



## AVALIAÇÃO DE RISCO TECNOLÓGICO DE PLANTAS DE PIRÓLISE PARA TRATAMENTO DE RESÍDUOS SÓLIDOS

DOI: <http://dx.doi.org/10.55449/conresol.6.23.XII-018>

Alex de Oliveira e Oliveira (\*), Mônica Regina da Costa Marques Calderari, Osório Thomaz

\*Universidade do Estado do Rio de Janeiro - UERJ.

### RESUMO

Nesse trabalho foi realizada uma análise do risco, de uma usina de pirólise de resíduos plásticos para uma comunidade vizinha. Para a análise de riscos foi elaborada uma maquete eletrônica com base em informações da literatura e normas de segurança vigentes. Foi utilizado o *software* Aloha para a modelagem dos cenários de dispersão de nuvem tóxica, nuvem inflamável e explosão em nuvem. Nos três cenários somente os trabalhadores não pertencentes ao quadro fixo da empresa estariam sujeitos a ameaça de morte. Para esse público o risco social de nuvem tóxica se enquadra como “risco a ser reduzido”, exigindo medidas mitigadoras. Os funcionários de uma empresa vizinha estariam sujeitos à ameaça de morte, porém estariam sujeitos a intoxicação com efeitos permanentes ou duradouros. O distanciamento de comunidades vizinhas é uma barreira de segurança importante para se evitar a ameaça de fatalidades ocasionadas por acidentes em usinas de pirólise. O risco individual fora das dependências da usina se atingiu nível considerado intolerável.

**PALAVRAS-CHAVE:** tratamento do resíduo sólido, pirólise, plástico, análise de risco

### ABSTRACT

In this work, a risk analysis of a plastic waste pyrolysis plant for a neighboring community was carried out. For the risk analysis, an electronic model was prepared based on information from the literature and current safety standards. Aloha software was used to model the dispersion scenarios of toxic cloud, flammable cloud and cloud explosion. In the three scenarios, only workers who do not belong to the company's permanent staff would be subject to death threats. For this public, the social risk of a toxic cloud is classified as a “risk to be reduced”, requiring mitigating measures. Employees of a neighboring company would be subject to the threat of death, but would be subject to intoxication with permanent or lasting effects. Distance from neighboring communities is an important safety barrier to avoid the threat of fatalities caused by accidents in pyrolysis plants. The individual risk outside the plant's premises has reached a level considered intolerable.

**KEY WORDS:** solid waste treatment, pyrolysis, plastic, risk analysis

### INTRODUÇÃO

No Brasil foram geradas cerca de 65 milhões de toneladas de resíduos sólidos urbanos (RSU) no ano de 2019, sendo 24,3% desse montante (15,7 milhões t) são compostas por plásticos. Nesse contexto, uma solução tecnológica que o mercado tem oferecido para tratamento de resíduos dos municípios é o processamento de RSUs por tecnologia de pirólise.

Os defensores da tecnologia de pirólise prometem, como vantagens, além de reduzir o volume de RSUs, transformá-los em combustíveis. A literatura indica a pirólise para o processamento de plásticos, mais especificamente aqueles à base de poliolefinas, e consiste, basicamente, em aquecer resíduos em atmosfera inerte de forma que, no caso de resíduos plásticos, a cadeia polimérica é fragmentada formando uma mistura de hidrocarbonetos. A depender do catalisador utilizado e dos parâmetros de processo a composição pode-se obter uma composição de hidrocarbonetos semelhante a gasolina, querosene ou óleo diesel, tudo isso a temperaturas de trabalho em torno de 500°C.

Essa mistura de produtos inflamáveis contidas num forno a alta temperatura naturalmente proporciona riscos que se mal gerenciado levar uma gama de acidentes como emissões fugitivas ou de nuvens tóxicas de BTEX (benzeno, etil-benzeno, tolueno, xileno) e hidrocarbonetos policíclicos aromáticos (HPAs), bem como incêndios e explosões. Há inclusive histórico de acidentes ocorrerem envolvendo o processo de pirólise de RSUs, com consequências graves como foi o



caso do ocorrido em Fürth (Alemanha) em 1998 que obrigou a evacuação de um bairro inteiro com e causando intoxicações leves em 50 pessoas entre funcionários e moradores (HACKETT et al, 2004; LEMANN, 2008; IPEC, 2020).

As legislações brasileiras pertinentes à tecnologia de pirólise, na verdade, foram pensadas para regular a tecnologia de incineração que é um processo muito diferente. Enquanto que num processo de incineração as reações ocorrem com excesso de oxigênio para garantir uma combustão completa, no processo de pirólise as reações ocorrem na ausência de oxigênio proporcionando riscos completamente diferentes.

### OBJETIVOS

Realizar uma análise de riscos tecnológicos às pessoas situadas nas imediações de uma usina de pirólise de resíduos plásticos.

