



**UNIVERSIDADE CATÓLICA DO SALVADOR  
SUPERINTENDÊNCIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO  
MESTRADO PROFISSIONAL EM PLANEJAMENTO AMBIENTAL**

**ANTONIO CARLOS SOUZA RAMOS**

**PERSPECTIVA DE ACIDENTE QUÍMICO AMPLIADO: O CASO DE  
MADRE DE DEUS - BA**

**Salvador  
2014**

**ANTONIO CARLOS SOUZA RAMOS**

**PERSPECTIVA DE ACIDENTE QUÍMICO AMPLIADO:  
O CASO DE MADRE DE DEUS – BA**

Dissertação apresentada ao Mestrado em Planejamento Ambiental da Universidade Católica do Salvador, como requisito parcial para a obtenção do Grau de Mestre.

Orientadora: Prof<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup> Junia K. Guimarães

**Salvador  
2014**

UCSal. Sistema de Bibliotecas

R175 Ramos, Antonio Carlos Souza.

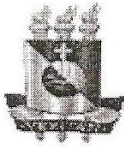
Perspectiva de acidente químico ampliado: o caso de Madre de Deus – BA/ Antonio Carlos Souza Ramos. – Salvador, 2014.  
158 f.

Dissertação (mestrado) - Universidade Católica do Salvador.  
Superintendência de Pesquisa e Pós-Graduação. Mestrado Profissional  
em Planejamento Ambiental.

Orientação: Profa. Dra. Junia K. Guimarães

1. Acidente Químico Ampliado - Terminal Petrolífero 2. Cenários  
Acidentais - Estudo 3. Risco Social e Risco Individual – Acidente  
Químico I. Título.

CDU 504.06:665.6(813.8)



**Universidade Católica do Salvador**

Superintendência de Pesquisa e Pós-Graduação  
Programa de Pós-Graduação em Planejamento Territorial e Desenvolvimento Social  
Mestrado Profissional em Planejamento Ambiental  
Homologado pelo CNE (Portaria Nº. 73, 17/01/2007)

**TERMO DE APROVAÇÃO**

**ANTÔNIO CARLOS SOUZA RAMOS**

***Perspectiva de acidente químico ampliado: o caso de Madre de Deus/BA***

Dissertação aprovada como requisito final para obtenção do grau de Mestre em Planejamento Ambiental.

Salvador, 16 de outubro de 2014.

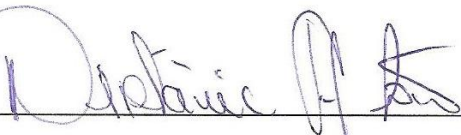
Banca Examinadora:

  
\_\_\_\_\_

PROFA. DRA. JUNIA KACENELENOGEN GUIMARÃES (ORIENTADORA)  
DOUTORA EM GEOLOGIA  
UNIVERSIDADE CATÓLICA DO SALVADOR - UCSAL

  
\_\_\_\_\_

PROF. DR. AMILCAR BAIARDI  
DOUTOR EM CIÊNCIAS HUMANAS - ECONOMIA  
UNIVERSIDADE CATÓLICA DO SALVADOR - UCSAL

  
\_\_\_\_\_

PROFA. DRA. MIRTÂNIA ANTUNES LEÃO  
DOUTORA EM CIÊNCIA E ENGENHARIA DE MATERIAIS  
INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO TECNOLÓGICA DO ESTADO DA BAHIA - IFBA

## DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho à minha mãe, Flora Ramos, pelo apoio e incentivo de quem sempre obtive quando foram necessários.

Em memória ao meu pai, Valdomiro Ramos, por ter me proporcionado tudo que precisei e que além de pai foi um grande amigo.

A minha eterna gratidão.

## **AGRADECIMENTOS**

Primeiramente agradeço a Deus por me proporcionar uma vida com saúde e pelas graças alcançadas.

O meu agradecimento a todos aqueles que direta e indiretamente incentivaram e colaboraram para o desenvolvimento deste estudo e em especial:

A toda minha família, esposa Rizia Ramos e filhos Rafael Rocha e Rafaela Ramos, com registro especial de um eterno agradecimento, para Ricardo Ramos e Bruno Rocha pela valiosa ajuda, quando necessária.

Aos meus irmãos Jorge Ramos, Sônia Ramos e Miriam Ramos pelo apoio e incentivo.

Ao amigo Paulo Felipe M. de Souza pela ajuda ao ceder os dados relativos aos parâmetros ambientais e meteorológicos da região em estudo.

A professora e orientadora Doutora Junia K. Guimarães pela valiosa colaboração e empenho para o desenvolvimento do presente trabalho.

E a equipe de professores do Mestrado Profissional em Planejamento Ambiental pelo valioso ensinamento transmitido em sala de aula.

*"O mundo é um lugar perigoso de se viver, não por causa daqueles que fazem o mal, mas sim por causa daqueles que observam e deixam o mal acontecer"*

*Albert Einstein (1879 - 1955)*

RAMOS, Antônio Carlos Souza. **Perspectiva de acidente químico ampliado: o caso de Madre de Deus – Ba.** 158 f. Dissertação (Mestrado em Planejamento Ambiental) Mestrado em Planejamento Ambiental.

## RESUMO

Este estudo tem por finalidade quantificar, analisar e avaliar os riscos e as consequências da possível ocorrência de um acidente químico ampliado, decorrente do sistema de transporte através de dutos com elevada temperatura e/ou pressão interna e armazenamento em tanque pressurizado e não pressurizado de petróleo e seus derivados, constituindo-se em sérios riscos para a população e o meio ambiente no entorno das instalações da indústria petrolífera, existente no município de Madre de Deus/BA. A partir da distribuição da população, das características meteorológicas e físicas da região, definidas as frequências para as ocorrências dos trinta e um eventos simulados componentes desse estudo, e estabelecida a caracterização dos demais efeitos físicos decorrentes de radiação térmica e de impulso de sobrepressão em ondas de choque e através da utilização de modelos de vulnerabilidade, foi possível estimar a probabilidade para a ocorrência de vítimas fatais, para cada um dos cenários acidentais simulados. O desenvolvimento das simulações dos trinta e um eventos foi feito com auxílio de sistema computacional. A meta principal do estudo foi identificar os impactos provenientes de acidentes maiores, afetando agrupamentos de pessoas das comunidades circunvizinhas das instalações industriais de transporte e armazenamento de combustíveis derivados do petróleo; por essa razão, o risco social é o índice prioritário neste estudo de avaliação e tem a curva de tolerabilidade risco F-N como seu principal indicador. A partir dos resultados obtidos para os riscos de ocupação dos equipamentos da indústria petrolífera no município, através do risco social (intolerável) e do risco individual (intolerável para a dutovia e ALARP para os tanques), e conforme comparação com os padrões da CETESB, concluiu-se que as instalações da indústria petrolífera existentes no município de Madre de Deus representam um elevado nível de riscos para a população externa residente no entorno dos equipamentos de transporte (dutos) e de armazenamento (esferas e tanques) para a probabilidade de ocorrência de acidente químico ampliado.

**Palavras-chave:** Acidente Químico Ampliado, Cenários Acidentais, Risco Social e Risco Individual



RAMOS, Antônio Carlos Souza. **Extended outlook for chemical accident: the case of Madre de Deus – Ba.** 158 f. Dissertation (MSc in Environmental Planning) Master in Environmental Planning.

### **ABSTRACT**

This study aims to quantify, analyze and evaluate the risks and consequences of the possible occurrence an expanded chemical accident caused by transportation systems through ducts at high temperatures and / or internal pressures and storage in pressurized and not pressurized oil and derivatives tanks, constituting a serious risk to people and the environment in the vicinity of the oil industry facilities, existing on Madre de Deus city / BA. Based on the population distribution, meteorological and physical characteristics of the region, defined frequencies for the occurrences of thirty one simulated events, and established the characterization of other physical effects arising from thermal radiation and pulse pressure in shock waves and through the use of different vulnerability, it was possible to estimate the probability for the occurrence of deaths for each accidental scenario simulated. The development of simulations of thirty one events was done with the assistance a computer system. The main goal of the study was to identify the impacts from major accidents, affecting groups of people from the surrounding communities of the industrial facilities of transport and storage of petroleum fuels; for this reason, the social risk is the priority index in this evaluation study and has the risk tolerance curve F-N as it's main indicator. Based on the results obtained for the risk of occupation of the equipment of the oil industry in the city, through social risk (intolerable) and individual risk (intolerable to the pipeline and ALARP for tanks), and as compared to the standards of CETESB, it is concluded that the site of the oil industry in the Madre de Deus city, incur a high level of risk to foreign population residents in the vicinity of transport facilities (pipeline) and storage (tanks and spheres) to the probability of occurrence of an accident chemical amplified.

**Keywords:** Large Chemical Accident, Accidental Scenarios, Social and Individual Risk.

## LISTA DE FIGURAS

|  |    |
|--|----|
| Figura 1: Localização do município de Madre de Deus.....   | 20 |
| Figura 2: Localização de Madre de Deus em relação à RLAM .....   | 22 |
| Figura 3: Liberação de gás inflamável com formação de nuvem .....  | 29 |
| Figura 4: Isopletras de massa inflamável entre LSI e LII.....  | 30 |
| Figura 5: Estimativa de vítimas para cálculo do risco social .....   | 33 |
| Figura 6: Distribuição dos acidentes por produto .....   | 44 |
| Figura 7: Distribuição dos acidentes por atividade operacional.....  | 45 |
| Figura 8: Distribuição dos acidentes por tipo de falha.....  | 47 |
| Figura 9: Distribuição da tipologia acidental.....   | 49 |
| Figura 10: Localização das áreas de ocupação dos equipamentos .....  | 58 |
| Figura 11: Tancagem do TEMADRE no Parque do Suape .....  | 59 |
| Figura 12: Tancagem do TEMADRE no Parque Maria Quitéria.....   | 60 |
| Figura 13: Tancagem do TEMADRE na Fábrica de Asfalto .....   | 61 |
| Figura 14: Tancagem do TEMADRE no Parque do Mirim e Píer .....   | 62 |
| Figura 15: Trecho da faixa de domínio da dutovia .....   | 64 |
| Figura 16: Polígono de ocupação da população no entorno do Parque do Suape e do<br>Parque Maria Quitéria ..... | 77 |
| Figura 17: Polígono de ocupação da população no entorno da Fábrica de Asfalto I<br>(FASF I).....               | 79 |
| Figura 18: Polígono de ocupação da população no entorno da Fábrica de Asfalto II<br>(FASF II).....             | 80 |
| Figura 19: Polígono de ocupação da população no entorno do Parque do Mirim .....                               | 81 |
| Figura 20: Árvore de evento padrão para grandes vazamentos.....  | 84 |
| Figura 21: Critério de tolerabilidade de risco social.....   | 92 |
| Figura 22: Critério de tolerabilidade de risco individual .....  | 93 |
| Figura 23: Critério de tolerabilidade de risco individual para dutos .....                                     | 93 |

|   |     |
|---|-----|
| Figura 24: Traçado da dutovia no município .....                              | 96  |
| Figura 25: Ocupação da população em relação à dutovia .....                   | 100 |
| Figura 26: Evento EI-01 (Grande vazamento nos dutos de GLP) .....             | 101 |
| Figura 27: Evento EI-03 (Grande vazamento dutos de óleo) .....                | 101 |
| Figura 28: Evento EI-04 (Grande vazamento dutos de gasolina/nafta).....       | 102 |
| Figura 29: Evento EI-05 ( <i>BLEVE</i> e bola de fogo nos dutos de GLP) ..... | 102 |
| Figura 30: Risco social para evento EI-01.....                                | 104 |
| Figura 31: Risco social para evento EI-03.....                                | 105 |
| Figura 32: Risco social para evento EI-04.....                                | 105 |
| Figura 33: Risco social para evento EI-05.....                                | 106 |
| Figura 34: Curvas de risco individual para evento EI-01 .....                 | 111 |
| Figura 35: Curvas de risco individual para evento EI-03 .....                 | 111 |
| Figura 36: Curvas de risco individual para evento EI-04 .....                 | 112 |
| Figura 37: Curvas de risco individual para evento EI-05 .....                 | 112 |
| Figura 38: Áreas vulneráveis para evento EI-08 .....                          | 118 |
| Figura 39: Áreas vulneráveis para evento EI-17 .....                          | 119 |
| Figura 40: Áreas vulneráveis para evento EI-18 .....                          | 119 |
| Figura 41: Áreas vulneráveis para evento EI-19 .....                          | 119 |
| Figura 42: Áreas vulneráveis para evento EI-26 .....                          | 120 |
| Figura 43: Áreas vulneráveis para evento EI-28 .....                          | 121 |
| Figura 44: Isopleta para evento EI-17 (padrão dia).....                       | 123 |
| Figura 45: Isopleta para evento EI-18 (padrão dia).....                       | 124 |
| Figura 46: Isopleta para evento EI-19 (padrão dia).....                       | 124 |
| Figura 47: Isopleta para evento EI-26 (padrão dia).....                       | 125 |
| Figura 48: Isopleta para evento EI-28 (padrão dia).....                       | 125 |
| Figura 49: Isopleta para evento EI-17 (padrão noite).....                     | 128 |
| Figura 50: Isopleta para evento EI-18 (padrão noite).....                     | 128 |

|  |     |
|--|-----|
| Figura 51: Isopleta para evento EI-19 (padrão noite).....                                      | 129 |
| Figura 52: Isopleta para evento EI-26 (padrão noite).....                                      | 129 |
| Figura 53: Isopleta para evento EI-28 (padrão noite).....                                      | 130 |
| Figura 54: Risco social para evento EI-08.....   | 132 |
| Figura 55: Risco social para evento EI-17.....   | 132 |
| Figura 56: Risco social para evento EI-18.....   | 133 |
| Figura 57: Risco social para evento EI-19.....   | 133 |
| Figura 58: Risco social para evento EI-26.....   | 134 |
| Figura 59: Risco social para evento EI-28.....   | 134 |
| Figura 60: Curvas de Risco individual para evento EI-08.....                                   | 140 |
| Figura 61: Curvas de risco individual para evento EI-17.....                                   | 141 |
| Figura 62: Curvas de risco individual para evento EI-18.....                                   | 142 |
| Figura 63: Curvas de risco individual para evento EI-19.....                                   | 142 |
| Figura 64: Curvas de risco individual para evento EI-26.....                                   | 143 |
| Figura 65: Curvas de risco individual para evento EI-28.....                                   | 143 |
| Figura 66: Risco social para o município de Madre de Deus (padrão CETESB<br>P4.261, 2003)..... | 148 |
| Figura 67: Curvas de risco individual para o município de Madre de Deus.....                   | 151 |

## LISTA DE TABELAS

|  |    |
|--|----|
| Tabela 1: Acidentes com produtos .....   | 44 |
| Tabela 2: Acidentes por atividade operacional.....   | 45 |
| Tabela 3: Acidentes por tipo de falha .....  | 47 |
| Tabela 4: Tipologia acidental por produto em dutos, tanques e esferas .....  | 48 |
| Tabela 5: Vítimas de acidente com produto por tipologia acidental .....  | 49 |
| Tabela 6: Relação dos eventos com os respectivos cenários acidentais .....   | 56 |
| Tabela 7: Produtos armazenados no Parque do Suape.....   | 65 |
| Tabela 8: Produtos armazenados em esferas e tanques no Parque Maria Quitéria .                                     | 65 |
| Tabela 9: Produto armazenado em tanques na Fábrica de Asfalto.....   | 65 |
| Tabela 10: Produtos derivados do petróleo e álcool armazenados em tanques e esfera no Parque do Mirim .....        | 66 |
| Tabela 11: Produtos transportados por dutos .....  | 67 |
| Tabela 12: Características físico – químicas dos produtos manuseados no TEMADRE.....                               | 68 |
| Tabela 13: Substâncias puras compatíveis às substâncias derivadas do petróleo e álcool manuseadas no TEMADRE ..... | 69 |
| Tabela 14: Temperaturas médias do ar .....   | 71 |
| Tabela 15: Umidade média do ar .....   | 72 |
| Tabela 16: Direções do vento.....  | 73 |
| Tabela 17: Velocidades médias do vento.....  | 73 |
| Tabela 18: Condições atmosféricas padrão situação dia e noite .....  | 74 |
| Tabela 19: Parâmetro de rugosidade da superfície.....  | 75 |
| Tabela 20: Situação da população residente abrigada dia e noite .....  | 76 |
| Tabela 21: População no entorno do Parque do Suape e do Parque Maria Quitéria (dia e noite) .....                  | 78 |
| Tabela 22: População no entorno da Fábrica de Asfalto - FASF I (dia e noite) .....                                 | 79 |
| Tabela 23: População no entorno da Fábrica de Asfalto II – FASF II (dia e noite)....                               | 80 |

|   |     |
|---|-----|
| Tabela 24: População no entorno do Parque do Mirim (dia e noite) .....                                      | 81  |
| Tabela 25: Probabilidade de ignição imediata.....   | 85  |
| Tabela 26: Probabilidade de ignição retardada de nuvem em movimento.....                                    | 87  |
| Tabela 27: Dimensões definidas para cálculo na dutovia .....  | 95  |
| Tabela 28: Eventos de maior risco social médio .....  | 98  |
| Tabela 29: Níveis de vulnerabilidade para eventos EI-01, EI-03, EI-04 e EI-05.....                          | 103 |
| Tabela 30: Risco social por tipo de dano para eventos EI-01, EI-03, EI-04 e EI-05                           | 107 |
| Tabela 31: Risco social por tipo de acidente para eventos EI-01, EI-03, EI-04 e<br>EI-05.....               | 109 |
| Tabela 32: Risco individual médio para os eventos EI-01, EI-03, EI-04 e EI-05 .....                         | 115 |
| Tabela 33: Eventos acidentais gerando efeito dominó no Parque Maria Quitéria ...                            | 118 |
| Tabela 34: Níveis de vulnerabilidade para eventos EI-08, EI-17, EI-18, EI-19,<br>EI-26 e EI-28 .....        | 122 |
| Tabela 35: Dispersão de gás inflamável pesado constante a partir de poça<br>(padrão dia).....               | 127 |
| Tabela 36: Dispersão de gás inflamável pesado constante a partir de poça<br>(padrão noite) .....            | 131 |
| Tabela 37: Risco social por tipo de dano para eventos EI-08, EI-17, EI-18, EI-19,<br>EI-26 e EI-28 .....    | 136 |
| Tabela 38: Risco social por tipo de acidente para eventos EI-08, EI-17, EI-18,<br>EI-19, EI-26 e EI-28..... | 137 |
| Tabela 39: Risco individual médio para eventos EI-08, EI-17, EI-18, EI-19,<br>EI-26 e EI-28 .....           | 145 |
| Tabela 40: Risco individual médio para ocorrência acidental no município de<br>Madre de Deus.....           | 152 |

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

|               |  |
|---------------|--|
| <i>ALARP</i>  | <i>As Low As Reasonably Practicable</i>            |
| ANP           | Agência Nacional do Petróleo                       |
| <i>BLEVE</i>  | <i>Boiling Liquid Expanding Vapour Explosion</i>   |
| CETESB        | Companhia Ambiental do Estado de São Paulo         |
| CONAMA        | Conselho Nacional do Meio Ambiente                 |
| <i>DNV</i>    | <i>Det Norske Veritas</i>                          |
| EF            | Esfera   |
| EI            | Evento Iniciador                                   |
| FASF          | Fábrica de Asfalto                                 |
| GLP           | Gás Liquefeito de Petróleo                         |
| <i>HSE</i>    | <i>Health and Safety Executive</i>                 |
| IBGE          | Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística    |
| LII           | Limite Inferior de Inflamabilidade                 |
| LSI           | Limite Superior de Inflamabilidade                 |
| <i>MHIDAS</i> | <i>Major Hazards Incident Data Analysis System</i> |
| OIT           | Organização Internacional do Trabalho              |
| ONU           | Organização das Nações Unidas                      |
| PETROBRAS     | Petróleo Brasileiro S.A.                           |
| QAV           | Querosene de Aviação                               |
| RLAM          | Refinaria Landulpho Alves de Mataripe              |
| SESAU         | Secretária de Saúde                                |
| SIAB          | Sistema de Informação da Atenção Básica            |
| <i>SRD</i>    | <i>Safety and Reliability Directorate</i>          |
| TEMADRE       | Terminal de Madre de Deus                          |
| TQ            | Tanque   |
| TRANSPETRO    | Petrobras Transporte S.A.                          |
| <i>UVCE</i>   | <i>Unconfined Vapor Cloud Explosion</i>            |

# SUMÁRIO

|              |   |           |
|--------------|---|-----------|
| <b>1</b>     | <b>INTRODUÇÃO</b> .....   | <b>18</b> |
| 1.1          | LOCALIZAÇÃO E PRINCIPAIS CARACTERÍSTICAS .....                      | 19        |
| 1.2          | HISTÓRICO DE OCUPAÇÃO .....   | 22        |
| 1.3          | INSTALAÇÕES PETROLÍFERAS EM MADRE DE DEUS .....                     | 24        |
| 1.4          | RISCO DE ACIDENTE QUÍMICO AMPLIADO EM TERMINAL<br>PETROLÍFERO ..... | 27        |
| <b>1.4.1</b> | <b>Fatores determinantes de risco</b> .....                         | <b>27</b> |
| <b>1.4.2</b> | <b>Tipologias acidentais</b> .....                                  | <b>28</b> |
| <b>1.4.3</b> | <b>Dispersão de nuvem inflamável pesada constante</b> .....         | <b>29</b> |
| <b>1.4.4</b> | <b>Massa de gás inflamável formando a mistura ideal</b> .....       | <b>29</b> |
| <b>1.4.5</b> | <b>Efeitos físicos e tipos de danos</b> .....                       | <b>31</b> |
| 1.5          | CRITÉRIO DE ACEITABILIDADE DE RISCO .....                           | 31        |
| <b>1.5.1</b> | <b>Risco Social</b> .....   | <b>32</b> |
| 1.5.1.2      | Indicadores quantitativos do risco social .....                     | 34        |
| 1.5.1.3      | Risco social médio .....  | 35        |
| 1.5.1.4      | Curva F-N .....   | 35        |
| <b>1.5.2</b> | <b>Risco individual</b> .....                                       | <b>36</b> |
| 1.5.2.1      | Indicadores quantitativos do risco individual .....                 | 37        |
| 1.5.2.2      | Risco individual médio .....  | 37        |
| 1.5.2.3      | Contorno de risco individual .....                                  | 38        |
| <b>2</b>     | <b>OBJETIVOS</b> .....  | <b>39</b> |
| 2.1          | OBJETIVO GERAL .....  | 39        |
| 2.2          | OBJETIVO ESPECÍFICO .....   | 39        |
| <b>3</b>     | <b>REFERENCIAL TEÓRICO</b> .....                                    | <b>41</b> |
| 3.1          | ÁREAS VULNERÁVEIS .....   | 41        |
| 3.2          | ANÁLISE HISTÓRICA DE ACIDENTES .....                                | 42        |
| <b>3.2.1</b> | <b>Resultados da pesquisa ao MHIDAS</b> .....                       | <b>42</b> |
| <b>3.2.2</b> | <b>Registro acidental por produto</b> .....                         | <b>43</b> |
| <b>3.2.3</b> | <b>Registro acidental por atividade operacional</b> .....           | <b>45</b> |
| <b>3.2.4</b> | <b>Registro acidental por tipo de falha</b> .....                   | <b>46</b> |
| <b>3.2.5</b> | <b>Registro acidental por tipologia acidental</b> .....             | <b>47</b> |
| <b>4</b>     | <b>METODOLOGIA</b> .....  | <b>51</b> |
| 4.1          | CÁLCULO DAS FREQUÊNCIAS DOS CENÁRIOS ACIDENTAIS .....               | 53        |
| 4.2          | ANÁLISE DE VULNERABILIDADE .....                                    | 53        |
| 4.3          | PARÂMETROS UTILIZADOS NAS SIMULAÇÕES .....                          | 57        |
| 4.3.1        | Localização dos equipamentos no município .....                     | 57        |
| <b>4.3.2</b> | <b>Caracterização das instalações</b> .....                         | <b>58</b> |
| 4.3.2.1      | Parque do Suape e sumário do processo .....                         | 59        |
| 4.3.2.2      | Parque Maria Quitéria e sumário do processo .....                   | 60        |
| 4.3.2.3      | Fábrica de Asfalto e sumário do processo .....                      | 61        |
| 4.3.2.4      | Parque do Mirim e sumário do processo .....                         | 62        |



|               |   |            |
|---------------|---|------------|
| 4.3.2.5       | Dutovia .....   | 63         |
| <b>4.4</b>    | <b>Produtos envolvidos e quantidades movimentadas .....</b>                                     | <b>64</b>  |
| 4.5           | CARACTERÍSTICAS DOS PRODUTOS ARMAZENADOS E<br>TRANSPORTADOS .....                               | 67         |
| <b>4.5.1</b>  | <b>Propriedades físico - químicas e toxicológicas dos produtos .....</b>                        | <b>68</b>  |
| <b>4.5.2</b>  | <b>Compatibilidade entre as substâncias .....</b>   | <b>69</b>  |
| <b>4.5.3</b>  | <b>Propriedades físico - químicas das substâncias puras .....</b>                               | <b>69</b>  |
| 4.6           | PARÂMETROS METEOROLÓGICOS E AMBIENTAIS .....  | 70         |
| <b>4.6.1</b>  | <b>Dados meteorológicos .....</b>   | <b>71</b>  |
| 4.6.1.1       | Temperaturas médias do ar .....   | 71         |
| 4.6.1.2       | Temperatura do solo .....   | 72         |
| 4.6.1.3       | Umidade média do ar .....   | 72         |
| 4.6.1.4       | Direções do vento.....  | 72         |
| 4.6.1.5       | Velocidades médias do vento.....  | 73         |
| 4.6.1.6       | Categoria de estabilidade atmosférica .....   | 74         |
| 4.7           | ÁRVORES DE EVENTO AMBIENTAL PARA O DIA E PARA A NOITE ..  | 75         |
| 4.8           | TOPOGRAFIA DA REGIÃO - RUGOSIDADE DA SUPERFÍCIE.....  | 75         |
| 4.9           | POPULAÇÃO ABRIGADA.....   | 76         |
| 4.10          | CONFIGURAÇÃO DA OCUPAÇÃO POPULACIONAL .....   | 76         |
| <b>4.10.1</b> | <b>População no entorno do Parque do Suape e do Parque<br/>Maria Quitéria.....</b>              | <b>77</b>  |
| <b>4.10.2</b> | <b>População no entorno da Fábrica de Asfalto – FASF .....</b>                                  | <b>78</b>  |
| <b>4.10.3</b> | <b>População no entorno do Parque do Mirim .....</b>  | <b>80</b>  |
| 4.11          | PARÂMETROS DAS HIPÓTESES ACIDENTAIS .....   | 81         |
| <b>4.11.1</b> | <b>Árvore de eventos .....</b>  | <b>82</b>  |
| 4.12          | NUVEM NÃO CONFINADA - INCÊNDIO OU EXPLOSÃO .....  | 84         |
| <b>4.12.1</b> | <b>Probabilidade de ignição .....</b>   | <b>84</b>  |
| 4.13          | EXPLOSÃO MULTI ENERGIA .....  | 88         |
| 4.14          | DETERMINAÇÃO DO TERMO FONTE PARA DISPERSÃO .....  | 88         |
| 4.15          | ÁREAS VULNERÁVEIS .....   | 89         |
| 4.16          | ANÁLISE QUANTITATIVA DE RISCOS.....   | 89         |
| <b>4.16.1</b> | <b>Padrões de tolerabilidade de risco .....</b>   | <b>91</b>  |
| 4.16.1.1      | Padrão e tolerabilidade para risco social.....  | 91         |
| 4.16.1.2      | Padrão e tolerabilidade para risco individual .....   | 92         |
| 4.16.1.3      | Padrão e tolerabilidade para risco individual para duto .....                                   | 93         |
| 4.16.1.4      | Legenda Das Figuras Do Risco Individual.....  | 94         |
| <b>4.16.2</b> | <b>Critério para aprovação das instalações do terminal marítimo .....</b>                       | <b>94</b>  |
| <b>4.16.3</b> | <b>Faixa de domínio da dutovia em relação à população.....</b>                                  | <b>95</b>  |
| <b>5</b>      | <b>DISCUSSÃO DOS RESULTADOS.....</b>  | <b>97</b>  |
| 5.1           | ESTUDO DOS CENÁRIOS ACIDENTAIS PARA OS EVENTOS DE<br>MAIOR RISCO SOCIAL MÉDIO.....              | 99         |
| 5.2           | EVENTOS SIMULADOS NA DUTOVIA (EI-01, EI-03, EI-04 E EI-05).....                                 | 99         |
| <b>5.2.1</b>  | <b>Área vulnerável para eventos (EI-01, EI-03, EI-04 e EI-05) .....</b>                         | <b>100</b> |
| 5.3           | RISCO SOCIAL PARA EVENTOS (EI-01, EI-03, EI-04 E EI-05) .....                                   | 104        |
| <b>5.3.1</b>  | <b>Análise comparativa do risco social para eventos (EI-01, EI-03,<br/>EI-04 e EI-05) .....</b> | <b>106</b> |
| 5.3.1.1       | Risco social por tipo de dano .....   | 107        |

|         |  |            |
|---------|--|------------|
| 5.3.1.2 | Risco social por tipo de acidente.....   | 108        |
| 5.4     | RISCO INDIVIDUAL PARA EVENTOS (EI-01, EI-03, EI-04 E EI-05) ....   | 110        |
| 5.4.1   | <b>Risco individual médio para eventos (EI-01, EI-03, EI-04 e EI-05)....</b>                                   | <b>114</b> |
| 5.4.2   | <b>Avaliação dos riscos e das consequências para eventos (EI-01, EI-03, EI-04 e EI-05).....</b>                | <b>115</b> |
| 5.5     | EVENTOS SIMULADOS NAS ESFERAS E NOS TANQUES DEARMAZENAMENTO.....   | 116        |
| 5.5.1   | <b>Simulação de BLEVE e bola de fogo nas esferas EF-7204/EF-7205</b>   | <b>117</b> |
| 5.5.2   | <b>Eventos EI-08, EI-17, EI-18, EI-19, EI-26 e EI-28.....</b>  | <b>118</b> |
| 5.5.3   | <b>Vulnerabilidade aos efeitos acidentais.....</b>   | <b>121</b> |
| 5.5.4   | <b>Dispersão de gás inflamável pesado a partir de poça: padrão dia ..</b>                                      | <b>123</b> |
| 5.5.4.1 | Distâncias alcançadas pela nuvem de gás inflamável.....  | 126        |
| 5.5.5   | <b>Dispersão de gás inflamável a partir de poça: padrão noite .....</b>  | <b>127</b> |
| 5.5.5.1 | Distâncias alcançadas pela nuvem de gás inflamável.....  | 130        |
| 5.5.6   | <b>Risco social para os eventos EI-08, EI-17, EI-18, EI-19, EI-26 e EI-28 .....</b>                            | <b>131</b> |
| 5.5.6.1 | Avaliação do risco social para eventos (EI-08, EI-17, EI-18, EI-19, EI-26 e EI-28) .....                       | 135        |
| 5.5.6.2 | Risco social por tipo de dano .....  | 135        |
| 5.5.6.3 | Risco social por tipo de acidente.....   | 137        |
| 5.5.7   | <b>Risco individual para eventos (EI-08, EI-17, EI-18, EI-19, EI-26 e EI-28).....</b>                          | <b>139</b> |
| 5.5.7.1 | Risco individual médio para eventos (EI-08, EI-17, EI-18, EI-19, EI-26 e EI-28).....                           | 144        |
| 5.5.8   | <b>Avaliação dos riscos e das consequências para eventos (EI-08, EI-17, EI-18, EI-19, EI-26 e EI-28) .....</b> | <b>145</b> |
| 6       | <b>RESULTADO E CONCLUSÃO DAS SIMULAÇÕES .....</b>  | <b>147</b> |
| 6.1     | RISCO SOCIAL PARA O MUNICÍPIO DE MADRE DE DEUS .....   | 147        |
| 6.2     | RISCO SOCIAL MÉDIO PARA O MUNICÍPIO DE MADRE DE DEUS ..  | 149        |
| 6.3     | RISCO INDIVIDUAL PARA O MUNICÍPIO DE MADRE DE DEUS .....   | 149        |
| 6.4     | RISCO INDIVIDUAL MÉDIO PARA O MUNICÍPIO DE MADRE DE DEUS .....   | 151        |
| 6.5     | AVALIAÇÃO DO RESULTADO DOS RISCOS .....  | 152        |
| 6.6     | CONCLUSÃO.....   | 153        |
|         | <b>REFERÊNCIAS.....</b>  | <b>155</b> |

## 1 INTRODUÇÃO

Este trabalho consiste em um estudo de caso para determinar as consequências e as vulnerabilidades na ocorrência de um acidente químico ampliado no município de Madre de Deus/BA, decorrente da ação de fogo ou outros colapsos em dutos a elevada pressão e temperatura e em tanques pressurizado e não pressurizado, destinados, respectivamente, ao transporte e ao armazenamento de produtos derivados do petróleo de constituição tóxica e inflamável, instalados em toda a extensão do ambiente urbano do município. O presente trabalho dá para uma reflexão sobre a responsabilidade ambiental devido as situações de riscos extremos a que está exposta a população do município de Madre de Deus, decorrentes das atividades da Petrobras Transporte S.A. (TRANSPETRO) e da Petróleo Brasileiro S.A. (PETROBRAS). A Convenção N° 174 da Organização Internacional do Trabalho (OIT) designa acidentes maiores ou acidentes ampliados como:

[...] todo evento inesperado, como uma emissão, um incêndio ou uma explosão de grande magnitude, no curso de uma atividade dentro de uma instalação exposta a riscos de acidentes maiores, envolvendo uma ou mais substâncias perigosas e que exponha os trabalhadores, a população ou o meio ambiente a perigo de consequências imediatas ou de médio e longo prazos (OIT, 1993).

