

SISTEMA AUTOMÁTICO DE NEUTRALIZAÇÃO DE AMÔNIA EM CENÁRIO DE GRANDE VAZAMENTO EM TANQUES DE ARMAZENAMENTO*

Hormando Leocadio¹
Tiago Neves de Almeida²

Resumo

A amônia anidra é um produto de alta toxicidade (tolerabilidade ≤ 20 ppm) e inflamabilidade, sendo transportada geralmente em navios, trens, caminhões-tanque e tubovias. É matéria prima para produção de fertilizantes agrícolas e um eficaz refrigerante usado na indústria. Fornecida em forma liquefeita, vaporiza-se imediatamente à pressão atmosférica formando uma nuvem flutuante. Na Usiminas, planta de Ipatinga, a amônia anidra é gerada como subproduto do processo de fabricação do coque metalúrgico. Essa amônia é estocada na forma liquefeita pressurizada (15 bar) em sete tanques de 123 m³ cada. Um sistema automático de neutralização de amônia, com resposta de 5 s, foi desenvolvido e instalado na área dos tanques e de carregamento de caminhões a fim de neutralizar em 100% o pior cenário de vazamento (7.668 kg/h - 12 m³/h) estimado, garantindo, assim, maior segurança e menor risco para planta industrial. Testes de neutralização de vazamento de amônia foram realizados para demonstrar a eficiência do bico spray.

Palavras-chave: Amônia anidra; Derramamento acidental; Sistema automático; Neutralização de amônia; Sistema de mitigação.

AUTOMATIC SYSTEM FOR AMMONIA NEUTRALIZATION IN SCENARIO OF LARGE RELEASE IN STORAGE TANKS

Abstract

Anhydrous ammonia has high toxicity (tolerability ≤ 20 ppm) and flammability, and is generally transported on ships, trains, tank trucks, and pipelines. It is raw material to produce fertilizers and an effective coolant used in industry. Supplied in liquefied form, vaporizes immediately at atmospheric pressure forming a floating cloud. At Usiminas Steel plant, in Ipatinga city, anhydrous ammonia is generated as a subproduct of the metallurgical coke manufacturing process and is stored in pressurized liquefied form (15 bar) in seven tanks of 123 m³ each. An automatic ammonia neutralization system, with a 5 s response time, was developed and built in the storage tank and truck loading area to neutralize 100% of the worst scenario of leakage (7,668 kg/h – 12 m³/h). Thus, ensuring safety and low risk for the industrial plant. Ammonia leak neutralization tests were carried out to demonstrate the spray nozzle efficiency.

Keywords: Anhydrous ammonia; Accidental ammonia release; Automatic system; Neutralization of ammonia; Mitigation system.

¹ Engenheiro Mecânico, Ph.D., Pesquisador Especialista Pleno, Centro de Pesquisa e Desenvolvimento, Usiminas, Ipatinga, MG, Brasil.

² Engenheiro Químico, Especialista de Produção Pleno, Gerência Técnica de Redução, Usiminas, Ipatinga, MG, Brasil.

1 INTRODUÇÃO

A amônia anidra é altamente tóxica e inflamável, com tolerabilidade humana ≤ 20 ppm e índice IDLH (imediatamente perigoso à vida) de 300 ppm, sendo transportada em navios, trens, caminhões-tanque e tubovias. É matéria prima para produção de fertilizantes agrícolas e um eficaz refrigerante usado na indústria. Normalmente fornecida pressurizada e na forma liquefeita, vaporiza-se imediatamente à pressão atmosférica formando uma nuvem flutuante. A Figura 1 mostra o vazamento de amônia líquida após a ruptura de uma tubulação de transporte no Kansas, Estados Unidos em 2004, onde a nuvem alcançou a distância de 2,5 km.



Figura 1. Nuvem de amônia formada após ruptura da tubulação com alcance de 2,5 km [1].

Na Usiminas, planta de Ipatinga - MG, a amônia anidra é gerada como subproduto do processo de fabricação do coque metalúrgico. Essa amônia é estocada em sete tanques de capacidade de 123 m³ cada um, na forma liquefeita pressurizada a 15 bar e mantida abaixo de 50°C. A vista parcial dos tanques de estocagem e área de carregamento de caminhão-tanque é mostrada na Figura 2.



