



DEVELOPMENT OF AN APPLICATION FOR MOBILE DEVICES APPLIED TO PROCESS SECURITY: PRELIMINARY HAZARD ANALYSIS (PHA)

DESENVOLVIMENTO DE UM APLICATIVO PARA DISPOSITIVOS MÓVEIS APLICADO A SEGURANÇA DE PROCESSOS SEGUINDO O MODELO DE ANÁLISE PRELIMINAR DE PERIGOS (APP)

G. P. BINA¹, G. H. R de ALMEIDA¹, M. de SOUZA, R. N. de PIETRO, M. P. A. MARIN¹ e I. C. FRANCO^{1,*}

¹ Centro Universitário FEI, Departamento de Engenharia Química

*Autor correspondente. Centro Universitário FEI, Departamento de Engenharia Química, São Bernardo do Campo, São Paulo, Brasil, +55 11 43532915
e-mail: icfranco@fei.edu.br (I. C. Franco).

ARTICLE INFO

Article history:

Received 2020-05-05

Accepted 2020-10-20

Available online 2020-10-20

palavras-chave

Segurança

APP

Aplicativo

Dispositivo Móvel

keywords

Safety

PHA

Application for Mobile Devices

ABSTRACT

The production of ammonia has great relevance among chemical processes, being used as a base for fertilizers and having the main desirable characteristics for a refrigerant fluid, such as chemical stability, it isn't a fuel, it doesn't decompose easily and it's not explosive under normal conditions of temperature and pressure. Although it does not have high risks in its use, the way of obtaining the ammonia presents great risks due to the high pressure and temperature required by the process. Avoiding industrial accidents is of paramount importance in order to avoid irreparable damage to the population, the environment and all the assets built within the industrial plant. This academic paper studied the hazards in an ammonia production plant to allow the creation of a Preliminary Hazard Analysis (PHA) worksheet through the development of an app for mobile devices. For validation purposes, a PHA was made using the standard methodology already used in the industry, which was compared to the worksheet generated by the app. The app was developed in the JAVA™ programming language, which is one of the languages used in a large scale by mobile developers, since it is easy to access and does not present major complications in its use.

RESUMO

A produção de amônia tem grande relevância entre os processos químicos, sendo utilizada como base para fertilizantes e por possuir as principais características desejáveis para um fluido refrigerante, como por exemplo: estabilidade química, não ser combustível, não se decompor com facilidade e não ser explosivo nas condições normais de temperatura e pressão. Apesar de não ter riscos altos em sua utilização, a forma de obtenção da amônia traz grandes riscos devido à alta pressão e temperatura exigida pelo processo. Evitar acidentes industriais é de suma importância para que não ocorram danos irreparáveis a população, ao meio ambiente e a todo o patrimônio construído dentro da planta industrial. Este trabalho visa estudar os perigos existentes em uma planta de produção de amônia para otimizar a criação de uma planilha de análise preliminar de perigo (APP) através do desenvolvimento de um aplicativo para aparelhos móveis. Para fins de comparação e validação do projeto será confeccionada uma APP através da metodologia padrão já utilizada na indústria que será comparada com a planilha gerada pelo aplicativo. O aplicativo foi desenvolvido na linguagem de programação JAVA™ que é uma das linguagens utilizadas em larga escala pelos desenvolvedores mobile, por ser de fácil acesso e não possuir grandes complicações em sua utilização. Os resultados foram avaliados com base em APPs criadas manualmente.

1. INTRODUÇÃO

A amônia (NH₃) é uma pedra fundamental na agricultura moderna com uma produção global anual de 176 milhões de toneladas (Pattabathula e Richardson, 2016). Com o crescimento populacional ao redor do globo, o segmento encontra-se em expansão e espera-se que a produção de alimentos deverá ser cada vez maior, sendo assim o consumo de fertilizantes tende a crescer cada vez mais e por consequência a produção de amônia deverá ser cada vez maior. O processo Haber-Bosch facilitou a produção de fertilizantes em escala industrial, aumentando drasticamente a produtividade agrícola global na maioria das regiões do mundo (Erisman et al., 2008).

Perigos, riscos e consequências sempre cercaram a indústria desde o seu nascimento e passaram a ter uma maior relevância quando ocorreu o maior desastre da indústria química, em Bhopal na Índia, devido a um ato de negligência com a segurança do processo. Na madrugada de 3 de dezembro de 1984, 40 toneladas de gases tóxicos vazaram na fábrica de pesticidas Union Carbide devido a contaminação de um tanque de metil-isocianato com água, afetando a vida de aproximadamente 500.000 pessoas (Broughton, 2005).

Não se pode negligenciar os perigos e consequências provenientes da produção de amônia através da síntese de Haber-Bosch. Além de sua toxicidade, um fator adicional é a sua capacidade de formar misturas densas com o ar quando liberado para a atmosfera sendo o valor limite de exposição levando em consideração ao valor médio ponderado no tempo (TLV-TWA) é de 25 ppm, o limite de exposição a curto prazo (STEL) 35 ppm e valor de IDLH (imediatamente perigoso à saúde ou vida) igual a 300 ppm (Ojha e Dhiman, 2010).

Assim, a importância da amônia no cenário mundial e os perigos e consequências de sua produção através da síntese de Haber-Bosch motivou o desenvolvimento de um aplicativo para dispositivo móvel capaz de analisar os dados e aplicar com precisão a técnica de Análise Preliminar de Perigos (APP).

A criação do aplicativo além de um caráter inovador trouxe consigo uma maior facilidade no setor de segurança, pois hoje no mercado o processo de criação da Análise Preliminar de Perigos é feito manualmente, com a implementação do aplicativo esse processo será agilizado de forma notável e eficiente. Não foi encontrado qualquer outro aplicativo no mercado capaz de construir uma APP completa, reforçando assim a ideia de ser um produto inovador.