O tráfego de cargas pesadas e perigosas no ambiente urbano, a existência de dutos aéreos e subterrâneos que transportam a elevada temperatura e pressão produtos perigosos que contornam a cidade, e a utilização de grandes áreas, que abraçam o centro urbano, para pátios de tanques pressurizados e não pressurizados para armazenamento de derivados de petróleo, são fatos que demonstram o desequilíbrio socioambiental em terra. No mar, devido às instalações do Terminal de Madre de Deus (TEMADRE), com denominação oficial Terminal Aquaviário Almirante Alves Câmara, operado pela TRANSPETRO, para carga e descarga de derivados de petróleo, processados pela Refinaria Landulpho Alves de Mataripe (RLAM), subsidiária da PETROBRAS, desdobra-se outro conjunto de impactos e de riscos extremos, tão decisivos para a vida da cidade quanto os de terra, configurando-se como tal a existência simultânea dos impactos e as situações de riscos extremos para a população em toda a extensão do município.

Os impactos decorrentes das atividades operacionais de transporte e armazenamento de substâncias derivadas de petróleo em ambiente urbano constituem-se em um sério risco à saúde e ao meio ambiente. Este trabalho faz um estudo exploratório dos riscos de um acidente químico ampliado com as consequências geradas pela explosão e/ou incêndio de equipamentos pressurizados que ocupam 50% da área do município para uma região densamente povoada que é a cidade de Madre de Deus/BA.

Localizado na extremidade sul do município de Madre de Deus, o TEMADRE, que atende a um regime contínuo operacional de 24 horas diárias, é considerado, atualmente, o segundo maior terminal de movimentação de produtos derivados de petróleo do Brasil, com capacidade operacional acima de 750 navios anualmente e capacidade para movimentar cerca de 21 milhões de metros cúbicos de petróleo, derivados de petróleo e álcool por ano, em operações de carga e descarga. (ANP Nº 4, 1998)

A TRANSPETRO tem implantado no município de Madre de Deus uma instalação de tanques que tem uma capacidade de armazenamento de 680.000 m<sup>3</sup> de petróleo, derivados de petróleo e álcool, e uma rede de dutos portuários com comprimento médio de 4,60 km, percorrendo o município em toda a sua extensão com diâmetros variando entre 06 polegadas a 34 polegadas, transportando por bombeamento, petróleo, derivados de petróleo e álcool. (ANP Nº 4, 1998)

## 1.1 LOCALIZAÇÃO E PRINCIPAIS CARACTERÍSTICAS

O município de Madre de Deus/BA, objeto deste estudo, localizado na região Norte da Baía de Todos os Santos é o menor município do estado da Bahia com área territorial de 11,141 km<sup>2</sup> (IBGE, 2002), e é subdividido em quatro macro áreas: Ilha de Madre de Deus, Ilha de Maria Guarda, Ilha das Vacas e Ilha do Capeta (Atol). O município tem uma população de 18.183 habitantes (IBGE, 2012) e densidade demográfica de 1.632,08 habitantes/km<sup>2</sup>. O município, que antes era um distrito de Salvador, foi elevado à categoria de município em 13 de junho de 1989 através da Lei Estadual Nº 5.016/89 (IBGE, 2013).

A Figura 1 mostra o mapa da localização geográfica do município de Madre de Deus na Baía de Todos os Santos e como um dos municípios integrantes da

Região Metropolitana de Salvador. O município encontra-se a uma distância, via terrestre, de 63 km de Salvador.

A sede municipal está localizada na ilha de Madre de Deus. Apenas 100 metros de distância a separa do continente com o qual é interligada através de uma ponte de concreto, construída no fim dos anos de 1950 para atender à implantação do terminal marítimo da PETROBRAS.

O acesso ao município é feito através da rodovia BA 523, passando pelos municípios limítrofes de Candeias e São Francisco do Conde, única via de acesso terrestre ao município, com extensão aproximada dentro da cidade de Madre de Deus de 4,6 km, e cujo traçado é paralela, em toda a sua extensão, à dutovia da TRANSPETRO.

Figura 1: Localização do município de Madre de Deus



Fonte: Koehne, 2007

A base da atividade econômica do município é eminentemente industrial, atrelada principalmente às atividades pelo TEMADRE, que tem a incumbência de escoar a produção gerada na RLAM para os estados do norte, sul e sudeste do país, além de exportar para países como Estados Unidos e Argentina, e receber produtos petrolíferos importados. Outras atividades econômicas desenvolvidas no município envolvem a pesca, o turismo e a agricultura de subsistência.

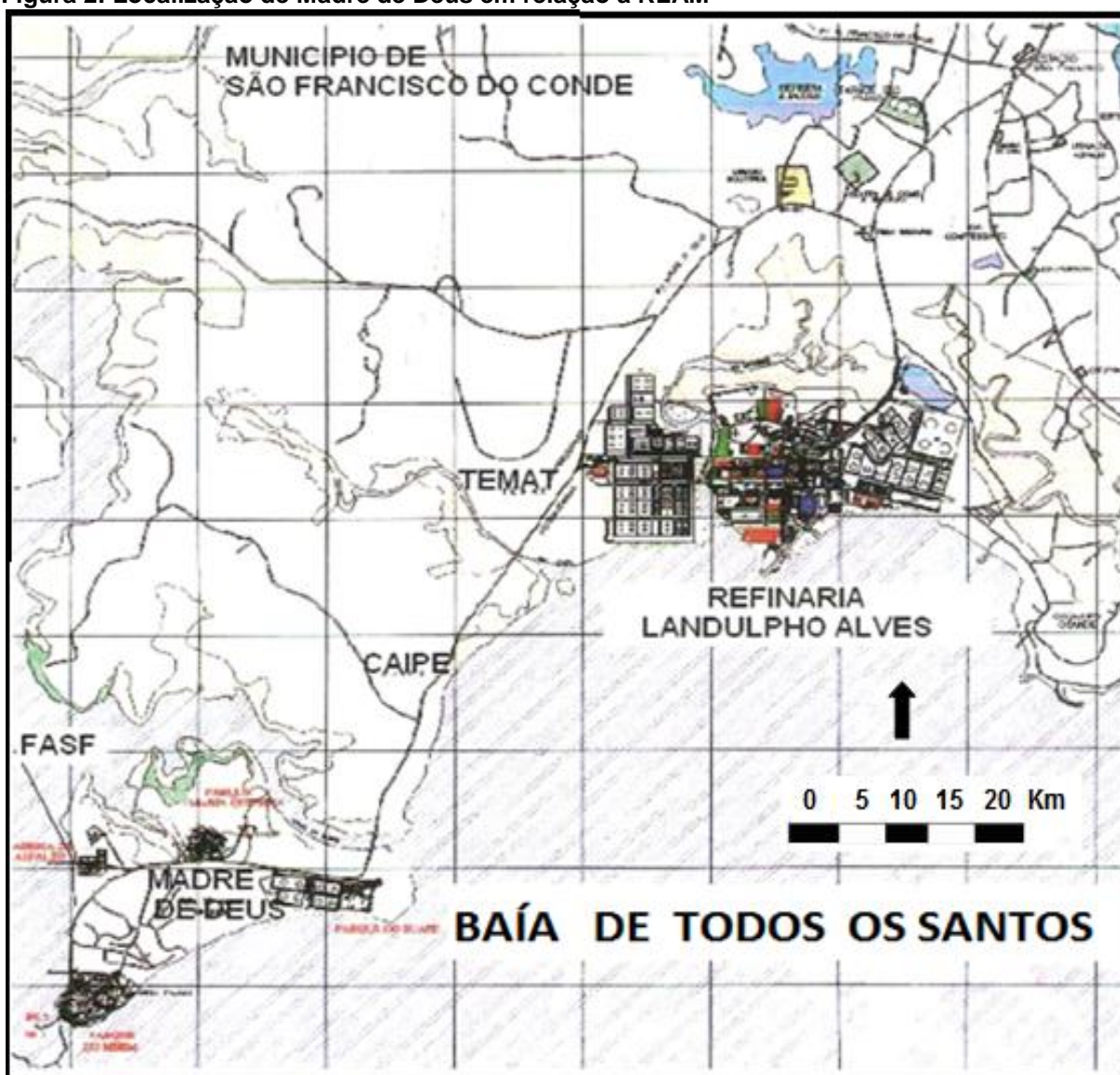
O TEMADRE é um terminal marítimo que tem como atividades a carga, a descarga e o armazenamento de petróleo, seus derivados, álcool e *bunkering*<sup>1</sup>, apoio portuário, tratamento de lastro, e o recebimento e transferência através de dutovia de produtos derivados petrolíferos e o álcool. É uma instalação que tem como objetivo assegurar a logística de distribuição dos derivados petrolíferos e álcool, estabelecendo a gestão das quantidades armazenadas como também as expedidas, objetivando garantir o fornecimento para diversas regiões a serem abastecidas.

A Figura 2 mostra o mapa ilustrativo da localização geográfica do município de Madre de Deus em relação à Baía de Todos os Santos, ao município fronteiriço de São Francisco do Conde e a proximidade com a RLAM com distância de 5,7 km da sede do município.

---

<sup>1</sup> *Bunkering* é uma atividade destinada ao abastecimento de navios de grande porte com óleo combustível marítimo.

Figura 2: Localização de Madre de Deus em relação à RLAM



Fonte: Plano de emergência local da UN-RLAM, Código PG-3AL-00316-K (Petrobras, 2001)

## 1.2 HISTÓRICO DE OCUPAÇÃO

A ilha de Madre de Deus era conhecida como Ilha de Cururupeba, em homenagem ao cacique tupinambá Cururupeba, que habitava a ilha, e que após anos de resistência foi derrotado pelas investidas dos colonizadores portugueses. A ilha era parte integrante de uma grande Capitania Hereditária de cinquenta léguas, doada por D. João III a Francisco Pereira Coutinho para exploração e colonização. (Histórias das Cidades, 2012).

No ano de 1559, os índios foram expulsos da Ilha de Cururupeba pelo então Governador Geral da Colônia, Mem de Sá, com a justificativa de praticarem canibalismo. A partir desse momento, a população que era composta apenas por indígenas, passou a ser formada quase unicamente por brancos e negros, e implantou-se nas ilhas próximas um sistema ocidental europeu que iria caracterizar os processos de ocupação, vigentes até hoje. Durante esta etapa de ocupação e colonização a ilha passou a ser denominada de Madre de Deus do Boqueirão. A primeira fonte de energia e riqueza a ser produzida foi o da cana de açúcar, plantada em todo o recôncavo baiano, o que fez com que a ilha se tornasse um ponto estratégico na rota marítima trazendo como resultado, o crescimento da Vila de Madre de Deus do Boqueirão. (Histórias das Cidades, 2012).

Na segunda metade da década de 1950, a PETROBRAS instalou na localidade de Mataripe, município de São Francisco do Conde, a Refinaria Landulpho Alves de Mataripe (RLAM). Devido à necessidade de escoar os excedentes produtivos de petróleo e derivados, para serem processados em refinarias de outras localidades, adotou-se o transporte marítimo e foi necessário implantar uma estrutura de logística que permitisse a recepção, armazenamento e a expedição marítima dos produtos petrolíferos refinados na RLAM. As características apresentadas pela ilha de Madre de Deus, tais como, localização estratégica em vista das proximidades com a refinaria, águas abrigadas por situar-se no interior da Baía de Todos os Santos e elevada profundidade marítima, foram determinantes para a instalação na Ilha de Madre de Deus do terminal marítimo, inaugurado em 10 de setembro de 1956, para atender as cargas e descargas de petróleo e derivados. (Histórias das Cidades, 2012).

A partir da década de 1960, houve uma grande demanda migratória, motivada pela oferta de empregos nas atividades de implantação da indústria petrolífera, acrescida na fase operacional, decorrente da busca por oportunidade de emprego permanente na indústria do petróleo, como também nas atividades econômicas secundárias relacionadas à indústria petrolífera. (Histórias das Cidades, 2012).

A partir desses êxodos migratórios, começaram a surgir diversos problemas ambientais, decorrentes da ocupação urbana desordenada e predatória da ilha, não só pela PETROBRAS, como também pelas demais empresas ligadas ao ramo petrolífero e a ocupação dos espaços por novas moradias. Na fase inicial da ocupação, foi dada preferência às áreas planas, em detrimento às áreas de encostas



e as áreas de charcos, motivadas pelas facilidades construtivas. Mas devido a pouca área disponível na ilha, essas áreas também foram posteriormente ocupadas. (Histórias das Cidades, 2012).

Caracterizada por essa forte ocupação da indústria do petróleo, segundo dados de contagem populacional do ano de 2007, realizada pelo IBGE, 96,8% da população do município vive em área urbana.

Quando na fase inicial da implantação da indústria petrolífera na ilha de Madre de Deus e regiões fronteiriças, os problemas ambientais eram considerados de pequena dimensão, devido à baixa densidade populacional e à baixa escala produtiva de refino petrolífero, sem que não se deixasse de considerar os riscos sempre presentes no processo produtivo da cadeia petrolífera. Na época da ocupação da ilha de Madre de Deus pela PETROBRAS, as exigências ambientais eram incipientes e o que prevalecia era a fumaça saindo das chaminés simbolizando desenvolvimento e avanço industrial. Na época, os impactos ambientais decorrentes do desenvolvimento econômico eram considerados um mal necessário, com a justificativa dos benefícios proporcionados pelo progresso. De acordo com HERCULANO (2010, p. 20):

[...] As atividades de prospecção e de exploração petrolífera são sabidamente altamente impactantes, positiva e negativamente: geram recursos de vulto e passivos ambientais de difícil mitigação. Ampliam e diversificam o mercado de trabalho, sendo fator de atração de migrações que irão pressionar por políticas públicas. Sua lógica de localização não vem de escolhas políticas, mas das condições geofísicas, inserindo-se muito frequentemente em municipalidades pobres e desiguais, onde são recebidas com as mais altas expectativas de trazerem o desenvolvimento, o bem-estar e a superação do quadro de desigualdades. [...]

### 1.3 INSTALAÇÕES PETROLÍFERAS EM MADRE DE DEUS

O município apresenta uma configuração de ocupação territorial em que 50% da área do município destina-se às instalações dos equipamentos da TRANSPETRO, composta do terminal marítimo, unidade de produção, equipamentos de armazenamentos pressurizados e não pressurizados e dutos pressurizados de transferências de petróleo e seus derivados e álcool. A população, composta por 18.183 habitantes (IBGE, 2012), eminentemente urbana, ocupa 33% da área do município, o que eleva a taxa de ocupação para 4.941,03 hab/km<sup>2</sup>,

configurando-se, portanto, como área de alta ocupação humana, demonstrando o quanto a indústria petrolífera supera a ocupação da área do município em detrimento da população residente.

O município de Madre de Deus vive hoje uma relação de tensão com as atividades industriais da TRANSPETRO, pelo fato de abrigar em toda a extensão do seu território estruturas complexas de equipamentos, destinados as atividades da indústria petrolífera, conforme relação da Agência Nacional do Petróleo (ANP Nº 4, 1998), composta de trinta e nove tanques cilíndricos verticais que armazenam petróleo, seus derivados e álcool, sete esferas que armazenam Gás Liquefeito de Petróleo (GLP), conhecido como gás de cozinha, e três tanques cilíndricos verticais para armazenamento de GLP refrigerado, além de uma dutovia aérea e subterrânea, que se estende ao longo do município transportando substâncias de elevados riscos a elevada pressão e temperatura. As condições operacionais desses equipamentos são potencialmente perigosas, envolvendo riscos significativos, devido à possibilidade de causar acidentes químicos ampliados, considerados catastróficos, decorrentes de vazamentos de substâncias tóxicas, explosão e incêndio, podendo causar grandes danos à população, devido à grande concentração dos estoques de substâncias tóxicas e inflamáveis armazenadas e transportadas no município.

De acordo com Valle e Lage (2003, p. 89): “[...] Os acidentes ambientais urbanos exercem grande impacto sobre a sociedade não somente devido a sua proximidade e ingerência sobre a vida de cada cidadão, como também pelo temor de que possam se repetir [...]”.

E complementando com Vasconcelos e Gomez (1997, p.13): “[...] o ‘choque do evento’ é responsável por consequências físicas ou psíquicas, com efeito imediato ou retardado [...]”.

Os riscos ambientais mais comuns da indústria petrolífera são explosão, incêndio, vazamento de gás do processamento e/ou armazenamento, transporte e manipulação de substâncias tóxicas, bem como a ocorrência de emissões evaporativas e fugitivas de poluentes provenientes dos tanques de armazenamento, do terminal de carga e descarga dos navios, do parque de carregamento de caminhões e transporte por dutos de produtos como, gasolina, óleo combustível, óleo lubrificante, GLP, petróleo, nafta, óleo diesel, Querosene de Aviação (QAV),

álcool, *bunker*<sup>2</sup>, parafina etc., que contaminam o ar, a água e o solo. Todos os produtos relacionados são tóxicos, inflamáveis e/ou explosivos. Dentre os poluentes gerados incluem-se: material particulado, compostos orgânicos voláteis, monóxido de carbono, óxidos de nitrogênio e de enxofre, além das emanações dos gases tóxicos provenientes dos processos de refino da RLAM.

De acordo com a Resolução CONAMA Nº 003/90, em seu Programa Nacional de Controle da Qualidade do Ar (PRONAR) no Art. 1º:

[...] São padrões de qualidade do ar as concentrações de poluentes atmosféricos que, ultrapassadas, poderão afetar a saúde, a segurança e o bem-estar da população, bem como ocasionar danos à flora e à fauna, aos materiais e ao meio ambiente em geral [...].

E no seu Parágrafo Único:

[...] Entende-se como poluente atmosférico qualquer forma de matéria ou energia com intensidade e em quantidade, concentração, tempo ou características em desacordo com os níveis estabelecidos, e que tornem ou possam tornar o ar: impróprio, nocivo ou ofensivo à saúde; inconveniente ao bem-estar público; danosos aos materiais, à fauna e flora; prejudicial à segurança ao uso e gozo da propriedade e às atividades normais da comunidade [...].

Como todo grande projeto, a implantação das estruturas do terminal petrolífero pela PETROBRAS em Madre de Deus provocou transformações rápidas, sobretudo radicais na organização territorial, demandando em profundas mudanças na formação populacional, na estrutura urbana, no quadro político e na cultura do município.

No entendimento de Sevá Fo (2012, p.9):

[...] Os vizinhos atuais da indústria estão entre os primeiros a serem atingidos; também eles podem se considerar - ou não - como prejudicados ou como vítimas, mas, de modo similar, lá onde eles moram e circulam, a poluição somente pode ser crescente, pois eles estão no entorno das instalações, dos estoques e dos trajetos. Não há possibilidade lógica da poluição entorno de uma refinaria ou de um terminal petrolífero ser decrescente ao longo do tempo, dela melhorar, pois as instalações se degradam e aumentam os riscos, e, mesmo que isso não ocorra, as sequelas das contaminações serão sempre cumulativas [...].

---

<sup>2</sup> *Bunker*, óleo combustível usado para propulsão de navio.

O município de Madre de Deus é um caso clássico que reúne injustiça social e ambiental. Em seu território existem algumas empresas e instalações industriais que convivem lado a lado com os moradores. No caso específico das instalações petrolíferas da TRANSPETRO e da PETROBRAS, consideradas de alto risco, os moradores convivem com os impactos ambientais e os riscos de catástrofes eminentes.

#### 1.4 RISCO DE ACIDENTE QUÍMICO AMPLIADO EM TERMINAL PETROLÍFERO

O risco de ocorrência de acidente químico ampliado em terminal petrolífero em área urbana é decorrente, principalmente, da manipulação de grande quantidade de produtos combustíveis derivados do petróleo através da transferência por dutos e de armazenamento em esferas e tanques. Constituindo-se, dessa forma, em atividade de grande risco e com perspectiva de gerar acidente químico ampliado ocasionando danos para a população residente e o meio ambiente no entorno das instalações petrolíferas.

##### 1.4.1 Fatores determinantes de risco

Partindo do princípio que toda atividade humana introduz riscos, não existe nenhuma forma de manuseio através de transporte e armazenamento de substâncias derivadas de petróleo e álcool que tenha risco nulo.

Toda instalação industrial, particularmente as indústrias petrolíferas, representa um determinado grau de risco para seus funcionários e para a população externa circunvizinha. No âmbito desse estudo, o risco está diretamente relacionado com a probabilidade de ocorrências acidentais que configuram os cenários de acidentes provenientes de descargas acidentais de líquidos e gás inflamáveis, e vapores tóxicos e/ou inflamáveis, gerando como consequência contaminações, explosões e incêndios provocando fatalidades e ferimentos na população residente no entorno das instalações industriais.

### 1.4.2 Tipologias acidentais

Para cada hipótese acidental relacionada na Tabela 6 foi gerada diferentes tipologias acidentais (cenários acidentais) dependendo do produto envolvido, dos tipos de processos envolvidos (transporte e armazenamento), da forma de liberação do produto químico inflamável líquido ou gás (formação de poça, evaporação), diferenciações utilizadas no desenvolvimento do cálculo da taxa de vazamento para cada tipologia acidental. Para os cálculos das hipóteses acidentais no âmbito desse estudo foram utilizadas as tipologias acidentais caracterizadas como acidentes provenientes de explosão do vapor expandido decorrente do líquido em ebulição, bola de fogo, explosão de nuvem de vapor não confinado, incêndio em nuvem e incêndio em poça. Tipologias acidentais essas relacionadas e definidas a seguir.

O Manual Técnico da Companhia Ambiental do Estado de São Paulo (CETESB) P4.261 (2003, p.2, p.4 e p.5) estabelece as seguintes definições para as tipologias acidentais a serem aplicadas no âmbito do presente estudo:

- *Boiling Liquid Expanding Vapor Explosion (BLEVE)* (Explosão do Vapor Expandido pelo Líquido em Ebulição): Fenômeno decorrente da explosão catastrófica de um reservatório, quando um líquido nele contido atinge uma temperatura bem acima da sua temperatura de ebulição à pressão atmosférica com projeção de fragmentos e de expansão adiabática;

- *Fire ball* (Bola de fogo): Fenômeno que se verifica quando o volume de vapor, inicialmente comprimido num recipiente, escapa repentinamente para a atmosfera e, devido à queda de pressão, forma um volume esférico de gás, cuja superfície queima, enquanto a massa inteira eleva-se por efeito da redução da densidade provocada pelo superaquecimento;

- *Unconfined Vapor Cloud Explosion (UVCE)* (Explosão multi - energia): A explosão de nuvem de vapor não confinado, é a rápida combustão de uma nuvem de vapor inflamável ao ar livre, seguida de uma grande perda de conteúdo, gerada a partir de uma fonte de ignição. Neste caso, somente uma parte da energia total irá se desenvolver sobre a forma de ondas de pressão e a maior parte na forma de radiação térmica;

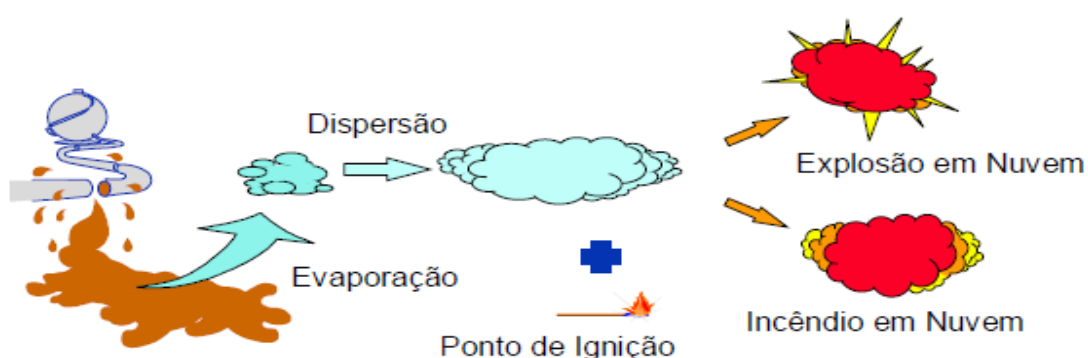
- *Flash fire* (Incêndio em nuvem): Incêndio de uma nuvem de vapor onde a massa envolvida não é suficiente para atingir o estado de explosão. É um fogo extremamente rápido onde todas as pessoas que se encontram dentro da nuvem recebem queimaduras letais;

- *Pool fire* (Incêndio em poça): Incêndio que ocorre numa poça de produto, a partir de um furo ou rompimento de um tanque, esfera, tubulação etc.; onde o produto estocado é lançado ao solo, formando uma poça que se incendeia, sob determinadas condições.

### 1.4.3 Dispersão de nuvem inflamável pesada constante

A Figura 3 esquematiza o comportamento de uma nuvem de gás inflamável liberado para a atmosfera, originada da evaporação de uma poça formada de vazamento de um produto inflamável. A nuvem ao se dispersar na atmosfera mistura-se com o oxigênio e caso a nuvem de gás inflamável alcance uma fonte de ignição resulta em explosão em nuvem ou incêndio em nuvem.

**Figura 3: Liberação de gás inflamável com formação de nuvem**



Fonte: *Det Norske Veritas* (DNV, 2007)

Logo, para a ocorrência de acidente com geração de nuvem de vapor inflamável não confinada, faz-se necessário determinar a probabilidade de que durante a ignição da nuvem de vapor inflamável resulte em uma explosão em nuvem ou em incêndio em nuvem, o que irá depender da quantidade de produto inflamável liberado. Conforme Kletz (1977) para grande quantidade de produto inflamável liberado a probabilidade é que resulte em explosão em nuvem.

