PROJETO DE DETECÇÃO DE GÁS POR PLANILHA EXCEL VERSUS FLUIODINÂMICA COMPUTACIONAL (CFD) - VANTANGENS E DESVANTAGENS

João Victor Barbosa Alves, LABCFD/UFRJ

Homero Aboud, PETROBRAS

RESUMO

Os detectores de gases inflamáveis e/ou tóxicos possuem papel fundamental como medidas de controle e barreiras de proteção, já que estes dispositivos podem ter, normalmente, interface com o desligamento de emergência, *blowdown*, controle de fonte de ignição, ventilação, sistema de alarmes e sistemas de combate a incêndio. porém, as normas e recomendações técnicas não indicam o local exato e nem a quantidade necessária de detectores. Por tal razão, o presente trabalho teve como objetivo demonstrar a importância e principais vantagens da utilização de fluidodinâmica computacional (CFD) na determinação da posição dos detectores de gases tóxicos e/ou inflamáveis. Os principais resultados mostraram que as normas apresentam recomendações para o posicionamento dos detectores, mas sem determinar a sua quantidade e localização. O estudo também comparou os resultados de CFD com recomendações técnicas em forma de planilha. E foi observado que esta poderia ser utilizada para uma avaliação preliminar e não para o posicionamento final dos dispositivos, em função da complexidade dos fenômenos presentes em tal determinação.

# INTRODUÇÃO

As diferentes etapas da cadeia de produção de petróleo são a extração, produção, transporte de petróleo e gás, refino, transporte e comercialização dos produtos derivados. Sendo os campos marítimos, ou campos de produção *offshore*, a principal fonte de exploração do petróleo brasileiro, durante o processo de exploração de petróleo as plataformas marítimas também fazem o pré-processamento do gás e do óleo produzido [2]. Desta forma, serão enviados para as refinarias apenas os produtos extraídos que apresentam valor comercial. Por essa razão, são necessárias operações para remoção da água e de impurezas que possam estar presentes no óleo e no gás, como areia e sais. Além disso, tal remoção se faz necessária para reduzir os custos com corrosão e dimensionamento de equipamentos como bombas, vasos e tubulações [3], uma vez que espaço em plataformas é um limitante.

Durante as etapas de refino do petróleo nas refinarias existem várias unidades que realizam o processamento do petróleo, a depender tanto da natureza do óleo quanto da necessidade de se produzir os produtos mais demandados ou com maior valor comercial. Podemos dividir em três processos as principais operações em uma refinaria sendo elas: destilação, alteração da estrutura molecular (craqueamento térmico, reforma catalítica, alquilação, etc.) e purificação [4]. Através dessas transformações são obtidos os principais combustíveis como diesel,gasolina, querosene e GLP, matérias primas de natureza petroquímica, lubrificantes e parafinas [3] e [4].

Os processos utilizados nas etapas de elevação, produção e refino empregam elevadas temperaturas e pressões. Além disso, as substâncias presentes nas correntes destes processos são frequentemente inflamáveis e tóxicas (ex. hidrocarbonetos, hidrogênio e gás sulfídrico). Por isso, são necessárias medidas de controle, barreiras de proteção e dispositivos responsáveis pela mitigação de consequências, para preservar a vida dos funcionários, da comunidade vizinha, a integridade dos equipamentos e o meio ambiente.Para tentar minimizar esses impactos o sistema de detecção de gás tem interação com o desligamento de emergência, *blowdown*, controle de fonte de ignição, ventilação, sistema de alarme público, alarmes, e sistemas de combate a incêndio [3] ,[5] e[6]. Com tais ações pretende-se reduzir os riscos de acidentes graves, como os que ocorreram ao longo da história.

O sistema fixo de detecção de gás deve ser capaz de fornecer um pré-alarme indicando a presença e a localização de gás tóxico ou inflamável de forma rápida, reduzindo assim as chances da nuvem aumentar em concentração e tamanho[6],[7],[8] e[9]. Por essa razão, a principal função do projeto e instalação de sistemas fixos de detecção de gás é definir a quantidade e a localização dos detectores [7].Entretanto, como o comportamento dos gases durante um vazamento são de grande complexidade e são influenciados por muitas variáveis recomenda-se a adoção de simulações numéricas para descrever o comportamento dos gases [6] , [7] e [9] e como base para otimização do número e posicionamento dos detectores [6].