Outros produtos como o software PhastRiskTM, ou mesmo os aplicativos Chemical Safety Data SheetsTM e Pró-QuímicaTM fornecem produtos no segmento de segurança, porém são ferramentas diferentes da proposta nesse trabalho. O PhastRiskTM por exemplo, é uma ferramenta quantitativa que modela possíveis danos em caso de acidentes, já os outros dois aplicativos citados, mesmo sendo ferramentas qualitativas, fornecem apenas FISPQ's e informações sobre materiais armazenados, garantindo o diferencial do aplicativo construído.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Os problemas dos riscos industriais e a diversificação dos tipos de riscos aumentaram simultaneamente com o desenvolvimento industrial. Ao mesmo tempo, o limite de aceitação de riscos da população diminuiu (Tixier et al., 2002).

Levando em consideração este cenário, as autoridades competentes e as indústrias desenvolveram metodologias e ferramentas para a prevenção de riscos, bem como gestão de crises.

Para lidar com acidentes graves, uma análise prévia deve ser feita. A análise de risco preliminar permite uma identificação exaustiva de fontes perigosas em potencial para evitar cenários de acidentes e para avaliar o impacto potencial em metas humanas, ambientais e de equipamentos, a fim de propor prevenção ou proteção.

Assim, para analisar e gerenciar os aspectos de segurança, várias abordagens foram propostas ao longo dos anos, com foco nas características organizacionais e técnicas. Essas técnicas podem ser descritas de acordo com as seguintes propriedades: 1) Determinística; 2) Probabilística; 3) Qualitativa e; 4) Quantitativa.

Segundo Tixier et al. (2002), os métodos determinísticos levam em consideração os produtos, o equipamento e a quantificação das consequências para vários alvos, como pessoas, ambientes e equipamentos. Os métodos probabilísticos são baseados na probabilidade ou frequência de aparições de situações perigosas ou na ocorrência de possíveis acidentes. Os métodos probabilísticos são focados principalmente na probabilidade de falha do equipamento ou de seus componentes. Por um lado, métodos probabilísticos são usados para conduzir uma análise em uma parte restrita de uma planta. Por outro lado, métodos determinísticos e probabilísticos determinísticos e combinados são usados para analisar todo o estabelecimento industrial.

Na Tabela 1 são apresentados alguns estudos seguindo as propriedades definidas anteriormente. A grande maioria dos métodos apresentados nos estudos é determinista, porque historicamente os operadores e as organizações tentaram inicialmente quantificar os danos e as consequências de possíveis acidentes, antes de entender por que e como poderiam ocorrer.

De acordo com Tixier et al. (2002), a utilização de metodologias de análise de risco contribui para a prevenção de acidentes e para a preparação de resposta a emergências. Uma metodologia de análise de risco pode ser simples e focar apenas na identificação de perigos ou em uma metodologia combinada de análise de risco. Uma metodologia combinada de análise de risco pode ser composta por várias metodologias simples de análise de risco, com uma fase de identificação, estimação e hierarquização, a fim de obter um índice de nível de risco, por exemplo. Os campos de aplicação das metodologias são locais industriais, transporte de mercadorias perigosas e fatores humanos.

A partir desta gama de informações sobre análises de risco, este trabalho teve como foco, a utilização de uma Metodologia determinística e qualitativa de análise de risco. Esta metodologia foi a Análise Preliminar de Perigo (APP) pela qual foi desenvolvido o aplicativo para dispositivo móvel.

Tabela 1 - Metodologias desenvolvidas para análise de riscos quanto à suas características

Determinística qualitativa	Autores
1. Checklist	Khan e Abbasi, 1998b
2. ConceptHazardAnalysis – CHA	Rasmussen e Whetton, 1997; Rogers, 2000
3. FailureModeEffectAnalysis – FMEA	Khan e Abbasi, 1998b; Nicolet-Monnier, 1996; Rogers, 2000
4. GoalOrientedFailureAnalysis – GOFA	Rogers, 2000
5. HazardandOperability – HAZOP	Kennedy e Kirwan, 1998; Khan e Abbasi, 1998b; Rogers, 2000; Tweeddale et al., 1992
6. HumanHazardandOperability – HumanHAZOP	Kennedy e Kirwan, 1998
7. OptimalHazardandOperability – optHAZOP	Khan e Abbasi, 1997a; Khan e Abbasi, 1998b
8. PlantLevelSafetyAnalysis – PLSA	Toola, 1992
9. Preliminary Risk Analysis – PRA	Nicolet-Monnier, 1996; Rogers, 2000
10. Process Risk Management Audit – PRIMA	Hurst et al., 1996
Determinística quantitativa	Autores
11. SneakAnalysis	Rogers, 2000
12. Task Analysis – TA	Rogers, 2000
13. What if? Analysis	Khan e Abbasi, 1998b
14. AccidentHazardAnalysis – AHI	Khan e Abbasi, 1997b; Khan e Abbasi, 1998 ^a
15. Dow’s Fire and Explosion Index – FEI	Khan e Abbasi, 1998 ^a
16. FireandExplosionDamage Index – FEDI	Khan e Abbasi, 1998 ^a
17. HazardIdentificationand Ranking – HIRA	Khan e Abbasi, 1997b; Khan e Abbasi, 1998b
18. SAATY Methodology	Troutt e Elsaid, 1996
19. Toxic Damage Index – TDI	Khan e Abbasi, 1998 ^a
Probabilística qualitativa	Autores
20. Accident Sequences Precursor – ASP	Holmberg, 1996
21. Delphi Technique	Rogers, 2000
Probabilística quantitativa	Autores
22. DefiMethod	Rogers, 2000)
23. Event Tree Analysis – ETA	Nicolet-Monnier, 1996; Rogers, 2000
24. Fault Tree Analysis– FTA	Khan e Abbasi, 1998b; Nicolet-Monnier, 1996; Rogers, 2000
25. Short Cut Risk Assessment – SCRA	Rogers, 2000
26. WorkProcessAnalysisModel – WPAM	Davoudian, et al., 1994
Determinística e Probabilística qualitativa	Autores
27. MaximumCredibleAccidentAnalysis – MCAA	Khan e Abbasi, 1998b
28. ReliabilityBlockDiagram – RBD	Rogers, 2000
29. Safety Analysis – AS	Khan e Abbasi, 1998b
30. Safety Culture Hazard and Operability – SCHZOP	Kennedy E Kirwan, 1998
31. StructuralReliabilityAnalysis – SRA	Rogers, 2000
Determinística e Probabilística quantitativa	Autores
32. Facility Risk Review	Schlechter, 1996
33. FailureModeEffectCriticalityAnalysis – FMECA	Rogers, 2000
34. MethodOrganisedSystematicAnalysisof Risk – MOSAR	Périlhon,2000; Rogers, 2000
35. Optimal Risk Assessment – ORA	Khan e Abbasi, 1998b
36. ProbabilisticSafetyAnalysis – PSA	Khan e Abbasi, 1998b; Papazoglou et al., 1992
37. Quantitative Risk Assessment – QRA	Khan e Abbasi, 1998b; Leeming e Saccomanno, 1994; Rogers, 2000
38. Rapid Risk AnalysisBasedDesing – RRABD	Khan e Abbasi, 1998c