Figura 2. Vista parcial dos tanques de estocagem de amônia anidra e área de carregamento de caminhão na Usiminas.

Este estudo apresenta o desenvolvimento e implantação de um sistema automático de neutralização de amônia, com tempo de resposta de 5 s, na área dos tanques e de carregamento de caminhões, capaz de neutralizar 100% do pior cenário de vazamento (7.668 kg/h - 12 m³/h) de amônia estimado, garantindo, assim, maior segurança e menor risco para planta industrial.

2 DESENVOLVIMENTO

2.1 Características da Amônia Anidra

Amônia anidra (NH₃) é um líquido criogênico com ponto de ebulição de - 33°C 1 atm. Flutua na água e rapidamente reage resultando em hidróxido de amônia (NH₄OH), e ao mesmo tempo está ebulindo e migrando para a atmosfera como gás. A porção de amônia líquida que se dissolve na água, em casos de derramamentos sobre a superfície da água, é 85%. Se o derramamento for subaquático a porção é maior que 90% [2]. As propriedades da amônia anidra são apresentadas na Tabela 1.

Tabela 1. Características da amônia anidra.

Exposição Humana	Tolerabilidade humana de 20 ppm para exposição de 48 h/semana [3].
	Irritação dos olhos a 70 ppm [4]
	Imediatamente perigoso à vida ou saúde (IDLH) a 300 ppm [4].
Massa Específica	0,77 kg/m ³ (gás) e 639 kg/m ³ (líquido) a 0°C e 1 bar [4]
Grau de Pureza	99,99% [4]
Solubilidade em Água	Vol/Vol: 0,85 [2]
Pressão de Vapor	- 33°C a 1 bar e +35°C a 13 bar [4]

2.2 Dados dos Tanques de Estocagem

A área de Carboquímicos possui sete tanques de aço carbono para estocagem com pressão de projeto de 16 bar e operacional de 15 bar. Cada tanque possui volume útil de 123 m³, comprimento de 10 m e 3,6 m de diâmetro. Na Figura 3 é apresentada a planta de locação dos tanques e a bacia de contenção.

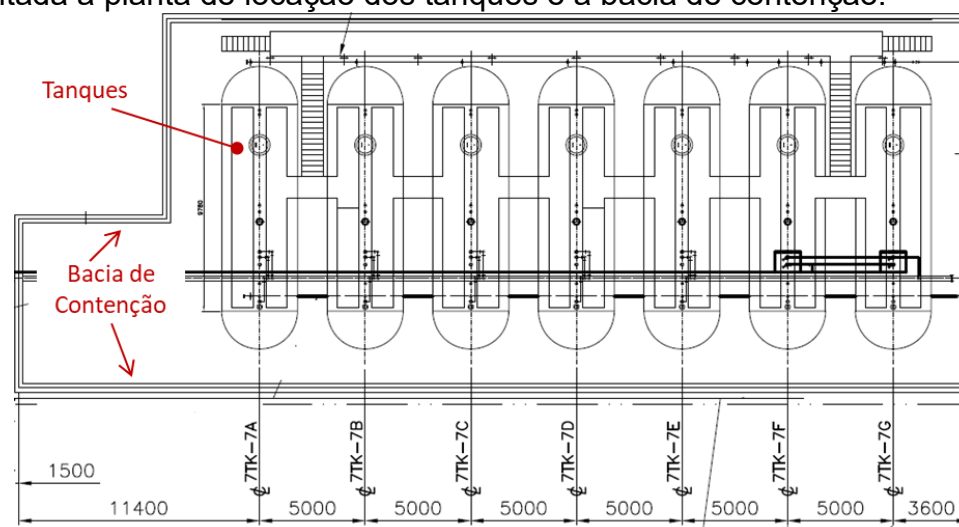


Figura 3 - Planta de locação dos tanques e bacia de contenção.

2.3 Aparato Experimental

Como a amônia anidra possui grande afinidade com a água, o sistema de neutralização utiliza bicos spray. A Figura 4 mostra o esboço do aparato experimental utilizado para avaliar a eficiência dos bicos spray quanto a sua capacidade de neutralização de amônia. O bico spray foi posicionado a 3,5 m acima do ponto de simulação de vazamento de amônia. A 3,5 m de altura, o bico spray produziu um jato de água em cone cheio com círculo de base de 3,8 m de diâmetro.