O estudo de dispersão de gases utilizando CFD é desenvolvido baseado na construção de cenários tais como [8], [10],[11] e[12]: ponto de vazamento;direção do vazamento;velocidade e frequência do vento (perfil e estabilidade);direção do vento do vento;taxa de liberação;composição do gás; tamanho e geometria do furo e condições de operação do equipamento ou da linha (ex. pressão, temperatura, vazão e volume). Essas combinações representam um dos grandes desafios de um estudo de dispersão real devido à grande quantidade de dados necessários para uma correta avaliação. Um estudo típico realizado em uma dada área (podendo ser um setor de uma plataforma ou uma unidade de processo em uma refinaria) chega a apresentar 600 simulações[8] ou mais.

# DESCRIÇÃO

## Projeto de detecção com a planilha excel

Embora diversos estudos na literatura, normas nacionais e internacionais e especificações técnicas da Pedrobras recomendem a utilização da fluidodinâmica computacional como ferramenta para executar o estudo de dispersão de gases, recentemente surgiu na Petrobras uma metodologia para posicionar e otimizar os detectores utilizando uma planilha em Excel. Esta planilha segue oPE – 2IND – 00177[13], que estabelececritérios para aplicação de sistemas fixos de detecção de gases inflamáveis, gases tóxicos e chama nas unidades de operação do refino.

Conforme mencionado, a planilha também se aplica para a definição de detecção de chama, porém este sistema não será avaliado no presente trabalho. Sendo assim, os primeiros dados de entrada referentes aos cenários de risco são oriundos da análise preliminar de risco (APR) tais como: descrição do sistema, perigo, causas e efeito, conforme apresentado na Tabela 1.



Tabela 1: Exemplo das informações oriundas da APR[13].

Os demais dados de entrada necessário para os cálculos da planilha são[13]:

1. Cenários prováveis: informa os cenários definidos na APR como jato de fogo, incêndio, explosão, formação de nuvem tóxica ou inflamável;
2. Enquadramento com alto potencial de incêndio: informa se o cenário escolhido apresenta alto potencial de incêndio como compressores operando com gás hidrogênio, equipamentos operando com hidrogênio acima de 500 oC, bomba operando com mtanol ou equipamento não enquadrado.
3. Tipo de sistema: Informa o sistema que está associado ao cenário, devendo ser selecionada como opção compressores alternativos, bombas, compressores centrífugos, trocadores/tubulações e válvulas em baterias de preaquecimento, cenários com exclusivamente equipamentos estáticos (exceto o anterior) cenários com somente tubulações e acessórios;
4. Equipamento ou fonte de vazamento: preenchido com o nome/TAG do equipamento;
5. Local do vazamento: definir se o ambiente do vazamento é considerado como aberto ou fechado;
6. Dados de processo: são informados a pressão, vazão e temperatura normal de operação, o tipo de produto inflamável, a substância tóxica vazada e a concentração estimada da mesma.

Posteriormente é gerada uma planilha que informa a substância de referência baseada nas informações indicadas, tal como é apresentado na Tabela 2, a título de exemplo.

Tabela 2: Dados gerados para a substância inflamável de referência [13].



O diâmetro de furo adotado na planilha para todos os cenários considera vazamentos com furos de 10 mm. Além disso, como referência é adotada a frequência anual de falha de alguns equipamentos, conforme apresentada na Tabela 3.

Tabela 3: Frequência anual de falha para os equipamentos [13].

|  |  |
| --- | --- |
| **Equipamento utilizado** | **Frequência anual de falha** |
| 1 - Compressores Alternativos (ex: Make-up de HDT) | 2,00E-02 |
| 2 - Bombas | 5,00E-03 |
| 3 - Compressores Centrífugos (ex: Gás, Reciclo) | 2,50E-03 |
| 4 - Trocadores/Tubulações e Válvulas em Baterias de Preaquecimento | 2,00E-03 |
| 5 - Cenários com exclusivamente equipamentos estáticos, exceto (4) | 1,00E-03 |
| 6 - Cenários com somente Tubulações e acessórios | 3,33E-04 |

A planilha ainda utiliza várias correlações para determinar a probabilidade de ignição de incêndio e explosão. Entretanto, como o presente estudo tem como objetivo comparar os resultados da determinação da posição e quantidade de detectores baseado na dispersão de gases, essa etapa não será abordada.