2.1 Análise Preliminar de Perigos APP

Análise Preliminar de Perigos (APP) ou Análise Preliminar de Risco (APR) –Preliminary Hazard Analysis (PHA), é uma técnica originária de pesquisas militares sendo parte do programa de segurança padrão militar exigido pelo Departamento de Defesa 20 dos Estados Unidos desde 1984, norma militar MILSTD-882D (Mannan, 2013).

O objetivo desta técnica é examinar as maneiras pelas quais a energia ou o material de processo pode ser liberado de forma descontrolada, levantando-se para cada um dos perigos identificados as suas causas, os métodos de detecção disponíveis

e os efeitos sobre os trabalhadores, a população e sobre o meio ambiente. Em seguida é feita uma avaliação qualitativa dos riscos associados, identificando-se dessa forma aqueles que requerem priorização. São sugeridas medidas preventivas e/ou mitigadoras dos riscos. O escopo da APP abrange os eventos perigosos cujas causas tenham origem na instalação analisada, englobando tanto as falhas de componentes ou sistemas, como eventuais erros operacionais ou de manutenção. O grau de risco é determinado por uma matriz de risco gerada pelos técnicos que aplicam a análise (Mannan, 2013):

- a. A APP é realizada realizando a listagem dos perigos

que estão associados aos sistemas a ser estudado identificando: Substâncias e equipamentos perigosos tais como produtos químicos altamente reativos, substâncias tóxicas, explosivas, combustíveis, lubrificantes, sistemas a alta pressão e outros sistemas armazenadores de energia;

- b. Listando os fatores do meio ambiente que, de alguma forma, possam interferir nos equipamentos e materiais da instalação. Fatores esses como: descargas atmosféricas, umidade, vibração, altas temperaturas;
- c. Verificar a interface entre os equipamentos do sistema e as substâncias pois este fator pode trazer o início e propagação de incêndio, de explosão, sistemas de controle e parada de emergência;
- d. Realizar análise dos procedimentos de operação, testes, manutenção e de emergência tais como: dependências da confiabilidade humana, leiautes e acessibilidade de equipamentos, disponibilidade de equipamentos de proteção;
- e. Verificar a presença de dispositivos técnicos de segurança dentre eles sistemas de alívio, redundância, EPI, recursos para extinção de incêndios.

3. METODOLOGIA

3.1 Escolha do Sistema Operacional, linguagem de programação e ambiente de desenvolvimento

Segundo (Latifet et al, 2016), o uso de tecnologias móveis está aumentando em uma escala alarmante; em um período de um ano, o mercado de desenvolvimento de plataformas móveis cresceu substancialmente. Devido a isso, aplicativos móveis mais poderosos e eficientes são necessários para acompanhar essa tendência. O desenvolvimento desses

aplicativos requer conhecimentos específicos que vão desde a linguagem de programação (JAVA, Visual C#, etc..), categoria do aplicativo (nativo, baseado na web e híbrido) e tipos plataforma móvel (iOS, Android, etc...). Na Tabela 2 são apresentadas as diferenças entre as plataformas para dispositivos móveis levando em consideração a perspectiva do desenvolvedor. Levando em consideração a facilidade de entendimento da linguagem de programação e a agilidade de disponibilizar o aplicativo na loja de distribuição optou-se, por desenvolver o aplicativo para o sistema Android (Google). Com isso, a linguagem de programação escolhida deve ser JAVATM e o ambiente de desenvolvimento o Android Studio.

Entre as principais características e vantagens da linguagem JAVATM, se destacam: Suporte à orientação a objetos; Portabilidade; Segurança; Linguagem simples; Alta performance; Dinamismo; Interpretada (o compilador pode executar os bytecodes do Java em qualquer máquina) e Independência de plataforma (Hadjerroit, 1998).

O Android Studio (Figura 1) é o ambiente de desenvolvimento integrado (IDE) oficial para o desenvolvimento de aplicativos Android. Além do editor de código e das ferramentas de desenvolvedor avançadas, o Android Studio oferece recursos para auxiliar na hora da programação, como (Silva, 2017): a) sistema para realizar a compilação flexível com base no Gradle; b) emulador veloz contendo diversos recursos; c) ambiente unificado permitindo desenvolvimento de aplicações para todos os dispositivos; d) *Android Instant Run* que permite realizar alterações em aplicativos que estão em execução sem a necessidade de compilar um novo APK; e) disponibiliza diversos modelos de códigos e integração com *GitHub*; f) Ferramentas e estruturas de teste com diversas opções; g) ferramentas que permite a verificação de código suspeito; h) compatibilidade com C++ e NDK e; i) compatibilidade justaposta com o *Google Cloud Platform*.