### 1.4.4 Massa de gás inflamável formando a mistura ideal

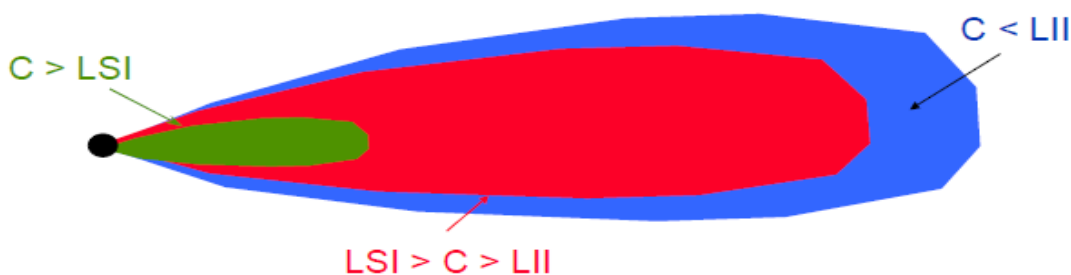
As isopletas da Figura 4 representam de forma esquemática uma nuvem de gás inflamável gerada a partir do modelo de dispersão de nuvem e definem as áreas vulneráveis aos efeitos acidentais dependendo da direção do vento. A nuvem de gás em presença de uma fonte de ignição só entra em combustão quando a concentração

(C) de nuvem de gás estiver entre o Limite Inferior de Inflamabilidade (LII) e o Limite Superior de Inflamabilidade (LSI), condição de combustão denominada de mistura ideal.

O LII constitui-se na mínima concentração de nuvem de gás inflamável, proveniente de um combustível, e que após mistura com o ar atmosférico e em presença de uma fonte de ignição, é capaz de gerar combustão. Caso a concentração de nuvem de gás inflamável seja inferior ao LII, não haverá combustão.

O LSI constitui-se na máxima concentração de nuvem de gás inflamável, proveniente de um combustível, e que após mistura com o ar atmosférico e em presença de uma fonte de ignição, é capaz de gerar combustão. Caso a concentração de nuvem de gás inflamável seja superior ao LSI, não haverá combustão.

**Figura 4: Isopletas de massa inflamável entre LSI e LII**



Fonte: *Det Norske Veritas (DNV)*, 2007

O incêndio originado de nuvem inflamável consiste em um incêndio inesperado e de grande intensidade, onde a chama gerada se propaga através da mistura formada entre o ar atmosférico e a nuvem de gás inflamável, com concentração dentro dos Limites de Inflamabilidade (LII e LSI).

Para o presente estudo, será adotada a condição das isopletas serem traçadas atendendo à condição dos níveis do Limite Inferior de Inflamabilidade (LII) e o Limite Superior de Inflamabilidade (LSI), para as áreas vulneráveis a partir da dispersão de nuvem de gás inflamável pesada.

Conforme sugere Kletz (1977) se a quantidade de produto inflamável dentro dos limites de inflamabilidade da nuvem de vapor for de aproximadamente de 10 toneladas, a probabilidade de gerar explosão em nuvem é da ordem de 1 em 10

ocorrências, e se a quantidade for próxima de 1 tonelada ou menor a probabilidade de ocorrência de explosão em nuvem é da ordem ou menor que 1 em 100 ocorrências acidentais.

#### 1.4.5 Efeitos físicos e tipos de danos

Para o desenvolvimento dos modelos matemáticos aplicados aos tipos de acidentes que tenham potenciais de provocar consequências externas através de danos às pessoas das comunidades residentes no entorno das instalações industriais do terminal, foram adotados, no âmbito desse estudo, os seguintes efeitos físicos com as respectivas tipologias acidentais:

- Efeito físico da radiação térmica, proveniente de uma das seguintes tipologias acidentais:

*BLEVE* e bola de fogo, gerando explosão multi - energia (explosão de nuvem de vapor não confinado), incêndio em nuvem e incêndio em poça;

- Efeito físico de impulso e sobrepressão, proveniente de uma das seguintes tipologias:

Explosão e *BLEVE* (bola de fogo).

#### 1.5 CRITÉRIO DE ACEITABILIDADE DE RISCO

A avaliação de aceitabilidade de riscos de um empreendimento em que os cenários acidentais ultrapassam os limite da instalação industrial de forma a afetar as comunidades circunvizinhas constitui-se na etapa final da análise quantitativa de risco, onde os resultados são calculados e apresentados na forma de representação gráfica de risco social e risco individual.



### 1.5.1 Risco Social

O risco social representa uma medida de risco ao qual o grupo formado pelas comunidades residentes no entorno das instalações industriais encontram-se expostas aos efeitos físicos decorrentes dos diferentes cenários acidentais. O risco social deve ser calculado levando em conta o número provável de fatalidades por evento acidental, originando uma lista onde constam o número de fatalidades correlacionadas com as respectivas frequências de ocorrência dos eventos. Os dados obtidos dos cálculos devem ser trabalhados em forma de frequência acumulada, originando a curva F-N através da representação gráfica dos dados de frequência acumulada (F) do evento final relacionada aos respectivos efeitos acidentais decorrentes do número de vítimas fatais (N), originando dessa forma a curva F-N representativa do risco social.

A partir da distribuição populacional definida para o município, fica caracterizada a forma pela qual a população está exposta aos riscos quando residente nas proximidades das instalações industriais. Decorrente dessa situação, temos então uma proporcionalidade direta, que quanto maior o número de pessoas presentes no entorno e quanto mais próxima as pessoas estiverem das instalações industriais, maior a probabilidade de registro do número de fatalidades para a população. Logo, o risco social representa uma medida de avaliação de risco importante quando envolve uma região densamente habitada exposta ao risco de ocorrência acidental decorrente de atividade industrial.

De acordo com o que estabelece o manual da CETESB (P4.261, 2003):

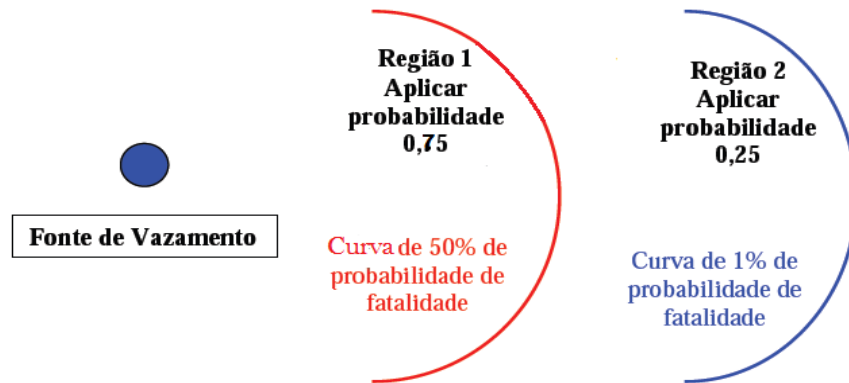
A estimativa do número de vítimas fatais poderá ser realizada considerando as probabilidades médias de morte, conforme segue:

- aplicar a probabilidade de 75% para as pessoas expostas entre a fonte de vazamento e a curva de probabilidade de fatalidade de 50%;

- aplicar a probabilidade de 25% para as pessoas expostas entre as curvas com probabilidade de fatalidade de 50% e 1%.

Como forma de ilustrar a estimativa do número de vítimas, representativa do risco social, o manual da CETEB (P4.261, 2003) apresenta a Figura 5 a seguir.

**Figura 5: Estimativa de vítimas para cálculo do risco social**



Fonte: CETESB, 2003

Considerando o anteriormente exposto o número de vítimas fatais para cada um dos eventos finais poderá ser estimado, conforme a equação:

$$N_{ik} = N_{ek1} \cdot 0,75 + N_{ek2} \cdot 0,25 \quad (1)$$

Onde:

$N_{ik}$  = número de fatalidades resultante do evento final  $i$ ;

$N_{ek1}$  = número de pessoas presentes e expostas no quadrante  $k$  até a distância delimitada pela curva correspondente à probabilidade de fatalidade de 50%;

$N_{ek2}$  = número de pessoas presentes e expostas no quadrante  $k$  até a distância delimitada pela curva correspondente à probabilidade de fatalidade de 1%.

Para o caso de flash fire, o número de pessoas expostas é o correspondente a 100% do número de pessoas presentes dentro da nuvem, até o limite da curva correspondente ao LII; assim tem-se a equação:

$$N_{ik} = N_{ek} \quad (2)$$

Onde:

$N_{ik}$  = número de fatalidades resultante do evento final  $i$ ;

$N_{ek}$  = número de pessoas presentes no quadrante  $k$  até a distância delimitada pela curva correspondente ao LII.

Para cada um dos eventos considerados no estudo, deve ser estimada a frequência final de ocorrência, considerando-se as probabilidades correspondentes a cada caso, como por exemplo, a incidência do vento no quadrante e a probabilidade de ignição, entre outras; assim, tomando como o

exemplo a liberação de uma substância inflamável, a frequência de ocorrência do evento final  $i$  poderá ser calculada conforme a equação:

$$F_i = f_i \cdot p_k \cdot p_i \quad (3)$$

Onde:

$F_i$  = frequência de ocorrência do evento final  $i$ ;

$f_i$  = frequência de ocorrência do evento  $i$ ;

$p_k$  = probabilidade de o vento soprar no quadrante  $k$ ;

$p_i$  = probabilidade de ignição.

O número de pessoas afetadas por todos os eventos finais deve ser determinado, resultando numa lista do número de fatalidades, com as respectivas frequências de ocorrência. Esses dados devem então ser trabalhados em termos de frequência acumulada, possibilitando assim que a curva F-N seja construída; assim, tem-se a equação:

Para todos os efeitos decorrentes do evento final  $i$  para os quais  $N_i \geq N$

$$F_N = \sum F_i \quad (4)$$

Onde:

$F_N$  = frequência de ocorrência de todos os eventos finais que afetam  $N$  ou mais pessoas;

$F_i$  = frequência de ocorrência do evento final  $i$ ;

$N_i$  = número de pessoas afetadas pelos efeitos decorrentes do evento final  $i$ .

#### 1.5.1.2 Indicadores quantitativos do risco social

Os elementos indicadores quantitativos para o risco social são:

- Risco social médio;
- Curva F-N.

### 1.5.1.3 Risco social médio

O risco social médio é definido como o número esperado de fatalidades por ano em decorrência de acidentes em instalações industriais e que tenham a probabilidade de causar danos à população próxima. O risco social médio é definido pela seguinte expressão:

$$RSM = \sum F_i \times C_i \quad (i=1, \dots, n) \quad (5)$$

Onde:

RSM = Risco Social Médio (fat./ano)

$F_i$  = frequência (/ano)

$C_i$  = consequência (fat.)

$i$  = número de cenários

Para cada um dos eventos iniciadores e seus respectivos cenários acidentais, o sistema computacional desenvolve o relatório de risco social médio.

### 1.5.1.4 Curva F-N

O principal indicador do risco social é a curva F–N, que relaciona a frequência acumulada F de acidentes para um determinado grupo de pessoas, em uma área definida da comunidade, resultando em N ou mais fatalidades devido à ocorrência de um acidente.

A representação gráfica através da curva F-N, constitui a forma de avaliação do risco social, a grande vantagem dessa curva é a demonstração gráfica da extensão dos riscos a que está exposta a população externa às instalações industriais, sujeita ao efeito físico danoso proveniente de acidente químico ampliado.

Conforme o Manual do Usuário RISKAN, Versão 1.0.2 (2012, p.108):

O risco social é utilizado principalmente para identificar instalações potencialmente geradoras de grandes acidentes. Mesmo que o risco individual seja baixo, ou seja, que exista um pequeno risco para cada pessoa, a possível ocorrência de um evento único com grande número de vítimas é visto como crítico. A base para este tipo de risco é o comportamento conhecido como aversão ao risco, que faz acidentes com grande número de vítimas simultâneas serem percebidos como mais perigosos que vários eventos espaçados no tempo, mesmo que na soma o número de fatalidades seja idêntico.

### 1.5.2 Risco individual

O risco individual trata da avaliação quantitativa da probabilidade de um indivíduo situado em um determinado ponto da região propensa aos riscos, isoladamente, componente de uma das comunidades circunvizinhas das instalações industriais vir a sofrer algum tipo determinado de lesão ou fatalidade em decorrência de um acidente. Representam os locais onde as pessoas estão expostas a um determinado valor de risco. O risco individual é representado através de curvas de iso-risco, possibilitando uma ampla visualização da extensão geográfica do risco em diferentes regiões, afeitas aos danos acidentais provenientes das instalações industriais.

Para a determinação do risco individual abrangente para o município de Madre de Deus, o cálculo do risco individual para qualquer ponto da circunvizinhança das instalações do TEMADRE, parte da condição de que as contribuições de todos os trinta e um eventos admitidos como hipóteses acidentais para o presente estudo, são somados.

Logo, conforme o manual da CETESB (P4.261, 2003), o cálculo do risco individual total do município para determinado ponto pode ser calculado através do somatório de todos os riscos individuais concentrados nesse ponto, de maneira que a expressão matemática tem a seguinte forma:

$$RI_{x,y} = \sum_{i=1}^n RI_{x,y,i} \quad (6)$$

Onde,

$RI_{x,y}$  = Risco Individual total de fatalidade no ponto x,y;

$RI_{x,y,i}$  = Risco Individual total de fatalidade no ponto x,y devido ao evento i;

n = Número total de eventos da presente análise de riscos, formada por trinta e um eventos.

Os dados que servirão de entrada para a expressão (6) são obtidos a partir da seguinte expressão:

$$RI_{x,y,i} = F_i \times p_{fi} \quad (7)$$

Onde:

$RI_{x,y,i}$  = Risco de fatalidade no ponto x,y devido ao evento i (fat./ano);

$F_i$  = Frequência de ocorrência do evento final (i);

$p_{fi}$  = Probabilidade que o evento (i) resulte em fatalidade no ponto (x,y) de acordo com os efeitos resultantes das consequências esperadas.

#### 1.5.2.1 Indicadores quantitativos do risco individual

Os elementos indicadores quantitativos para o risco individual são:

- Risco individual médio;
- Contorno de risco individual (curva de iso-risco)

#### 1.5.2.2 Risco individual médio

O risco individual médio estabelece o valor médio incidente nos indivíduos das comunidades presentes em áreas vulneráveis. É definido como a relação entre o risco social médio e o número de pessoas expostas ao risco, portanto define a chance de um indivíduo da comunidade para o período de um ano ser vítima fatal de ocorrência de um acidente químico ampliado.

Assim sendo, o risco individual médio é definido pela expressão a seguir:

$$RIM = \frac{RSM}{P} \quad (8)$$

Onde:

RIM = Risco Individual Médio (/ano);

RSM = Risco Social Médio (fat./ano);

P = número de pessoas expostas ao risco.

Logo de acordo com expressão (8), o risco individual médio constitui-se em uma medida da frequência anual esperada de fatalidades para uma população.

### 1.5.2.3 Contorno de risco individual

Representada sob o formato de contornos de iso-risco ou contornos de risco individual, as curvas de iso-risco permitem visualizar a distribuição geográfica de determinado risco na instalação industrial e nas circunvizinhanças do empreendimento industrial. Os contornos das curvas definem uma indicação gráfica dos níveis de riscos para o indivíduo das comunidades existentes no entorno das instalações industriais.

Conforme o Manual do Usuário RISKAN, Versão 1.0.2 (2012, p.102):

O risco individual indica a frequência esperada de morte para um indivíduo na região de interesse.

O risco individual é um importante critério de aceitabilidade de riscos porque existe um valor médio de risco individual independente da presença ou não de instalações próximas. Todos nós temos uma chance média de fatalidade. Espera-se que uma instalação específica não aumente significativamente esta chance.

## 2 OBJETIVOS

### 2.1 OBJETIVO GERAL

O objetivo geral do estudo é quantificar, analisar e avaliar, em termos de riscos e de vulnerabilidades a que está exposta a população externa às instalações do TEMADRE a partir da possível ocorrência de um acidente químico ampliado, proveniente de descargas acidentais dos sistemas de transportes através de dutos com elevadas temperaturas e/ou pressões internas e armazenamentos em esferas pressurizadas e tanques não pressurizados de substâncias inflamáveis, explosivas e tóxicas instalados em toda a extensão do ambiente urbano do município de Madre de Deus/BA.

O estudo não abrange a avaliação quantitativa de riscos ao meio ambiente, à saúde e à segurança dos trabalhadores ou danos às estruturas físicas dos diversos equipamentos da indústria petrolífera, ou danos às estruturas prediais instalados no TEMADRE.

### 2.2 OBJETIVO ESPECÍFICO

Para o desenvolvimento deste estudo como objetivo específico tem-se:

- Caracterização meteorológica do município de Madre de Deus;
- Descrição sumária das instalações de transporte e de armazenamento dos produtos manuseados no terminal;
- Relação, quantidade e características dos produtos manuseados no terminal;
- Identificação dos possíveis cenários acidentais com probabilidade de ocorrer nas instalações industriais existentes no terminal e os consequentes efeitos físicos gerados decorrentes dos acidentes provenientes de incêndio em poça, explosão em nuvem e incêndio em nuvem;



- Análise de consequências e de vulnerabilidade;
- Estimativa de frequência de ocorrência;
- Cálculo dos níveis de sobrepressão;
- Cálculo dos níveis de fluxo térmico;
- Avaliação de aceitabilidade de riscos, através da análise do risco social e risco individual.

## 3 REFERENCIAL TEÓRICO

### 3.1 ÁREAS VULNERÁVEIS

O manuseio pelo terminal marítimo do TEMADRE de produtos perigosos caracterizados como de elevada toxicidade, inflamabilidade e explosividade, durante os processos de transporte e armazenamento, está sujeito às ocorrências de liberações acidentais de forma descontrolada, vindo a causar os efeitos físicos originados dos acidentes, tais como: sobre pressões proveniente de explosões; fluxos térmicos originados de incêndios; efeitos tóxicos decorrentes das liberações acidentais de nuvens de gases tóxicos. Esses efeitos físicos podem ocasionar danos à população circunvizinha, bem como às instalações da indústria petrolífera e às estruturas prediais existentes nas proximidades das ocorrências acidentais. Logo, as áreas de ocupação dos equipamentos da indústria petrolífera demarcadas na Figura 10 representam as regiões onde as comunidades circunvizinhas podem sofrer determinado tipo de dano em decorrência de um acidente químico ampliado.

Para a determinação das áreas que estão expostas às ocorrências de danos proveniente de um evento acidental, será adotado o critério das probabilidades entre fatalidades e feridos. As áreas vulneráveis aos danos acidentais serão indicadas em três níveis 1%, 50% e 99%, valores que correspondem a cada nível da curva de abrangência da área vulnerável, decorrente de acidentes nas instalações do terminal.

Conforme o Manual do Usuário RISKAN, Versão 1.0.2, (2012, p.87):

[...] As áreas vulneráveis são o resultado final da análise de vulnerabilidade de uma região. Uma área vulnerável é uma indicação, na região de interesse, dos pontos que podem sofrer determinado tipo de dano em função de um acidente [...].

## 3.2 ANÁLISE HISTÓRICA DE ACIDENTES

Para o presente estudo, a análise histórica de acidentes visa estabelecer um comparativo entre os acidentes ocorridos em instalações similares, em termos de substâncias e equipamentos, aos existentes no TEMADRE.

As pesquisas aos dados dos acidentes ocorridos em atividades da indústria do petróleo similares aos existentes no TEMADRE foram obtidas a partir de registros acidentais do banco de dados para acidentes industriais maiores (acidentes ampliados) do *Major Hazards Incident Data Analysis System (MHIDAS)*, organizado pelo *Safety and Reliability Directorate (SRD)* da Inglaterra, com os registros acidentais a nível mundial obtidos por um período de mais de três décadas e as ocorrências atualizadas até 2004. Os resultados das pesquisas à base de dados do *MHIDAS* foram agrupados em termos de registros acidentais por produto transportado e armazenado, por atividade operacional, por tipo de falha e por tipologia acidental nas ocorrências históricas de acidentes com potencial para causar danos à população e ao meio ambiente externo às instalações industriais, estabelecendo dessa forma as causas dominantes, os setores e os efeitos decorrentes de acidentes em instalações similares ao TEMADRE.

Para o desenvolvimento desse estudo e para efeito de equiparação com os registros históricos dos acidentes, foram utilizados os produtos inventariados no âmbito desse estudo, bem como, os equipamentos instalados no terminal destinado a transportar através de dutos e armazenar em esferas e tanques os produtos derivados do petróleo e o álcool.

### 3.2.1 Resultados da pesquisa ao *MHIDAS*

Os registros históricos de acidentes analisados no *MHIDAS* advêm de compilações de fontes de informações de domínio público, tais como, "*Lloyds Casualty Week*", "*Hazardous Cargo Bulletin*" (*HCB*), publicações do Reino Unido, e os registros de acidentes dos artigos de ocorrências acidentais publicados na imprensa e que tiveram repercussão pelos danos causados à população e ao meio ambiente.

Na pesquisa realizada no banco de dados do *MHIDAS* foram registrados 498 acidentes em terminais com atividades similares ao TEMADRE, envolvendo sistemas de transporte através de dutos, navios, trens, caminhões tanques e armazenamento em tanques e esferas de produtos derivados de petróleo e álcool. Dessas ocorrências acidentais foram relacionados, para o presente estudo, apenas os equipamentos de transporte através de dutos e os de armazenamento em tanques e esferas, assim como os produtos similares aos existentes no TEMADRE e que apresentem características de inflamabilidade, explosividade e/ou toxicidade, constituindo-se dessa forma em riscos para as comunidades e o meio ambiente no entorno das instalações. Dos 498 registros acidentais do banco de dados do *MHIDAS*, foram excluídas as ocorrências acidentais com produtos, tais como, água oleosa, parafina e petróleo, e as ocorrências acidentais com manobras de carga e descarga em navios, trens e caminhões tanques, pois o presente estudo está direcionado para ocorrência acidental de vazamento em tanques e dutos armazenando e transportando, respectivamente, produtos inflamáveis (líquido e gás). Após as exclusões e como forma de manter a compatibilidade entre os produtos e as manobras operacionais de transporte e armazenamentos existentes no TEMADRE, os registros acidentais provenientes do banco de dados do *MHIDAS* foram reduzidos para 176 ocorrências acidentais.

### **3.2.2 Registro acidental por produto**

Os registros de acidentes, conforme o banco de dados do *MHIDAS*, com os produtos similares aos transportados e armazenados no TEMADRE, estão relacionados na Tabela 1 e totalizam 176 ocorrências acidentais com os respectivos registros do número de vítimas por cada registro acidental por produto. Na tabela 1 observa-se que o GLP é o produto com maior incidência de acidentes, com 42 registros acidentais, seguido da gasolina com 34 registros de ocorrências acidentais com vítimas.

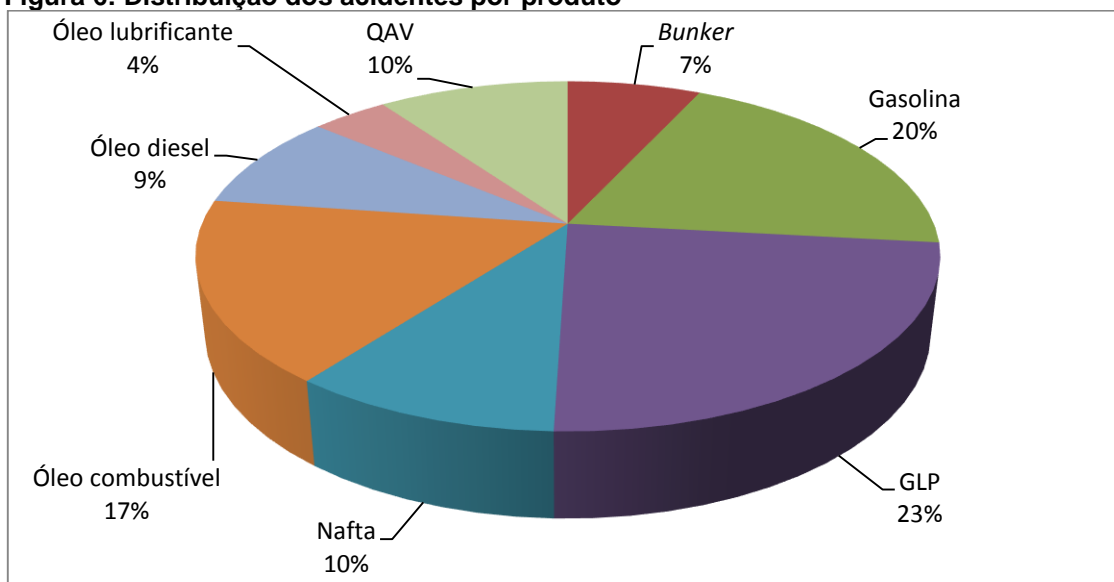
Tabela 1: Acidentes com produtos

| Registros de Acidentes com Produtos |                                  |                         |
|-------------------------------------|----------------------------------|-------------------------|
| Produtos                            | Número de Ocorrências Acidentais | Vítimas                 |
| Álcool                              | 0                                | 0                       |
| <i>Bunker</i>                       | 13                               | 4 feridos               |
| Gasolina                            | 34                               | 65 feridos e 9 óbitos   |
| GLP                                 | 42                               | 93 feridos e 11 óbitos  |
| Nafta                               | 17                               | 8 feridos               |
| Óleo combustível                    | 29                               | 16 feridos e 3 óbitos   |
| Óleo diesel                         | 15                               | 3 feridos               |
| Óleo lubrificante                   | 8                                | 1 ferido                |
| QAV                                 | 18                               | 17 feridos e 5 óbitos   |
| Total                               | 176                              | 207 feridos e 28 óbitos |

Fonte: *MHIDAS*, 2004

Em consequência, na representação gráfica da distribuição percentual de ocorrência de acidentes com produtos, os registros de acidentes do *MHIDAS*, representados na Figura 6 indicam que o GLP e a gasolina representam 23% e 20%, respectivamente para as ocorrências acidentais na manipulação dos produtos.

Figura 6: Distribuição dos acidentes por produto



Fonte: *MHIDAS*, 2004

### 3.2.3 Registro acidental por atividade operacional

Dos 176 registros acidentais coletados do banco de dados do *MHIDAS* a maior ocorrência de acidentes na fase operacional ocorre durante a atividade de transporte através de dutos de produtos derivados de petróleo e álcool com 112 registros acidentais e em seguida a atividade relacionada a armazenamento em tanques e esferas de produtos derivados de petróleo e álcool com 64 registros acidentais em instalações de terminal similares ao TEMADRE.

A Tabela 2 demonstra os registros dos acidentes por atividade operacional de transporte e armazenamento.

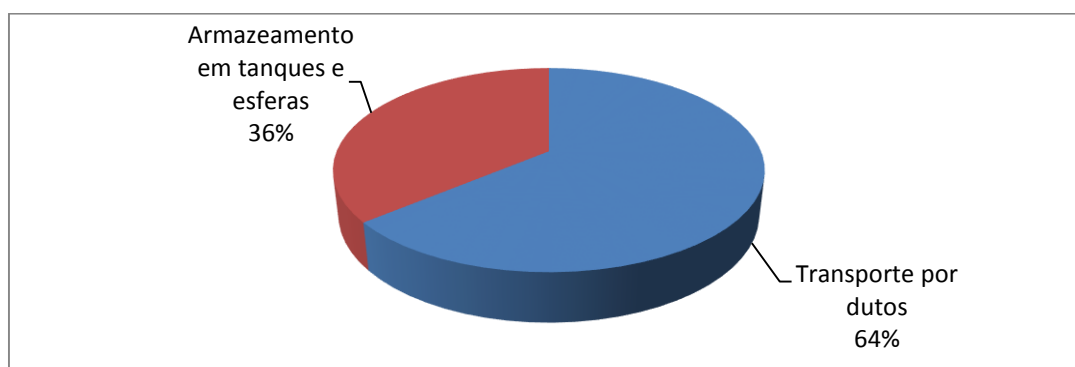
**Tabela 2: Acidentes por atividade operacional**

| Registros de Acidentes por Atividade Operacional |                     |                         |
|--|---------------------|-------------------------|
| Atividade Operacional                            | Número de Acidentes | Vítimas                 |
| Transporte por dutos                             | 112                 | 112 feridos e 16 óbitos |
| Armazenamento tanques e esferas                  | 64                  | 95 feridos e 12 óbitos  |
| Total  | 176                 | -                       |

Fonte: *MHIDAS*, 2004

A representação gráfica da distribuição percentual de ocorrência de acidentes por atividade operacional de transporte através de dutos e armazenamento em tanques e esferas, similar às atividades do TEMADRE, de acordo com os registros acidentais do *MHIDAS* está representada na Figura 7 indicando 64% para acidentes com transporte através de dutos e 36% para armazenamento em tanques e esferas de produtos derivados de petróleo e álcool.

**Figura 7: Distribuição dos acidentes por atividade operacional**



Fonte: *MHIDAS*, 2004

### 3.2.4 Registro acidental por tipo de falha

Para efeito desse estudo, as causas de acidentes pesquisadas foram relacionadas de acordo com os fatores decorrentes dos tipos de falhas relacionadas e definidas a seguir:

- Falha mecânica: está relacionada com os acidentes envolvendo qualquer falha ocorrida com o equipamento e materiais componentes, independente da ação humana no momento da ocorrência do acidente. Logo a falha mecânica envolve os acidentes devido a erro de projeto e de construção, utilização de materiais inadequados, corrosão concentrada ou generalizada, procedimentos incorretos de inspeção e manutenção;

- Falha operacional: envolve acidentes devido a erro humano no momento do acidente, decorrente de operação incorreta de equipamentos e/ou componentes a eles interligados. Por exemplo, após a efetivação de manutenção o esquecimento de válvulas de dreno de equipamento aberta;

- Falha por causa natural: decorrente de eventos com probabilidade de gerar acidentes nas instalações industriais, tais como, desabamentos, inundações, descargas atmosféricas etc.;

- Falha por ação de terceiros: envolve acidentes gerados a partir de atividades externas à instalação industrial e conforme o diferencial de ocorrência entre o dano não intencional (escavações, perfurações, acidentes etc.) e o dano intencional (vandalismo, sabotagem etc.).