Sendo assim, para determinar o alcance da pluma em [13] são definidas a vazão crítica (para regime sônico de vazamento na Equação(2), que será alcançada quando a pressão interna do equipamento for superior a pressão crítica, definida na Equação (1) e para condição subcrítica a vazão subsônica é definida pela Equação

|  |  |
| --- | --- |
|  | (1) |

onde é a pressão crítica, é a relação de calor específica e é a pressão atmosférica

|  |  |
| --- | --- |
|  | (2) |

Onde=1000 é o fator de conversão para unidade do SI (=1000), é o peso molecular Kgb/Kg.mol, = 8.314 é a constante universal dos gases em J/Kg.mol.oK e é a temperatura de liberação (oK).

|  |  |
| --- | --- |
|  | (3) |

Duas relações são apresentadas para definir a distância da nuvem inflamável. A primeira equação é definida para a pluma com concentração de 100 % do limite inferior de inflamabilidade (LII), Equacaoxxx, e a segunda para 60 % do limite inferior de inflamabilidade (LII) [13].

|  |  |
| --- | --- |
|  | (4) |

Onde é a distância alcaçada pela nuvem de gás ou vapor com concentração de um determinado percentual do LII, G é a taxa de vazamento em kg/s, E é o LII em % e T é a temperatura de operação.

Em [13] é definido que os detectores devem ser posicionados nas seguintes distâncias para cada faixa de valor determinado pela Equação (4). Além disso, é definido que para vazamentos de gás tóxico distância máxima é de 5 m, não sendo adotada nenhuma equação para essa definição.

Tabela 4: Distância calculada e valor adotado para a posição do detector de gás ou vapor inflamável [13].

|  |  |
| --- | --- |
| **Distância calculada (X), [m]** | **Valor adotado** |
| <5 | 5 |
| 5-10 | 10 |
| 10-20 | 15 |
| >20 | 15 |

Em relação a altura, se o gás/vapor a ser detectado é mais pesado que o ar a posição vertical deve ser definida entre 1,0 e 1,5 metros em relação ao nível do piso. Entretanto, se o gás/vapor a ser detectado é mais leve que o ar a elevação deve ser entre 2,0 e 4,0 metros do nível do piso.

A posição do detector ainda não foi definida, já que apenas definiu-se a distância do ponto de vazamento e a altura. Para fazer o fechamento da coordenada do dispositivo utiliza-se a direção preferencial do vento, conforme apresentada na Figura 1.

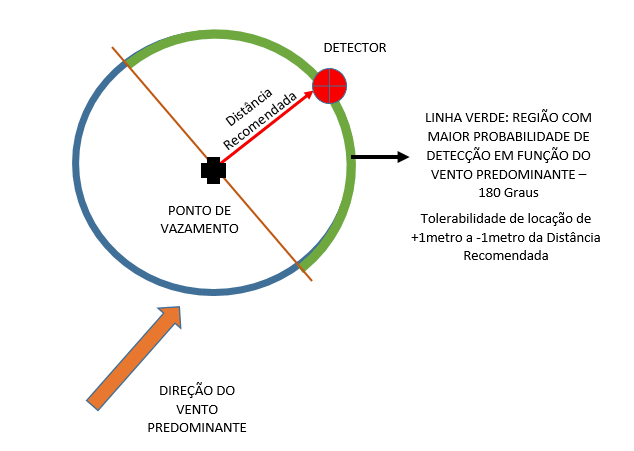


Figura 1: Definição da posição do detector baseada na distância recomendada e a direção do vento predominante.

A planilha ainda apresenta uma solução para otimização dos detectores. Desta forma, havendo dois equipamentos próximos a posição é determinada dentro do raio de influência um do outro, como pode ser visto na Figura 2.

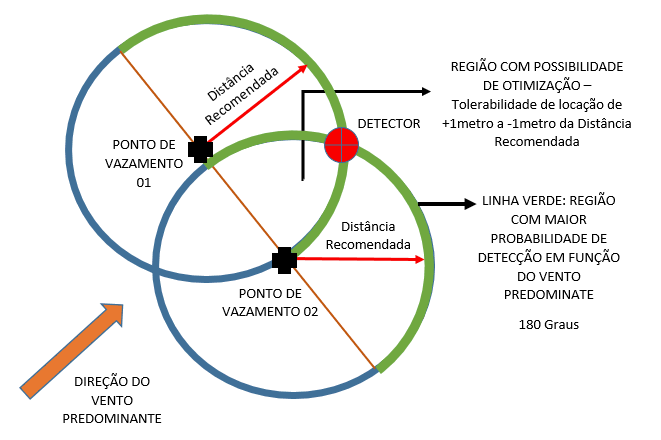


Figura 2: Região de posicionamento otimizado pela planilha.