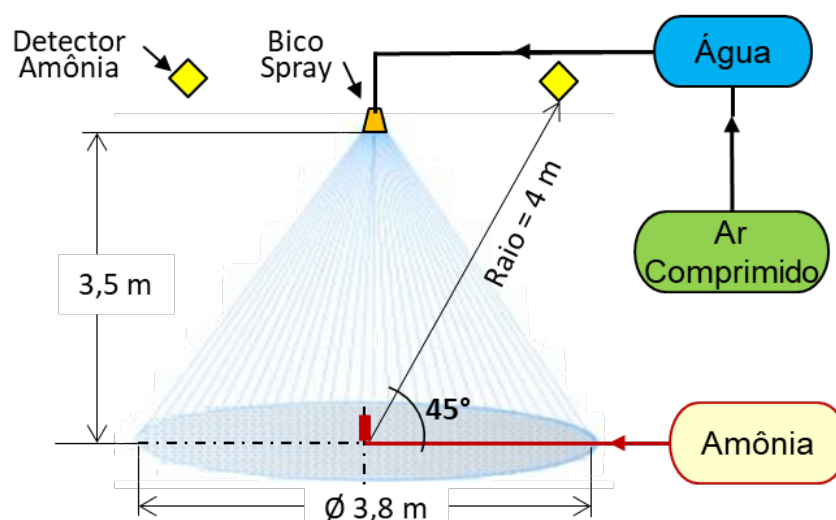


Figura 4 - Aparato experimental para avaliar a eficiência de neutralização de bicos spray.

Como os testes foram realizados em local aberto e o vapor de amônia poderia se movimentar em função da ação do vento, foram utilizados dois detectores de amônia a fim de comparar as concentrações medidas. Eles foram posicionados equidistantes, radialmente a 4 m do ponto de vazamento de amônia, formando um ângulo de 45° em relação ao eixo vertical central de impacto. A água de alimentação do bico spray foi pressurizada através do vaso de ar comprimido. A amônia anidra utilizada foi retirada do tanque 7TK7A, da área de Expedição.

Foram testados dois tipos de bicos spray, disponíveis no mercado, denominados B1 e B2. O modelo B1 com capacidade de vazão de 17 l/min a 6 bar. O modelo B2 com capacidade de vazão de 32 l/min a 4 bar. O tamanho das gotículas produzidas pelo bico B2 era o dobro do tamanho das gotículas do bico B1. O projeto original destes dois bicos foi alterado para melhor atender às condições do sistema de neutralização. Durante a aspersão de água, um menor diâmetro de gotícula aumenta a área de contato entre a amônia e a água, aumentando a eficiência de neutralização da amônia. A vazão de amônia foi de 128 kg/h (166 Nm³/h).

3 RESULTADOS

3.1 Testes com Bicos Spray

Foram testados os bicos spray denominados B1 e B2. Com o modelo B1 foi alcançado a pressão de 6 bar e vazão de 17 l/min. Sua capacidade mitigadora foi abaixo de 50%. As gotículas de B1 eram muito pequenas e foram facilmente levadas pelo vento, resultando em baixa eficiência. O bico B1 foi descartado. A Figura 5 mostra o bico B2 em funcionamento.