A Tabela 3 mostra a relação das causas de acidentes por tipo de falha para os 176 acidentes, registrados pelo *MHIDAS*, ocorridos em equipamentos destinados a transportar e a armazenar produtos derivados de petróleo e álcool em condições similares aos instalados no TEMADRE.

Das causas acidentais por tipo de falha nos registros do *MHIDAS* indicam que dos 176 acidentes ocorridos, a falha mecânica participa com 85 acidentes, seguida da falha operacional com registro de 62 ocorrências acidentais com vítimas.

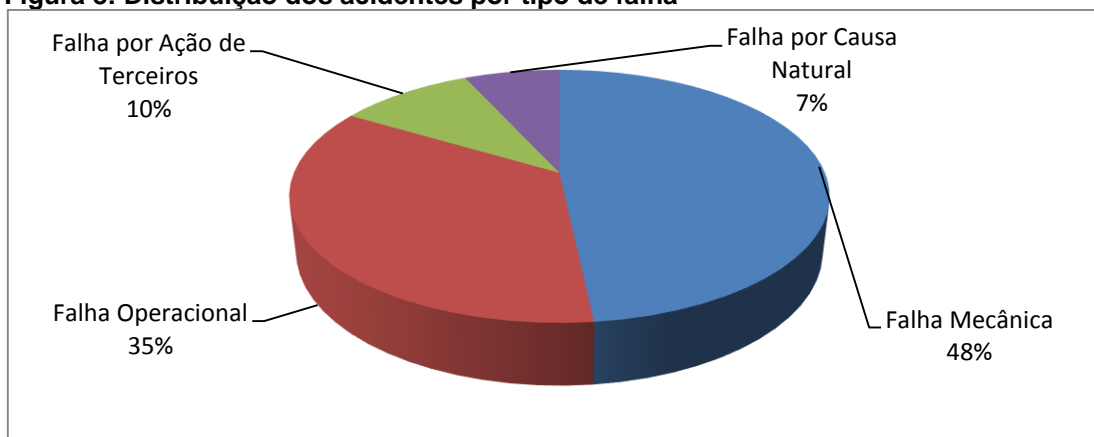
Tabela 3: Acidentes por tipo de falha

| Registro de Acidentes por Tipo de Falha |                     |                         |
|---|---------------------|-------------------------|
| Causas de Acidentes                     | Número de Acidentes | Vítimas                 |
| Falha mecânica                          | 85                  | 96 feridos e 11 óbitos  |
| Falha operacional                       | 62                  | 64 feridos e 9 óbitos   |
| Falha por causa natural                 | 12                  | 21 feridos e 6 óbitos   |
| Falha por ação de terceiros             | 17                  | 26 feridos e 2 óbitos   |
| Total                                   | 176                 | 207 feridos e 28 óbitos |

Fonte: *MHIDAS*, 2004

A representação gráfica da distribuição percentual das causas de ocorrência de acidentes por tipo de falha em instalações com atividades similares ao TEMADRE está representada na Figura 8. Em decorrência dos registros das causas acidentais apresentadas na tabela anterior temos que a falha mecânica e a falha operacional representam 48% e 35%, respectivamente, dos registros das ocorrências acidentais.

Figura 8: Distribuição dos acidentes por tipo de falha



Fonte: *MHIDAS*, 2004

### 3.2.5 Registro acidental por tipologia acidental

O banco de dados da *MHIDAS* define a distribuição das tipologias acidentais envolvendo o transporte de produtos derivados do petróleo e o álcool através de dutos e armazenados em tanques e esferas. Para atendimento a esse estudo e conforme definido na Tabela 4 as tipologias acidentais foram agrupadas envolvendo tanto os registros acidentais ocorridos em dutos, como os ocorridos em tanques e esferas.



Dos produtos transportados e armazenados no TEMADRE, o banco de dados do *MHIDAS* registra a maior ocorrência entre as tipologias acidentais de explosão com 77 ocorrências e o produto de maior registro de acidente em explosão é o GLP com 22 registros, seguido da gasolina com 17 registros.

A segunda maior ocorrência de acidentes entre as tipologias acidentais é o incêndio em poça com 68 ocorrências e o produto de maior registro em incêndio em poça é o óleo combustível com 16 registros, seguido do QAV com 10 registros.

**Tabela 4: Tipologia acidental por produto em dutos, tanques e esferas**

| Registro de Acidentes de Produto por Tipologia Acidental |                     |          |                   |                  |           |
|--|---------------------|----------|-------------------|------------------|-----------|
| Produto  | Tipologia Acidental |          |                   |                  | Sub Total |
|  | BLEVE/Bola de Fogo  | Explosão | Incêndio em Nuvem | Incêndio em Poça |           |
| Álcool   | 0                   | 0        | 0                 | 0                | 0         |
| Bunker   | 0                   | 4        | 0                 | 9                | 13        |
| Gasolina   | 0                   | 17       | 9                 | 8                | 34        |
| GLP  | 8                   | 22       | 8                 | 4                | 42        |
| Nafta  | 0                   | 7        | 3                 | 7                | 17        |
| O. combustível   | 0                   | 13       | 0                 | 16               | 29        |
| O. diesel  | 0                   | 7        | 0                 | 8                | 15        |
| O. lubrificante  | 0                   | 2        | 0                 | 6                | 8         |
| QAV  | 0                   | 5        | 3                 | 10               | 18        |
| Total  | 8                   | 77       | 23                | 68               | 176       |

Fonte: *MHIDAS*, 2004

Conforme registro de vítimas apresentado na Tabela 5 fica evidente que de acordo com o produto e a tipologia acidental correspondente, os eventos mais graves, em termos de vítimas ocorrem com o GLP na ocorrência de explosão com 48 feridos e 6 óbitos, seguido da gasolina, também na ocorrência explosão com 32 feridos e 3 óbitos.

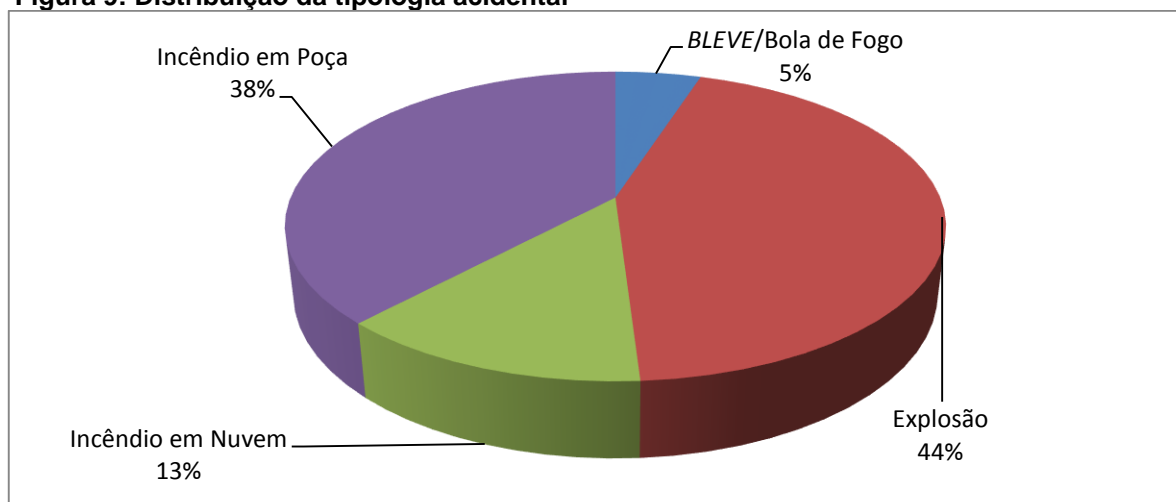
Tabela 5: Vítimas de acidente com produto por tipologia acidental

| Vítimas de Acidente com Produto por Tipologia Acidental |                                 |                         |                       |                       |
|---|---------------------------------|-------------------------|-----------------------|-----------------------|
| Produto   | Vítimas por Tipologia Acidental |                         |                       |                       |
|   | BLEVE/Bola de Fogo              | Explosão                | Incêndio em Nuvem     | Incêndio em Poça      |
| Álcool  | 0                               | 0                       | 0                     | 0                     |
| Bunker  | 0                               | 3 feridos               | 0                     | 1 ferido              |
| Gasolina  | 0                               | 32 feridos e 3 óbitos   | 11 feridos e 2 óbitos | 22 feridos e 4 óbitos |
| GLP   | 3 óbitos                        | 48 feridos e 6 óbitos   | 29 feridos e 1 óbito  | 16 feridos e 1 óbito  |
| Nafta   | 0                               | 4 feridos               | 2 feridos             | 2 feridos             |
| O. combustível  | 0                               | 9 feridos e 2 óbitos    | 0                     | 7 feridos e 1 óbito   |
| O. diesel   | 0                               | 3 feridos               | 0                     | 0                     |
| O. lubrificante   | 0                               | 1 ferido                | 0                     | 0                     |
| QAV   | 0                               | 13 feridos e 3 óbitos   | 0                     | 4 feridos e 2 óbitos  |
| Total   | 3 óbitos                        | 113 feridos e 14 óbitos | 42 feridos e 3 óbitos | 52 feridos e 8 óbitos |

Fonte: MHIDAS, 2004

Na representação gráfica da Figura 9 onde fica configurada a distribuição percentual das ocorrências das tipologias acidentais com produtos transportados em dutos e armazenados em tanques e esferas, conforme registro da Tabela 5 indica que a explosão representa 44% e o incêndio em poça 38% das ocorrências acidentais.

Figura 9: Distribuição da tipologia acidental



Fonte: MHIDAS, 2004

A partir da análise ao banco de dados do *MHIDAS* fica evidenciado através do registro histórico de acidentes que entre os eventos acidentais envolvendo produtos derivados do petróleo e o álcool, o GLP é o de maior número de ocorrências acidentais seguido da gasolina; os registros acidentais decorrentes da atividade operacional por transporte através de dutos, de produtos derivados do petróleo, foram as atividade que mais causaram acidentes; entre as causas de acidentes, a falha mais comum é decorrente de falha mecânica, seguida da falha operacional nas atividades de transporte e armazenamento de produtos derivados do petróleo e álcool; entre as tipologias acidentais a que representa maior ocorrência é explosão seguido de incêndio em poça.

## 4 METODOLOGIA

Para o desenvolvimento metodológico foi considerado a probabilidade da ocorrência de um acidente químico ampliado e os cálculos desenvolvidos através da utilização de modelos matemáticos com auxílio de sistema computacional e aplicados os seguintes procedimentos:

- Caracterização do município de Madre de Deus através do mapa da região com a finalidade de definir a escala dimensional das regiões de ocupação, bem como delimitar as ocupações regionais dos diversos equipamentos das instalações industriais e das comunidades circunvizinhas afeitas às consequências externas, causando danos às pessoas (fatalidades e ferimentos) provenientes das ocorrências acidentais nas instalações industriais existentes no município;

- Caracterização da situação da região de Madre de Deus, para efeito do desenvolvimento das simulações, as condições distintas para o dia e para a noite, para a ocupação populacional, velocidades do vento e a classe de estabilidade atmosférica;

- Definições das direções do vento para a região, com a finalidade de configurar a árvore de evento ambiental, a partir dos registros históricos das estações meteorológicas da região de Madre de Deus;

- Configuração dos diversos eventos para cada região de ocupação das instalações industriais dentro do município e a simulação dos acidentes e seus respectivos efeitos danosos para a população residente externamente às instalações industriais;

- Caracterização dos tipos das instalações, em termos de transporte e armazenamento de produtos derivados do petróleo e álcool, existentes no município de Madre de Deus;

- Compatibilização entre os produtos manuseados no terminal marítimo e os produtos aceitos como puros, para efeito de desenvolvimento das modelagens, pelo sistema computacional;

- Definição do posicionamento das comunidades residentes no entorno das instalações industriais, afeitas às ocorrências de fatalidades ou ferimentos decorrentes dos desdobramentos dos cenários acidentais;

- Desenvolvimento dos cálculos através de modelagens matemáticas, referentes aos efeitos decorrentes das simulações, dos seguintes tipos: descarga de líquidos ou gás inflamável, através da determinação da quantidade liberada através de furo, ruptura ou descarga descontrolada de reservatório (tanque ou esfera) ou duto; evaporação de gás liquefeito ou líquido inflamável, através da determinação da taxa de evaporação a partir do vazamento do produto com formação de poça no piso; dispersão de gás inflamável, através da determinação do alcance da nuvem de gás, sobre a área capaz de provocar os efeitos de incêndio em nuvem e da massa de gás em condição de gerar explosão; explosão com determinação através de cálculo de sobrepressão e impulso, decorrente de uma explosão a partir da distância do centro da geração da explosão; incêndio através da determinação da carga térmica decorrente de um incêndio em poça de um líquido inflamável ou uma bola de fogo originada de um *BLEVE*;

- Determinação através de cálculo das áreas vulneráveis, ou seja, as áreas afeitas às vulnerabilidades dos efeitos de um dano decorrente de um acidente;

- Efetivação dos cálculos dos riscos para cada um dos eventos e para todo o município de Madre de Deus afeito aos efeitos das consequências danosas das ocorrências acidentais, caracterizados como risco social e risco individual e representados, respectivamente, pela curva F-N e pelas curvas de iso-risco.

Para o presente estudo de análise de risco referente às instalações da indústria petrolífera existentes no município de Madre de Deus, as curvas F-N representativas do risco social, bem como as curvas de iso-risco representativas do risco individual, os cálculos para as estimativas, foram desenvolvidos pelo sistema computacional a partir das frequências e consequências dos cenários decorrentes das hipóteses acidentais, relacionadas na Tabela 6, considerando as distâncias atingidas pelos efeitos de radiação térmica e sobrepressão proveniente de explosão, definidas como áreas vulneráveis.

#### 4.1 CÁLCULO DAS FREQUÊNCIAS DOS CENÁRIOS ACIDENTAIS

Para caracterizar quantitativamente o risco de um acidente é necessário determinar o conjunto formado pelos três elementos componentes do risco, conforme definido a seguir:

Risco = {cenário, frequência, consequência}

a) Cenário: Como um dos elementos componente do risco o cenário acidental, determinado na análise quantitativa de riscos, baseia-se na composição da ocorrência de um evento de acidente e das diversas possibilidades de evolução do acidente, decorrente da eficiência do sistema de proteção da instalação industrial, das variáveis meteorológicas no momento do acidente e da presença ou não de fontes de ignição, no caso de acidente envolvendo substância inflamável.

b) Frequência: A frequência esperada na ocorrência de cenário acidental tem como base de referência de risco para as instalações industriais (tanque, esfera) o intervalo de tempo por ano de ocorrência (/ano) e a frequência esperada para dutos por metro de ocorrência (/m).

c) Consequência: A consequência gerada a partir da ocorrência acidental decorrente de descarga de produtos perigosos originados de instalações industriais, dependem diretamente da presença na circunvizinhança na área de dano de recursos vulneráveis, tais como pessoas, estruturas físicas e o meio ambiente.

Para o cálculo das consequências, que tem a finalidade de determinar o número de fatalidades devidas a um cenário acidental específico, foi necessário definir as áreas de ocupação populacional afeitas à probabilidade de fatalidade na ocorrência de um acidente nas instalações do TEMADRE.

#### 4.2 ANÁLISE DE VULNERABILIDADE

As vulnerabilidades para as regiões do município de Madre de Deus foram caracterizadas para os cenários relacionados, hipoteticamente, na Tabela 6 como

sendo os cenários com maior potencial de causar danos às comunidades, ao meio ambiente e às instalações de transporte e armazenamento de derivados de petróleo do terminal.

O estudo de análise de vulnerabilidade foi realizada através de modelagens matemáticas com a finalidade de estabelecer as áreas com grande potencial para sofrer impactos danosos, originadas dos efeitos físicos decorrentes de sobrepressão provenientes de explosão e de irradiação térmica originadas de incêndio.

De acordo com o critério metodológico estabelecido pelo Manual Técnico da CETESB P4.261 (2003, p.9), para determinar os fatores que influenciam, diretamente, nos estudos de análise de riscos de instalações industriais:

‘O risco de uma instalação industrial para a comunidade e para o meio ambiente, circunvizinha e externa aos limites do empreendimento, está diretamente associado às características das substâncias químicas manipuladas, suas respectivas quantidades e à vulnerabilidade da região onde a instalação está ou será localizada’.

Inicialmente, foram identificados, hipoteticamente, os possíveis cenários acidentais, a partir da disposição dos equipamentos instalados no município, relacionados com as operações de transporte e armazenamento de produtos tóxicos e inflamáveis. Esses cenários foram caracterizados, como cenários de ocorrências de acidentes, provenientes das probabilidades das frequências de vazamentos e de liberações acidentais de produtos inflamáveis, configurados, como eventos iniciais, que são os eventos que podem gerar os acidentes. A partir destes eventos iniciais foram simulados os acidentes e as respectivas consequências dos efeitos físicos para a população residente no entorno das instalações do TEMADRE.

Cada evento iniciador pode dar origem a diversos cenários de acidentes. Um vazamento de gás, por exemplo, pode gerar uma tocha ou jato de fogo se houver a ignição imediata do material ou pode gerar uma nuvem inflamável que irá gerar uma explosão em nuvem ou um incêndio em nuvem.

Em um segundo momento foi caracterizado os cenários acidentais, através de avaliação e quantificação dos efeitos físicos e dos riscos sociais e individuais, decorrentes das tipologias acidentais, como: dispersão de nuvem inflamável pesada constante (gerando incêndio em nuvem), incêndio em poça, explosão multi-energia (*UVCE*), *BLEVE* e bola de fogo .

Para simulações das consequências das vulnerabilidades dos cenários acidentais e cálculo dos riscos decorrentes dos acidentes nas instalações petrolíferas existentes no município de Madre de Deus foi utilizado o sistema computacional *Risk Analysis Essentials* – RISKAN, versão 3.3.40.1413 desenvolvido pela *Serenoware* (Sereno Sistemas Ltda) que detém os direitos intelectuais do código e patente sobre o mecanismo de cálculo de risco.

O RISKAN, versão 3.3.40.1413 é um sistema computacional que adota uma série de modelos matemáticos e estatísticos. O sistema não realiza previsões, apenas estimativas.

O sistema computacional a ser aplicado utiliza cálculos iterativos das diversas etapas componentes da avaliação dos riscos e suas consequências físicas e de vulnerabilidade, aplicando os estudos de análise de riscos e avaliando os impactos provenientes das eventuais ocorrências de emissão de radiação térmica, originado de incêndio e de sobrepressão em ondas de choque, gerada por explosão ou mesmo das liberações de produtos tóxicos e inflamáveis, provenientes dos tanques de armazenamentos e dos dutos de transporte de produtos derivados do petróleo.

Não fizeram parte desse estudo os acidentes provenientes das emissões de gases tóxicos.

Com a finalidade de caracterizar a estrutura física e de ocupação territorial do município, e objetivando o desenvolvimento do trabalho das simulações dos cenários acidentais, os seguintes dados de entrada para o sistema computacional foram necessários: mapa de localização física e geográfica; características das instalações petrolíferas implantadas; características dos produtos transportados e armazenados; parâmetros ambientais e meteorológicos; características topográficas e distribuição populacional. A partir das distribuições populacionais e aplicando os modelos de vulnerabilidade estima-se o número possível de vítimas para cada um dos cenários acidentais.

Conforme o Relatório de Certificação do Programa RISKAN, Versão 1.0.2 (2006, p.2):

[...] Uma vez definidas as distribuições populacionais, as características meteorológicas e físicas da região e estimadas as frequências esperadas dos eventos iniciadores, assim como outros dados, tais como probabilidades de ignição e de explosão, torna-se necessário avaliar taxas de evaporação,



dispersão na atmosfera, além de outros efeitos físicos tais como campos de radiação térmica e de sobrepressão em ondas de choques geradas por explosões. Uma vez obtidos os efeitos físicos e estabelecidas as distribuições populacionais, fazendo-se uso de modelos de vulnerabilidade é possível estimar o número de possíveis vítimas em cada um dos cenários de acidentes [...].

Na Tabela 6 estão relacionados os Eventos Iniciadores (EI) e os respectivos cenários acidentais que foram objetos da efetivação das simulações e das análises quantitativas. Os cenários acidentais relacionados na Tabela 6 foram escolhidos por representarem os cenários onde existem previsões de ocorrerem os maiores danos para as comunidades externas às instalações do TEMADRE, exposta aos efeitos acidentais em decorrência de um acidente químico ampliado.

**Tabela 6: Relação dos eventos com os respectivos cenários acidentais**

| Hipótese Acidental    |                      |  |
|-----------------------|----------------------|--|
| Localização           | Evento Iniciador     | Cenário Acidental  |
| Dutovia               | EI-01                | Simulação para grande vazamento em dutos de GLP  |
|                       | EI-02                | Simulação para grande vazamento em duto de álcool  |
|                       | EI-03                | Simulação para grande vazamento em dutos de óleo lubrificante, combustível, <i>bunker</i> e óleo diesel                              |
|                       | EI-04                | Simulação para grande vazamento de dutos de gasolina, nafta e QAV  |
|                       | EI-05                | Simulação para duto de GLP para ocorrência de <i>BLEVE</i> e bola de fogo  |
| Parque Maria Quitéria | EI-06, EI-09 e EI-12 | Simulação para grande vazamento de GLP nas esferas EF-7201, EF-7202, EF-7203, EF-7203, EF-7204, EF-7205 e EF-7206                    |
|                       | EI-07, EI-10 e EI-13 | Simulação para pequeno vazamento de GLP nas esferas EF-7201, EF-7202, EF-7203, EF-7204, EF-7205 e EF-7206                            |
|                       | EI-08, EI-11 e EI-14 | Simulação para esferas de GLP (EF-7201, EF-7202, EF-7203, EF-7204, EF-7205 e EF-7206) para ocorrência de <i>BLEVE</i> e Bola de Fogo |
|                       | EI-15                | Simulação para grande vazamento de GLP dos tanques refrigerados TQ-7201, TQ-7202 e TQ-7203   |
|                       | EI-16                | Simulação pequeno vazamento de GLP dos tanques refrigerados TQ-7201, TQ-7202 e TQ-7203   |

(Continua)

| Hipótese Acidental |                      |  |
|--------------------|----------------------|--|
| Localização        | Evento Iniciador     | Cenário Acidental  |
| Parque do Suape    | EI-17, EI-18 e EI-19 | Simulação para grande vazamento de gasolina dos tanques TQ-7101, TQ-7104, TQ-7105 e TQ-7109                                    |
|                    | EI-20, EI-21 e EI-22 | Simulação para grande vazamento de óleo combustível dos tanques TQ-7102, TQ-7103, TQ-7106, TQ-7107, TQ-7108, TQ-7110 e TQ-7111 |
| Parque do Mirim    | EI-23, EI-24 e EI-25 | Simulação para vazamento de GLP para ocorrência de <i>BLEVE</i> na esfera do Parque do Mirim                                   |
|                    | EI-26 e EI-29        | Simulação para grande vazamento de óleo dos tanques do Parque do Mirim   |
|                    | EI-27, EI-28 e EI-30 | Simulação para grande vazamento de gasolina, nafta e QAV dos tanques do Parque do Mirim  |
|                    | EI-31                | Simulação para grande vazamento de álcool dos tanques do Parque do Mirim   |

### 4.3 PARÂMETROS UTILIZADOS NAS SIMULAÇÕES

Nos itens a seguir, são apresentados os parâmetros que servirão como dados de entrada para o sistema computacional desenvolver as simulações do estudo de análise de riscos referentes às instalações petrolíferas do terminal do TEMADRE.

#### 4.3.1 Localização dos equipamentos no município

A Figura 10 mostra a localização dos equipamentos de transporte e de armazenamento de produtos derivados de petróleo e álcool no terminal do TEMADRE, bem como as áreas de ocupação pelas comunidades residentes no entorno das instalações.

As áreas de ocupação dos equipamentos da indústria petrolífera no município estão identificadas no mapa da Figura 10, para efeito de estudos, como sendo: (1) Parque do Suape, (2) Parque Maria Quitéria, (3) Fábrica de Asfalto (FASF), (4) Parque do Mirim e (5) Faixa de Domínio da Dutovia.

**Figura 10: Localização das áreas de ocupação dos equipamentos**



Fonte: *Google Earth*

#### 4.3.2 Caracterização das instalações

Os tanques destinados a armazenamento de produtos derivados do petróleo e álcool, em unidades petrolíferas, dependem de fatores econômicos, decorrentes do custo de obtenção do equipamento, como também dos custos originados pela perda de produtos por evaporação.

A Norma Petrobras N-270, Revisão C (2003, p.4), estabelece o tipo usual de tanque a ser selecionado de acordo com o produto a ser armazenado nas unidades petrolíferas. No ANEXO A (Tipos de tanques de armazenamento de líquidos e gás) consta a relação dos tipos de tanques destinados a armazenagem de substâncias derivadas de petróleo e o álcool.

A seguir será estabelecida uma descrição sumária das condições operacionais relativas ao transporte e ao armazenamento das substâncias derivadas do petróleo e álcool manipuladas pelo TEMADRE.

#### 4.3.2.1 Parque do Suape e sumário do processo

O objetivo principal da área operacional do Parque do Suape (Figura 10), é o armazenamento de gasolina e óleo combustível (OC). No Parque do Suape é onde estão implantados os maiores tanques em capacidade de armazenamento do terminal do TEMADRE. Os tanques, em número de onze, têm formato cilíndrico vertical e são dos tipos teto cônico e teto flutuante, e operam com pressão interna um pouco acima da pressão atmosférica.

Para as condições operacionais de carga e descarga são interligados por tubulações (tubos, válvulas, flanges etc.). Os tanques têm capacidade total de armazenamento de 106.420 m<sup>3</sup> de gasolina e 190.011 m<sup>3</sup> de óleo combustível. Todos os tanques, por razões de segurança, são instalados no interior de diques de contenção (taludes de terra com revestimento de grama), e são dotados de válvulas de segurança e sistema contra fogo no teto. A Figura 11 mostra a disposição dos tanques no Parque do Suape.

**Figura 11: Tancagem do TEMADRE no Parque do Suape**



Fonte: INNOVATION, 2011



#### 4.3.2.2 Parque Maria Quitéria e sumário do processo

Para a região do Parque Maria Quitéria (Figura 10) o objetivo principal da área operacional é o armazenamento de GLP nas esferas e GLP refrigerado nos tanques cilíndricos verticais. O sistema de armazenamento de GLP do Parque Maria Quitéria é composto de seis esferas e três tanques cilíndricos verticais do tipo teto hemisférico.

Na condição de armazenar GLP, as esferas operam com a pressão interna muito superior à pressão atmosférica.

Para atender às condições operacionais de carga e descarga as esferas e os tanques são interligados por tubulações (tubos, válvulas, flanges etc.). A capacidade total de armazenamento de GLP nas esferas é de 15.338 m<sup>3</sup> e nos tanques cilíndricos de tetos hemisféricos a capacidade total de armazenamento é de 32.273 m<sup>3</sup> de GLP refrigerado.

Todas as esferas, por razões de segurança, são instaladas no interior de diques de contenção pavimentados em concreto e os tanques cilíndricos verticais para armazenamento de GLP refrigerado são instalados no interior de dique de contenção (talude de terra com revestimento de grama) e são dotados de válvula de segurança e sistemas contra fogo na parte mais elevada dos tanques. A Figura 12 mostra as disposições das esferas e dos tanques cilíndricos no Parque Maria Quitéria.

**Figura 12: Tancagem do TEMADRE no Parque Maria Quitéria**



Fonte: INNOVATION, 2011

#### 4.3.2.3 Fábrica de Asfalto e sumário do processo

O objetivo principal da área operacional, demarcada na Figura 10 como Fábrica de Asfalto, é a produção de materiais asfálticos. É a região destinada para os tanques de armazenamento de petróleo, e para os tanques de armazenamento de resíduos oriundos de situações emergenciais. Os tanques têm formato cilíndrico vertical do tipo teto cônico, e operam com pressão interna um pouco acima da pressão atmosférica.

A Fábrica de Asfalto (FASF) pertence à PETROBRAS; é a Unidade 21 (U-21) da RLAM. A fábrica produz Cimento Asfáltico de Petróleo (CAP) e Asfalto de Cura Média (CM – 30), matérias primas para a produção de produtos asfálticos. Tem capacidade de armazenamento de 27.740 m<sup>3</sup> de produtos asfálticos.

Para as condições operacionais de carga e descarga são interligados por tubulações (tubos, válvulas, flanges etc.). Todos os tanques, por razões de segurança, são instalados no interior dos diques de contenção (taludes de terra com revestimento de grama) e são dotados de válvulas de segurança no teto. A Figura 13 mostra a disposição dos tanques na FASF.

**Figura 13: Tancagem do TEMADRE na Fábrica de Asfalto**



Fonte: Google Earth, 2013

#### 4.3.2.4 Parque do Mirim e sumário do processo

A região denominada Parque do Mirim (Figura 10) concentra, para efeito de armazenamento, a maior diversidade de derivados de petróleo (nafta, óleo diesel, QAV, *bunker*, gasolina, parafina, GLP, óleo diesel, óleo lubrificante, parafina) e álcool, e por consequência, é a região do município onde se concentra a maior quantidade de tanques, tanto cilíndricos de teto cônico e de teto flutuante, como esférico, totalizando vinte e sete tanques. Os tanques com formato cilíndrico vertical operam com pressão interna um pouco acima da pressão atmosférica e o tanque esférico, por armazenar gás, opera com a pressão interna muito superior à pressão atmosférica.