### METODOLOGIA

Para modelar a área impactada será utilizado o software ALOHA v.5.4.7, desenvolvido pela USEPA (*United States Environmental Protection Agency*) em conjunto com a NOAA (*National Oceanic and Atmospheric Administration*).

Como até o momento não há no Brasil uma planta de pirólise em operação, optou-se por elaborar uma maquete 3D da planta de pirólise (Figura 1) para possibilitar a visualização dos componentes básicos que compõem a instalação, e assim poder efetuar a análise de risco. Essa maquete foi desenvolvida com base em informações obtidas a partir de catálogos de fornecedores e artigos científicos, assim como em alguns requisitos de segurança exigidos pela NR-13 (BRASIL, 1984).

De forma simplificada, o processo de pirólise compreende as seguintes etapas (Figura 1): os resíduos chegam à planta de pirólise, previamente selecionados (A); logo após esses resíduos são colocados na tremonha (B); e inseridos no forno através de um transportador helicoidal (C); os resíduos são aquecidos a temperaturas de 450 - 500°C no forno rotativo (D) em atmosfera de N<sub>2</sub>; os hidrocarbonetos gerados passam pelo *scrubber* (E) que retém a fração mais pesada de hidrocarbonetos, que desce para o tanque de óleo pesado (F); a fração mais leve é conduzida através dos condensadores (G) que são armazenados nos tanques de óleos leves (H). Os gases com cadeia C1-C4, podem ser recirculados para ajudar a alimentar a chama na câmara de combustão (I).

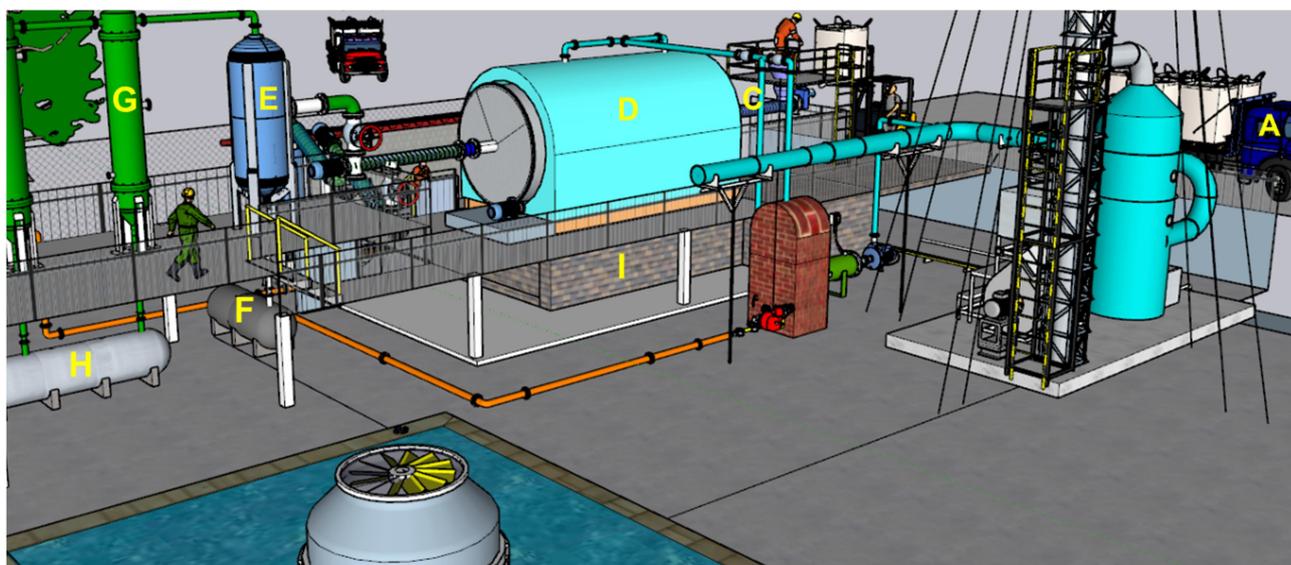


Figura 1. Vista da maquete eletrônica da planta de pirólise.

Fonte: Próprio autor, 2023

Os parâmetros utilizados para a planta de pirólise foram obtidos a partir de catálogos de fornecedores (

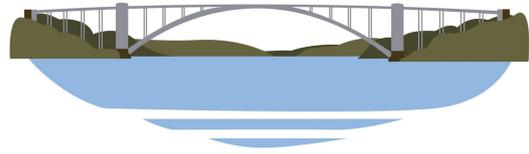


Tabela 1). A pressão máxima de trabalho do forno é de 6 atm. Está sendo adotado um fator de segurança de 3 vezes a pressão de trabalho segundo o recomendado por Guedes (2007).