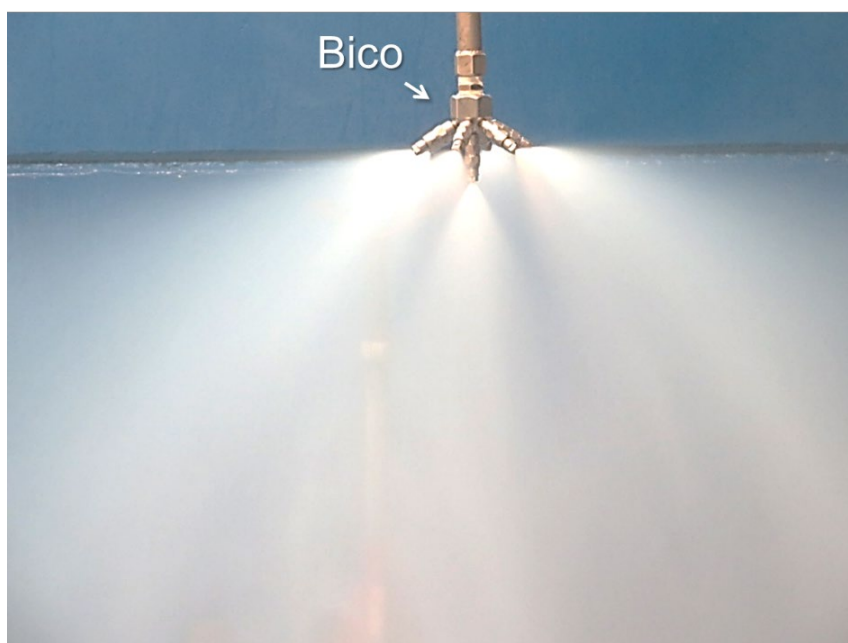


Figura 5 - Bico spray modelo B2 em funcionamento a 4 bar.

O modelo B2 produziu uma maior vazão (32 l/min - 1.920 kg/h) com menor pressão (4 bar). Para cada bateria de testes foi simulado um vazamento de amônia COM pulverização de água e outro SEM pulverização. Os detectores registraram a concentração de amônia a fim de avaliar a eficiência do bico spray na neutralização da amônia. A tabela 2 apresenta os resultados dos testes de eficiência do modelo B2 para neutralização do vazamento de amônia, com concentração (ppm) de amônia no ambiente com e sem pulverização de água através do bico spray.

Tabela 2 – Resultados dos testes de neutralização de amônia para o bico modelo B2.

Concentração de Amônia no Ambiente após Vazamento Simulado					
Detector 1			Detector 2		
SEM spray (ppm)	COM spray (ppm)	Eficiência (%)	SEM spray (ppm)	COM spray (ppm)	Eficiência (%)
356	31	91	240	11	95
325	26	92	301	27	91
320	16	95	310	25	92

A amônia liquefeita possui alta solubilidade na água. No estado gasoso há necessidade de maior quantidade de água para neutralizá-la. A eficiência média do bico spray B2 foi de 93%, considerando uma vazão de 1.920 kg/h de água e 128 kg/h de amônia. A razão (R) entre a vazão mássica água (m_w) e amônia (m_a) foi de 15 (Equação 1), ou seja, são necessários 15 kg de água para neutralizar 1 kg de amônia gasosa, com eficiência entre 91% e 95%.

$$R = m_w/m_a \quad (1)$$

Os valores de concentração após pulverização com água estão próximos dos valores de tolerabilidade humana e muito abaixo de 300 ppm que colocariam a vida humana em risco, conforme apresentado na tabela 1. Portanto, a eficiência 93% do bico B2 a 4 bar atende aos requisitos de projeto. Teste de desempenho é a única maneira de comprovar se o bico spray promoverá a neutralização desejada do vazamento de amônia.

A eficiência de um sistema spray de água, para a mitigação de vazamentos de amônia em áreas de estocagem, depende diretamente da razão água-amônia e como a aspersão desta água é realizada. O gráfico de eficiência de um sistema de neutralização utilizando bicos spray é apresentado na Figura 6. Este gráfico foi utilizado no dimensionamento do sistema de neutralização de vazamento de amônia na área dos tanques de estocagem na refinaria da empresa Chevron, Estados Unidos.

Os resultados encontrados nos testes realizados com bico B2 mostraram eficiência entre 91% e 95% para uma razão água-amônia $R = 15$. Lançando este valor de 15, no gráfico da Figura 6, encontramos um valor de eficiência de 96%, ou seja, próximo ao valor do teste de desempenho realizado.