Para condições operacionais de carga e descarga são interligados por tubulações (tubos, válvulas, flanges etc.). O Parque do Mirim concentra uma capacidade de armazenamento de 308.187,99 m<sup>3</sup> dos diversos produtos acima relacionados. Todos os tanques, por razões de segurança são instalados no interior dos diques de contenção (taludes de terra com revestimento de grama) e são dotados de válvulas de segurança e sistema contra fogo no teto. A Figura 14 mostra a disposição dos tanques no Parque do Mirim.

Figura 14: Tancagem do TEMADRE no Parque do Mirim e Píer



Fonte: INNOVATION, 2011

#### 4.3.2.5 Dutovia

A dutovia é composta por diversos dutos<sup>3</sup> pressurizados internamente, com diâmetros variando entre 06 polegadas e 34 polegadas, e transportam por sistema de bombeamento os produtos derivados de petróleo produzidos na RLAM e álcool para armazenamento nos diversos tanques do terminal ou destinados a cargas e descargas em navios ancorados no píer de atracação. Os dutos aéreos ou subterrâneos encontram-se instalados na faixa de domínio da dutovia<sup>4</sup>.

A dutovia se estende desde o Parque do Suape, na entrada do município, até o Parque do Mirim, paralela a toda extensão da estrada BA 523. A Figura 10 mostra a demarcação da dutovia por toda a extensão do município. A estrutura física da dutovia guarda uma distância média lateral de 6 metros em relação à estrada BA 523, e uma distância variando entre 6 metros a 18 metros da faixa de ocupação das residências, por ambos os lados da estrutura física da dutovia. A configuração de ocupação da população e das estruturas físicas do município em relação à dutovia é a mesma por toda a extensão do município, conforme apresentação do trecho da dutovia da Figura 15, onde mostra a proximidade da dutovia tanto da estrada, como das residências, o que provoca uma grande apreensão da população quanto aos riscos que representa o transporte de produtos, de elevada periculosidade tão próximos em relação à estrada e às ocupações residenciais. A ocorrência de uma falha em um dos dutos da dutovia, transportando GLP, por exemplo, pode levar a consequências graves de efeito danosos para a população e às estruturas físicas existentes nas proximidades da dutovia.

---

<sup>3</sup> Dutos, são condutos cilíndricos fechados destinados ao transporte ou transferência de petróleo, seus derivados, álcool ou gás.

<sup>4</sup> Faixa de domínio da dutovia, é uma vala subterrânea ou a céu aberto. Na de céu aberto, que é a do tipo existente em Madre de Deus a estrutura física é construída em lastro de concreto que se estende da entrada do município até o terminal marítimo, com largura definida e onde estão instalados os dutos aéreos pressurizados para transportes de petróleo, seus derivados e mais o álcool e tem a função de delimitar e proteger os dutos instalados.



Figura 15: Trecho da faixa de domínio da dutovia



Fonte: Trabalho de campo, 2012

#### 4.4 PRODUTOS ENVOLVIDOS E QUANTIDADES MOVIMENTADAS

Com uma capacidade de armazenamento na ordem de 680.000 m<sup>3</sup>, o terminal do TEMADRE armazena em tanques e esferas, e transporta em dutos, os seguintes produtos: álcool, diesel, óleo lubrificante, parafina, QAV, GLP, gasolina, nafta, óleo combustível, *bunker* e petróleo.

O conhecimento das quantidades manuseadas, as propriedades físico - químicas, bem como as respectivas características de periculosidade das substâncias armazenadas e transportadas no terminal do TEMADRE são de fundamental importância para a determinação da análise de risco para as instalações petrolíferas, existentes no município.

Nas Tabelas 7, 8, 9 e 10 a seguir, estão inventariados os produtos derivados do petróleo armazenados em tanques e esferas localizados no Parque do Suape, Parque Maria Quitéria, Fábrica de Asfalto e Parque do Mirim, respectivamente, com os tanques identificados e com as capacidades de armazenamentos.

Tabela 7: Produtos armazenados no Parque do Suape

| Local Parque do Suape   |                  |                                     |
|-------------------------|------------------|-------------------------------------|
| Identificação do Tanque | Produto          | Volume Armazenado (m <sup>3</sup> ) |
| TQ – 7101               | Gasolina         | 23993,00                            |
| TQ – 7102               | Óleo Combustível | 23884,00                            |
| TQ – 7103               | Óleo Combustível | 23910,00                            |
| TQ – 7104               | Gasolina         | 23928,00                            |
| TQ – 7105               | Gasolina         | 21813,00                            |
| TQ – 7106               | Óleo Combustível | 21855,00                            |
| TQ – 7107               | Óleo Combustível | 34207,00                            |
| TQ – 7108               | Óleo Combustível | 34455,00                            |
| TQ – 7109               | Gasolina         | 36686,00                            |
| TQ – 7110               | Óleo Combustível | 25850,00                            |
| TQ – 7111               | Óleo Combustível | 25850,00                            |

Fonte: Adaptado da Agência Nacional do Petróleo (ANP, 1998)

Tabela 8: Produtos armazenados em esferas e tanques no Parque Maria Quitéria

| Local Parque Maria Quitéria |         |                                     |
|-----------------------------|---------|-------------------------------------|
| Identificação do Tanque     | Produto | Volume Armazenado (m <sup>3</sup> ) |
| EF – 7201                   | GLP     | 1639,00                             |
| EF – 7202                   | GLP     | 2441,00                             |
| EF – 7203                   | GLP     | 2441,00                             |
| EF – 7204                   | GLP     | 2460,00                             |
| EF – 7205                   | GLP     | 3177,00                             |
| EF – 7206                   | GLP     | 3180,00                             |
| TQ – 7201                   | GLP     | 18595,00                            |
| TQ – 7202                   | GLP     | 9342,00                             |
| TQ – 7203                   | GLP     | 9336,00                             |

Fonte: Adaptado da Agência Nacional do Petróleo (ANP, 1998)

Tabela 9: Produto armazenado em tanques na Fábrica de Asfalto

| Local Fábrica de Asfalto |          |                                     |
|--------------------------|----------|-------------------------------------|
| Identificação do Tanque  | Produto  | Volume Armazenado (m <sup>3</sup> ) |
| F - 2221 B               | Petróleo | 13870,00                            |
| F - 2207 D               | Petróleo | 13870,00                            |

Fonte: Adaptado da Agência Nacional do Petróleo (ANP, 1998)

**Tabela 10: Produtos derivados do petróleo e álcool armazenados em tanques e esfera no Parque do Mirim**

| Local Parque do Mirim   |                  |                        |
|-------------------------|------------------|------------------------|
| Identificação do Tanque | Produto          | Volume Armazenado (m³) |
| EF - 7301               | GLP              | 2433,00                |
| TQ - 7301 A             | Óleo Combustível | 20429,50               |
| TQ - 7301 B             | Óleo Combustível | 20429,50               |
| TQ - 7301 C             | Óleo Combustível | 20429,50               |
| TQ - 7301 D             | Óleo Combustível | 20429,50               |
| TQ - 7302 A             | Gasolina         | 10812,00               |
| TQ - 7302 B             | Gasolina         | 10862,00               |
| TQ - 7303 A             | Nafta            | 20301,50               |
| TQ - 7303 B             | Nafta            | 20301,50               |
| TQ - 7303 C             | Nafta            | 10640,00               |
| TQ - 7303 D             | Nafta            | 10640,00               |
| TQ - 7304 A             | Óleo Diesel      | 13863,50               |
| TQ - 7304 B             | Óleo Diesel      | 13863,50               |
| TQ - 7304 C             | Óleo Diesel      | 13863,50               |
| TQ - 7304 D             | Óleo Diesel      | 11394,00               |
| TQ - 7304 E             | Óleo Diesel      | 13863,50               |
| TQ - 7304 F             | Óleo Diesel      | 11394,00               |
| TQ - 7304 G             | Óleo Diesel      | 8610,33                |
| TQ - 7304 H             | Óleo Diesel      | 8610,33                |
| TQ - 7304 I             | Óleo Diesel      | 8610,33                |
| TQ -7305                | Bunker           | 4178,50                |
| TQ - 7306 A             | QAV              | 3969,50                |
| TQ - 7311 A             | Bunker           | 10467,00               |
| TQ - 7306 B             | QAV              | 3969,50                |
| TQ - 7307               | Álcool           | 4178,50                |
| TQ - 7308               | Álcool           | 8620,00                |
| TQ - 7309               | Parafina         | 484,00                 |

Fonte: Adaptado da Agência Nacional do Petróleo (ANP, 1998)

Na Tabela 11 estão inventariadas todas as substâncias derivadas do petróleo e álcool transportados através dos dutos pressurizados e com as respectivas capacidades transportadas por toda a extensão do município.

Tabela 11: Produtos transportados por dutos

| Produtos Transportados por Dutos |                         |                         |             |
|----------------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------|
| Produto                          | Diâmetro do duto (pol.) | Comprimento do duto (m) | Volume (m³) |
| Água Oleosa                      | 8                       | 5500                    | 176,00      |
| Álcool                           | 6                       | 1500                    | 28,50       |
| Álcool                           | 14                      | 1500                    | 135,00      |
| Bunker                           | 24                      | 5500                    | 1430,00     |
| Gás Liquefeito (GLP)             | 8                       | 3000                    | 96,00       |
| Gás Liquefeito (GLP)             | 12                      | 5500                    | 385,00      |
| Gás Liquefeito (GLP)             | 12                      | 3000                    | 210,00      |
| Gás Liquefeito (GLP)             | 18                      | 3000                    | 450,00      |
| Gás Liquefeito (GLP)             | 20                      | 3000                    | 540,00      |
| Gasolina                         | 14                      | 1500                    | 135,00      |
| Gasolina                         | 20                      | 5500                    | 990,00      |
| Nafta Petroquímica               | 16                      | 1500                    | 180,00      |
| Nafta Petroquímica               | 18                      | 1500                    | 225,00      |
| Nafta Petroquímica               | 18                      | 1500                    | 225,00      |
| Óleo Combustível                 | 12                      | 5500                    | 385,00      |
| Óleo Combustível                 | 18                      | 1500                    | 225,00      |
| Óleo Diesel                      | 16                      | 1500                    | 180,00      |
| Óleo Diesel                      | 16                      | 1500                    | 180,00      |
| Óleo Lubrificante                | 6                       | 1500                    | 28,50       |
| Óleo Lubrificante                | 6                       | 1500                    | 28,50       |
| Óleo Lubrificante                | 6                       | 1500                    | 28,50       |
| Parafina                         | 8                       | 1500                    | 48,00       |
| Petróleo                         | 34                      | 1500                    | 810,00      |
| Petróleo                         | 34                      | 1500                    | 810,00      |
| Querosene de Aviação (QAV)       | 12                      | 1500                    | 105,00      |

Fonte: Agência Nacional do Petróleo (ANP, 1998)

#### 4.5 CARACTERÍSTICAS DOS PRODUTOS ARMAZENADOS E TRANSPORTADOS

A caracterização das propriedades físico - químicas e toxicológicas dos produtos manuseados no terminal marítimo do TEMADRE e relacionados na Tabela 12 conduz a resultados coerentes para as simulações a serem desenvolvidas pelo sistema computacional, levando a partir daí a valores precisos do comportamento dos produtos em termos da taxa média de descarga, da evaporação e alcance da nuvem de gás decorrente de dispersão tóxica e/ou de caráter inflamável.

#### 4.5.1 Propriedades físico - químicas e toxicológicas dos produtos

Para os produtos manuseados no terminal do TEMADRE, a Tabela 12 define as principais propriedades físico – químicas e toxicológicas dos produtos. Os dados foram obtidos a partir das Fichas de Informações de Segurança de Produtos Químicos (FISPQ) da PETROBRAS.

**Tabela 12: Características físico – químicas dos produtos manuseados no TEMADRE**

| Características Físico-Químicas dos Produtos Manuseados |                    |                      |                        |  |
|---|--------------------|----------------------|------------------------|--|
| Produto   | Classe de Risco    | Ponto de Fulgor (°C) | Ponto de Ebulição (°C) | Efeito do Produto no Ser Humano  |
| Água Oleosa   | Líquido inflamável | 66                   | >110                   | Irritação das vias aéreas  |
| Álcool  | Líquido inflamável | 15                   | 78                     | Alteração do comportamento   |
| Bunker  | Líquido inflamável | >60                  | 288 a 338              | Irritação das vias aéreas  |
| Gasolina  | Líquido inflamável | - 43                 | _____                  | Efeito narcótico   |
| GLP   | Gás inflamável     | - 74                 | - 30                   | Asfixiante   |
| Nafta   | Líquido inflamável | 35                   | 60 a 90                | Depressor do sistema nervoso, irritação das vias aéreas, náusea e confusão |
| Óleo Combustível  | Líquido inflamável | 38                   | 150 a 471              | Irritação das vias aéreas  |
| Óleo Diesel   | Líquido inflamável | > 62                 | 288 a 338              | Toxicidade mediana   |
| Óleo Lubrificante                                       | Líquido inflamável | 30 a 70              | >100                   | Pouco tóxico   |
| Parafina  | Líquido inflamável | 58                   | 290                    | Não tóxica   |
| Petróleo  | Líquido inflamável | _____                | 30 a 90                | Dano ao pulmão quando em exposição repetida ou prolongada                  |
| QAV   | Líquido inflamável | >60                  | >35                    | Provoca sonolência e danos ao sistema nervoso central                      |

Fonte: FISPQ (PETROBRAS, 2002 a 2014)

Para a execução das simulações de dispersão é necessário conhecer as propriedades físico - químicas das substâncias envolvidas no acidente. O sistema RISKAN contém um banco de dados de substâncias puras com suas respectivas propriedades físico – químicas, como também, a caracterização quanto à toxicidade e à inflamabilidade de produtos.

#### 4.5.2 Compatibilidade entre as substâncias

Para as etapas de modelagem matemática de consequências, como o RISKAN faz a simulação com substâncias puras foi necessário estabelecer a compatibilização das substâncias manuseadas no TEMADRE com as substâncias puras reconhecidas pelo banco de dados do sistema computacional. A Tabela 13 apresenta a relação de compatibilidade entre as substâncias manuseadas no TEMADRE com as substâncias puras reconhecidas pelo sistema computacional.

**Tabela 13: Substâncias puras compatíveis às substâncias derivadas do petróleo e álcool manuseadas no TEMADRE**

| <b>Substâncias Puras Compatíveis com as Manuseadas</b> |                        |
|--|------------------------|
| <b>Derivado de Petróleo e Álcool</b>                   | <b>Substância Pura</b> |
| Álcool   | Etanol                 |
| Bunker   | n – Heptano            |
| Gasolina   | n – Pentano            |
| GLP  | n – Butano             |
| Nafta Petroquímica                                     | n – Pentano            |
| Óleo Combustível                                       | n – Heptano            |
| Óleo Diesel  | n – Heptano            |
| Óleo Lubrificante                                      | n – Heptano            |
| QAV  | n – Heptano            |

Fonte: Norma Técnica P 4.261 da CETESB, 2003

#### 4.5.3 Propriedades físico - químicas das substâncias puras

As propriedades físico - químicas das substâncias puras relacionadas na Tabela 13 estão definidas no ANEXO B (Propriedades físico - químicas das substâncias puras).

Para a escolha dos modelos de descarga que determinam a quantidade de substância, seja líquido ou gás, a ser liberada para o ambiente em decorrência de falha em duto de transporte ou tanque de armazenamento que provoque vazamento, é necessário estabelecer a estimativa da quantidade de substância liberada na forma

gasosa pela evaporação do líquido proveniente de uma poça formada do vazamento do líquido.

Como o sistema computacional processa dois modelos diferenciados de evaporação proveniente de uma poça, é necessário caracterizar, em termos de comportamento no processo de evaporação, a substância pura n – Butano como líquido adiabático e como líquido criogênico.

E conforme ressalta o Manual do Usuário RISKAN, Versão 1.0.2 (2012, p.199):

[...] A escolha do modelo depende do tipo de substância presente na poça. Se a substância é um gás liquefeito por criogenia, irá evaporar pela transferência de calor do solo. Se a substância é um líquido a temperatura ambiente, a evaporação se dará por corrente de vapor [...]

E complementando com a definição de Aparício (2012, p. 43) com relação a um líquido em um processo adiabático: “[...] é aquele no qual não há transferência de energia na forma de calor [...]”.

Com referência ao líquido criogênico a CETESB em seu informe de Emergências Químicas (2014, p. 4) estabelece a seguinte definição: “[...] São substâncias que, em condições normais de temperatura e pressão, encontram-se em estado gasoso e que para serem liquefeitas precisam ser submetidas a temperaturas inferiores a  $-150^{\circ}\text{C}$  [...]”.

#### 4.6 PARÂMETROS METEOROLÓGICOS E AMBIENTAIS

Para efeito desse estudo, além dos dados ambientais e meteorológicos obtidos das estações meteorológicas, foram adotados parâmetros emitidos pela norma CETESB P4.261 de 2003 como referência metodológica por ser a mais completa e atualizada em prática no Brasil. Os demais órgãos ambientais utilizam os parâmetros da norma CETESB como referência para elaboração dos estudos de análise quantitativa de risco, além do mais, a CETESB, atualmente, é um dos centros de referência da Organização das Nações Unidas (ONU) para questões ambientais.

#### 4.6.1 Dados meteorológicos

Para os estudos de análise de riscos foram utilizados os dados meteorológicos característicos da região de Madre de Deus e que servirão como dados de entrada para o desenvolvimento da modelagem matemática dos possíveis cenários acidentais.

Esses dados incluem a temperatura média do ar, umidade relativa média do ar, e direção e velocidade do vento. São dados climáticos, que podem ter influência direta na dispersão de nuvens geradas a partir das liberações de substâncias tóxicas e/ou inflamáveis. Os dados climáticos foram obtidos a partir das três Estações Meteorológicas Automáticas da RLAM, instaladas nos municípios de Candeias e São Francisco do Conde, de onde foram coletados dados correspondentes às médias horárias durante um período de três anos, entre 2005 e 2007, e a caracterização da classe de estabilidade para definir o grau de turbulência atmosférica a partir da velocidade do vento, radiação solar e percentagem de cobertura de nuvem para a região, de forma a configurar os modelos de dispersão atmosférica para a região de Madre de Deus.

##### 4.6.1.1 Temperaturas médias do ar

As temperaturas médias do ar registradas na Tabela 14 representam os dados meteorológicos da região de Madre de Deus em que foi adotada a média anual de 2005 a 2007, compreendendo o período diurno e o período noturno.

**Tabela 14: Temperaturas médias do ar**

| Temperatura Média do Ar | Valor (°C)     |                 |
|-------------------------|----------------|-----------------|
|                         | Período Diurno | Período Noturno |
| ANO 2005                | 28,00          | 26,30           |
| ANO 2006                | 28,50          | 25,10           |
| ANO 2007                | 28,00          | 26,70           |
| MÉDIA                   | 28,20          | 26,00           |

Fonte: Estações meteorológicas da RLAM (PETROBRAS, 2005 a 2007)



#### 4.6.1.2 Temperatura do solo

De acordo com as condições atmosféricas estabelecidas pela Norma Técnica da CETESB P 4.261(2003, p.24):

"[...] a temperatura do solo deverá ser considerada como sendo de 5° C acima da temperatura ambiente [...]".

Para o desenvolvimento deste trabalho as temperaturas foram adotadas a partir das médias das temperaturas da Tabela 14, serão 33,20° C para o período do dia e 31,00° C para o período da noite.

#### 4.6.1.3 Umidade média do ar

As umidades médias do ar registradas na Tabela 15 representam os dados meteorológicos da região de Madre de Deus, em que foi adotada a média anual de 2005 a 2007, compreendendo o período diurno e o período noturno.

**Tabela 15: Umidade média do ar**

| Umidade Média do Ar |                |                 |
|---------------------|----------------|-----------------|
| Período Anual       | Valor (%)      |                 |
|                     | Período Diurno | Período Noturno |
| ANO 2005            | 73,30          | 78,70           |
| ANO 2006            | 73,70          | 84,00           |
| ANO 2007            | 72,20          | 81,80           |
| MÉDIA               | 73,10          | 81,50           |

Fonte: Estações meteorológicas da RLAM (PETROBRAS, 2005 a 2007)

#### 4.6.1.4 Direções do vento

As direções do vento registradas na Tabela 16 representam os dados meteorológicos dos registros de dezesseis direções do vento, com suas respectivas probabilidades de incidências de vento na região de Madre de Deus, caracterizadas para o período diurno e período noturno.

Tabela 16: Direções do vento

| Direções do Vento    | Frequência Média (%) |                 |
|----------------------|----------------------|-----------------|
|                      | Período Diurno       | Período Noturno |
| NORTE (N)            | 1,50                 | 4,50            |
| NORTE-NORDESTE (NNE) | 5,58                 | 8,75            |
| NORDESTE (NE)        | 9,67                 | 13,00           |
| ESTE-NORDESTE (ENE)  | 15,75                | 14,50           |
| LESTE (E)            | 21,83                | 16,00           |
| LESTE-SUDESTE (ESE)  | 14,92                | 10,88           |
| SUDESTE (SE)         | 8,00                 | 5,75            |
| SUL-SUDESTE (SSE)    | 6,08                 | 4,17            |
| Sul (S)              | 4,17                 | 2,58            |
| SUL-SUDOESTE (SSW)   | 2,92                 | 2,33            |
| SUDOESTE (SW)        | 1,67                 | 2,08            |
| OESTE-SUDOESTE (WSW) | 1,58                 | 1,96            |
| OESTE (W)            | 1,50                 | 1,83            |
| OESTE-NOROESTE (WNW) | 1,58                 | 3,04            |
| NOROESTE (NW)        | 1,67                 | 4,25            |
| NORTE-NOROESTE (NNW) | 1,58                 | 4,38            |

Fonte: Estações meteorológicas da RLAM (PETROBRAS, 2005 a 2007)

#### 4.6.1.5 Velocidades médias do vento

As velocidades médias do vento registradas na Tabela 17 representam os dados meteorológicos da região de Madre de Deus, com altura de medição a uma elevação de 10 metros, em que foi adotada a média anual de 2005 a 2007, compreendendo separadamente o período diurno e o período noturno.

Tabela 17: Velocidades médias do vento

| Período Anual | Velocidades Média do Vento |                 |
|---------------|----------------------------|-----------------|
|               | Valor (m/s)                |                 |
|               | Período Diurno             | Período Noturno |
| ANO 2005      | 3,10                       | 2,40            |
| ANO 2006      | 4,00                       | 2,80            |
| ANO 2007      | 4,20                       | 2,90            |
| MÉDIA         | 3,80                       | 2,70            |

Fonte: Estações meteorológicas da RLAM (PETROBRAS, 2005 a 2007)

#### 4.6.1.6 Categoria de estabilidade atmosférica

Para determinar o comportamento de uma nuvem composta de substâncias químicas é importante estabelecer a estabilidade atmosférica da região.

A estabilidade atmosférica é categorizada a partir das classes de estabilidade determinadas por Pasquill (1961). É um sistema empírico, que foi utilizado para configurar os modelos de dispersão da região de Madre de Deus, conforme ocorrências nos períodos do dia e da noite, de forma a caracterizar as condições da estabilidade atmosférica. Os parâmetros básicos necessários para classificar a estabilidade atmosférica, a partir do método de Pasquill, são em função das informações de temperatura, direção e velocidade do vento, radiação solar e as ocorrências de nebulosidade na região.

Devido à indisponibilidade dos dados referentes à radiação solar e as ocorrências de nebulosidade, para efeito de caracterização da estabilidade atmosférica, foi adotado para a realização das simulações, a classe de estabilidade neutra D de Pasquill, que corresponde a um comportamento médio para a região, como condição atmosférica padrão, para desenvolver todas as situações de ocorrência no momento de um acidente, tanto para o período do dia, como para o período da noite.

Na Tabela 18 estão definidos os dados da condição atmosférica padrão para a região de Madre de Deus que foram adotadas durante o desenvolvimento desse estudo. Estes valores valem para as situações diferenciadas, conforme a ocorrência, para o dia e para a noite.

**Tabela 18: Condições atmosféricas padrão situação dia e noite**

| Condições Atmosféricas Padrão |          |   |
|-------------------------------|----------|---|
| Condição                      | Situação | Descrição   |
| Condição atmosférica padrão   | Dia      | Classe de estabilidade: D - neutra<br>Velocidade do vento: 3,80 m/s<br>Temperatura ambiente: 28,20 °C |
|                               | Noite    | Classe de estabilidade: D - neutra<br>Velocidade do vento: 2,70 m/s<br>Temperatura ambiente: 26,00 °C |

Fonte: Pasquill, 1961; Petrobras, 2005 a 2007

#### 4.7 ÁRVORES DE EVENTO AMBIENTAL PARA O DIA E PARA A NOITE

No APÊNDICE C constam as árvores de evento ambiental onde ficam estabelecidas as estruturas das probabilidades das ocorrências para cada evento iniciador do presente estudo e define as dependências das condições atmosféricas, com as probabilidades de ocorrências das direções do vento para o dia e para a noite relativa à região de Madre de Deus.

#### 4.8 TOPOGRAFIA DA REGIÃO - RUGOSIDADE DA SUPERFÍCIE

De acordo com o estabelecido na Norma Técnica CETESB, P4.261 (2003, p.24): “[...] O parâmetro relacionado com a topografia de uma região é denominado rugosidade da superfície do solo, o que considera a presença de obstáculos, tais como aqueles encontrados em áreas urbanas, industriais ou rurais [...]”.

O parâmetro que caracteriza a topografia, em termos de rugosidade da superfície, da região de Madre de Deus foi definido, de acordo com os critérios estabelecidos pela CETESB / P4. 261 (2003, p. 24 e p.25), demonstrado na Tabela 19. A rugosidade da superfície é um indicativo da presença de obstáculos que caracteriza as feições da região.

**Tabela 19: Parâmetro de rugosidade da superfície**

| <b>Parâmetro de Rugosidade da Superfície</b> |                                     |
|--|-------------------------------------|
| <b>Tipo de Superfície</b>                    | <b>Rugosidade da Superfície (m)</b> |
| Superfície marítima                          | 0,06                                |
| Área plana com poucas árvores                | 0,07                                |
| Área rural aberta                            | 0,09                                |
| Área pouca ocupada                           | 0,11                                |
| Área de floresta ou industrial               | 0,17                                |
| Área urbana                                  | 0,33                                |

Fonte: CETESB / P 4.261, 2003

A partir da configuração de ocupação do município de Madre de Deus, caracterizado como de elevada taxa de ocupação urbana, o parâmetro de rugosidade da superfície, adotado para efeito de cálculo, de acordo com a Tabela 19 é o equivalente ao de área urbana isto, 0.33 m, valor adotado para as hipóteses acidentais desse estudo.

#### 4.9 POPULAÇÃO ABRIGADA

Para o desenvolvimento deste estudo, conforme definido na Tabela 20 foi considerada, para todas as simulações, as seguintes taxas de ocupação da população abrigada (interior de residências, escolas, lojas etc.) durante o dia e a noite: 50% (cinquenta por cento) da população abrigada durante o dia e 90% (noventa por cento) da população abrigada durante a noite.

**Tabela 20: Situação da população residente abrigada dia e noite**

| Parâmetros Populacionais |                            |
|--------------------------|----------------------------|
| Situação da População    | Taxa da População Abrigada |
| Dia                      | 0,5                        |
| Noite                    | 0,9                        |

Fonte: Manual do usuário RISKAN, 2012'

#### 4.10 CONFIGURAÇÃO DA OCUPAÇÃO POPULACIONAL

Para delimitar as localidades de ocupação populacional no entorno das instalações de transporte e armazenamento de produtos petrolíferos existentes no município de Madre de Deus, o sistema computacional traça os polígonos de ocupação da população, demarcando as localidades expostas aos efeitos acidentais para cada uma das regiões que podem sofrer determinado tipo de dano em decorrência de um acidente químico ampliado nas instalações do terminal petrolífero.

Os dados referentes a distribuição populacional por região, demarcadas para efeito desse estudo constam no ANEXO C (Distribuição populacional por região do município de Madre de Deus). Os dados da distribuição populacional foram obtidos

junto à Secretária de Saúde / Sistema de Informação da Atenção Básica (SESAU/SIAB, 2012) da Prefeitura Municipal de Madre de Deus e foram utilizados como referência para estabelecer os limites dos polígonos de ocupação populacional para cada região exposta aos riscos acidentais no município.

#### 4.10.1 População no entorno do Parque do Suape e do Parque Maria Quitéria

A Figura 16 estabelece a área de ocupação circunvizinha ao Parque do Suape e ao Parque Maria Quitéria, totalizando para essas áreas de ocupação 7.310 habitantes.

**Figura 16: Polígono de ocupação da população no entorno do Parque do Suape e do Parque Maria Quitéria**



Fonte: Google Earth

A Tabela 21 estabelece a área de ocupação populacional, referentes ao Parque do Suape e ao Parque Maria Quitéria e registra a situação de ocupação pela população para os períodos do dia e da noite, bem como, as respectivas densidades de ocupação populacional.

**Tabela 21: População no entorno do Parque do Suape e do Parque Maria Quitéria (dia e noite)**

| <b>População no Entorno do Parque do Suape e do Parque Maria Quitéria</b> |                         |                                 |                             |   |
|---|-------------------------|---------------------------------|-----------------------------|---|
| <b>Situação</b>   | <b>Número de Pessoa</b> | <b>Porcentagem Abrigada (%)</b> | <b>Área (m<sup>2</sup>)</b> | <b>Densidade (pessoa/m<sup>2</sup>)</b> |
| Dia   | 7310                    | 50,00                           | 930189,39                   | 7,86e-03                                |
| Noite   | 7310                    | 90,00                           | 930189,39                   | 7,86e-03                                |

Fonte: Secretaria de Saúde de Madre de Deus (SESAU/SIAB, 2012)

#### **4.10.2 População no entorno da Fábrica de Asfalto – FASF**

Em vista da ocupação territorial pela população abranger a dois lados opostos das instalações industriais da Fábrica de Asfalto (FASF), conforme pode ser constatado nas Figura 17 e 18, para o desenvolvimento deste estudo de análise de riscos foi adotado o critério de subdividir a área de ocupação, tendo como referência as instalações da Fábrica de Asfalto, em duas regiões sujeitas aos mesmos efeitos provenientes das instalações petrolíferas. Fica estabelecida, portanto, as seguintes denominações, para efeito de diferenciação das áreas de ocupação: Fábrica de Asfalto (FASF I) e Fábrica de Asfalto (FASF II).