## Projeto de detecção com fluidodinâmica computacional (CFD)

Nas simulações de CFD os cenários são montados considerando os seguintes parâmetros:

1. Pontos de vazamento: pode ser determinado utilizando algum estudo de risco existente ou que tenha sido adaptado para ser utilizado no estudo de dispersão de gases. Um destes estudos é a análise preliminar de risco (APR), onde os casos são classificados pela frequência de ocorrência e a severidade da consequência conforme pode ser observado na . A APR avalia as possíveis fontes de acidente e as principais salvaguardas necessárias para mitigá-los, tais como detectores de gases inflamáveis, tóxicos, detectores de fumaça, detectores de chama, sistema de combate a incêndio, etc. Possivelmente, seja por este motivo que esta técnica seja adotada para seleção dos cenários considerados no Estudos de dispersão de gases ( [11]; [13]; [14] e [15]).



Figura 3: Matriz de risco para as classificações tolerável (T), moderado (M) e não tolerável (NT)

1. direção do vazamento: A direção do jato do vazamento pode ocorrer em todas as direções. Entretanto, sendo o costado do equipamento a fonte do vazamento poderemos considerar 6 direções, como apresentado na Figura 4 (a), já os vazamentos em flanges são limitados a 4 direções em relação ao plano do mesmo, Figura 4 (b).

|  |  |
| --- | --- |
|  |  |
| (a) | (b) |

Figura 4: Direções de vazamento localizado em costado de equipamento (a) e em flange (b).

1. velocidade,direção e frequência do vento: estes dados são obtidos através dos dados meteorológicos oriundos de estações meteorológicas, onde o resultado pode ser condensado na distribuição de probabilidade de vento, Figura 5. Além do mais, com estes dados são obtidas a direção preferencial e a probabilidades de ocorrência dos ventos em relação a sua direção e velocidade.

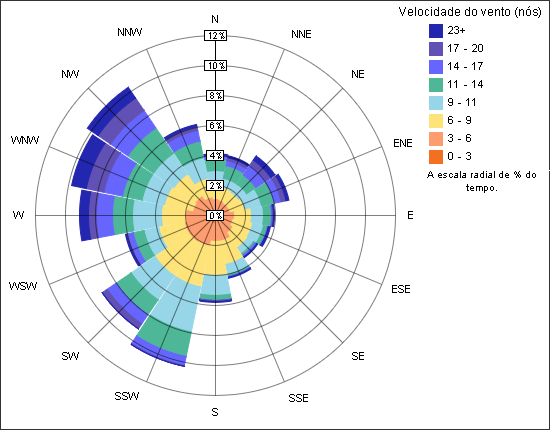


Figura 5: Distribuição de probabilidade de vento.

1. composição do gás e condições de operação do equipamento: obtido na documentação de balanço de massa e fluxogramas do processo (ex. pressão, temperatura, vazão e volume);
2. tamanho e geometria do furo: são obtidos através de bancos de dados de vazamentos como o HCRD (do inglês *hydrocarbon release database*)[16] e [17].
3. taxa de liberação: O modelo de liberação em fase gasosa estabelece uma função para a vazão mássica de gás que é dependente de condições geométricas do furo e condições de operação, tais como pressão, temperatura e composição. A vazão mássica para o vazamento de gás através de um orifício, , pode ser estimada pela Equação (1), conforme apresentado em [18]

|  |  |
| --- | --- |
|  | (5) |

em que é a vazão mássica de gás(kg/s), é o coeficiente de descarga(-), é área do orifício ou furo(m²), é o coeficiente de escoamento, é a densidade interna do gás(kg/m³), é a pressão interna do gás, (N/m²) e é a coeficiente de Poisson (-).

O fator é definido em função da característica de escoamento do gás. Para escoamento crítico, o valor do fator é igual a 1, já para a condição subcrítica, o seu valor é dado pela Equação (2) [18] .

|  |  |
| --- | --- |
|  | (6) |

em que é a pressão ambiente (N/m²).

Um outro dado de entrada bastante importante para o estudo de dispersão de gases é a geometria do local do estudo. Como nas refinarias e plataformas de petróleo o ambiente é bastante congestionado, não podemos desconsiderar a influência da geometria dos equipamentos. Na Figura 6podemos observar a geometria de uma unidade de uma refinaria[19] e a geometria de uma plataforma[1].

|  |  |
| --- | --- |
|  |  |
| (a) | (b) |

Figura 6: Geometria dos domínios computacionais de uma refinaria (a)[19] e uma plataforma de petróleo (b)[1].