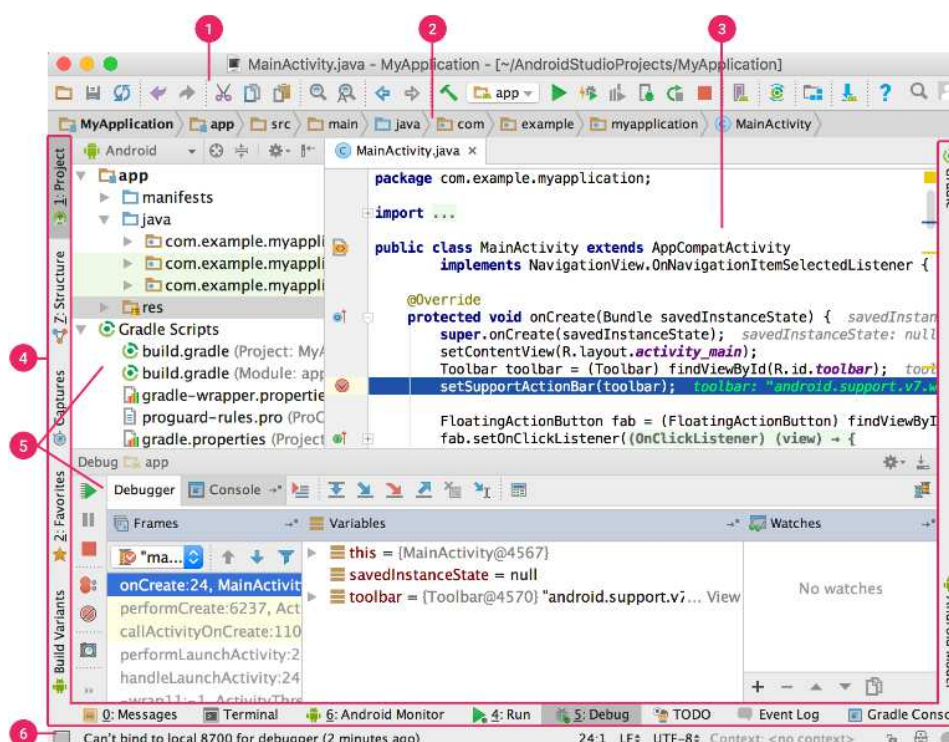


Figura 1 – Janela principal do Android Studio. NOTAS: 1- A barra de ferramentas; 2- A barra de navegação; 3- A janela do editor; 4- A barra de janela de ferramentas; 5- A janela das ferramentas; 6- A barra de status. (Developer, 2020).

Tabela 2 - Diferenças entre as plataformas para dispositivos móveis na visão do desenvolvedor (Latifet et al., 2016; Heitkötter, 2012)

SO ¹	LP ²	AD ²	Loja de aplicativos
Android (Google)	JAVA	Android Studio, AndroidSDK	Play Store
iOS (Apple)	Objective C/Swift	XCode	Apple i-Tunes
Windows phone (Microsoft)	Visual C#, C++	Visual Studio	Window Phone Market
RIM (BlackBerry)	JAVA	BlackBerry Plug-in for Eclipse	BlackBerryApps World

¹Sistema operacional; ²Linguagem de programação; ³Ambiente de desenvolvimento

3.2 Desenvolvimento do banco de dados

Para o desenvolvimento do aplicativo foi necessário a criação de um banco de dados contendo informações sobre o processo de produção de amônia sendo este banco de dados composto por uma tabela histórica de acidentes envolvendo amônia. Da tabela pode-se extrair dados como: região, atividade, frequência e principais causas dos acidentes. Também podemos extrair informações físico-químicas importantes como: toxicidade e inflamabilidade; e informações sobre os equipamentos, tais como: material de composição, dimensões, coeficientes de troca de calor e condutividade.

Essas informações são acessadas no aplicativo por meio do *Firestore*. O *Firestore* é uma plataforma de desenvolvimento de aplicativos para dispositivos móveis e Web. Dentro desta

plataforma existem algumas funcionalidades, como por exemplo, *FirestoreRealtimeDatabase*, que é um banco de dados NoSQL hospedado na nuvem que permite sincronizar e armazenar os dados dos usuários do *login* do aplicativo criado.

Confeccionou-se uma Planilha Preliminar de Perigos realizando uma análise qualitativa da frequência de ocorrência de eventos indesejáveis (Tabela 3), da severidade (Tabela 4) e dos riscos associados (Tabela 5 e 6). Assim, conforme os perigos são identificados e as causas aparecendo as medidas corretivas e preventivas são fundamentadas. Ao final da análise, uma série de recomendações e/ou mudanças são propostas, para que a indústria ou empresa evite o acontecimento indesejável.

Tabela 3 – Categorias de frequência (Sella, 2014)

Categoria	Denominação	Faixa de frequência (por ano)	Descrição
A	Extremamente remota	< 1 em 106 anos	Teoricamente possível, porém, extremamente pouco provável de ocorrer durante vida útil da planta ou equipamento
B	Remota	1 em 104 anos a 1 em 105 anos	Pouco provável de ocorrer durante vida útil da planta ou equipamento
C	Pouco provável	1 em 100 anos a 1 em 104 anos	Espera-se que ocorra pelo menos uma vez durante vida útil da planta ou equipamento
D	Provável	1 por ano a 1 em 100 anos	Espera-se que ocorra mais de uma vez durante vida útil da planta ou equipamento
E	Frequente	Até 1 por ano	Espera-se que ocorra muitas vezes durante vida útil da planta ou equipamento

Tabela 4 – Categorias de severidade (Sella, 2014)

Categoria/Denominação	Efeitos
I – Desprezível	Nenhum dano ou dano não mensurável
II – Marginal ou Limítrofe	Danos leves ao sistema, lesões leves em funcionários e terceiros. Os danos são leves e/ou de baixo custo de reparo
III – Crítica	Danos severos ao sistema, lesões graves em pessoas que estão fora da instalação, lesões de gravidade moderada em funcionários e em terceiros. Probabilidade remota de morte
IV – Catastrófica	Provoca morte ou lesões graves em uma ou mais pessoas. Danos irreparáveis a equipamentos ou instalações

Tabela 5 – Categorias de riscos (Sella, 2014)

Categoria	Sigla	Medidas tomadas
Tolerável	T	Sem necessidade de medidas adicionais. Apenas monitoração para que os controles sejam mantidos
Moderado	M	Deve-se avaliar a necessidade de controles adicionais com o objetivo de reduzir os riscos
Não tolerável	NT	Avaliar a necessidade de implantação de métodos para reduzir os perigos, diminuir magnitude dos riscos

Tabela 6 – Matriz de risco (Sella, 2014)

SEVERIDADE	FREQUÊNCIA					
		A	B	C	D	E
IV	M	M	NT	NT	NT	NT
III	T	M	M	NT	NT	NT
II	T	T	M	M	M	M
I	T	T	T	T	T	M

3.3 Desenvolvimento do aplicativo

A criação da APP foi baseada nos principais perigos envolvidos no processo de Haber-Bosch, pois além de pioneiro é um processo bastante utilizado atualmente, além de existirem diversos processos derivados do mesmo.