A Figura 17 mostra o polígono de ocupação circunvizinha à Fábrica de Asfalto (FASF I).



**Figura 17: Polígono de ocupação da população no entorno da Fábrica de Asfalto I (FASF I)**



Fonte: Google Earth

A Tabela 22 estabelece a área de ocupação, referente à FASF I e registra a situação de ocupação pela população para os períodos do dia e da noite, bem como, as respectivas densidades de ocupação populacional para a área circunvizinha à FASF I.

**Tabela 22: População no entorno da Fábrica de Asfalto - FASF I (dia e noite)**

| População no Entorno da Fábrica de Asfalto I (FASF I) |                  |                          |                        |                                    |
|---|------------------|--------------------------|------------------------|------------------------------------|
| Situação  | Número de Pessoa | Porcentagem Abrigada (%) | Área (m <sup>2</sup> ) | Densidade (pessoa/m <sup>2</sup> ) |
| Dia   | 4452             | 50,00                    | 416294,93              | 1,07e-02                           |
| Noite   | 4452             | 90,00                    | 416294,93              | 1,07e-02                           |

Fonte: Secretaria de Saúde de Madre de Deus (SESAU/SIAB, 2012)



A Figura 18 mostra o polígono de ocupação circunvizinha à Fábrica de Asfalto (FASF II), fazendo margem com a linha da costa.

**Figura 18: Polígono de ocupação da população no entorno da Fábrica de Asfalto II (FASF II)**



Fonte: Google Earth

A Tabela 23 estabelece a área de ocupação referente à FASF II e registra a situação de ocupação pela população para os períodos do dia e da noite, bem como, as respectivas densidades de ocupação populacional para a área circunvizinha à FASF II.

**Tabela 23: População no entorno da Fábrica de Asfalto II – FASF II (dia e noite)**

| População no Entorno da Fábrica de Asfalto II (FASF II) |                  |                          |                        |                                    |
|---|------------------|--------------------------|------------------------|------------------------------------|
| Situação  | Número de Pessoa | Porcentagem Abrigada (%) | Área (m <sup>2</sup> ) | Densidade (pessoa/m <sup>2</sup> ) |
| Dia   | 165              | 50,00                    | 10830,68               | 1,52e-02                           |
| Noite   | 165              | 90,00                    | 10830,68               | 1,52e-02                           |

Fonte: Secretaria de Saúde de Madre de Deus (SESAU/SIAB, 2012)

#### 4.10.3 População no entorno do Parque do Mirim

A Figura 19 mostra o polígono de ocupação circunvizinha ao Parque do Mirim.

**Figura 19: Polígono de ocupação da população no entorno do Parque do Mirim**



Fonte: *Google Earth*

A Tabela 24 estabelece a área de ocupação populacional referente ao Parque do Mirim e registra a situação de ocupação pela população para os períodos do dia e da noite, bem como, as respectivas densidades de ocupação populacional.

**Tabela 24: População no entorno do Parque do Mirim (dia e noite)**

| População no Entorno do Parque do Mirim |                  |                          |                        |                                    |
|---|------------------|--------------------------|------------------------|------------------------------------|
| Situação                                | Número de Pessoa | Porcentagem Abrigada (%) | Área (m <sup>2</sup> ) | Densidade (pessoa/m <sup>2</sup> ) |
| Dia                                     | 6256             | 50,00                    | 561824,75              | 1,11e-02                           |
| Noite                                   | 6256             | 90,00                    | 561824,75              | 1,11e-02                           |

Fonte: Secretaria de Saúde de Madre de Deus (SESAU/SIAB, 2012)

#### 4.11 PARÂMETROS DAS HIPÓTESES ACIDENTAIS

Dos produtos inventariados, armazenados em tanques ou transportados em dutos, não foram simulados acidentes com as substâncias petróleo, água oleosa e parafina, visto serem produtos de difícil ignição, sem que não se deixe de registrar o fato desses produtos provocarem prejuízos ambientais e materiais significativos, mas é pouco provável a ocorrência de fatalidades nas comunidades circunvizinhas às instalações petrolíferas, existentes no município de Madre de Deus.

O processo para definição e cálculo das probabilidades destes cenários é a árvore de eventos representada na Figura 20. O sistema computacional, permite que sejam montados diversos cenários acidentais a partir do evento iniciador e que sejam definidas as probabilidades finais de cada acidente.

##### 4.11.1 Árvore de eventos

De acordo com o conceito estabelecido pelo Manual do Usuário RISKAN, Versão 1.0.2 (2012, p.119), sobre árvore de eventos:

A árvore de eventos é uma representação gráfica dos tipos de desdobramentos possíveis a partir do evento iniciador. Cada ramo da árvore de eventos indica uma possível bifurcação, ou seja, uma indicação que o acidente pode se desdobrar de forma independente.

E ainda de acordo com a orientação do Manual do Usuário RISKAN, Versão 1.0.2 (2012, p.121): “[...] O RISKAN faz toda a parte ambiental da árvore de eventos, ou seja, a distinção entre dia e noite (situação), direções do vento e condições atmosféricas (velocidade do vento, classe de estabilidade e temperatura ambiente) [...]”.

Para definir as estimativas das frequências de ocorrência para os cenários acidentais, foi estabelecida uma árvore de evento padrão para grandes vazamentos, conforme Figura 20 para configurar vazamentos de líquidos e gás inflamáveis para os

trinta e um eventos iniciadores constantes na Tabela 6 com seus respectivos cenários acidentais.

A partir da hipótese acidental de um vazamento de um líquido inflamável, em uma unidade industrial qualquer, a primeira pergunta a ser feita na configuração da árvore de eventos é quanto à ocorrência ou não de ignição imediata a partir de determinado Evento Iniciador (EI).

Caso a resposta, seja Sim (S), isto é, ocorre ignição imediata, o cenário acidental se configura como um incêndio em poça, cuja radiação térmica gerada pode vir a causar danos às pessoas e às estruturas próximas da poça.

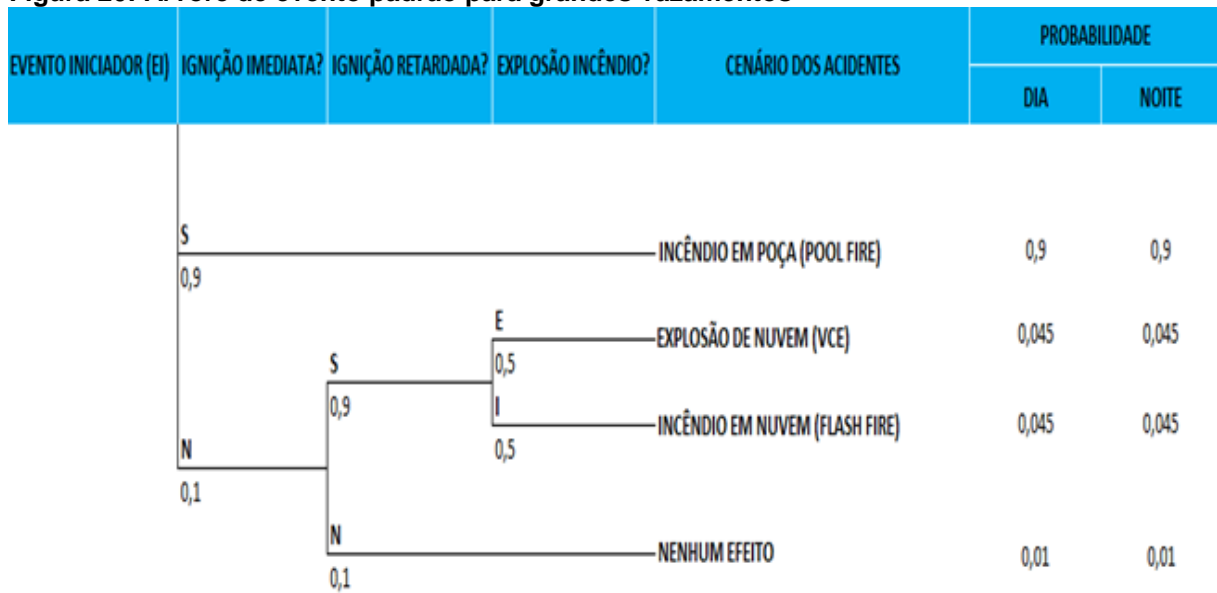
Caso a resposta, seja Não (N), isto é, a ignição é retardada (ignição distante do ponto da descarga acidental), o cenário acidental se desdobra em explosão de nuvem, incêndio em nuvem ou nenhum efeito

Para os cenários dos acidentes associados à explosão de nuvem e incêndio em nuvem, conforme a árvore de evento padrão da Figura 20 foram consideradas dezesseis direções de vento, conforme Tabela 16 onde ficam estabelecidas as respectivas probabilidades de incidência de vento na região de Madre de Deus, tanto para o dia, como para a noite e que ficam atreladas a árvore de eventos ambientais para os eventos iniciadores constantes no APÊNDICE C onde estão definidas as estruturas das probabilidades de incidência das direções do vento, para cada um dos eventos iniciadores do presente estudo.

Conforme os cenários acidentais que se apresentem durante a ocorrência de um vazamento de produto e que não resulte em ignição, ou seja, não haja registro de incêndio e/ou explosão, conforme a árvore de evento da Figura 20 fica caracterizado como nenhum efeito (dispersão em nuvem) no cenário dos acidentes.

Para o desenvolvimento deste estudo os valores das probabilidades de ocorrência para os cenários acidentais, determinadas na árvore de eventos, foram adotados os mesmos valores, tanto para o dia, como para a noite.

Figura 20: Árvore de evento padrão para grandes vazamentos



S= Sim; N= Não; E= Explosão; I= Incêndio.

#### 4.12 NUVEM NÃO CONFINADA - INCÊNDIO OU EXPLOÇÃO

Para o estudo foi determinado os valores probabilísticos para os efeitos da ocorrência de ignição imediata, ignição retardada ou de resultar em nenhum efeito de acordo com as referências citadas nas tabelas a seguir.

##### 4.12.1 Probabilidade de ignição

Durante a liberação acidental de uma nuvem de gás inflamável e que essa nuvem de gás inflamável entre em contato com uma fonte de ignição, dois processos distintos podem ocorrer: incêndio em nuvem ou explosão em nuvem. Por isso é necessário determinar se a probabilidade da ocorrência da ignição resultou em uma explosão em nuvem (gerando sobrepressão) ou em incêndio em nuvem (gerando carga térmica).

### a) Probabilidade de ignição imediata

No caso de uma liberação acidental de uma substância inflamável em uma instalação industrial a indagação inicial é quanto à ocorrência ou não de ignição imediata. Caso a resposta seja sim, tem-se a ocorrência imediata de um incêndio em poça, de onde a radiação térmica gerada pode causar danos às comunidades e às estruturas próximas da poça em chama.

Para cada uma das hipóteses acidentais desse estudo foram adotados os valores referentes às probabilidades de ignição imediata apresentados na Tabela 25 utilizadas pelo *Health and Safety Executive (HSE)*<sup>5</sup>, da Inglaterra aplicada no Estudo de Riscos de *Canvey Island, Safety and Reliability Directorate (SRD)*<sup>6</sup>, 1978, Diretório de Segurança e Confiabilidade.

**Tabela 25: Probabilidade de ignição imediata**

| Probabilidade de Ignição Imediata |               |
|-----------------------------------|---------------|
| Fontes de Ignição                 | Probabilidade |
| Nenhuma                           | 0,1           |
| Muito pouca                       | 0,2           |
| Pouca                             | 0,5           |
| Muita                             | 0,9           |

Fonte: HSE – Estudo de análise de riscos de Canvey Island (SRD, 1978)

As fontes de ignição imediata atendem aos seguintes conceitos de entendimento para fins de identificação:

- Nenhuma: Significa que Nenhuma fonte de ignição foi prontamente identificável. Exemplo: liberação limitada de hidrocarbonetos líquidos em um dique em caso de enchimento excessivo do tanque;

- Muito pouca: Grande liberação de gás liquefeito sob pressão, após ruptura catastrófica do tanque em uma área de tancagem. Exemplo: ocorrência de ruptura em casco de esfera de armazenamento de GLP;

<sup>5</sup> HSE, *Health and Safety Executive*: é a autoridade reguladora para identificação de perigos e estudos de avaliação de riscos do Reino Unido.

<sup>6</sup> SRD, *Safety and Reliability Directorate*: é uma organização de consulta das indústrias de óleo e gás, nucleares e químicas do Reino Unido.

- Pouca: Liberação de material inflamável próximo a operações não contínuas. Exemplo: liberação de GLP de um tanque próximo a instalação rodoviárias ou ferroviárias;

- Muita: Liberação de material inflamável, em uma instalação industrial de processo ou uma liberação resultante de um incêndio ou explosão nas vizinhança. Exemplo: instalações de armazenamento e transferência de substâncias derivadas de petróleo.

Para o estudo foi adotado o valor 0.9 para a probabilidade de ignição imediata, valor que de acordo com a Tabela 25 define a situação da região como “Muita”, devido à proximidade das instalações industriais de transporte e armazenamento de substâncias inflamáveis em ambiente urbano densamente povoado e por consequência das possíveis fontes de ignição, mesmo havendo, no caso das instalações da TRANSPETRO, a existência de medidas de controle e segurança. Justifica-se a adoção do valor devido à exposição dos equipamentos ao ambiente externo das instalações da TRANSPETRO, sujeitas a vandalismos, sabotagens e danos mecânicos, principalmente na dutovia.

#### b) Probabilidade de ignição retardada

A partir da configuração do cenário acidental decorrente do vazamento de uma nuvem de gás inflamável não confinada, quando a nuvem de gás inflamável vazada não entra em ignição imediata, gera uma nuvem em movimento, que ao encontrar uma fonte de ignição qualquer entra em ignição retardada, onde um dos dois fatos pode ocorrer: incêndio em nuvem ou explosão em nuvem de vapor não confinado (*UVCE*), com a ocorrência gerando radiação térmica e efeito de sobrepressão.

Logo, existe a necessidade de estabelecer a probabilidade de que na ocorrência da ignição da nuvem de vapor inflamável, resulte em incêndio em nuvem ou explosão em nuvem de vapor não confinado.

Para o desenvolvimento do presente estudo de análise de riscos, devido a estrutura urbana apresentar confinamento em vista da elevada taxa de ocupação residencial e de equipamentos instalados no município de Madre de Deus, foi adotado para a ocorrência de explosão em nuvem (*UVCE*) o modelo multi – energia por ser o modelo de cálculo mais recomendado, mais moderno e o mais amplamente utilizado.

E conforme o Manual do Usuário RISKAN, Versão 1.0.2, (2012, p.495):

[...] A explosão em nuvem, neste caso, indica que o centro da explosão pode ocorrer a diversas distâncias, conforme a condição atmosférica. A massa em cada distância e condição pode também ser distinta e, finalmente, o ponto exato da explosão ocorrerá conforme a direção do vento [...].

Em se tratando da probabilidade de ignição retardada, aplicada a cada uma das hipóteses acidentais desse estudo, conforme Tabela 26 foi adotado o valor para a ocorrência de nuvens em movimento, utilizadas pelo *Heath and Safety Executive (HSE)*, da Inglaterra aplicada no Estudo de Riscos de *Canvey Island (SRD, 1978)*.

De acordo com a Tabela 26 foi adotado o valor de 0.5 para determinar a probabilidade de ignição retardada, em vista da estrutura física do município de Madre de Deus ser ocupada por um terminal marítimo, mesmo valor adotado para o *Terminal da British Gas*.

**Tabela 26: Probabilidade de ignição retardada de nuvem em movimento**

| Probabilidade de Ignição Retardada |               |
|------------------------------------|---------------|
| Disposição das Nuvens Sobre        | Probabilidade |
| Terreno Vazio                      | 0,0           |
| Área Industrial                    | 0,9           |
| Terminal da British Gas            | 0,5           |

Fonte: *HSE – Estudo de análise de riscos de Canvey Island (SRD, 1978)*

### c) Probabilidade de nenhum efeito

A probabilidade de não ocorrer nenhum efeito ou dispersão atmosférica surge da condição, conforme demonstrado na árvore de evento da Figura 20, em que a partir do evento iniciador não ocorra ignição imediata e nem ignição retardada, devido à ausência de fonte de ignição. Conforme Tabela 25 foi adotado o valor 0.1 como probabilidade de não ocorrer ignição (*SRD, 1978*).



#### 4.13 EXPLOSÃO MULTI ENERGIA

A intensidade da explosão é definida através de um número inteiro adimensional no intervalo entre 1 a 10, e tem como objetivo estabelecer o tipo de combustão, podendo ser caracterizado entre incêndio em nuvem, com valor 1 até uma detonação com valor 10.

Conforme o Manual do Usuário RISKAN, Versão 1.0.2 (2012, p.472):

O modelo multi-energia parte de estudos realizados sobre explosão de gás pelo TNO<sup>7</sup> da Holanda com explosões confinadas. De fato, estes estudos indicaram que o grau de confinamento é um fator de primordial importância na explosão. Uma nuvem de gás sem nenhum tipo de confinamento não é capaz de produzir a explosão, apenas um incêndio em nuvem

E ainda, de acordo com o Manual do Usuário RISKAN, Versão 1.0.2 (2012, p.473):

[...] A classe de obstáculos da região onde ocorre a explosão é um valor entre 1 e 10. Quanto mais congestionada a região, maior o valor. O valor 1 é atribuído para regiões pouco obstruídas e o valor 10 para regiões muito obstruídas e confinadas [...].

Para a região de Madre de Deus, para efeito desse estudo, foi atribuído o valor de classe 10, devido ao grande congestionamento habitacional e dos equipamentos da indústria petrolífera implantados no município.

#### 4.14 DETERMINAÇÃO DO TERMO FONTE PARA DISPERSÃO

Para o presente estudo de acordo com as características do cenário acidental é necessário determinar o termo fonte para dispersão, ou seja, estabelecer tanto a quantidade como a forma que a substância é liberada ao longo do tempo para a atmosfera a partir de vazamentos.

---

<sup>7</sup> TNO, *Technological Netherlands Organisation*. Procedimento para análise quantitativa de riscos, emitido pelo comitê de prevenção de desastres do Ministério Holandês.

Para isso é necessário determinar a quantidade ou taxa com que a substância está sendo liberada para a atmosfera.

De acordo com a consideração do Manual do Usuário do RISKAN, Versão 1.0.2 (2012, p.426): “[...] Alguns gases, embora possuam densidades menores que o ar, tendem a carregar uma grande quantidade de gotículas líquidas. O comportamento na nuvem, neste caso, é de gás pesado, mesmo que a densidade do gás seja leve ou neutra [...]”.

Para efeito de desenvolvimento deste estudo, os eventos decorrentes de vazamentos serão simulados como gás pesado.

#### 4.15 ÁREAS VULNERÁVEIS

As áreas vulneráveis são as áreas localizadas no entorno das instalações industriais em que o meio ambiente e a população estão expostos às ocorrências de danos provenientes de um evento acidental. Logo para configurar essas áreas será adotado o critério das probabilidades de fatalidades e feridos e terão as áreas vulneráveis indicadas em três níveis, quais sejam: 1%, 50% e 99% esses valores correspondem a cada nível da curva de abrangência da área vulnerável, proveniente da ocorrência de acidentes nas instalações.

#### 4.16 ANÁLISE QUANTITATIVA DE RISCOS

Com base nos cenários acidentais, decorrentes das instalações de transporte e armazenamento de produtos derivados petrolíferos e álcool por toda a extensão do município de Madre de Deus, o estudo estrutura uma análise quantitativa de riscos, em que cada um dos cenários acidentais indicados tem desenvolvidos suas frequências esperadas para as ocorrências, bem como as magnitudes das suas consequências.

A análise quantitativa de riscos das instalações industriais do terminal marítimo existente no município de Madre de Deus tem como base os seguintes fatores:

a) identificação das áreas de ocupação populacional vulneráveis aos perigos dos cenários acidentais; b) estimativas de frequências das ocorrências acidentais com as respectivas consequências dos danos acidentais; c) análises de vulnerabilidades dos danos físicos decorrentes dos cenários acidentais desenvolvidas através de modelagem matemática; d) determinação das análises de riscos estimadas através das representações gráficas do risco social e do risco individual.

Uma das partes mais importantes do estudo quantitativo da análise de riscos é a caracterização do nível de aceitabilidade dos riscos, inerentes às atividades operacionais do empreendimento industrial. É a partir da caracterização do nível de aceitabilidade dos riscos que fica definido se o padrão de risco da instalação industrial é considerado aceitável ou não, portanto, define o quanto as atividades operacionais das instalações industriais são seguras para as pessoas da comunidade e para o meio ambiente em seu entorno.

De acordo com o critério estabelecido pela Norma Técnica CETESB, P4.261 (2003, p.29):

[...] quando dos estudos de análise de riscos caso os cenários acidentais extrapolem os limites do empreendimento e possam afetar pessoas, os riscos deverão ser estimados e apresentados nas formas de Risco Social e Risco Individual [...].

O sistema computacional desenvolve o cálculo do risco inerente a cada cenário acidental obtido a partir dos eventos relacionados na Tabela 6, gerando a curva F-N para o risco social e as curvas de iso-risco para o risco individual para cada evento.

Na etapa conclusiva o sistema computacional constrói a curva F-N para o risco social, assim como as curvas de iso-risco para o risco individual de forma abrangente para toda região do município, representada por todo o conjunto de ocupação da população e das instalações dos equipamentos da indústria do petróleo, existentes no município de Madre de Deus.

Para o desenvolvimento do presente estudo de análise quantitativa de riscos, os critérios de aceitabilidade a serem adotados para avaliação do risco social e do risco individual são os critérios adotados pela Norma Técnica CETESB P4.261 (2003).

#### **4.16.1 Padrões de tolerabilidade de risco**

As representações gráficas dos critérios de tolerabilidade dos riscos busca estabelecerem os valores inerentes à delimitação das regiões de riscos. O critério adotado pela CETESB abrange os seguintes níveis de riscos:

- Risco negligenciável, na representação gráfica das Figuras 21, 22 e 23 é a região do risco considerado aceitável, ou seja, região limitante do nível baixo dos riscos e que são considerados toleráveis;

- Região *As Low As Reasonably Practicable (ALARP)*, o risco é tolerável desde que seja: tão baixo quanto seja razoavelmente praticável. Nessa região, significa que os riscos devem ser reduzidos sempre que o custo das medidas necessárias para a redução forem consideradas razoáveis em termos de redução de riscos. A região *ALARP* está localizada entre as retas que delimitam a aceitabilidade para os riscos Negligenciável e Intolerável das Figuras 21, 22 e 23;

- Risco intolerável, na representação gráfica das Figuras 21, 22 e 23 é a região do risco considerado inaceitável a qualquer nível, ou seja, região limitante do nível alto dos riscos e que são considerados não aceitáveis.

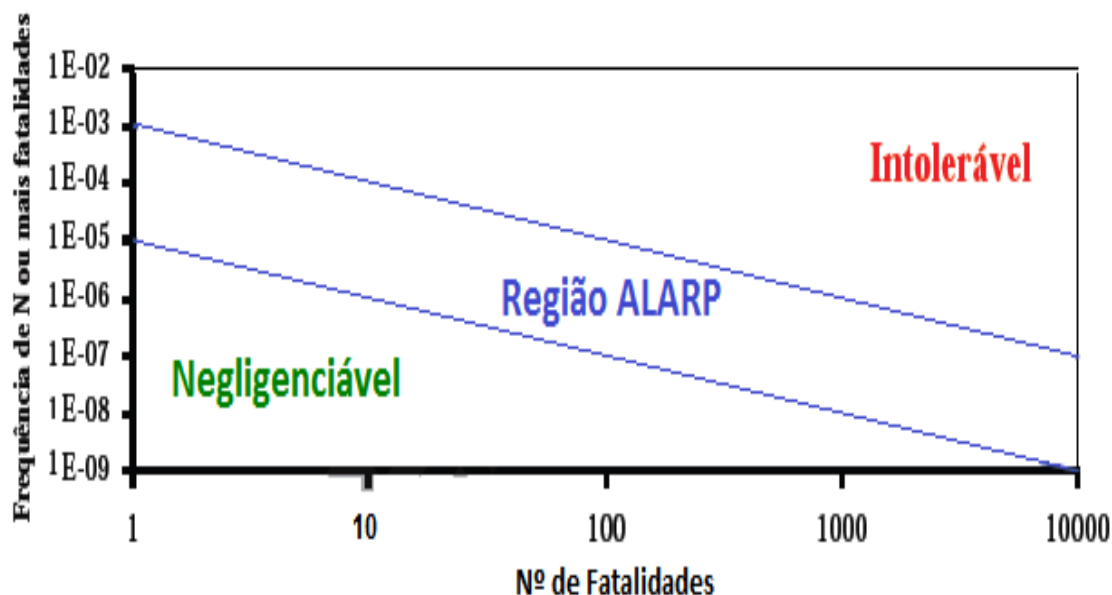
##### **4.16.1.1 Padrão e tolerabilidade para risco social**

Conforme orientação da Norma Técnica CETESB P4.261 (2003, p.33) a Figura 21 representa a curva F-N que define as retas limites de tolerabilidade, adotada como critério de avaliação quantitativa para do risco social de um empreendimento.

Os limites de tolerabilidade foram concebidos de forma a proteger os indivíduos constituintes das comunidades, bem com o meio ambiente situado nas circunvizinhanças das instalações industriais, como é o caso do município em estudo.

A curva F-N que define as retas limites de tolerabilidade, para efeito de aprovação das instalações existentes no município de Madre de Deus, deve estar situada na região negligenciável ou na região *ALARP* conforme Figura 21; acima desses limites os riscos são considerados Intoleráveis.

Figura 21: Critério de tolerabilidade de risco social



Fonte: CETESB P4.261, 2003

#### 4.16.1.2 Padrão e tolerabilidade para risco individual

Conforme orientação da Norma Técnica CETESB P4.261 (2003, p.33) a Figura 22 representa as regiões limites de tolerabilidade, adotada como critério de avaliação quantitativa para do risco individual de um empreendimento de atividade industrial.

O critério a ser adotado quanto à aprovação do risco individual para as instalações do terminal marítimo existentes em Madre de Deus, é que o limite de

tolerabilidade esteja situado na região negligenciável ( $< 1e-06/\text{ano}$ ) ou na região *ALARP* ( $\geq 1e-06/\text{ano}$ ). De forma que qualquer valor maior que  $1e-05/\text{ano}$  é considerado intolerável.

**Figura 22: Critério de tolerabilidade de risco individual**

|                      |                       |                        |
|----------------------|-----------------------|------------------------|
| $1E-05/\text{ano}$   | <b>Intolerável</b>    | Risco Máximo Tolerável |
| $< 1E-06/\text{ano}$ | <b>Região ALARP</b>   | Região Negligenciável  |
|                      | <b>Negligenciável</b> |                        |

Fonte: CETESB P4.261/2003

#### 4.16.1.3 Padrão e tolerabilidade para risco individual para duto

Conforme orientação da Norma Técnica CETESB P4.261 (2003, p.34) a Figura 23 representa as regiões limites de tolerabilidade, adotada como critério de avaliação quantitativa para do risco individual aplicado para dutos.

O critério a ser adotado quanto à aprovação do risco individual para as instalações dos dutos é que o limite de tolerabilidade esteja situado na região negligenciável ( $< 1e-05/\text{ano}$ ) ou na região *ALARP* ( $\geq 1e-05/\text{ano}$ ), de forma que qualquer valor maior que  $1e-04/\text{ano}$  é considerado intolerável.

**Figura 23: Critério de tolerabilidade de risco individual para dutos**

|                      |                       |                        |
|----------------------|-----------------------|------------------------|
| $1E-04/\text{ano}$   | <b>Intolerável</b>    | Risco Máximo Tolerável |
| $< 1E-05/\text{ano}$ | <b>Região ALARP</b>   | Região Negligenciável  |
|                      | <b>Negligenciável</b> |                        |

Fonte: CETESB. P4.261/2003

#### 4.16.1.4 Legenda das figuras do risco individual

Nas figuras representativas das curvas de iso-risco do risco individual para os eventos da Tabela 6 a legenda que incorpora as figuras representa os valores referentes às probabilidades de ocorrência de fatalidade individual por ano, para um indivíduo situado em determinada posição de abrangência dos contornos das curvas de iso-risco.

#### 4.16.2 Critério para aprovação das instalações do terminal marítimo

Conforme estabelecido na Norma Técnica CETESB P4.261 (2003, p.33), quanto aos critérios de compatibilizar os dados comparativos entre os valores do risco social e do risco individual, temos:

Para a aprovação do empreendimento, deverão ser atendidos os critérios de risco social e individual conjuntamente, ou seja, as curvas de risco social e individual deverão estar situadas na região negligenciável ou na região *As Low As Reasonably Practicable - ALARP*.

[...] o enfoque principal na avaliação dos riscos está voltado aos impactos decorrentes de acidentes maiores, afetando agrupamentos de pessoas, sendo, portanto, o risco social o índice prioritário nesta avaliação [...]