**Tabela 1. Parâmetros da Planta de Pirólise**

Fonte: Próprio autor, 2023

Parâmetros	Valores	Fonte
Diâmetro (m)	2,8	WENSING et al 2018
Comprimento (m)	6,2	
Volume (m <sup>3</sup> )	38,2	Calculado
Volume (L)	38.176,6	
Material	Aço carbono Q235b - 6 mm	BRAZIL TRIANGLE, 2020
Temperatura	600°C	BRAZIL TRIANGLE, 2020
Aquecimento	Carvão, gás ou óleo	
Capacidade Máxima	10 Ton/dia (3,3 T/ batelada)	WENSING et al 2018
Rotação	0,4 RPM – 0,8 RPM	
Pressão de Trabalho	6 atm	
Fator de Segurança	3	
Pressão máx. de trabalho	6 atm x 3 = 18 atm	Estimado pelo autor
Duto de saída	Aço carbono Q235b - 6 mm, Ø 10"	
Bombas de recirculação de água	Bombas centrífugas	-
Operadores	Até 6	BRAZIL TRIANGLE, 2020

Foi determinado para a localização dessa planta o Centro de Tratamento de Resíduos (CTR) localizado no município de Seropédica/RJ. Os dados climatológicos foram obtidos da estação meteorológica automática (código A601) localizada na Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro (UFRRJ), mostrados na Tabela 2.

**Tabela 2. Dados climatológicos de Seropédica/RJ (2000-2020)**

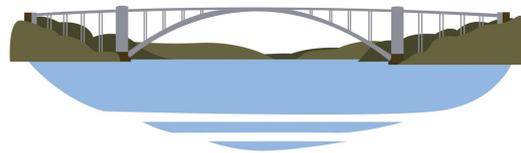
Fonte: BRASIL, 2021

Parâmetros	Valores	Fonte
Temperatura média	25°C	BRASIL (2021)
Velocidade do Vento Média	2 m/s	
Direção e frequência de vento	ESE – 1,2%	
Altura de medição da estação*	7,5 m	
Umidade	77,9%	
Inversão térmica	Sem inversão	
Insolação Média	4.600 ou 6.300 KJ/m <sup>2</sup>	Estimado pelo autor
Rugosidade do solo	Urbano ou Floresta	
Classe de Estabilidade	E	Determinado pelo ALOHA
Cobertura e nuvem	5/10	Estimado pelo autor

\*Estimado pelo autor por meio do Google Maps e projeção de sombras

Para representar a mistura de hidrocarbonetos foi escolhido n-nonano de acordo com o recomendado com a norma Cetesb P4.261 (CETESB, 2014) para óleo diesel.

Serão simulados os cenários de dispersão de nuvem tóxica, de nuvem inflamável e explosão em nuvem a partir de uma ruptura catastrófica do forno de pirólise que corresponde a uma avaria com diâmetro de 16 polegadas (API, 2008, p. 474). Para a ocorrência desse tipo de acidente será assumida uma pressão que exceda a pressão máxima de trabalho ou choque mecânico de grande intensidade.



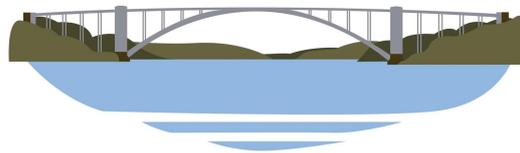
Para o cálculo de probabilidade de um acidente envolvendo a ruptura catastrófica do forno foram estruturados a partir de árvore de falhas, em que a combinação de duas ou mais probabilidades ou frequências se dá por meio da porta lógica “OU” em laranja ou da porta lógica “E” em azul (Figura 5). As portas OU e E são calculadas pelas equações (1) e (2), respectivamente:

$$P(A \cup B \cup C) = 1 - [(1 - P_A) \cdot (1 - P_B) \cdot (1 - P_C)] \quad \text{equação (1)}$$

$$P(A \cap B) = P_A \cdot P_B \quad \text{equação (2)}$$

As probabilidades ou frequências de falha adotadas são dadas na conforme a lista abaixo:

- **P01** - Essa probabilidade refere-se ao erro de remontagem em uma operação de manutenção preventiva. A falha ao executar uma política da planta ou tarefas programadas, como testes periódicos ou manutenções realizadas semanalmente, mensalmente ou em intervalos maiores **1,0E-02** (LEES, 2005, p.14/65).
- **P02** - Essa probabilidade se refere à alimentação do forno com aparas em tamanhos grandes o suficiente para causar obstrução na tubulação de saída do forno. Em condições normais de operação a falha em seguir um procedimento escrito é de 1,0E-02 (LEES, 2005, p.14/65). Ou essa falha também pode se dar devido a um procedimento escrito em que se omite a necessidade de reduzir as aparas a tamanhos adequados para a operação do forno 3,0E-03 (LEES, 2005, p.14/65). Assumindo-se que um ou outro evento pode ocorrer será utilizada a soma dessas probabilidades que é **1,3E-02**.
- **P03** - Essa probabilidade refere-se a operação alinhamento das duas válvulas esfera posicionadas na saída do forno ou acionamento do sistema de purga. Para válvulas identificadas de forma clara e inequívoca, e que são parte de um grupo de duas ou mais válvulas semelhantes em um dos seguintes aspectos: tamanho e forma, estado ou presença de marcas a probabilidade de erro humano é de **3,0E-03** (LEES, 2005, p.14/66).
- **P09** - Na indústria do petróleo a probabilidade de colisão de um veículo com uma das linhas de um tanque esfera é de 1E-05 por ano (LEES, 2005, p.22/75). Na maquete eletrônica desenhada assumiu-se a presença de pelo menos dois veículos que são um dos caminhões que realizariam o transporte de resíduos plásticos para a planta de pirólise ao longo dos dias e pelo menos uma empilhadeira trafegando próximos ao forno. Nesse caso considera-se que a probabilidade de colisão seria de **2,0E-05**.
- **P10** - Para queda de aeronaves a soma de probabilidades é de 3,9E-05. Para a planta em questão a área considerada é mostrada abaixo e mede aproximadamente 800 m<sup>2</sup> ou 8,0E-4 Km<sup>2</sup> (HSE, 2012, p.81). Proporcionalmente à área ocupada pela planta, a probabilidade de queda de aeronaves é de **3,1E-08** por ano.
- **P11** - Um tipo de falha que pode ocorrer com válvulas de alívio é o travamento de modo que, em uma situação de pressão interna do recipiente acima da especificada, essa válvula **permaneça fechada**. Para esse tipo de falha a probabilidade é de 0,5x10<sup>-6</sup> por hora (HSE, 2012, p.35) ou **4,4E-03** por ano.
- **P12** - A omissão de uma etapa ou instrução importante de um procedimento formal ou *ad hoc* tem uma probabilidade de **3,0E-03** (LEES, 2005, p.14/75).
- **P18** - Como se trata de um processo contínuo o forno passará quase todo o tempo com resíduos plásticos a serem processados. Por esse motivo será considerada uma probabilidade de 100%, ou seja, **1,0E+00**.
- **P19** - A taxa de falha para válvulas esfera é de **5,0E-07** (HSE, 2012, p.35).
- **P20** - Para transportadores helicoidais a taxa de falha varia de 0,005 a 0,008 (KUMAR, 2019). Então será assumida a taxa de **8,0E-02**.
- **P30** - Para sensores de pressão a taxa de falha é de 1,41E-00 (LEES, p.APPENDIX 14/26).
- **P35** - De acordo com o portal Clima Tempo, os ventos podem ser classificados de acordo com a escala Beaufort. De acordo com essa escala, ventos de categoria 9 (75-88 Km/h) já são capazes de causar quedas de árvores e danos significativos à edificações (CLIMA TEMPO, 2023). A frequência de ventos desse tipo no município de Seropédica no ano de 2018 foi de **1,1E-04**.
- **P36** - A Cetesb (2014) preconiza a hipótese de ruptura catastrófica. Aquela norma dá a entender que para dutos uma “ruptura catastrófica” significa uma ruptura equivalente a 100% de diâmetro sem, no entanto, dar uma definição para vasos de pressão, como é o caso do forno de pirólise. O API (2008, p.474) estabelece que os orifícios em equipamentos são limitados a um diâmetro máximo de 16 polegadas (40,6 cm). A taxa de falha para uma ruptura catastrófica de um reator é de **1,0E-05** (HSE, 2012, p.30).
- **P39** - A probabilidade de ventos vindos da direção ESE é de 1,2% de acordo com o levantamento feito por meio de BRASIL (2021), ou seja, 1,2E-02.



O risco avaliado será avaliado por meio do critério de risco social com o auxílio da curva F-N

### RESULTADOS

Para toxicidade o *software* ALOHA expressa a gravidade de uma hipótese acidental segundo a classificação (PAC - *Protective Action Criteria for Chemicals*). O PAC-1, zona amarela, corresponde a efeitos não incapacitantes ou transitórios, reversíveis após o fim da exposição. O PAC-2, zona laranja, corresponde a efeitos irreversíveis, ou outros graves e duradouros ou uma capacidade de fuga comprometida. O PAC-3, zona vermelha, corresponde a efeitos à saúde potencialmente fatais ou morte.

A modelagem para dispersão de nuvem tóxica é mostrada na Figura 2. O quadrado vermelho corresponde ao limite das dependências da usina de pirólise. Como pode ser observado, uma dispersão de nuvem tóxica devido a uma ruptura catastrófica no tanque formaria uma zona vermelha, laranja e amarela a distâncias de 61, 197 e 241 m, respectivamente.

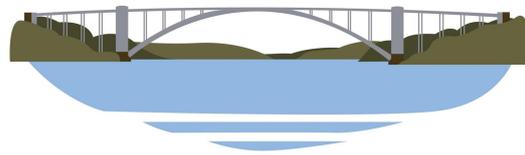


Figura 2. Dispersão de nuvem tóxica

A modelagem de dispersão de nuvem inflamável é mostrada na Figura 3. A zona vermelha, correspondentes limite inferior de inflamabilidade (LII), alcança uma distância de 51 metros. A zona amarela corresponde a 10% do LII e alcança uma distância de 10%.



