o transbordamento do líquido.

Com relação aos instrumentos de nível, a NBR 17505 determina ainda que a instalação possua planos e procedimentos para inspeção e calibração dos equipamentos de nível alto. A NR-20 também ressalta a obrigatoriedade da existência do plano de inspeção e manutenção, contendo informações como procedimentos, pessoa responsável, identificação de equipamento crítico, entre outros. A inspeção e manutenção devem ser realizadas por profissional habilitado e a periodicidade deve estar de acordo com as normas vigentes e recomendação do fabricante.

Caso a instalação respeitasse os requisitos para inspeção e manutenção dos instrumentos de nível dos tanques, os mesmos estariam operacionais e teriam permitido que os operadores realizassem o acompanhamento remoto em tempo integral da operação de transferência de líquido. Essa facilidade teria permitido a detecção do enchimento completo do tanque e os operadores teriam tido tempo de interromper a operação sem que houvesse extravasamento do produto.

A NBR 17505 também estabelece que áreas com potencial de vazamento de líquidos inflamáveis sejam monitoradas de forma adequada, podendo este ser feito através de detectores de gás para monitoramento contínuo das áreas desassistidas. A presença dos detectores teria alertado sobre o vazamento do produto e os operadores poderiam ter enviado o comando para interromper a transferência reduzindo significativamente o volume derramado. Essa medida teria mitigado de forma significativa ou até mesmo evitado o acidente.

O produto inflamável vazado foi contido pelo dique, conforme previsto em ambas as normas, porém, de acordo com a NBR 17505, o sistema de drenagem das bacias e diques deve ser dotado de válvulas de bloqueio permanentemente fechadas. Durante a investigação do acidente constatou-se que as válvulas de drenagem do dique estavam abertas, o que permitiu o produto escoar para uma unidade vizinha, que não estava projetada para receber produtos inflamáveis. Caso as válvulas estivessem fechadas, o produto teria permanecido dentro do dique, uma área classificada para este fim e sem contato com equipamentos elétricos que pudessem gerar ignição da nuvem.

Além disso, ambas as normas indicam que a instalação deve realizar um controle das principais fontes de ignição, o que inclui equipamentos elétricos, visando reduzir o risco de incêndio e explosão. A realização de um estudo mais aprofundado das fontes de ignição poderia ter identificado a bomba do sistema de tratamento de água como uma fonte de risco e tomado as medidas cabíveis para isolá-la ou até mesmo substituído por um equipamento próprio para operar em área classificada, o que teria impedido a bomba de ignitar a nuvem inflamável.

A posição dos tanques o seu distanciamento com as comunidades e áreas públicas extramuros da instalação também é objeto de controle da NR-20 e da NBR 17505. As normas determinam que devam ser observadas as distâncias seguras para as comunidades vizinhas e que a instalação possua mecanismos de segurança capazes de mitigar possíveis acidentes envolvendo os produtos inflamáveis e reduzir a exposição ao fogo nas propriedades adjacentes.

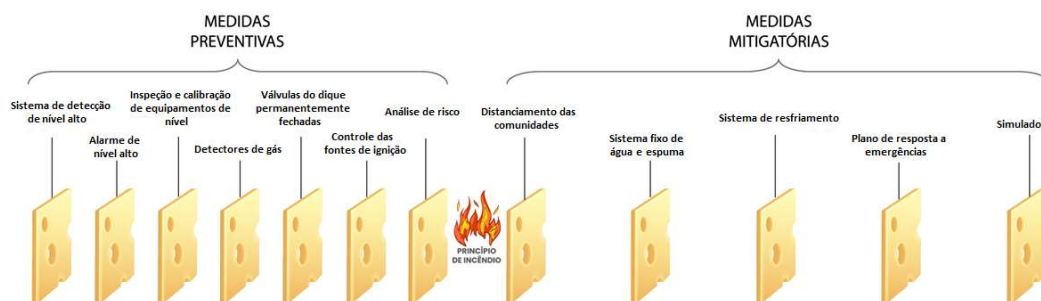
Ademais, a NBR 17505 complementa informando que os limites da propriedade e as instalações adjacentes devem fazer parte do estudo de risco da unidade. Caso esse quesito tivesse sido observado e houvesse maior distanciamento entre os imóveis fora dos limites do parque de tancagem, os danos causados pela explosão teriam sido consideravelmente menores.

Com relação aos meios de proteção, a NBR 17505 determina que seja previsto sistema fixo de água e espuma para tanques de grande porte ou que operam com fluidos inflamáveis além de um sistema de resfriamento. A presença desses sistemas teria auxiliado no combate às chamas e elas teriam sido controladas em menor tempo.