A APP foi construída com base nas operações unitárias que possuem maior inventário de amônia e com a maior incidência histórica de acidentes, sendo assim, as etapas abordadas do processo foram o reator de síntese, o armazenamento e o transporte do produto acabado. Foi utilizada uma análise preliminar de perigo para todos os eventos perigosos cujas falhas tenham origem na instalação em análise, considerando tanto as falhas intrínsecas de equipamentos, de instrumentos, materiais e erros humanos.

De acordo com Kletz (1992), é necessário levar em consideração para o desenvolvimento da APP os seguintes elementos: *Equipamentos e Materiais perigosos*: sistemas que possuem alta pressão e temperatura, substâncias tóxicas ou altamente reativas; *Fatores ambientais*: terremotos, maremotos, tornados; *Fatores externos*: vibrações, temperaturas excessivamente altas, raios e umidade; *Elementos de apoio a instalação*: armazenamento, equipamentos de teste, treinamento; *Segurança*: controladores e alarmes do processo, extintores, equipamentos de proteção pessoal; *Erros humanos*: na parte operacional e na manutenção; *Procedimentos*: de operação, teste, manutenção e parada, comissionamento e emergência; *Layout do processo*: disposição das máquinas, dos equipamentos de controle e de proteção a acidentes.

Visando abranger o processo como um todo e maximizar qualidade da análise, segundo De Cicco e Fantazzini (2003), alguns passos devem ser seguidos no desenvolvimento da APP: 1) Rever problemas conhecidos; 2) Revisar o processo; 3) Determinar os riscos principais; 4) Determinar os riscos iniciais e contribuintes; 5) Revisar os meios de eliminação ou controle dos riscos; 6) Analisar os métodos de restrição de danos e; 7) indicar os responsáveis pelas ações corretivas.

Como descrito anteriormente o banco de dados foi construído levando em consideração somente o processo de produção de amônia (uma versão preliminar do aplicativo) e é composto por diversas tabelas separadas por categoria de dados com base nas informações das Tabelas 3 a 6 e na Figura 2 é apresentado o fluxograma do funcionamento do aplicativo.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Ao inicializar o aplicativo o usuário se depara com a tela de credenciamento, Figura 3a, onde pode-se cadastrar no sistema e acessar a sua conta efetuando o login. O cadastro é criptografado no banco de dados gerando de um código

exclusivo para cada usuário, fazendo com que a conta e os dados de processo utilizados estejam protegidos.

No menu de análise, inicialmente, foi determinado o processo a ser analisado e um fluxograma de processo foi construído (Figura 3b). Para tal, opções de diferentes equipamentos estarão disponíveis, como reatores, tanques de armazenamento e o transporte de produto. Cada escolha de equipamento gera um sinal específico que será usado para confrontar as condições operacionais com a capacidade de cada equipamento.

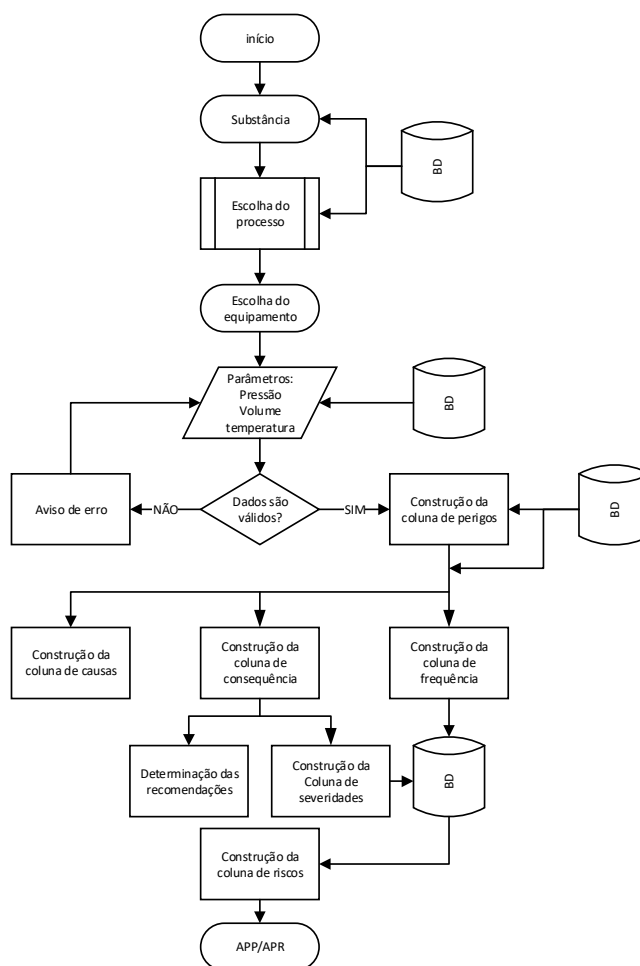


Figura 2 – Fluxograma de funcionamento do aplicativo

Uma vez escolhido o equipamento as principais condições de operação temperatura, pressão e volume são requisitadas (Figura 3c). Uma vez realizado o *input* das condições de operação uma série de verificações é feita para garantir a confiabilidade dos dados, por exemplo: para este processo não faz sentido o armazenamento de produto para o transporte estar a 1000 °C, nesse caso uma mensagem de aviso aparecerá para que o erro seja corrigido.