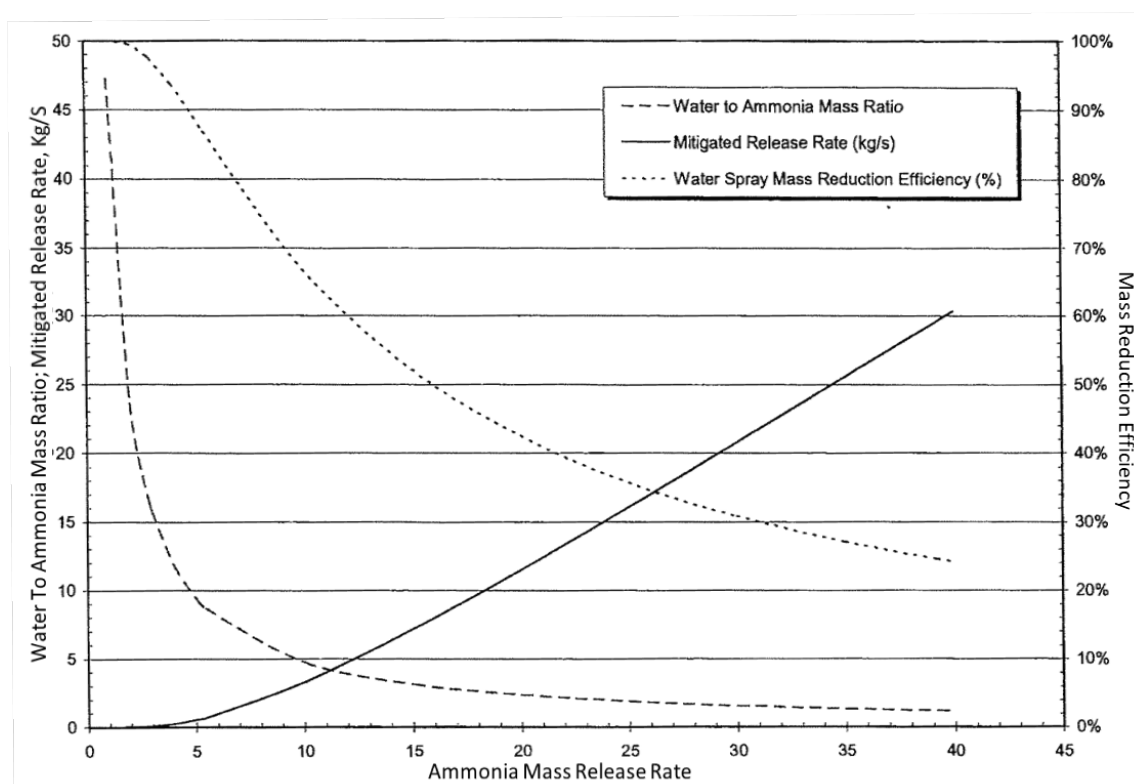


Figura 6 - Eficiência de sistema spray de neutralização para tanques de estocagem de amônia [5].

3.2 Sistema de Neutralização de Amônia

Para garantir o completo recobrimento dos tanques e área de carregamento de caminhões, foram distribuídos 154 bicos spray modelo B2. Os bicos foram montados com interferência para aumentar a densidade de água por metro quadrado. Na Figura 7 é apresentada a vista isométrica da área de carregamento e os tanques e na Figura 8 a vista isométrica do sistema spray recobrindo os tanques e área de carregamento.

A capacidade total do sistema é de 378.840 kg/h a 8 bar de água pulverizada. Dos 154 bicos, 145 bicos cobrem todos os sete tanques, representando uma área de 476 m². Dividindo a vazão dos 145 bicos pela área dos tanques, temos vazão específica de 749 kg/(h.m²). A área de carregamento possui 23 m² e vazão específica é 963 kg/(h.m²), ou seja, uma densidade de água/m² 29% maior que a área dos tanques.