Figura 3. Nuvem inflamável



A modelagem para a hipótese de explosão em nuvem é mostrada na Figura 4. A zona vermelha tem o potencial de 75% de fatalidade. Já a zona em laranja corresponde a uma sobrepressão de 0,1 bar que tem o potencial de 25% de fatalidade. O raio de impacto das zonas vermelha e laranja são de 24 m e 60 m, respectivamente.



**Figura 4. Explosão em nuvem**

Como pode ser observado nas modelagens, em nenhuma dos cenários ocorreria risco de morte na unidade vizinha, embora para nuvem tóxica e nuvem inflamável as zonas vermelhas tenham ultrapassado os limites da usina de pirólise. Estariam sujeitos a ameaça de morte os motoristas dos caminhões que abastecem as usinas com resíduos plásticos a serem processados. Para usina em estudo que tem uma capacidade de 10 T/dia, estima-se que deva ocorrer pelo menos duas entregas por dia, com uma permanência durante o descarregamento de 2 a 3 horas para um caminhão com capacidade para 6 T. Ou seja, em 17% do tempo haverá uma pessoa fora dos limites da empresa que poderá sofrer ameaça de morte. Além dos motoristas está sendo estipulado que ao longo do dia haja um fluxo de pessoas naquela área entre fornecedores, fiscais visitantes, etc.

Os funcionários da usina no mínimo 6 estariam o tempo todo sob ameaça de morte.

A estruturação da árvore de falhas é mostrada na Figura 5. Por meio dessa árvore foi possível chegar à probabilidade de uma ruptura catastrófica num forno de pirólise que é de  $4,06E-05$  que na ausência de uma fonte de ignição corresponde à probabilidade de ocorrência de nuvem tóxica.

Para a avaliação de risco será considerada apenas as zonas cujos acidentes considerados podem resultar em fatalidades de pessoas. Isto, é as zonas delimitadas em vermelho nas figuras a seguir.

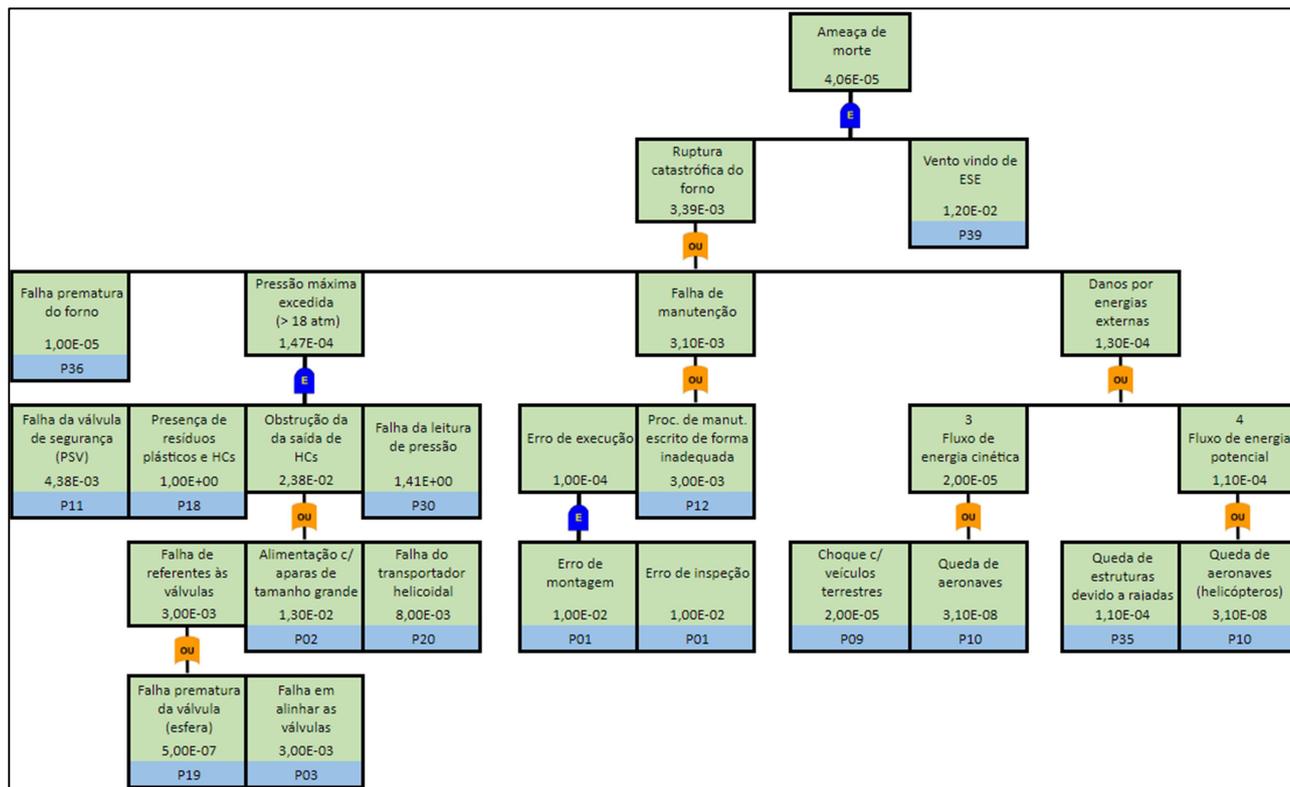
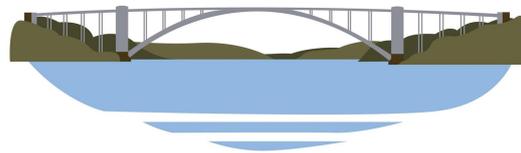