O caso base do estudo utilizado para fazer a comparação entre as duas metodologias consiste na reprodução dos casos simulados por [19]. Neste estudo considerou-se vazamento de hidrogênio, a 58,5 Kgf/cm2(5,74x106 Pa), 93 °C e com 10 mm de diâmetro, o que resultou em um vazamento de 0,1637 kg/s. Foram adotados vazamentos em dois equipamentos, oito direções de vento para duas direções de vazamento, sendo a direção para baixo em ambos equipamentos e uma direção cruzada entre os equipamentos, o que totalizou 32 vazamentos [19].

# RESULTADOS

Foram posicionados os detectores com as duas metodologias. Com a planilha determinou-se a distância de 15 metros em relação aos dois pontos de vazamento. Como o gás vazado é mais leve que o ar definiu-se a altura de 3 m. Para finalizar a coordenada adotou-se a direção preferencial do vendo, direção norte. O segundo método adotou simulação de CFD com otimização. Desta forma a posição dos detectores pode ser vista na Figura 7.

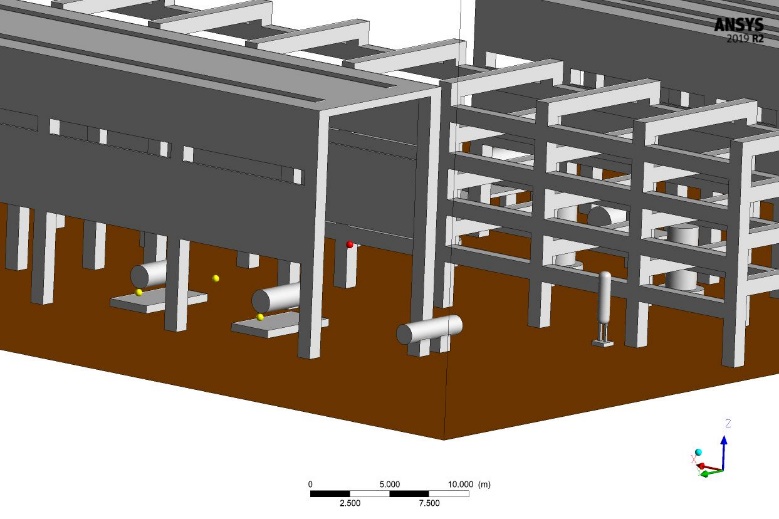


Figura 7: Posição dos detectores posicionados por CFD (3 pontos em amarelo) e pela planilha (1 ponto em vermelho).

Como o vento preferencial é o vento norte foram apresentados na Figura 8 as plumas de Hidrogênio na concentração de 20%LII para os dois equipamentos nas direções de vazamento para baixo e nas direções cruzadas, todas para o vento norte.

Na Figura 8 é possível observar o detector definido pela planilha na cor vermelha e os três detectores definidos por CFD e otimização na cor amarela. Sendo que os detectores em amarelo detectam todos os 32 casos simulados. Entretanto, o detector posicionado pela planilha não detecta os quatro vazamentos gerados com a direção de vento norte, que é o vento preferencial.

|  |  |
| --- | --- |
|  |  |
| (a) | (b) |
|  |  |
| (c) | (d) |

Figura 8: Detecção dos vazamentos para baixo nos equipamentos E1 e E2, para leste no equipamento E1 e oeste no equipamento E2, com vento na direção norte.

# CONCLUSÕES

Através das simulações realizadas é possível chagar as seguintes conclusões.

A planilha excel apresenta-se como como um estudo simplificado, tendo grande validade se aplicado no estudo básico de segurança e para selecionar cenários que entrarão em um estudo mais específico, como o estudo de dispersão (CFD). Apresenta como limitação a utilização de uma única direção de vento sem ao menos considerar a velocidade da mesma, não considera também os obstáculos presentes na geometria da unidade. Além disso, faz o posicionamento dos detectores de forma muito simplificada.

Entretanto, ao utilizarmos a fluidodinâmica computacional juntamente com otimização os dispositivos foram posicionados de forma técnica e eficiente para detectar os vazamentos, visto que comCFD é possívelincluir a influência das variáveis importantes presentes na dispersão de gases (vento, congestionamentos, obstruções, ...). Além disso, ainda podemos incluir como vantagens de CFD a grande quantidade de cenários possíveis, ser um estudo bem difundido por diversas áreas da empresa e seguir as normas internas da Petrobras tanto para refinarias quanto para plataformas de petróleo.