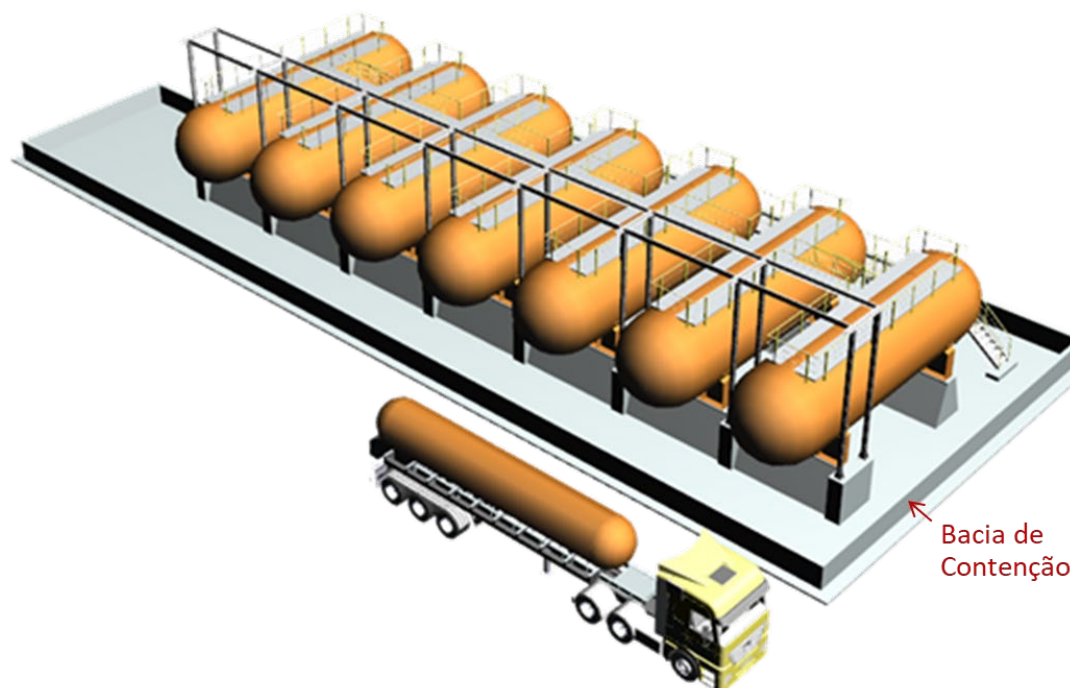


Figura 7 - Vista isométrica dos tanques e área de carregamento.

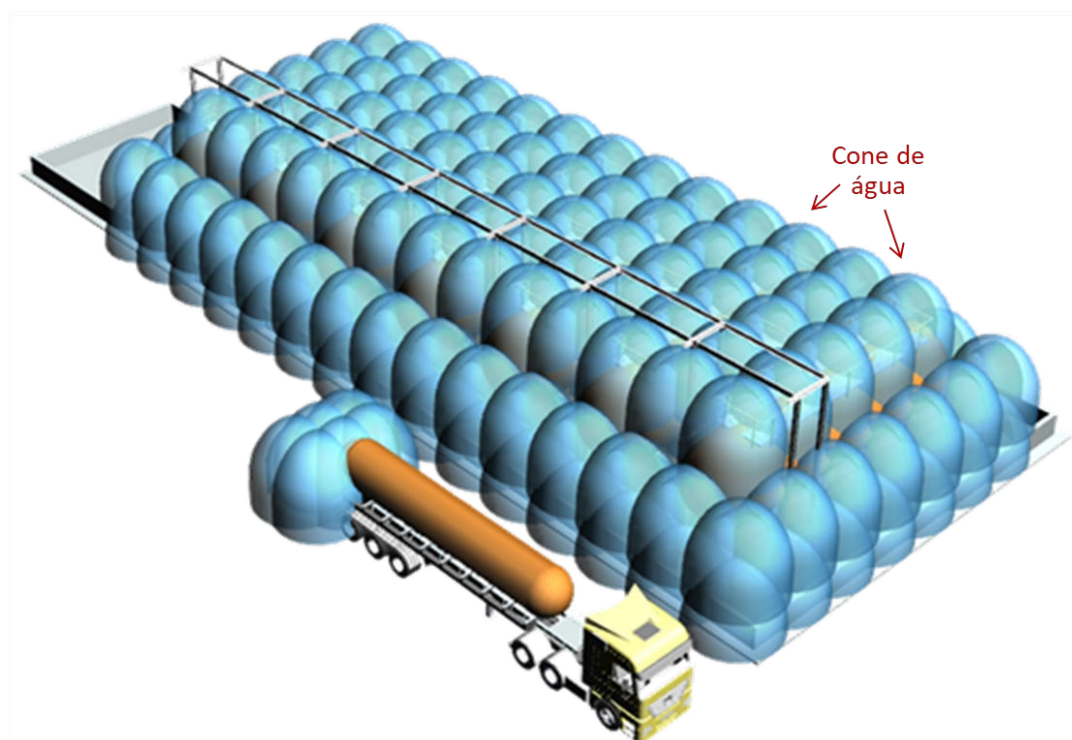


Figura 8 - Vista isométrica do sistema spray recobrimdo os tanques e área de carregamento.