Ambas as normas afirmam que a instalação deve possuir uma análise de risco que avalie a instalação e as operações realizadas, buscando identificar todos os perigos que poderiam acarretar incêndios e/ou explosões e, com isso, determinar medidas de proteções adicionais. A realização da análise de risco teria permitido a identificação dos riscos relacionados à operação de transferência de fluido e ter elaborado procedimentos mais robustos, identificado a necessidade de redundância dos instrumentos de monitoramento de nível ou, até mesmo, avaliado a necessidade de classificar as unidades adjacentes.

Por fim, tanto a NR-20 quanto a NBR 17505 estabelecem que haja um plano de resposta a emergências com ações a serem adotadas em caso de sinistro. O plano deve conter possíveis cenários, ações de resposta à emergência, incluindo ações envolvendo a comunidade vizinha, e exercícios simulados. Embora não houve nenhuma fatalidade, a existência desse plano teria feito com que as comunidades fossem alertadas sobre o incidente e os habitantes poderiam ter sido evacuados para evitar qualquer exposição às chamas.

Figura 8 - Diagrama do queijo suíço com as barreiras de segurança identificadas nas normas NR-20 e NBR 17505 para o caso de estudo 2.



4. CONCLUSÃO

Quando analisamos o entendimento geral da sociedade e bem como as definições dadas por normas e órgãos legais, notamos que ainda não há consenso geral sobre como tratar o fenômeno fogo (SEITO *et al.*, 2008), o que resulta em dúvidas e lacunas quanto as medidas para controle e extinção.

Para corroborar essa afirmação, o número de acidentes envolvendo tanques de estocagem no setor de óleo e gás ainda é o maior da indústria (HAMEL, 2020). E, embora a preocupação com a segurança esteja maior a cada ano, ainda existem muitos acidentes que ocorrem ou por falta de conhecimento ou, até mesmo, por falta de regularização das operações envolvendo produtos líquidos inflamáveis.

No Brasil temos duas normas relacionadas à manipulação e armazenamento de líquidos inflamáveis: a Norma Regulamentadora nº 20 - Líquidos combustíveis e inflamáveis (NR-20) e a Norma Brasileira ABNT 17505 - Armazenamento de líquidos inflamáveis e combustíveis (NBR 17505).

Ambas as normas possuem um conteúdo vasto voltado a prevenção e mitigação de incêndios e/ou explosões ocasionadas pelo armazenamento de produtos inflamáveis e são aplicáveis a todo território nacional.

Para avaliar os casos estudados sob a óptica da aplicação das normas e os requisitos impostos pelas mesmas, dois estudos de caso envolvendo acidentes reais que aconteceram no passado foram avaliados neste trabalho. O objetivo da análise foi identificar as causas contribuintes dos acidentes, suas relações com as normas NR-20 e NBR 17505 e se o atendimento às normas teria evitado o acidente ou, até mesmo, mitigá-lo.

O primeiro caso analisado foi a ignição e explosão de um tanque que continha líquidos inflamáveis causada pela passagem de hidrocarbonetos por um filtro de carvão ativado. O material do recheio do filtro reagiu com o hidrocarboneto provocando uma reação exotérmica que atingiu a temperatura de autoignição do gás.

Quando comparado com as normas brasileiras foi possível observar a existência de quatro medidas preventivas (identificação e controle das fontes de ignição; treinamento dos funcionários; análise de risco; e plano de prevenção e de ação de emergência), ou seja, quatro medidas que poderiam ter impedido o acidente, e cinco medidas mitigadoras (requisitos para respiro dos tanques; sistema fixo de água e espuma; sistema de resfriamento; bacia de contenção com canal de fuga e declive; e distanciamento mínimo entre tanques), ou seja, cinco medidas previstas que teriam minimizado os efeitos decorrentes do acidente.

O segundo caso analisado foi a explosão seguida de incêndio em um parque de tancagem decorrente do extravasamento de um dos tanques durante a operação de transferência de líquido inflamável. O produto vazado fluiu para fora dos limites de contenção atingindo uma área não classificada onde um equipamento elétrico serviu como fonte de ignição para a nuvem inflamável.

Para este caso, quando avaliado em conjunto com as normas NR-20 e NBR 17505, foram identificadas sete medidas preventivas (sistema de detecção de nível alto; alarme de nível alto; inspeção e calibração de equipamentos de nível; detectores de gás; válvulas de dique permanentemente fechadas; controle das fontes de ignição; e análise de risco) que poderiam ter impedido o acidente, e quatro medidas mitigadoras (distanciamento das comunidades; sistema fixo de água e espuma; sistema de resfriamento; plano de resposta a emergência; e simulados) que teriam minimizado os efeitos decorrentes do acidente.

Em suma, podemos concluir que se as instalações dos casos estudados estivessem aderentes às normas NR-20 e NBR 17505 é possível afirmar que o acidente provavelmente teria sido evitado e, no pior caso, suas consequências seriam drasticamente reduzidas.

Desta forma, podemos concluir que embora o campo de estudo dos produtos inflamáveis líquidos ainda requeira muito estudo e aprimoramento, as normas brasileiras vigentes NR-20 e NBR 17505 que abordam o tema possuem instruções para prevenir a ocorrência ou mitigar as consequências dos cenários analisados.