E complementando a *Norma Técnica CETESB P4.261 (2003, p.34)*:

O conceito da região denominada *ALARP* também se aplica na avaliação do risco individual, assim, os valores de riscos situados na região entre os limites tolerável e negligenciável, também deverão ser reduzidos tanto quanto praticável.

Logo, atendendo aos critérios estabelecidos pela Norma Técnica da CETESB P4.261 (2003, p.33), para a aceitabilidade das instalações do terminal marítimo, existentes no município de Madre de Deus, tanto o critério para o risco social como o do risco individual têm que ser atendidos conjuntamente.

Como forma de estabelecer o padrão comparativo de aceitabilidade entre os valores obtidos do risco social e do risco individual para uma perspectiva de acidente químico ampliado, e como a meta principal do presente estudo de análise de risco, está voltada para os impactos decorrentes dos acidentes de grande magnitude, aonde venha a afetar agrupamentos de pessoas das comunidades circunvizinhas às instalações petrolíferas em Madre de Deus, o risco social é o índice determinante para estabelecer a aceitabilidade dos riscos das instalações do terminal marítimo do TEMADRE.

#### 4.16.3 Faixa de domínio da dutovia em relação à população

Em uma dutovia, como a existente no município de Madre de Deus, para definição dos possíveis cenários acidentais foi estimado um intervalo de cálculo para cada 20,00 metros até o comprimento total da dutovia dentro do município. Este intervalo de cálculo estabelece de quanto em quantos metros foi efetuada a simulação de acidente na dutovia, Isto é devido ao fato de que o acidente pode ocorrer em qualquer ponto ao longo da dutovia.

A Tabela 27 estabelece o comprimento total da dutovia dentro do município e o intervalo de cálculo estimado para as simulações de riscos ao longo da dutovia.

**Tabela 27: Dimensões definidas para cálculo na dutovia**

| <b>Dutovia em Madre de Deus</b>         |           |
|---|-----------|
| <b>Dimensões Definidas Para Cálculo</b> |           |
| Intervalo de Cálculo                    | 20,00 m   |
| Comprimento Total                       | 3086,00 m |

A Figura 24 destaca a abrangência do traçado da dutovia em relação à população residente, compreendendo toda a extensão do município.



Figura 24: Traçado da dutovia no município



Fonte: *Google Earth*

## 5 DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

As memórias de cálculo e as respectivas modelagens matemáticas das hipóteses acidentais para os trinta e um eventos da Tabela 6 estão detalhadas no APÊNDICE A (Simulações e Modelos para Eventos), onde constam os seguintes subitens componentes de cada simulação: sequência detalhada do cálculo para a simulação por tipo de modelo; mapas indicativos das origens dos eventos; curvas representativas do risco social e do risco individual.

Dos trinta e um eventos relacionadas na Tabela 6, após o desenvolvimento dos cálculos dos cenários acidentais, o sistema computacional relaciona os dez eventos iniciadores mais sérios, ou seja, aqueles que representam o maior risco social médio (fat./ano) para as instalações em termos de risco, conforme relação da Tabela 28, onde constam para cada evento as contribuições absoluta (fat./ano) e relativa (percentual do risco social). Esses dez eventos foram submetidos à análise de simulações desenvolvidas neste capítulo no que diz respeito ao risco social, ao risco individual e as áreas vulneráveis aos efeitos acidentais (radiação térmica e explosão) para a população residente no entorno das instalações do TEMADRE. No APÊNDICE B (Tabelas das Simulações e Modelos para os Dez Eventos de Maior Risco Social Médio) constam as tabelas dos itens correlacionados com as simulações e as respectivas modelagens matemáticas para os dez eventos de maior risco social médio, os desenvolvimentos dos cálculos das frequências e os dados de entrada para o sistema computacional.

Os demais eventos relacionados na Tabela 6, por não representarem risco social médio elevado para a população têm as modelagens matemáticas e as respectivas análises das simulações desenvolvidas e agrupadas no APÊNDICE C (Eventos Iniciadores de Baixo Risco Social Médio), onde estão definidos os seguintes elementos: frequências; simulações com os respectivos tipos de danos; probabilidades de ocorrências para o dia e para a noite; fator de exposição; dados de entrada para cálculos; curvas representativas do risco social e do risco individual para cada evento de baixo risco social médio.

Os APÊNDICES A, B e C, assim como, os ANEXOS A e B estão gravados em *Compact Disk – CD – R* e são partes integrantes do presente estudo. Para efeito de

apresentação desse trabalho o desenvolvimento dos estudos dos cenários acidentais para os eventos relacionados na Tabela 28, serão apresentados conforme a ordem da relação dos eventos da Tabela 6 por atenderem os agrupamentos das localizações dos eventos por região do município.

É importante salientar que os dez eventos relacionados na Tabela 28 (Eventos Iniciadores de Maior Risco Social Médio) estão em ordem decrescente de importância para o risco social médio, isto é do maior para o menor grau de contribuição de risco social médio para a população externa às instalações industriais do TEMADRE, esta relação dos cenários mais significativos, em termos de maior risco social médio, indicam as regiões onde deve haver maior preocupação com os riscos provenientes das possíveis ocorrências acidentais e indicam os pontos sujeitos às medidas de mitigação em caso de ocorrência de acidente químico ampliado em uma das instalações de transporte e/ou armazenamento de forma a causar danos à população externa residente no município.

**Tabela 28: Eventos de maior risco social médio**

| <b>Eventos Iniciadores de Maior Risco Social Médio</b>  |                                      |                                 |
|---|--------------------------------------|---------------------------------|
| <b>Evento Iniciador</b>   | <b>Risco Social Médio (fat./ano)</b> | <b>Porcentagem do Total (%)</b> |
| EI-01- Grande vazamento nos dutos de GLP<br>Frequência: 2,3151e-04/ano                        | 4,1111e-03                           | 42,29                           |
| EI-05- BLEVE e bola de fogo nos dutos de GLP<br>Frequência: 3,7042e-05/ano                    | 1,7050e-03                           | 17,54                           |
| EI-26- Grande vazamento de óleo combustível nos TQ-7301 A/B/C/D<br>Frequência: 4,0000e-04/ano | 1,4924e-03                           | 15,35                           |
| EI-17- Grande vazamento de gasolina no TQ-7101<br>Frequência: 1,0000e-04/ano                  | 4,6570e-04                           | 4,79                            |
| EI-04- Grande vazamento nos dutos de gasolina/nafta<br>Frequência: 1,3891e-04/ano             | 4,2168e-04                           | 4,34                            |
| EI-19- Grande vazamento de gasolina no TQ-7109<br>Frequência: 1,0000e-04/ano                  | 3,9517e-04                           | 4,06                            |
| EI-03 -Grande vazamento nos dutos de óleo<br>Frequência: 1,8521e-04/ano                       | 2,5939e-04                           | 2,67                            |
| EI-18- Grande vazamento de gasolina nos TQ- 7104/TQ- 7105<br>Frequência: 2,0000e-04/ano       | 2,4837e-04                           | 2,55                            |
| EI-28- Grande vazamento de nafta nos TQ- 7303 A/B/C/D<br>Frequência: 4,0000e-04/ano           | 1,7580e-04                           | 1,81                            |
| EI-08- BLEVE e bola de fogo EF-7204/EF-7205<br>Frequência: 2,7000e-07/ano                     | 1,0776e-04                           | 1,35                            |
| Total   | 9,3824e-03                           | 96,75                           |

## 5.1 ESTUDO DOS CENÁRIOS ACIDENTAIS PARA OS EVENTOS DE MAIOR RISCO SOCIAL MÉDIO

A partir dos cenários acidentais, definidos pelo sistema computacional e relacionados como os dez eventos de maior risco social médio (fat./ano) para a população residente no entorno das instalações do TEMADRE, nos subitens a seguir, ficam definidas as análises de vulnerabilidade e os efeitos físicos para cada um dos dez eventos selecionados. Os efeitos físicos provenientes dos cenários acidentais são decorrentes de incêndio em poça, explosão em nuvem e incêndio em nuvem. Sendo que o efeito de incêndio em poça advém de vazamento de produtos inflamáveis no estado líquido e os efeitos de explosão e de incêndio em nuvem são decorrentes de vazamento de produtos inflamáveis no estado gasoso.

## 5.2 EVENTOS SIMULADOS NA DUTOVIA (EI-01, EI-03, EI-04 E EI-05)

Entre os dez eventos de maior risco social médio os eventos EI-01, EI-03 e EI-04 foram simulados na dutovia para a ocorrência de grande vazamento nos dutos de GLP, óleos, gasolina/nafta, respectivamente, e o evento EI-05 foi simulado na dutovia para a ocorrência de *BLEVE* e bola de fogo nos dutos de GLP.

Para a caracterização dos cenários acidentais para os dutos pressurizados transportando GLP, álcool, óleo e gasolina/nafta e álcool, com capacidade de se desdobrarem em cenários de severidade crítica ou catastrófica, foram desenvolvidas as simulações com objetivo de determinar as áreas de alcance e os respectivos níveis de danos esperados para as comunidades e as estruturas físicas no entorno das instalações, decorrente dos desdobramentos dos cenários acidentais na dutovia.

O mapa da Figura 25 registra as feições das áreas de ocupação da população em relação à dutovia, definida através dos polígonos de ocupação populacional (áreas com hachuras), no entorno de toda a extensão da dutovia dentro do município.

**Figura 25: Ocupação da população em relação à dutovia**

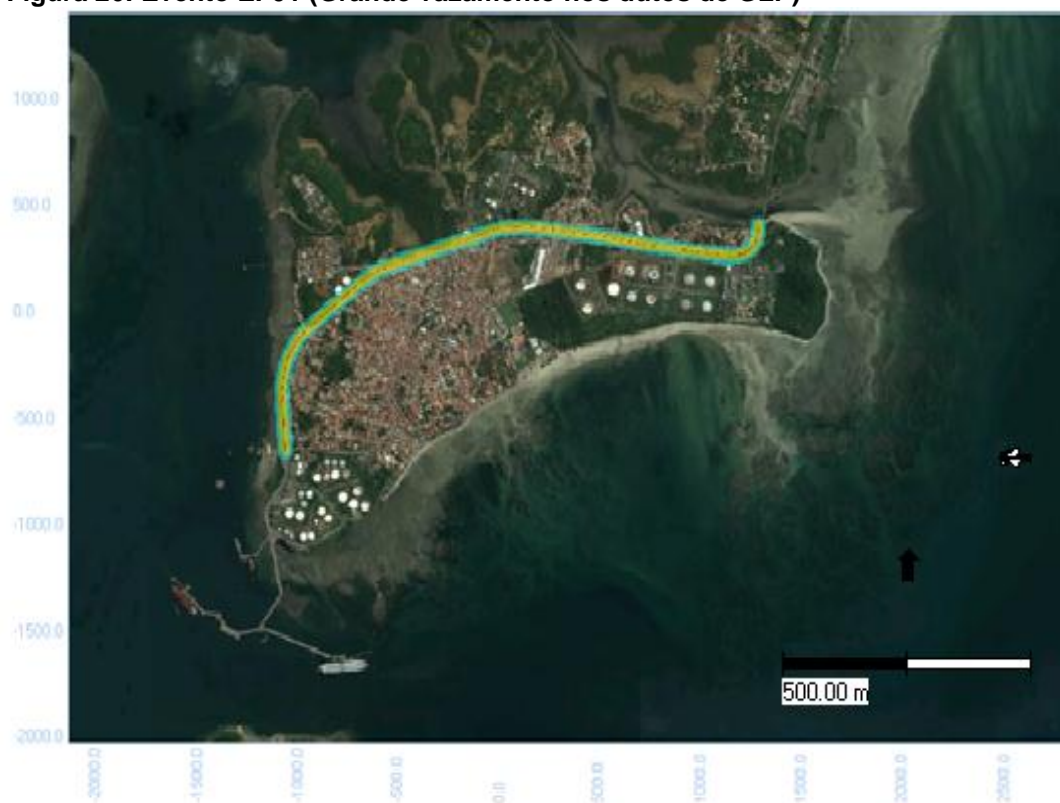


Fonte: Google Earth

### 5.2.1 Área vulnerável para eventos (EI-01, EI-03, EI-04 e EI-05)

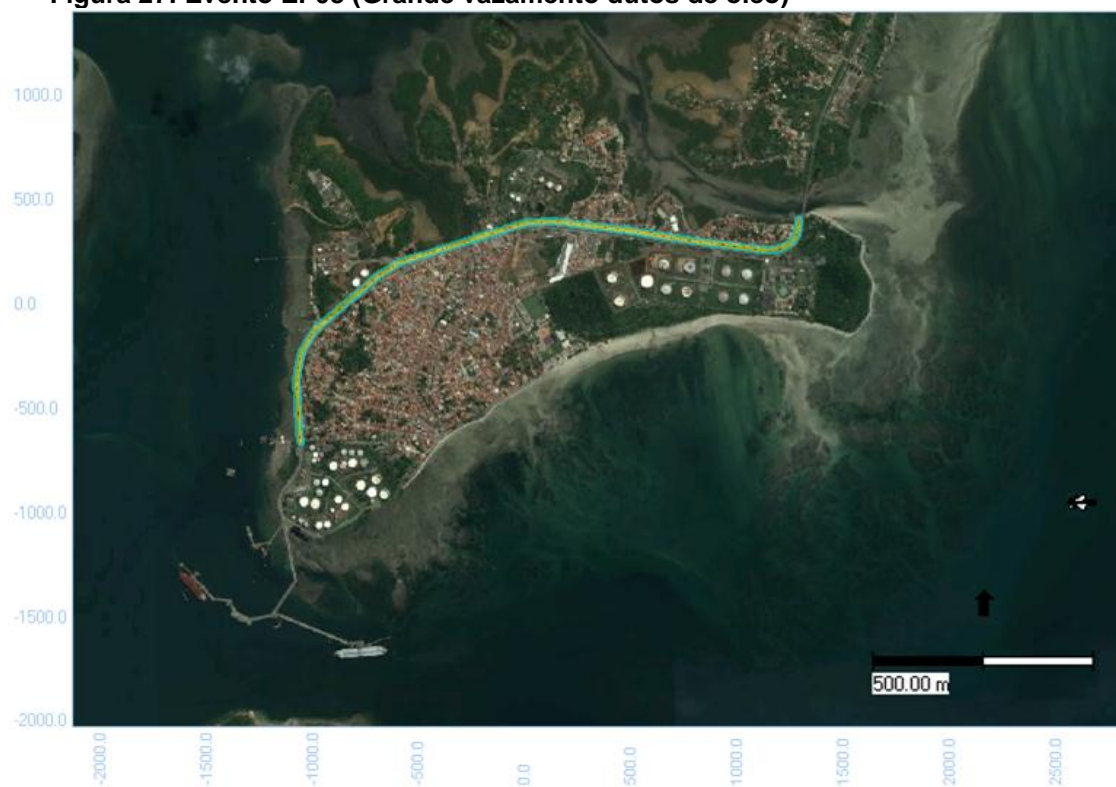
As Figuras 26, 27, 28 e 29 estabelecem as demarcações das curvas dos três níveis de vulnerabilidade para as ocorrências dos eventos EI-01, EI-03, EI-04 e EI-05, respectivamente, e definem as áreas propensas aos efeitos acidentais para toda extensão da dutovia causando fatalidades, ferimentos e/ou danos estruturais decorrente de um acidente causado por um grande vazamento nos dutos de GLP, óleo, gasolina/nafta e para a ocorrência de *BLEVE* e bola de fogo nos dutos de GLP.

Figura 26: Evento EI-01 (Grande vazamento nos dutos de GLP)



Fonte: Google Earth

Figura 27: Evento EI-03 (Grande vazamento dutos de óleo)



Fonte: Google Earth



Figura 28: Evento EI-04 (Grande vazamento dutos de gasolina/nafta)



Fonte: Google Earth

Figura 29: Evento EI-05 (BLEVE e bola de fogo nos dutos de GLP)



Fonte: Google Earth

A Tabela 29 registra as vulnerabilidades probabilísticas para os três níveis das curvas, com as respectivas distâncias máximas de alcance para os dois lados da dutovia, constituindo-se dessa forma, como áreas vulneráveis aos efeitos acidentais decorrentes de incêndio em poça e explosão em nuvem com probabilidade de fatalidade, ferimento e/ou dano material, consideradas para toda a extensão da dutovia propensa aos efeitos acidentais, decorrentes dos eventos EI-01, EI-03, EI-04 e EI-05, caracterizados como acidentes de grande vazamento nos dutos, respectivamente, de GLP, óleo, gasolina/nafta e *BLEVE* e bola de fogo nos dutos de GLP.

**Tabela 29: Níveis de vulnerabilidade para eventos EI-01, EI-03, EI-04 e EI-05**

| <b>Níveis de Vulnerabilidade para os Eventos</b>                   |              |                             |
|--|--------------|-----------------------------|
| <b>Evento EI-01 (Grande vazamento nos dutos de GLP)</b>            |              |                             |
| <b>Descrição</b>   | <b>Curva</b> | <b>Distância máxima (m)</b> |
| 1% Probabilidade de fatalidade                                     | Azul         | 38,0965                     |
| 50% Probabilidade de fatalidade                                    | Amarela      | 21,8158                     |
| 99% Probabilidade de fatalidade                                    | Vermelha     | 1,1966                      |
| <b>Evento EI-03 (Grande vazamento nos dutos de óleo)</b>           |              |                             |
| <b>Descrição</b>   | <b>Curva</b> | <b>Distância máxima (m)</b> |
| 1% Probabilidade de fatalidade                                     | Azul         | 20,8515                     |
| 50% Probabilidade de fatalidade                                    | Amarela      | 8,9723                      |
| 99% Probabilidade de fatalidade                                    | Vermelha     | 0,4921                      |
| <b>Evento EI-04 (Grande vazamento nos dutos de gasolina/nafta)</b> |              |                             |
| <b>Descrição</b>   | <b>Curva</b> | <b>Distância máxima (m)</b> |
| 1% Probabilidade de fatalidade                                     | Azul         | 16,6270                     |
| 50% Probabilidade de fatalidade                                    | Amarela      | 7,4590                      |
| 99% Probabilidade de fatalidade                                    | Vermelha     | 0,4091                      |
| <b>Evento EI-05 (BLEVE e bola de fogo nos dutos de GLP)</b>        |              |                             |
| <b>Descrição</b>   | <b>Curva</b> | <b>Distância máxima (m)</b> |
| 1% Probabilidade de fatalidade                                     | Azul         | 154,5060                    |
| 50% Probabilidade de fatalidade                                    | Amarela      | 78,5377                     |
| 99% Probabilidade de fatalidade                                    | Isenta       | 0,0000                      |



A partir das simulações desenvolvidas para a dutovia e que resultaram nos dados registrados da Tabela 29, constatou-se que os níveis de vulnerabilidade correspondentes às probabilidades de 1% e 50% de fatalidade para a população residente no entorno das instalações e que estão correlacionadas com as respectivas distâncias máximas de alcance aos efeitos acidentais provenientes dos eventos EI-01, EI-03, EI-04 e EI-05, provocam fatalidades alcançando as ocupações residenciais e as estruturas físicas (estrada, escolas, ginásio de esportes, parques etc.), devido às proximidades da dutovia com as ocupações existentes, onde as distâncias entre a dutovia e as ocupações urbana no município, conforme registrado anteriormente, varia entre 6 e 18 metros por ambos os lados e por toda extensão das instalações da dutovia.

### 5.3 RISCO SOCIAL PARA EVENTOS (EI-01, EI-03, EI-04 E EI-05)

As Figuras 30, 31, 32 e 33 representam as curvas F-N de tolerabilidades para o risco social dos cenários acidentais decorrentes dos eventos EI-01, EI-03, EI-04 e EI-05. As curvas (cor vermelha) representam os resultados do risco social para as comunidades expostas aos riscos decorrentes dos acidentes causados por grande vazamento nos dutos de GLP, óleo, gasolina/nafta e *BLEVE* e bola de fogo nos dutos de GLP.

**Figura 30: Risco social para evento EI-01**

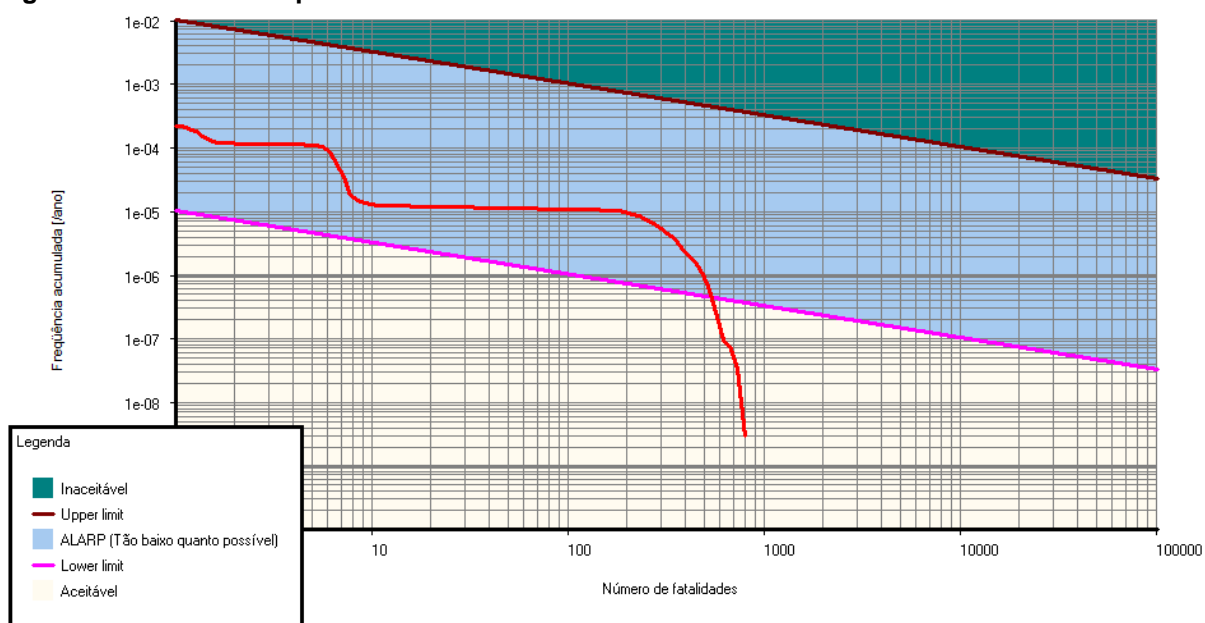


Figura 31: Risco social para evento EI-03

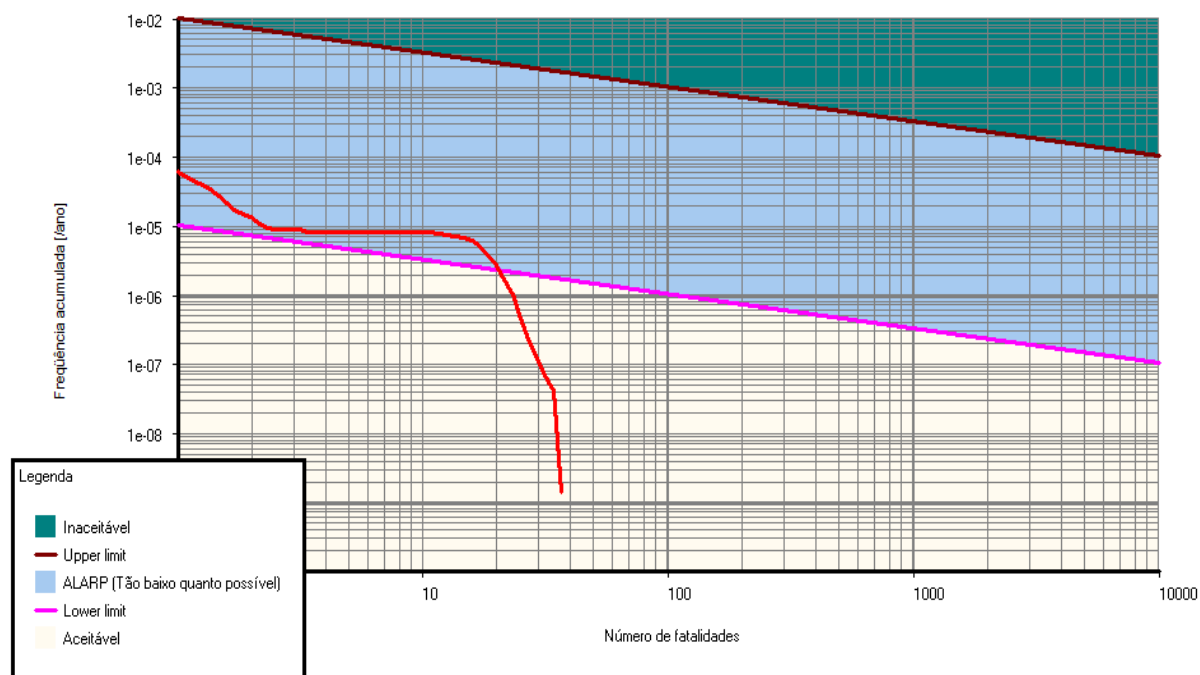
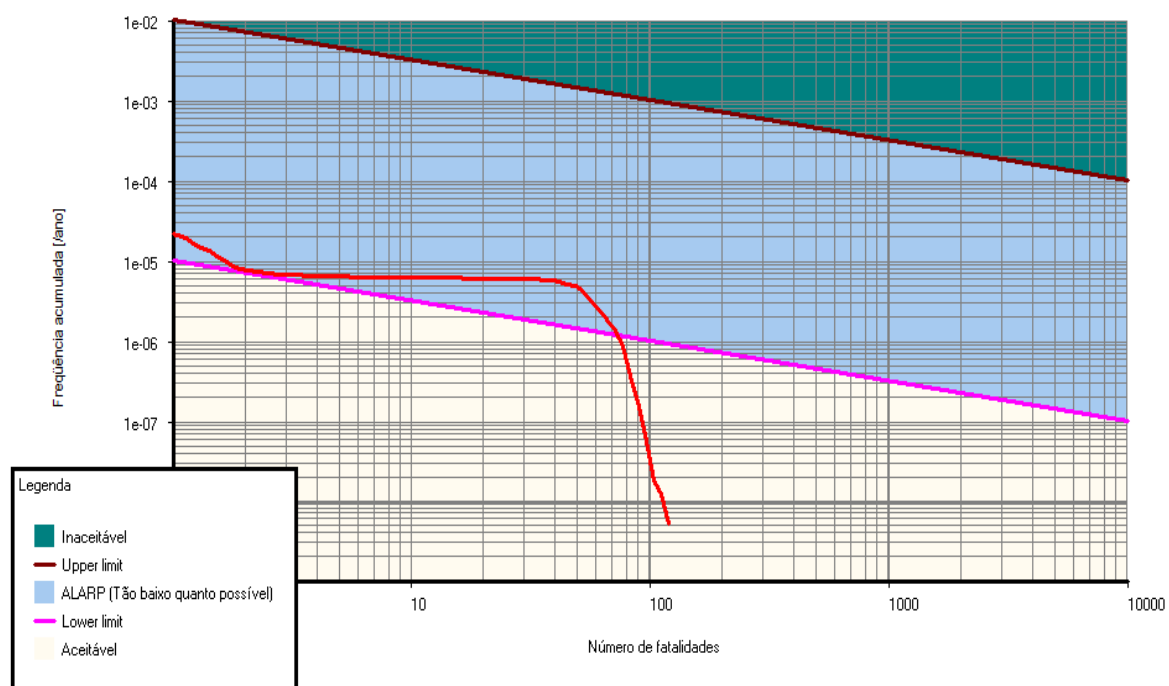
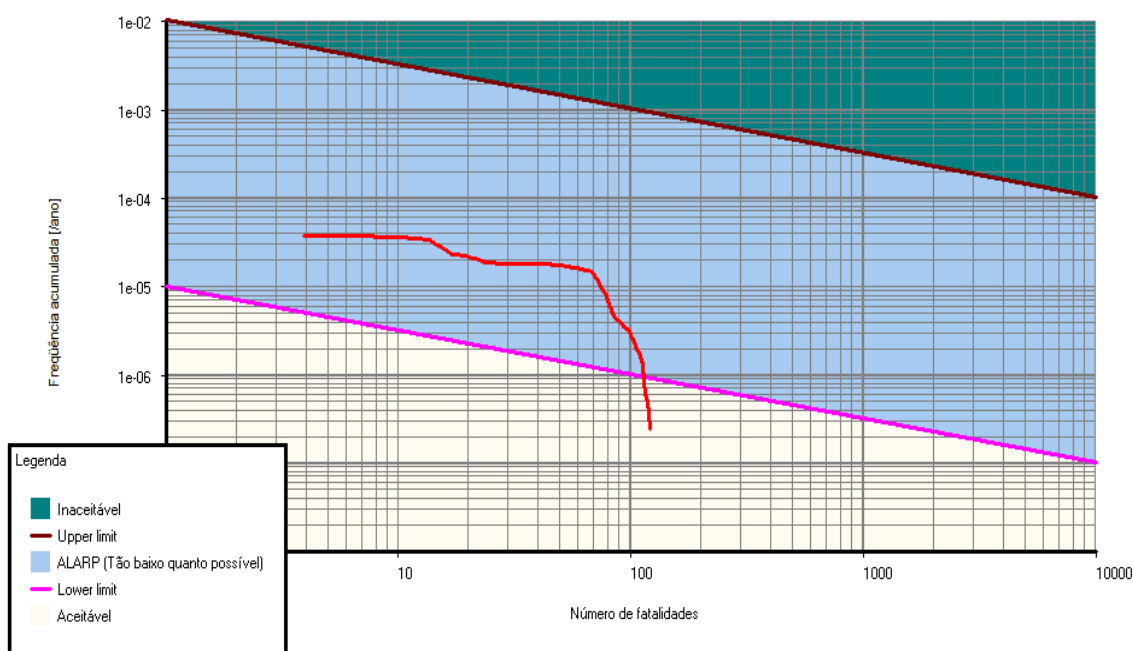


Figura 32: Risco social para evento EI-04



**Figura 33: Risco social para evento EI-05**



### 5.3.1 Análise comparativa do risco social para eventos (EI-01, EI-03, EI-04 e EI-05)

As curvas F-N de tolerabilidade de risco social das Figuras 30, 31, 32 e 33 mostram os traçados das curvas para os eventos EI-01, EI-03, EI-04 e EI-05 na região *ALARP*, ou seja, região do gráfico entre o limite inferior (*lower limit*) e o limite superior (*upper limit*) e conforme critério estabelecido pela CETESB, propostas de medidas preventivas devem sempre ser consideradas de forma a reduzir os riscos das instalações dos dutos de GLP, óleo e gasolina/nafta. As medidas de redução dos riscos devem ser avaliadas pelo responsável pela dutovia em termos de custo e reduzidos tanto quanto praticável.