Figura 5. Árvore de falhas

A partir da formação de nuvem tóxica a mesma pode ignizar ou mesmo explodir, se houver uma fonte de ignição próxima.

Para o cenário de nuvem inflamável a recomenda aplicar a probabilidade de ignição de  $1,00E-02$  para substâncias inflamáveis o n-nonano que com ponto de fulgor  $31,1^{\circ}C$  (CETESB, 2004; 2019). A probabilidade de ocorrência de nuvem inflamável é, portanto, de  $3,39E-05$ . Como a frequência de vento na região ocupada é de  $1,20E-02$  a probabilidade da ameaça de morte será de  $4,06E-07$ .

Já para o cenário de explosão em nuvem a Cetesb (2014) recomenda a aplicação de uma probabilidade de ignição de  $4,00E-01$ . A probabilidade de explosão em nuvem é, portanto, de  $1,35E-03$ .

Tabela 3. Cenários de risco e exposições

Cenário	Número de terceiros expostos	Probabilidade de ocorrência fora da usina	Probabilidade de fatalidade para motoristas
Nuvem tóxica	2	$4,06E-05$	$6,91E-06$
Nuvem inflamável	2	$4,06E-07$	$6,91E-08$
Explosão em nuvem	-	$1,35E-03$	-

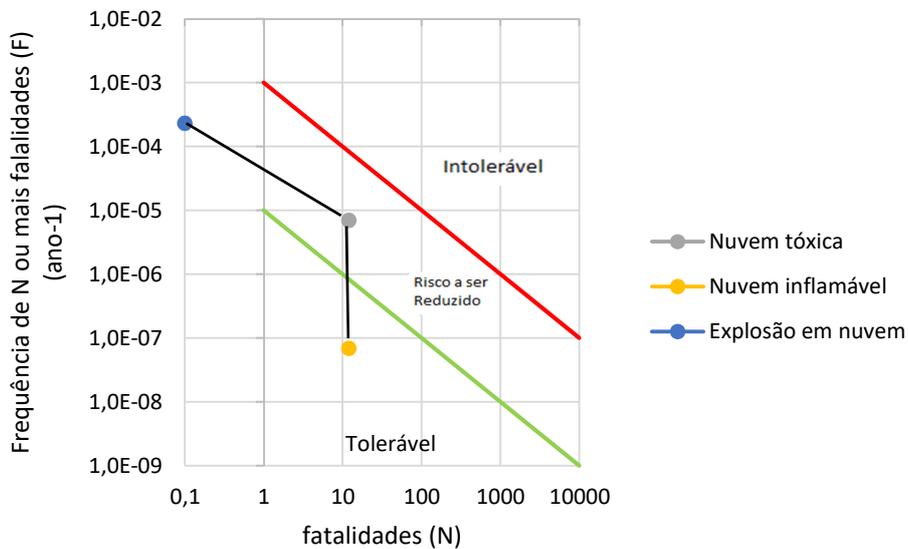
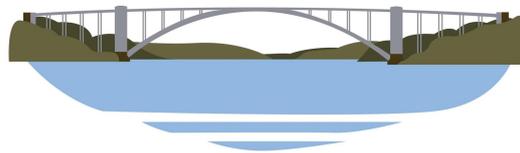


Figura 6 mostra como fica o risco social para cada cenário de risco. Como pode ser observado nessa figura o risco