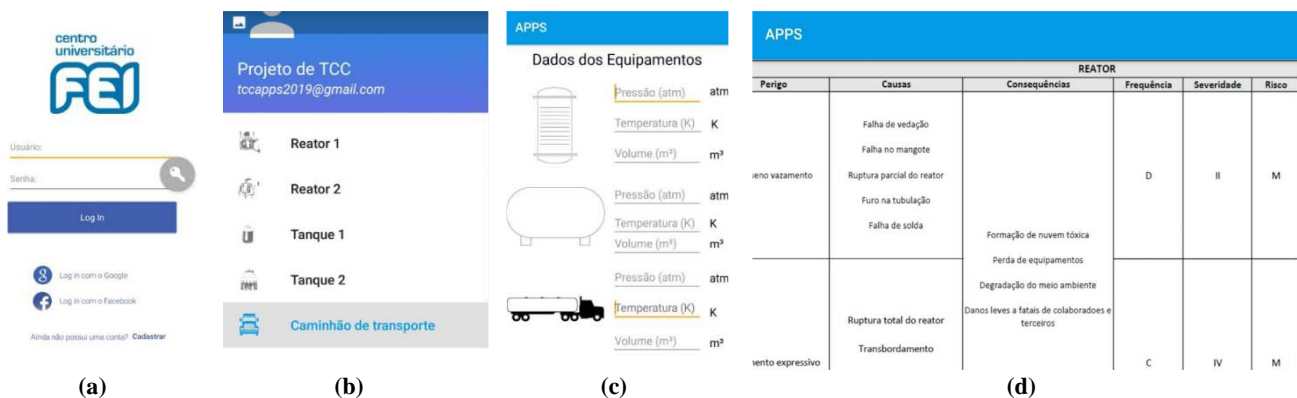


Figura 2 – Layout do aplicativo: (a) Tela principal de login; (b) Tela de seleção de equipamento; (c) Tela de entrada dos parâmetros do processo; e (d) exemplo de uma APP desenvolvida pelo aplicativo para o reator de síntese

Uma matriz de cálculos é gerada com o objetivo de determinar os perigos associados àquele equipamento dentro do processo estudado e a partir deste ponto a planilha começa a ser gerada (Figura 3d). Para cada tipo de perigo uma consulta é feita no banco de dados, utilizando o sinal gerado pelos equipamentos, para identificar quais são as principais causas mais prováveis para que aquele evento específico ocorra através de uma análise estatística e os resultados são separados em uma coluna da tabela final. Cada perigo carrega consigo uma consequência que automaticamente é carregada na coluna ao lado

A coluna de risco é uma combinação entre as colunas de frequência e severidade. A severidade é confrontada com uma tabela semelhante à Tabela 4, para o banco de dados as descrições dos efeitos foram substituídas por faixas de valores, cada perigo representa um valor que será posicionado dentro das faixas e para cada faixa o perigo recebe o valor numérico de 1 a 4 sendo que a menor severidade é representada pelo número “1” e a maior pelo número “4”.

De forma análoga o aplicativo usa uma tabela de frequência semelhante à Tabela 3, e para cada faixa de valores o perigo que estiver sendo analisado recebe uma letra de A até E, sendo “A” utilizado para poucas ocorrências e “E” para frequências mais altas de acidentes.

Dentro do banco de dados foi recriada a matriz de risco (Tabela 6) e para determinar o risco da operação o aplicativo multiplica os valores obtidos pelas matrizes de frequência e severidade. Caso a severidade tenha gerado o número “3” e a letra “C” calculada pela matriz de frequência, teremos como resultado 3C que na matriz de risco representa o código “M” para riscos moderados.

Por fim a coluna de recomendações é gerada com base nas colunas de causas e de consequências, gerando informações tanto para evitar as causas dos acidentes, como as melhores maneiras de lidar com as consequências caso o pior ocorra. A tabela final é gerada dentro do banco de dados e é extraída pelo aplicativo gerando uma visualização do resultado para o usuário.

Analisando os principais acidentes no processo da amônia, foram construídas três planilhas que possibilitaram fazer uma análise da APP gerada pelo aplicativo. As planilhas representadas pela Tabela A.1 (Apêndice A) fazem referência ao reator de síntese. Por operar a uma pressão de 450 atm e temperaturas acima de 450 °C o reator já oferece grande perigo,

caso algo saia dos padrões e as malhas de controle falhem, a catástrofe pode ser enorme.

As planilhas representadas pela Tabela A.2 (Apêndice A) são dedicadas aos perigos que envolvem o armazenamento, dado que é neste local onde existe a maior quantidade de amônia e o risco é iminente. Devido à toxicidade do elemento, o controle deve ser constante e não pode haver falhas.

O transporte do produto acabado é relacionado na Tabela A.3 (Apêndice A). Devido à alta demanda e a inviabilidades logísticas de algumas empresas, no Brasil o transporte de amônia habitualmente é feito de modo rodoviário, o que agrava ainda mais os perigos envolvidos.

Ao analisarmos as planilhas construídas, facilmente pode-se constatar que o processo de produção de amônia se trata de um processo altamente perigoso, pois possui severidade elevada em todos os tópicos abordados, deixando de possuir riscos não toleráveis apenas porque em alguns casos não possui uma frequência elevada.

5. CONCLUSÃO

O levantamento de dados e os gráficos construídos nos possibilitaram avaliar e identificar em quais locais ocorrem a maioria dos acidentes envolvendo amônia, apontando assim os setores e maiores perigos a serem abordados na APP. Essas considerações fizeram com que os pontos onde a APP fosse construída resultassem nos pontos mais críticos do processo, sendo eles, o transporte, o reator e armazenamento do produto acabado.

O aplicativo é capaz de realizar uma análise de perigos (baseado na técnica de APP) trazendo de uma forma mais prática uma APP totalmente preenchida, construída a partir da escolha do processo e condições operacionais, expondo de forma clara, rápida e visual os principais perigos, causas e recomendações que envolvem o processo, além disso, quando comparada a APP construída manualmente com a APP gerada pelo aplicativo, praticamente é apresentado um espelho de informações uma da outra, cumprindo o objetivo inicialmente traçado.

Mesmo com o aplicativo cumprindo seu objetivo, possíveis melhorias podem ser implementadas no futuro, por exemplo, a expansão do aplicativo para outros processos da indústria, informações de custos do processo, migração para outro sistema operacional ou até mesmo a inclusão de outras

ferramentas do setor de segurança, tanto qualitativas quanto quantitativas.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradem ao Centro Universitário FEI pelo apoio no desenvolvimento do trabalho. Destacam também que esse apoio é fundamental para o desenvolvimento científico.