# REFERÊNCIAS

|  |  |
| --- | --- |
| [1] | J. P. M. Barcelos, *Comparação de Simulações CFD em Regimes Estacionário e Transiente para Alocação de Sensores de Gases Inflamáveis em Unidade de Processamento de Petróleo Offshore,* Dissertação (Mestrado em Tecnologia de Processos Químicos e Bioquímicos) - Universidade Federal do Rio de Janeiro, . Coorientador: Ricardo de Andrade Medronho, 2018. |
| [2] | D. D. PINTO, *Estratégias de Controle Contra Intermitência Severa na Alimentação de Separadores Offshore.,* Rio de Janeiro: Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) – Escola de Química, Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2009. |
| [3] | G. DA PONTE JR, Gerenciamento de Riscos na Indústria de Petróleo e Gás, Rio de Janeiro: Elsevier, 2015. |
| [4] | D. NOLAN, Handbook of Fire and Explosion Protection Engineering Principles: For Oil, Gas, Chemical and Related Facilities., Oxford: Elsevier Inc., 2011. |
| [5] | AMERICAN PETROLEUM INSTITUTE (API)., *Recommended Practice 14C, Recommended Practice for Analysis, Design, Installation, and Testing of Basic Surface Safety Systems for Offshore Production Platforms,,* seventh ed, ed., 2001. |
| [6] | NORSOK STANDARD, *S-001. Technical Safety.,* Edition 4. ed., 2008. |
| [7] | ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT), *NBR IEC 60079-29-2: Atmosferas Explosivas. Parte 29.2: Detectores de gases – Seleção, instalação, utilização e manutenção de detectores para gases inflamáveis e oxigênio,* 2011. |
| [8] | S. DAVIS, O. HANSEN, F. GAVELLI e A. BRATTETEIG, “Using CFD to Analyze Gas Detector Placement in Process Facilities,” *Conference: Mary Kay O’Connor Process Safety Center Symposium 2011 At: College Station, Texas, USA. Volume: International Process Safety Symposium,,* 2011. |
| [9] | ISA-RP12.13.02-2003, *Recommended Practice for the Installation, Operation, and Maintenance of Combustible Gas Detection Instruments,* 2003. |
| [10] | J. BASTOS, *Comparação de Resultados de Simulação de Dispersão de Gases em Plataformas Marítimas Utilizando CFD e Modelos Empíricos.,* Rio de Janeiro, 2006. |
| [11] | A. B. FLECK, *Dispersão de Gases Inflamáveis em Plataforma Offshore: Localização de Detectores.,* Dissertação de Mestrado – Universidade Federal do Rio de Janeiro,, 2008. |
| [12] | A. RAD, D. RASHTCHIAN e N. BADRI, “A risk-based methodology for optimum placement of flammable gas detectors within open process plants,” *Process Safety and Environmental Protection,* vol. 105, pp. 175-183, 2017. |
| [13] | E. G. GOMES, R. A. MEDRONHO e J. V. B. ALVES, “Gas Detector Placement in Petroleum Process Unit Using Computational Fluid Dynamics,” *International Journal of Modeling and Simulation for the Petroleum Industry (Online),* vol. 8, pp. 17-24, 2014. |
| [14] | R. e. a. VÁZQUEZ-ROMÁN, “A CFD-based approach for gas detectors allocation,” *Journal of Loss Prevention in the Process Industries,* vol. 44, p. 633–641, 2016. |
| [15] | K. e. a. CEN, “A risk-based methodology for the optimal placement of hazardous gas detectors,” *Chinese Journal of Chemical Engineering,* vol. 26, nº 5, p. 1078–1086, 2018. |
| [16] | HEALTH & SAFETY EXECUTIVE (HSE)., *Offshore Hydrocarbon Releases Statistics. Hid Statistics Report HSR 2001 002,* 2002. |
| [17] | DNV, *Failure Frequency Guidance: Process Equipment Leak Frequency Data for Use in QRA,* 2013. |
| [18] | TNO, *Guidelines for Quantitative Risk Assessment: (Purple Book). CPR18E,* 3a Edição, 2015. |
| [19] | E. G. Gomes, *Dispersão de Gases Tóxicos,* Dissertação (Mestrado em Tecnologia dos Processos Químicos e Bioquímicos) - Universidade Federal do Rio de Janeiro, . Orientador: Ricardo de Andrade Medronho. , 2012. |