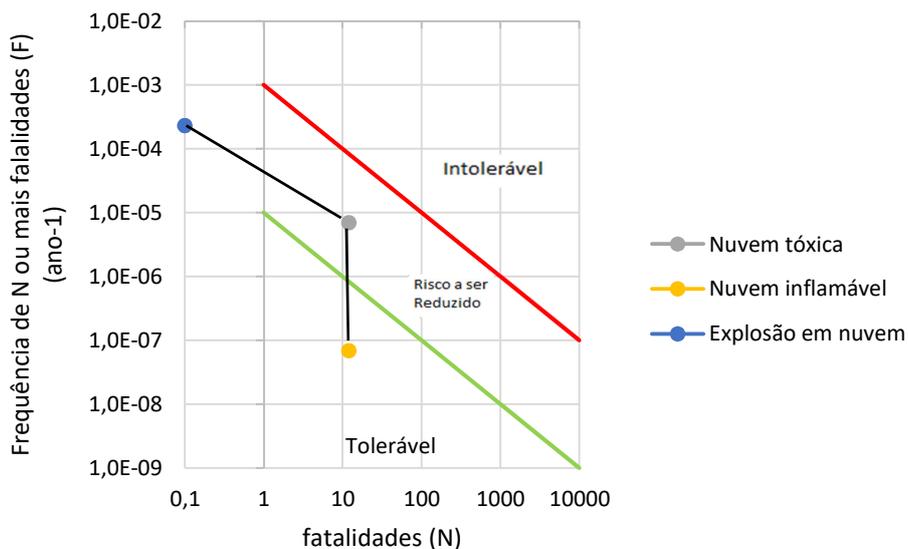
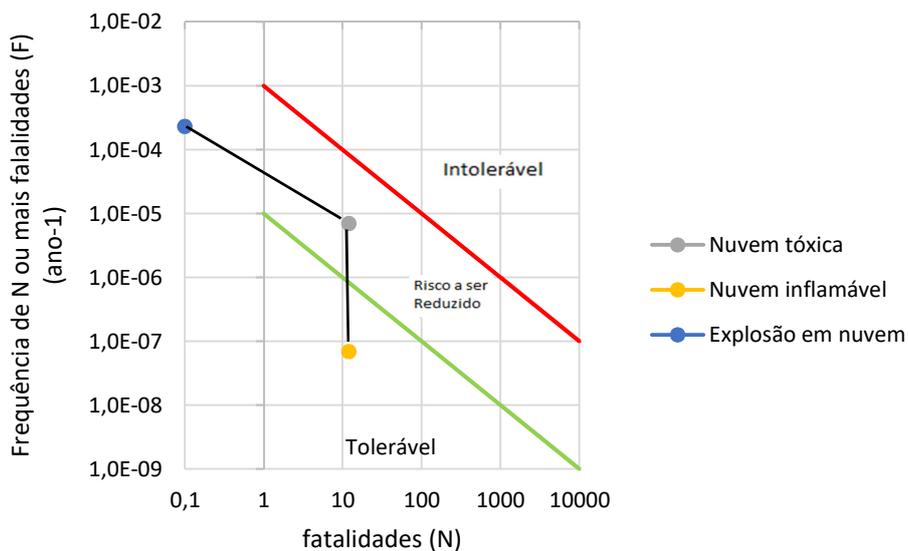
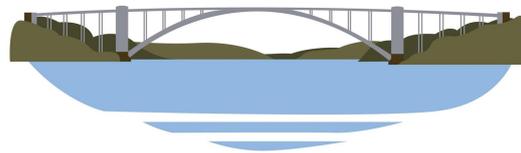


Figura 6. Risco social

Como pode ser observado na



**Figura 6**, para o cenário de nuvem tóxica o risco social fica na região de risco a ser reduzido, necessitando de medidas de mitigação. Já para o cenário de Nuvem inflamável, o risco fica na região tolerável. O risco de explosão em nuvem não afeta pessoas fora das dependências da usina.

A Figura 7 mostra as curvas de isorrisco para riscos individuais. De acordo com a usina proporcionaria um risco individual entre o anel verde e o rosa maior que  $1,0E-05$  que é considerado intolerável pela Cetesb (2014) fora das dependências da usina.



**Figura 7. Risco individual**

### CONCLUSÕES

De acordo o método utilizado os riscos de morte fora das dependências da empresa são limitados às pessoas prestadoras de serviço, entregadores fiscais, etc. Isso se deve ao fato de que área escolhida para a localização da usina de pirólise



atualmente é vizinha de pasto tendo. A maior aglomeração de pessoas é devido aos funcionários da Ciclus, gestora do CTR Seropédica, ficam abrigados na a oeste-noroeste da usina.

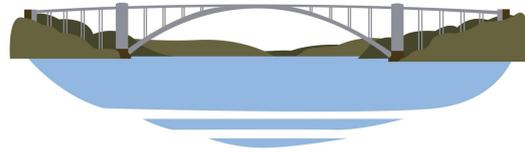
A distância existente em relação ao forno de pirólise proporciona uma barreira que protege essas pessoas de dos efeitos fatais. A exigência de uma distância mínima comunidades poderia ser uma exigência de segurança a ser introduzida em normas ainda inexistentes.

Mesmo estando a salvo de efeitos fatais os funcionários da Ciclus ficariam sujeitos a ameaças de efeitos nocivos à saúde. Segundo dados institucionais da Ciclus Ambiental a unidade de Seropédica conta com 411 funcionários e ocupa uma área de aproximadamente 36.000 m<sup>2</sup>. A área afetada por uma nuvem tóxica em concentrações capazes de causar danos irreversíveis ou duradouros à saúde humana abrangeria uma área aproximada de 7.000 m<sup>2</sup> naquela empresa. Assumindo que os funcionários da Ciclus fiquem espalhados homogeneamente na área da empresa isso poderia significar que cerca de 80 funcionários ficariam submetidos a esse tipo de risco.