Além disto, sua concepção básica, de demandar análises de risco para definição dos cenários acidentais e da forma de proteção as tornam suficientemente flexíveis para cobrir outros cenários acidentais além dos avaliados neste trabalho. Ao definir medidas de proteção básicas, complementadas por outras especificamente concebidas para os cenários particulares de cada instalação, estas normas garantem flexibilidade suficiente para cobrir e tratar dos riscos de incêndios e/ou explosões em instalações que possuem tanques de armazenamento de líquidos inflamáveis.

Sua maior vulnerabilidade reside na necessidade de profissionais qualificados e habilitados para garantir a qualidade da análise de risco. Portanto, é de suma importância que a indústria perceba a importância destas análises e garanta os recursos necessários para que estas tenham um papel preponderante na definição dos cenários de riscos e recursos de prevenção e mitigação adequados à cada instalação.

5. REFERÊNCIAS

ASFAHL, C.R. **Gestão de segurança do trabalho e de saúde ocupacional**. São Paulo: Reichmann & Autores Editores, 2005.

BENEDETTI, R.P. *Flammable and combustible liquids code handbook*. 6ª ed. Quincy: National Fire Protection Association, 1997.

BEYLER, C. *Flammability Limits of Premixed and Diffusion Flames*. 1ª ed. Springer New York. 2016.

CBS. *Final Investigation Report - Caribbean Petroleum tank terminal explosion and multiple tank fires*. U.S. Chemical Safety and Hazard Investigation Board. 2009.

CCPS - CENTRE FOR CHEMICAL PROCESS SAFETY OF THE AMERICAN INSTITUTE OF CHEMICAL ENGINEERS. *Guidelines for Evaluating the Characteristics of Vapor Cloud Explosions*. Flash Fires, and BLEVEs. 1998.

CHANG, J. I.; LIN, C.C. *A study of storage tank accidents*. Journal of Loss Prevention in the Process Industries 19. Pag 51-59. 2006.

CROWL, D. A. *Minimize the risks of flammable materials*. American Institute of Chemical Engineers - AIChE. 2012. Disponível em <http://fscarbonmanagement.org/sites/default/files/cep/20120428.pdf>. Acesso em 06 set. 2021.

ENGSAFETY. **Prevenção Contra Incêndio - Conceitos Básicos**. 2017. Disponível em <http://engenhariasafety.blogspot.com/2017/05/prevencao-contra-incendio-conceitos.html>. Acesso em 20 dez. 2021.

HAMEL, K. D. *Avoid Fatalities and Injuries in the Oil and Gas Industry*. Occupational Health & Safety (OHS). 2020.

KLETZ, T.A. *HAZOP and HAZAN: identifying and assessing process industry hazards*. 1999.

LUCK, M. *Deer Park fire a 'blemish' for the petrochemical industry's image*. Houston Chronicle. 2019.

MARCONDES, J. S. **Teoria Básica do Fogo – Conceito e Triângulo do Fogo**. 2017. Disponível em: <https://gestaodesegurancaprivada.com.br/teoria-basica-do-fogo/>. Acesso em 20/12/2021.

NASSIMI, A. M.; JAFARI, M.; FARROKHPOUR, H.; KESHAVARZ, M. *Constant of explosive limits*. Chemical Engineering Science, v. 173, p. 384 – 389, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.ces.2017.08.011>. Acesso em: 21 Nov. 2021.

NBR 17505 - NORMA BRASILEIRA ABNT NBR 17505 – Armazenamento de líquidos inflamáveis e combustíveis. 2ª edição. 2013.

PROCESS SAFETY BEACON. **O quê? Sem centelha?**. CCPS. 2003.

REIS, J.S. **Manual básico de proteção contra incêndios**. São Paulo: Fundacentro, 1987.

RIEZEL, Y. *Explosion and fire in a gas-oil fixed roof storage tank: Case study and lessons learned*. Process Safety Progress, vol.21, No 1. 2002.

SEITO, A.I.; GILL, A.A.; PANNONI, F.D.; ONO, R.; SILVA, S.B.; CARLO, U.D.;

SILVA, V.P. **A Segurança contra incêndio no Brasil**. São Paulo: Projeto Editora, 2008.

TAUSEEF, S. M.; ABBASI, T.; POMPAPATHI, V.; ABBASI, S. A. *Case studies of 28 major accidents of fires/explosions in storage tank farms in the backdrop of available codes/standards/models for safely configuring such tank farms*. Process Safety and Environment Protection. 2018.

WEHMEIER, G., MITROPETROS, K. *Fire Protection in the Chemical Industry. Environmental Science*. Chemical engineering transaction. no. 48, 259-264. 2016.

ZABETAKIS, M.G.; Flammability Characteristics of Combustible Gases and Vapors. Technical Report Bulletin 627, US Bureau of mines. 1965