Para uma análise mais conservadora da eficiência do sistema spray foi considerado que todo vazamento de amônia ocorra dentro da área dos tanques. Para o pior cenário foi estimado uma vazão de amônia líquida de 7.668 kg/h (12 m³/h). Na área dos tanques a vazão de água é 313.000 kg/h. Portanto, uma razão água/amônia $R = 41$, ou seja, 41 kg de água para 1 kg de amônia. Inserindo o valor $R = 41$ no gráfico da Figura 6, temos uma eficiência de 100% de neutralização de amônia. No caso de rompimento de um tanque de 123 m³ dentro da bacia de contenção, a amônia líquida estará exposta à pressão atmosférica e iniciará o processo de

evaporação. A taxa de evaporação é $24 \text{ kg}/(\text{h} \cdot \text{m}^2)$. Dividindo a vazão específica de água de $749 \text{ kg}/(\text{h} \cdot \text{m}^2)$ pela taxa de evaporação de amônia encontra-se uma razão $R = 31$. Inserindo este valor no gráfico da Figura 6, temos 100% de neutralização dos gases provenientes da evaporação.

As tubulações estão permanentemente preenchidas com água, garantindo tempo de resposta do sistema menor que 5 s. O sistema foi projetado com redundância de bombas. Caso a primeira bomba falhe, a segunda entrará em operação automaticamente. O sistema é acionado automaticamente quando um vazamento é detectado e o fluxo de amônia é bloqueado. A Figura 9 mostra a vista dos sete tanques com sistema de spray de neutralização instalado. A Figura 10 mostra o teste de desempenho do sistema spray, 5 s após seu ligamento, onde uma densa nuvem de água é formada pela ação dos bicos spray.



Figura 9 - Vista dos sete tanques com sistema de spray de neutralização instalado.



Figura 10 - Fotografia do teste de desempenho do sistema spray, após 5 s de funcionamento.

4 CONCLUSÃO

O sistema de neutralização de amônia anidra foi implantado com sucesso na área dos tanques de estocagem e área de carregamento de caminhões-tanque na Usiminas, planta de Ipatinga. Testes demonstraram que o bico spray modelo B2 possui bom desempenho na neutralização de vazamento de amônia.

O sistema possui 154 bicos spray cobrindo uma área de 476 m² (carregamento de caminhões e tanques de estocagem) com capacidade total de 378.840 kg/h de água pulverizada. As densidades de água/m² na área de carregamento de caminhões e tanques de estocagem são 963 e 749 kg/(h.m²), respectivamente.

O sistema é capaz de neutralizar 100% do pior cenário de vazamento de amônia (7.668 kg/h-12 m³/h) e inundação da bacia de contenção por rompimento de um tanque de estocagem. O sistema é acionado automaticamente, quando um vazamento é detectado, e em 5 s atinge seu pleno funcionamento, garantindo segurança para planta industrial.

Testes de desempenho é a única maneira de comprovar se o bico spray selecionado promoverá a neutralização necessária do vazamento de amônia.

REFERÊNCIAS

- 1 Rosenker, M. V. Hersman, D. A., National Transportation Safety Board, Washington, Pipeline Accident Brief, Anhydrous Ammonia Pipeline Rupture, Report nº NTSB/PAB-07/02, 2004.
- 2 Becker, S. M., Pitt, R., Clark, S. E., Environmental Health, Public Safety, and Social Impacts Associated with Transportation Accidents Involving Hazardous Substances, UTCA Report nº 214, 2001.
- 3 NR 15 - Atividades e operações insalubres, Ministério do Trabalho, 2014.
- 4 Fingas M., Handbook of hazardous materials spills technology, 1st edition, McGraw-Hill, 800 pg., 2001.
- 5 Evaluation of an accidental anhydrous ammonia release from the Chevron Refinery, Anhydrous Ammonia Consequence Modeling Report 510-620-6841, 2007.