REFERÊNCIAS

- BROUGHTON, E. The Bhopal disaster and its aftermath: a review. **Environmental Health**, v.4, p.1-6, 2005.
- DAVOUDIAN, K.; WU, J. S.; APOSTOLAKIS, G. The work process analysis model (WPAM). **Reliability Engineering and System Safety**, v.45, p.107-125, 1994.
- DE CICCO, F.; FANTAZZINI, M. L. M. **Tecnologias Consagradas de Gestão de Riscos**. São Paulo: QSP, 2003.
- DEVELOPER. **Conheça o Android Studio**. <https://developer.android.com/studio/intro?hl=pt-BR>. Acessado em: 01/11/2020.
- ERISMAN, J. W.; SUTTON, M. A.; GALLOWAY, J.; KLIMONT, Z.; WINIWARTER, W. How a century of ammonia synthesis changed the world. **Nature Geoscience**, v.1, p. 636-639, 2008.
- HOLMBERG, J. Risk follow up by probabilistic safety assessment-experience from a finish pilot study. **Reliability Engineering and System Safety**, v.53, p.3-15, 1996.
- HURST, N. W., YOUNG, S., DONALD, I., GIBSON, H., MUYSELAAR, A. Measure of safety management performance and attitudes to safety at major hazard sites. **Journal of Loss Prevention in the Process Industries**, v.9, n.2, p.161-172, 1996.
- KENNEDY, R.; KIRWAN, B. Development of a hazard and operability-based method for identifying safety management vulnerabilities in high risk systems. **Safety Sciences**, v.30, p.249-274, 1998.
- KHAN, F. I.; ABBASI, S. A. OptHazop na effective and optimum approach for Hazop study. **Journal of Loss Prevention in the Process Industries**, v.10, n.3, p. 191-204, 1997a.
- KHAN, F. I.; ABBASI, S. A. Accidenthazard index: A multi at tribute method for process industry hazard rating. **Process safety and environmental protection**, v.75, n.4, p.217-224, 1997b.
- KHAN, F. I.; ABBASI, S. A. Multivariate hazard identification and ranking system. **Process Safety Progress**, v.17, n.3, p.157-170, 1998a.
- KHAN, F. I.; ABBASI, S. A. Techniques and methodologies for risk analysis in chemical process industries. **Journal of Loss Prevention in the Process Industries**, v.11, p.261-277, 1998b.
- KHAN, F. I.; ABBASI, S. A. Inherently safer design based on rapid risk analysis. **Journal of Loss Prevention in the Process Industries**, v.11, p.361-372, 1998c.
- KLETZ, T. A. **HazOp and Hazan: Identifying and Assessing] Process Industry Hazards**.3rd ed. London. Institution of Chemical Engineers, 1992.
- LATIF, M.; LAKHRISSI, Y.; NFAOUT, E. H.; ES-SBAI, N. Cross platform approach for mobile application development: a survey. In: **2016 International Conferenceon Information Technology for Organizations Development (IT4OD)**, 2016.
- LEEMING, D. G.,SACCOMANNO, F. F. Use of quantified risk assessment in evaluating the risks of transporting chlorine by road and rail. **Transportation Research Record**, v.1430, p.27-35, 1994.
- MANNAN, S. **Lee's Process Safety Essentials Hazard Identification, Assessment and Control**. 1ª. ed. London: Butterworth-Heinemann, 2013.
- NICOLET-MONNIER, M. Integrated regional risk assessment: The situation in Switzerland. **International Journal of Environment and Pollution**, v.6, n.4-6, p.441-461, 1996.
- OJHA, M.; DHIMAN, A. K. Problem, Failure and Safety Analysis of Ammonia Plant: a Review. **International Review of Chemical Engineering**, v.2, n.6, p. 631-646, 2010.
- HADJERROIT, S. Java as First Programming Language: A Critical Evaluation. **ACM SIGCSE Bulletin**, v.30, n.2, p.43-47, 1998.
- HEITKÖTTER, H.; HANSCHKE, S.; MAJCHRZAK, T. A. Comparing cross-platform development approaches for mobile applications. In: **WEBIST 2012-8th International Conference on Web Information Systems and Technologies**, 2012.
- PAPAZOGLU, I. A.; NOIVOLIANITOU, Z.; ANEZIRIS, O.; CHRISTOU, M. Probabilistic safety analysis in chemical installation. **Journal of Loss Prevention in the Process Industries**, v.5, n.3, p.181-191, 1992.
- PATTABATHULA, V., RICHARDSON, J. Introduction to Ammonia Production. **Chemical Engineering Progress**, v.112, p. 69-75, 2016.
- PÉRILHON, P. Eléments méthodiques d'analyse des risques. **Phoebus**, v.12, p.31-49, 2000.
- RASMUSSEN, B.; WHETTON, C. Hazard identification on plant functional modelling. **Reliability Engineering & System Safety**, v.55, n.2, p.77-84, 1997.
- ROGERS, R. L. The RASE Project: Methodology for the Risk Assessment of Unit Operations and Equipment for use in Potentially Explosive Atmospheres. EU RASE Project no SMT4eCT97. **Library Area SAFETYNET**, Inburex GmbH Hamm, Allemagne, 2000.
- SCHLECHTER, W. P. G. Facility risk review as a mean to addressing existing risks during the life cycle of a process unit, operation or facility. **International Journal of Pressure Vessels and Piping**, v.66, n.1-3, p.387-402, 1996.
- SELLA, B. C. **Comparativo entre as técnicas de análise de riscos APR e Hazop**. Monografia (Especialização em

-
- Engenharia de Segurança do Trabalho), Universidade Tecnológica Federal do Paraná – UTFPR, Curitiba, 2014.
- TIXIER, J.; DUSSERRE, G.; SALVI, O; GASTON, D. Review of 62 risk analysis methodologies of industrial plants. **Journal of Loss Prevention in the Process Industries**, v.15, p. 291–303, 2002.
- TOOLA, A. Plant level safety analysis. **Journal of Loss Prevention in the Process Industries**, v.5, n.2, p.119–124, 1992.
- TROUTT, M. D.; ELSAID, H. H. The Potential Value of Saaty's Eigenvector Scaling Method for Short-Term Forecasting of Currency Exchange Rates. **SIAM Review**, v.38, p.650–654, 1996.
- TWEEDDALE, H. M.; CAMERON, R. F.; SYLVESTER, S. S. Some experiences in hazard identification and risk short listing. **Journal of Loss Prevention in the Process Industries**, v.5, n.5, p.279–288. 1992.