Embora não tenha sido o escopo deste trabalho, vale ressaltar que para os funcionários da usina o risco de explosão em nuvem seria de 1,35E-03 o que é considerado alto. Se for tomado como referência o critério estabelecido pelo HSE (*Health and Safety Executive*) do Reino Unido que considera como intoleráveis riscos acima de 1,0E-03.

### REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Instituto Nacional de Meteorologia. **Dados históricos anuais**. Disponível em: <https://portal.inmet.gov.br/dadoshistoricos>. Acesso: 14 de janeiro de 2021.
2. BRASIL. Portaria N.º 02, de 08 de maio de 1984. **NR-13 Caldeiras e Recipientes Sob Pressão**, Brasília/DF, 08 maio 1984.
3. BRAZIL TRIANGLE **Projeto: Implantar CTR** - central de tratamento de resíduo classe II para processar até 500tpd. - Goianinha/RN [https://issuu.com/leticiavonsohsten/docs/caderno\\_-\\_projeto\\_brazil\\_triangle?issuu\\_product=document\\_page&issuu\\_context=action&issuu\\_cta=save\\_publication](https://issuu.com/leticiavonsohsten/docs/caderno_-_projeto_brazil_triangle?issuu_product=document_page&issuu_context=action&issuu_cta=save_publication). Acesso: 09 de maio de 2020.
4. COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO (CETESB). Norma Técnica P-4.261/03: **Manual de orientação para a elaboração de estudos de análise de riscos**. São Paulo: Cetesb, 2014.
5. COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO (CETESB). **Ficha de Informação de Produto Químico:** nonano. Disponível em: [https://sistemasinter.cetesb.sp.gov.br/produtos/ficha\\_completa1.asp?consulta=NONANO](https://sistemasinter.cetesb.sp.gov.br/produtos/ficha_completa1.asp?consulta=NONANO) >. Acesso em 08 de outubro de 2019.
6. GUEDES, E. **Procedimento Analítico Para Cálculo de Tensões Elásticas, em Interseções Ortogonais de Vasos de Pressão Cilíndricos**. Orientador: José Luis Drummond Alves e Eliane Maria Lopes Carvalho. 2007. 157 f. Tese (Doutorado) - Tese submetida ao corpo docente da coordenação dos programas de pós-graduação de engenharia da universidade federal do rio de janeiro, como parte dos requisitos necessários para a obtenção do grau de doutor em ciências em engenharia civil., Rio de Janeiro/RJ, 2007.
7. HARTFORD, D. N. D. Legal framework considerations in the development of risk acceptance criteria. **Structural Safety**, 31(2), 118–123, 2009.
8. LEES, F. P. (2005) **Lee's Loss Prevention in the Process Industries, volume 1** - Hazard Identification, Assessment and Control. 3rd Edition, Elsevier, Oxford, UK.
9. HACKETT, C., WILLIAMS, R. B., DURBIN, T. D., WELCH, W., PENCE, J., ALDAS, R., JENKINS, B. M. & SALOUR, D. (2004) **Evaluation of conversion technology processes and products**, 2004, University of California. (Final Report).
10. HEALTH AND SAFETY EXECUTIVE (HSE). **Failure rate and event data for use within risk assessments (28/06/2012)**. Disponível em: < <https://www.hse.gov.uk/landuseplanning/failure-rates.pdf> >. Acesso em 23 jan 2021.
11. INTERNATIONAL POWER ECOLOGY COMPANY (IPEC). **Pyrolysis plant disasters** 18/12/2014. Disponível em < <https://i-pec.ru/en/useful-info/pyrolysis-plant-disasters> >. Acesso em 09 de maio de 2020.



12. KUMAR, M. Application of Markov Modeling in soap making plant: A Case study. **International Journal of Electronics Engineering**. V.11, p.872-81, 2019.
13. LEMANN, M. F. **Waste Management**. 1. ed. Bern; New York: Peter Lang, 2008. 381p.
14. TCHIEHE, D. N., & GAUTHIER, F. Classification of risk acceptability and risk tolerability factors in occupational health and safety. **Safety Science**, 92, 138–147, 2017.
15. WENSING, C. S.; ELIAS, F. M.; MENDES, H. G.; INOCENTE, I. S.; THIESEN, K.; MARCON, P. G. **Projeto de viabilidade técnico-econômica da instalação de uma unidade industrial de pirólise de pneus**. Orientador: Prof. Esp. Diogo Quirino Buss. 2018. 386f. Trabalho de Conclusão de Curso (Engenharia Química) - Relatório Técnico/Científico apresentado ao Curso de Engenharia Química da Universidade do Sul de Santa Catarina como requisito parcial à aprovação da disciplina de Projetos de Engenharia, Tubarão/SC, 2018.