APÊNDICE A

Tabela A.1 – APP gerada pelo aplicativo para o reator de síntese

REATOR DE SÍNTESE						
Perigo	Causas	Consequências	Frequência	Severidade	Risco	Recomendações
Vazamento razoável	Falha de vedação nos tubos, válvulas e conexões Ruptura parcial do reator Furo na tubulação de reagentes e/ou produtos Falha na solda	Formação de nuvem tóxica Comprometimento dos equipamentos próximos ao tanque Degradação do meio ambiente Danos leves e fatais de colaboradores e terceiros Explosão	D	II	M	Modelar dispersão da nuvem tóxica Treinamento e orientação de colaboradores Manutenção periódica (teste de estanqueidade e hidrostática) Sensores e alarmes de segurança Aeração do ambiente Isolar de qualquer fonte de ignição
Vazamento expressivo	Ruptura total do reator Transbordamento Ruptura total na tubulação de reagentes e/ou produtos Falha na solda	Formação de nuvem tóxica Comprometimento dos equipamentos próximos ao tanque Degradação do meio ambiente Danos leves e fatais de colaboradores e terceiros Explosão	C	IV	M	Modelar dispersão da nuvem tóxica Treinamento e orientação de colaboradores Evacuação de locais residenciais próximos Manutenção periódica (teste de estanqueidade e hidrostática) Sensores e alarmes de segurança Aeração do ambiente Isolar de qualquer fonte de ignição
Explosão do reator	Aumento de pressão	Formação de nuvem tóxica Comprometimento dos equipamentos próximos ao tanque Danos leves e fatais de colaboradores e terceiros Perde da planta de produção Danos severos ao meio ambiente Comprometer habitação das redondezas	C	IV	NT	Modelar dispersão da nuvem tóxica Treinamento e orientação de colaboradores Evacuação de locais residenciais próximos Sistema controlador de pressão Manutenção periódica dos controladores Avaliar pressão de ruptura Modelar onda de choque Isolar de qualquer fonte de ignição
Comprometimento do sistema de refrigeração	Ruptura da camisa Falha no sistema de controle Ruptura e/ou falha de vedação nos tubos, válvulas e conexões Ineficiência do fluido refrigerante	Reação descontrolada no reator Perda de rendimento no processo Comprometimento de equipamentos Formação de poça Incidente com colaboradores Explosão	D	II	M	Bocais de contenção Modelar dispersão da poça Pavimentação da área Sistema de drenagem Manutenção periódica (teste de estanqueidade e hidrostático) Alarme de emergência

Tabela A.2 – APP gerada pelo aplicativo para o armazenamento

ARMAZENAMENTO DO PRODUTO ACABADO						
Perigo	Causas	Consequências	Frequência	Severidade	Risco	Recomendações
Vazamento razoável no tanque e periféricos	Falha de vedação nos tubos, válvulas e conexões Falha no mangote Ruptura parcial da esfera Furo na tubulação de envio ao armazenamento Falha na solda Furo na tubulação de envio ao transporte	Formação de nuvem tóxica Comprometimento dos equipamentos próximos ao tanque Degradação do meio ambiente Danos leves e fatais de colaboradores e terceiros	D	II	M	Modelar dispersão da nuvem tóxica Treinamento e orientação de colaboradores Manutenção periódica (teste de estanqueidade e hidrostático) Sensores e alarmes de segurança Aeração do ambiente
Vazamento expressivo	Ruptura total da esfera Transbordamento Ruptura total na tubulação de envio a esfera Falha na solda Ruptura total na tubulação de envio ao transporte	Formação de nuvem tóxica Comprometimento dos equipamentos próximos ao tanque Degradação do meio ambiente Danos leves e fatais de colaboradores e terceiros	C	II	M	Modelar dispersão da nuvem tóxica Treinamento e orientação de colaboradores Evacuação de locais residenciais próximos Manutenção periódica (teste de estanqueidade e hidrostática) Sensores e alarmes de segurança Aeração do ambiente
Explosão da esfera	Aumento de pressão	Formação de nuvem tóxica Comprometimento dos equipamentos próximos Danos leves e fatais de colaboradores e terceiros Perde da planta de produção Danos severos ao meio ambiente Comprometer habitação das redondezas	C	IV	NT	Modelar dispersão da nuvem tóxica Treinamento e orientação de colaboradores Evacuação de locais residenciais próximos Sistema controlador de pressão Manutenção periódica dos controladores Avaliar pressão de ruptura Modelar onda de choque

Tabela A.3 – APP gerada pelo aplicativo para o transporte do produto

TRANSPORTE DO PRODUTO						
Perigo	Causas	Consequências	Frequência	Severidade	Risco	Recomendações
Vazamento	Ruptura por tombamento Ruptura no caminhão por capotamento Falha mecânica no tanque, conexões, acessórios e instrumentos Falha no fechamento do tanque	Formação de nuvem tóxica Comprometimento dos equipamentos próximos ao tanque Degradação do meio ambiente Danos leves e fatais de colaboradores e terceiros	D	III	NT	Modelar dispersão da nuvem tóxica Treinamento e orientação de colaboradores Manutenção periódica
Explosão	Colisão	Formação de nuvem tóxica Danos leves e fatais de colaboradores e terceiros Perda do caminhão de transporte Danos severos ao meio ambiente Comprometimento da habitação nas redondezas	D	IV	NT	Modelar dispersão da nuvem tóxica Treinamento e orientação de colaboradores Evacuação de locais residenciais próximos Manutenção periódica Modelar onda de choque