Em vista das curvas para o riscos social dos eventos EI-01, EI-03, EI-04 e EI-05 ter os seus traçados na região *ALARP*, e por consequência, atender aos critérios de aceitabilidades estabelecidos pela CETESB, a atual estrutura das instalações dos dutos transportando derivados de petróleo e álcool nas proximidades do ambiente urbano, cabendo ao responsável pela dutovia, adotar medidas mitigadoras adicionais visando a redução dos riscos inerentes ao transporte de substâncias caracterizadas como de elevadas toxicidade, inflamabilidade e explosividade, na medida em que envolve a segurança da população residente nas proximidades da dutovia.

## 5.3.1.1. Risco social por tipo de dano

A Tabela 30 registra os dados que caracterizam a contribuição para o risco social por tipo de dano na ocorrência dos eventos EI-01, EI-03, EI-04 e EI-05. O tipo de dano que mais contribui para o risco social provém da carga térmica originada de incêndio em poça, provocando queimadura nos indivíduos das comunidades circunvizinhas à dutovia; queima e asfixia decorrentes de incêndio em nuvem e colapso estrutural proveniente de explosão advindo de um dos eventos acima relacionados.

Tabela 30: Risco social por tipo de dano para eventos EI-01, EI-03, EI-04 e EI-05

| Contribuição do Risco Social por Tipo de Dano               |                               |                          |
|---|-------------------------------|--------------------------|
| Evento EI-01 (Grande vazamento nos dutos de GLP)            |                               |                          |
| Tipo de dano  | Risco Social Médio (fat./ano) | Porcentagem do total (%) |
| Carga térmica   | 7,9304e-04                    | 19,29                    |
| Queima e asfixia  | 6,4732e-06                    | 0,16                     |
| Colapso estrutural  | 3,3116e-03                    | 80,55                    |
| Total   | 4,1111e-03                    | 100,00                   |
| Evento EI-03 – Grande vazamento nos dutos de óleo           |                               |                          |
| Tipo de dano  | Risco Social Médio (fat./ano) | Porcentagem do total (%) |
| Carga térmica   | 1,1244e-04                    | 43,35                    |
| Queima e asfixia  | 5,9690e-07                    | 0,23                     |
| Colapso estrutural  | 1,4635e-04                    | 56,42                    |
| Total   | 2,5939e-04                    | 100,00                   |
| Contribuição do Risco Social por tipo de dano               |                               |                          |
| Evento EI-04 – Grande vazamento nos dutos de gasolina/nafta |                               |                          |
| Tipo de dano  | Risco Social Médio (fat./ano) | Porcentagem do total (%) |
| Carga térmica   | 5,8276e-05                    | 13,82                    |
| Queima e asfixia  | 7,1356e-07                    | 0,17                     |
| Colapso estrutural  | 3,6269e-04                    | 86,01                    |
| Total   | 4,2168e-04                    | 100,00                   |
| Evento EI-05 – BLEVE e bola de fogo nos dutos de GLP        |                               |                          |
| Tipo de dano  | Risco Social Médio (fat./ano) | Porcentagem do total (%) |
| Carga térmica   | 1,7050e-03                    | 100,00                   |
| Total   | 1,7050e-03                    | 100,00                   |

Os registros da Tabela 30 indicam que o dano provocado por colapso estrutural em decorrência do efeito físico da explosão (impulso e sobrepressão) nos dutos de GLP, óleo e gasolina/nafta, é o dano que tem maior participação para o risco social médio (fat./ano) e com maior probabilidade de ocorrer para os eventos EI-01, EI-03 e EI-04. Acidentes que têm capacidade de causar fatalidades e ferimentos na população em decorrência de deslocamento de corpo, fratura na base do crânio, hemorragia pulmonar entre outros danos.

E para o evento EI-05 na ocorrência de *BLEVE* e bola de fogo nos dutos de GLP, entre os tipos de danos, prevalece o dano proveniente da emissão radiante da carga térmica com capacidade para causar fatalidades e ferimentos na população em decorrência de queimadura, entre outras ocorrências danosas.

#### **5.3.1.2. Risco social por tipo de acidente**

A Tabela 31 registra os dados que caracterizam o tipo de acidente mais grave para o risco social médio (fat./ano) a partir da ocorrência dos eventos EI-01, EI-03, EI-04 e EI-05. Os registros acidentais indicam que o tipo de acidente mais grave e com maior probabilidade de ocorrer é a explosão em nuvem proveniente dos eventos EI-01, EI-03 e EI-04 a partir de um registro acidental decorrente de grande vazamento nos dutos de GLP, óleo e gasolina/nafta, respectivamente.

Para registro do evento EI-05 que caracteriza a ocorrência de *BLEVE* e bola de fogo nos dutos de GLP, o acidente que representa maior gravidade e com maior probabilidade de ocorrer para o risco social médio é a bola de fogo.

Tabela 31: Risco social por tipo de acidente para eventos EI-01, EI-03, EI-04 e EI-05

| <b>Contribuição do Risco Social por Tipo de Acidente</b>           |                                      |                                 |
|--|--------------------------------------|---------------------------------|
| <b>Evento EI-01 (Grande vazamento nos dutos de GLP)</b>            |                                      |                                 |
| <b>Tipo de acidente</b>  | <b>Risco Social Médio (fat./ano)</b> | <b>Porcentagem do total (%)</b> |
| Incêndio em poça   | 7,9304e-04                           | 19,29                           |
| Explosão em nuvem  | 3,3116e-03                           | 80,55                           |
| Incêndio em nuvem  | 6,4732e-06                           | 0,16                            |
| Total  | 4,1111e-03                           | 100,00                          |
| <b>Evento EI-03 (Grande vazamento nos dutos de óleo)</b>           |                                      |                                 |
| <b>Tipo de acidente</b>  | <b>Risco Social Médio (fat./ano)</b> | <b>Porcentagem do total (%)</b> |
| Incêndio em poça   | 1,1244e-04                           | 43,35                           |
| Explosão em nuvem  | 1,4635e-04                           | 56,42                           |
| Incêndio em nuvem  | 5,9690e-07                           | 0,23                            |
| Total  | 2,5939e-04                           | 100,00                          |
| <b>Evento EI-04 (Grande vazamento nos dutos de gasolina/nafta)</b> |                                      |                                 |
| <b>Tipo de acidente</b>  | <b>Risco Social Médio (fat./ano)</b> | <b>Porcentagem do total (%)</b> |
| Incêndio em poça   | 5,8276e-05                           | 13,82                           |
| Explosão em nuvem  | 3,6269e-04                           | 86,01                           |
| Incêndio em nuvem  | 7,1356e-07                           | 0,17                            |
| Total  | 4,2168e-04                           | 100,00                          |
| <b>Evento EI-05 (BLEVE e bola de fogo nos dutos de GLP)</b>        |                                      |                                 |
| <b>Tipo de acidente</b>  | <b>Risco Social Médio (fat./ano)</b> | <b>Porcentagem do total (%)</b> |
| Bola de fogo   | 1,7050e-03                           | 100,00                          |
| Total  | 1,7050e-03                           | 100,00                          |

O acidente decorrente da explosão em nuvem nos dutos de GLP, óleo e gasolina/nafta, onde os efeitos podem atingir diversas distâncias a depender da intensidade e direção do vento, os efeitos da radiação térmica gerada da explosão têm possibilidade de provocar fatalidades e ferimentos na população, colapso em equipamentos e estruturas prediais que estiverem ao alcance dos efeitos da explosão em nuvem, constituindo-se no tipo de acidente, conforme registros da Tabela 31, com maior representatividade para o risco social médio (fat./ano) e com maior probabilidade de ocorrência entre os eventos EI-01, EI-03 e EI-04.

Para ocorrência do evento EI-05 a maior contribuição para o risco social médio decorrente do acidente *BLEVE* e bola de fogo nos dutos de GLP, provém da bola de fogo gerada a partir do acidente nos dutos de GLP, caracterizado como de efeito acidental danoso e de intensa radiação térmica em todas as direções sobre as comunidades, equipamentos e as estruturas prediais existentes nas circunvizinhanças da dutovia.

#### 5.4.RISCO INDIVIDUAL PARA EVENTOS (EI-01, EI-03, EI-04 E EI-05)

As curvas de iso-risco das Figuras 34, 35, 36 e 37 representam os contornos de risco individual para a ocorrência de grande vazamento nos dutos de GLP, óleo, gasolina/nafta e *BLEVE* e bola de fogo nos dutos de GLP, respectivamente e foram calculadas para toda a extensão dos dutos dentro do município.

As curvas de iso-risco definem as áreas expostas aos níveis de vulnerabilidade de risco individual e os respectivos valores referentes à probabilidade de ocorrência de fatalidade individual por ano (fat./ano) para um indivíduo situado em qualquer das posições de abrangência dos contornos das curvas. Os valores dos contornos das curvas de iso-risco, condizentes com as probabilidades de fatalidade individual, estão definidos na legenda do canto inferior esquerdo das figuras.

As curvas de iso-risco da Figura 37 representam os contornos de risco individual para a ocorrência de *BLEVE* e bola de fogo nos dutos de GLP, em decorrência de incêndio em poça em um dos dutos transportando álcool, óleo e gasolina/nafta. Invariavelmente um fenômeno *BLEVE* é proveniente de um incêndio externo que incide na parede de um equipamento, no caso específico do presente evento, dos dutos pressurizados. As curvas foram calculadas para toda a extensão da dutovia dentro do município e permitem visualizar os níveis de risco individual nas regiões em torno dos dutos de GLP para a ocorrência do evento EI-05, com indicativo do potencial de danos para cada um dos indivíduos da comunidade expostos aos riscos das instalações da dutovia.

Figura 34: Curvas de risco individual para evento EI-01

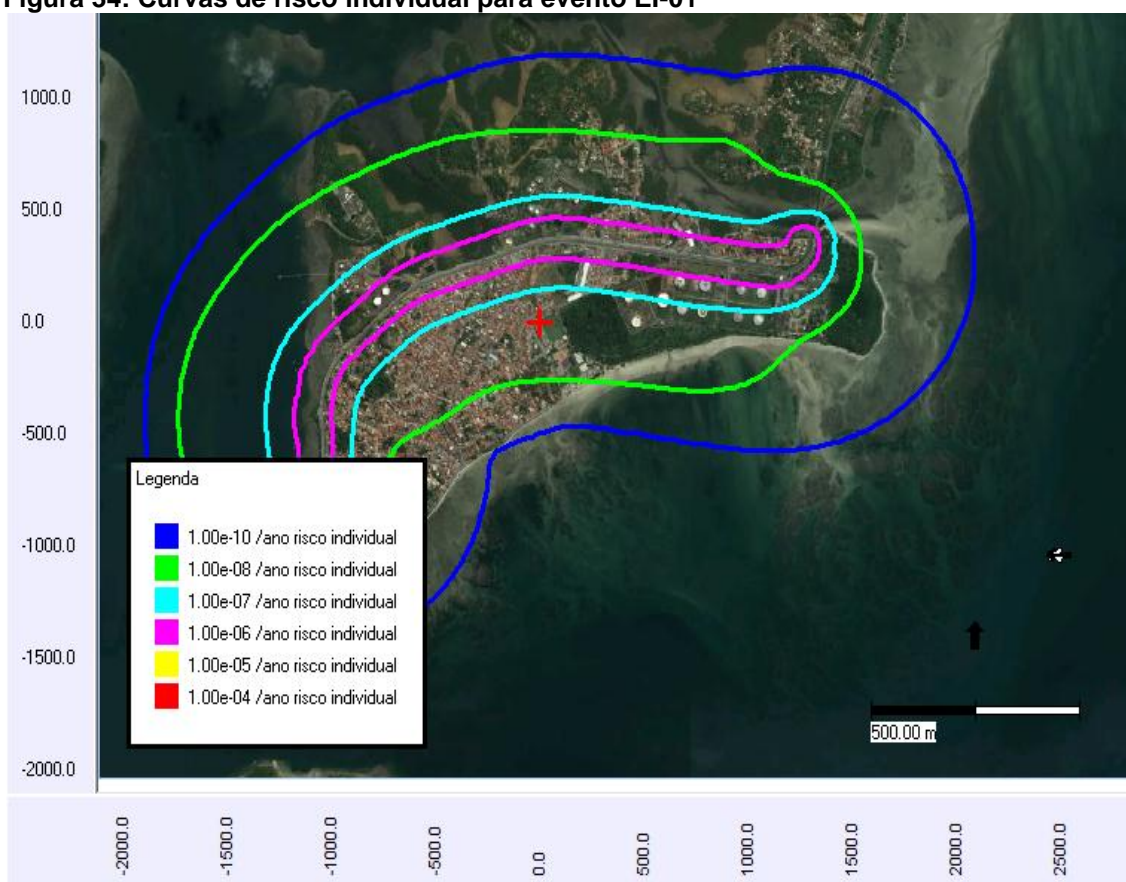


Figura 35: Curvas de risco individual para evento EI-03

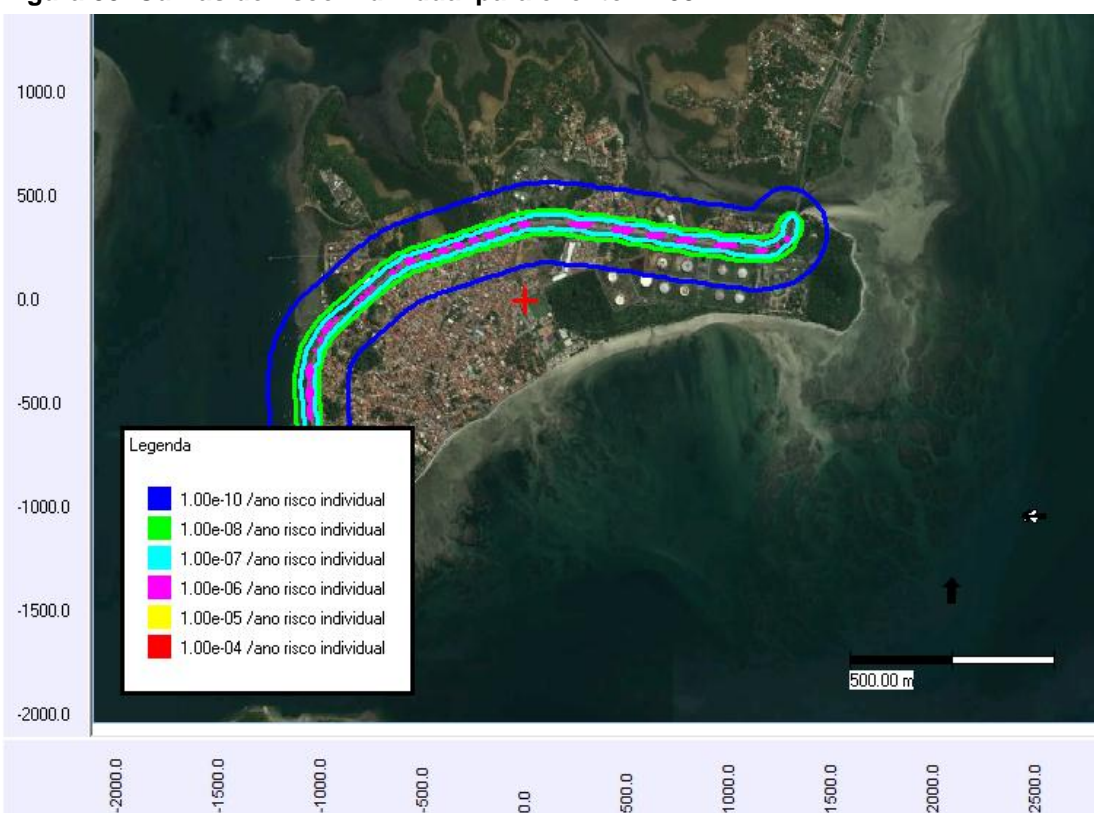




Figura 36: Curvas de risco individual para evento EI-04

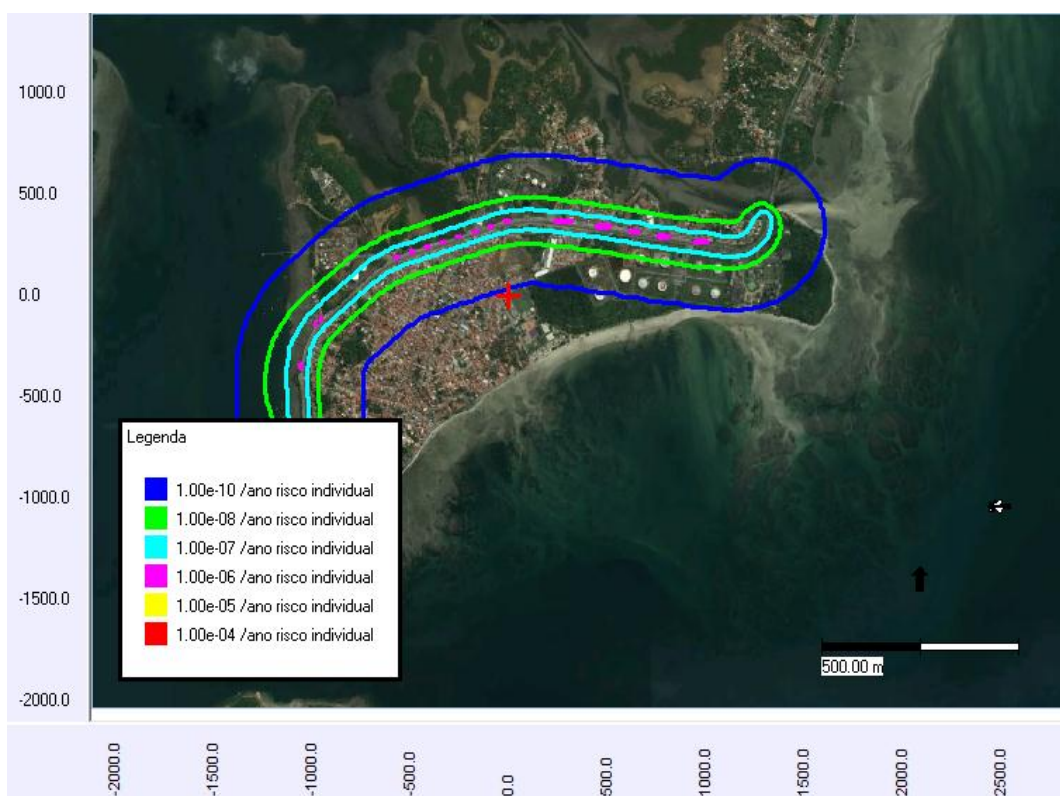


Figura 37: Curvas de risco individual para evento EI-05



A Figura 34 do evento EI-01 (Grande vazamento nos dutos de GLP) e a Figura 37 do evento EI-05 (*BLEVE* e bola de fogo nos dutos de GLP) mostram que os contornos das curvas de risco individual alcançam a área residencial e as estruturas urbanas por ambos os lados e por toda a extensão da dutovia dentro do município, nas figuras a curva de risco individual de cor violeta é a que atinge o nível mais elevado da faixa de risco de fatalidade com o valor indicativo risco de  $1,00e-06$ /ano, valor que representa a chance de um dos indivíduos das comunidades em torno das instalações da dutovia vir a sofrer um acidente em decorrência de um dos tipos de danos gerados a partir do desdobramento do evento EI-01 ( Grande vazamento nos dutos de GLP) ou do evento EI-05 (*BLEVE* e bola de fogo nos dutos de GLP), como incêndio em nuvem gerando carga térmica, provocando em decorrência fatalidade, queimadura e asfixia; explosão multi – energia, gerando colapso estrutural, deslocamento do corpo, fratura na base do crânio, hemorragia pulmonar, morte ou ferimento por fragmentos, entre outros danos.

Observando a Figura 35 do evento EI-03 (Grande vazamento nos dutos de óleo) e a Figura 36 do evento EI-04 (Grande vazamento nos dutos de gasolina/nafta) constatamos que os contornos das curvas de risco individual alcançam a área residencial e as estruturas urbanas por ambos os lados e por toda a extensão das instalações da dutovia dentro do município, nas figuras a curva de risco individual de cor violeta, coincidente com o centro da dutovia, atinge o nível mais elevado da faixa de risco de fatalidade em toda a extensão da dutovia com valor indicativo de risco de  $1,00e-06$ /ano, valor que representa a chance de um dos indivíduos das comunidades circunvizinhas às instalações da dutovia vir a sofrer fatalidade proveniente do evento EI-03 (Grande vazamento nos dutos de óleo) ou do evento EI-04 (Grande vazamento nos dutos de gasolina/nafta) decorrente de danos gerados a partir de explosão e carga térmica, provocando fatalidade, queimadura, asfixia, deslocamento do corpo, fratura na base do crânio, hemorragia pulmonar e demais danos físicos no indivíduo.

As curvas de risco individual representativas das áreas vulneráveis dos cenários acidentais decorrentes de grande vazamento e *BLEVE* e bola de fogo nos dutos de GLP têm maior abrangência de alcance lateral, por toda a extensão da dutovia, em relação aos cenários acidentais de grande vazamento de óleo e gasolina/nafta, devido ao comportamento do GLP, pois a partir da liberação acidental tende a expandir através da evaporação gerando nuvem de gás na atmosfera,

enquanto os líquidos inflamáveis (óleo e gasolina/nafta) tendem a formar poça de líquido sob os dutos.

As Figuras 34, 35, 36 e 37 indicam que a região delimitada pelas curvas iso-risco de cor violeta tem valor de  $1,00e-06$ /ano de risco de fatalidade e ao comparar com o gráfico do critério de tolerabilidade de risco individual para dutos, o registro indica que os riscos estão na região negligenciável, ou seja, os riscos são considerados toleráveis, pois estão abaixo do limite estabelecido pela CETESB que é de  $1,00e-05$ /ano de risco de fatalidade por ano.

#### **5.4.1. Risco individual médio para eventos (EI-01, EI-03, EI-04 e EI-05)**

A Tabela 32 apresenta o resultado do risco individual médio por ano para as regiões afeitas aos níveis de influência acidental decorrente dos eventos simulados na dutovia (EI-01, EI-03, EI-04 e EI-05). A partir da Tabela 28 constatamos que para os eventos simulados para cada instalação industrial no município e indicados como os eventos de maior risco social médio, os eventos EI-01 e EI-05 foram simulados na dutovia, e como por definição o risco individual médio, conforme a expressão (8), é diretamente proporcional ao risco social médio e inversamente proporcional à população da comunidade em estudo, conforme os registros da Tabela 32, a região do município com maior propensão ao risco individual médio (/ano), entre todos os eventos simulados na dutovia, é a região da Fábrica de Asfalto II, principalmente para o efeito acidental proveniente do evento EI-01 (Grande vazamento nos dutos de GLP).

A outra região que apresenta propensão ao risco individual médio, mas com menor potencial, é a região da Fábrica de Asfalto I.

Tabela 32: Risco individual médio para os eventos EI-01, EI-03, EI-04 e EI-05

| Risco Individual Médio para os Eventos                      |                               |
|---|-------------------------------|
| Evento EI-01 (Grande vazamento nos dutos de GLP)            |                               |
| População do Local  | Risco Individual Médio (/ano) |
| Parque do Suape / Maria Quitéria                            | 7,70e-12                      |
| Parque do Mirim   | 3,57e-12                      |
| Fábrica de Asfalto I  | 1,50e-11                      |
| Fábrica de Asfalto II                                       | 1,84e-9                       |
| Evento EI-03 (Grande vazamento nos dutos de óleo)           |                               |
| População do Local  | Risco Individual Médio (/ano) |
| Parque do Suape / Maria Quitéria                            | 3,33e-13                      |
| Parque do Mirim   | 2,24e-13                      |
| Fábrica de Asfalto I  | 8,58e-13                      |
| Fábrica de Asfalto II                                       | 5,04e-11                      |
| Evento EI-04 (Grande vazamento nos dutos de gasolina/nafta) |                               |
| População do Local  | Risco Individual Médio (/ano) |
| Parque do Suape / Maria Quitéria                            | 4,30e-13                      |
| Parque do Mirim   | 2,16e-13                      |
| Fábrica de Asfalto I  | 9,32e-13                      |
| Fábrica de Asfalto II                                       | 8,44e-11                      |
| Evento EI-05 (BLEVE e bola de fogo nos dutos de GLP)        |                               |
| População do Local  | Risco Individual Médio (/ano) |
| Parque do Suape / Maria Quitéria                            | 1,09e-12                      |
| Parque do Mirim   | 1,11e-12                      |
| Fábrica de Asfalto I  | 2,80e-12                      |
| Fábrica de Asfalto II                                       | 1,91e-10                      |

#### 5.4.2 Avaliação dos riscos e das consequências para eventos (EI-01, EI-03, EI-04 e EI-05)

De acordo com o critério de aceitabilidade dos riscos estabelecido pela CETESB, as instalações dos dutos de GLP, óleo e gasolina/nafta para a ocorrência de grande vazamento, *BLEVE* e bola de fogo nos dutos de GLP, atendem ao risco social (região *ALARP*) e ao risco individual (região Negligenciável). De acordo com o que estabelece o critério da CETESB as instalações estão aprovadas, desde que medidas preventivas sejam sempre consideradas de forma a reduzir os riscos das instalações da dutovia para as comunidades circunvizinhas.

Apesar dos resultados obtidos para as simulações dos eventos EI-01, EI-03, EI-04 e EI-05 atenderem ao critério da CETESB, em termos de aprovação das instalações dos dutos de GLP, óleo e gasolina/nafta, existem fatores que impedem o

aceite favorável para a atual situação das instalações da dutovia, congestionada por diversos dutos, transportando a alta pressão e elevada temperatura produtos derivados do petróleo e álcool, resultando dessa forma em um maior potencial de risco para a população, devido ao acúmulo de grande quantidade de produtos petrolíferos de alto poder de inflamabilidade, explosividade e toxicidade nas proximidades das estruturas urbana, para um município que tem uma densa ocupação humana circunvizinha nas duas faixas laterais das instalações da dutovia.

Ocorrendo um acidente de grande magnitude, em um dos dutos é grande a possibilidade dos demais dutos serem atingidos, causando um acidente na dutovia de forma catastrófica, gerando a partir dos cenários acidentais os efeitos físicos danosos provenientes das tipologias acidentais decorrentes do acidente (incêndio em nuvem e explosão multi - energia) com possibilidade de alcançar as estruturas físicas existentes nos dois lados da dutovia, tais como: residências, escolas, hospital, indústria, ginásio de esportes, área de recreação, pontos comerciais, terminal marítimo de embarque e desembarque de passageiro, estruturas físicas prediais e demais instalações industriais compostas de tanques de armazenamento de produtos derivados do petróleo. A outra estrutura física a ser alcançada, por toda extensão dentro do município é a estrada BA 523, com uma distância média lateral de 6 metros em relação à dutovia, única via de acesso terrestre ao município e com tráfego intenso, o que favorece, sobre maneira a fragilidade para a ocorrência de danos para a população exposta aos riscos.

## 5.5 EVENTOS SIMULADOS NAS ESFERAS E NOS TANQUES DE ARMAZENAMENTO

Na Tabela 28 consta os eventos de maior risco social médio relacionados com o sistema de armazenamento de produtos derivados de petróleo em esferas e tanques e identificados conforme segue: EI-08 (*BLEVE* e bola de fogo EF-7204/EF-7205); EI-17 (Grande vazamento de gasolina no TQ-7101); EI-18 (Grande vazamento de gasolina nos TQ-7104/TQ-7105); EI-19 (Grande vazamento de gasolina no TQ-7109); EI-26 (Grande vazamento de óleo combustível nos TQ-7301 A/B/C/D); EI-28 (Grande vazamento de nafta nos TQ-7303 A/B/C/D).

### 5.5.1 Simulação de *BLEVE* e bola de fogo nas esferas EF-7204/EF-7205

Para efetivar a simulação do evento acidental para a ocorrência do *BLEVE* e bola de fogo nas esferas EF-7204/EF-7205 do Parque Maria Quitéria, foram levada em consideração os seguintes fatores: probabilidade de ocorrência de incêndio em poça, proveniente do desdobramento de qualquer acidente ocorrido a partir de um dos eventos EI-06, EI-07, EI-09, EI-10, EI-12 e EI-13, conforme interações da Tabela 33 e combinado com a probabilidade de 10% (dez por cento) de chance das medidas de mitigação, não impedirem a ocorrência do *BLEVE* nas esferas EF-7204/EF-7205 no Parque Maria Quitéria.

O evento EI-08 (*BLEVE* e bola de fogo nas esferas EF-7204/EF-7205) foi calculado em função da Tabela 33, que define as interações dos eventos acidentais, a partir dos eventos que podem acarretar o efeito dominó<sup>8</sup>, ou seja, a possibilidade de um dos eventos desencadear outros eventos acidentais. Foi considerado que a massa de GLP participante da bola de fogo corresponde a 40% (quarenta por cento) da massa máxima de armazenamento da esfera.

A Tabela 33 define as frequências das ocorrências acidentais (oc./ano) e estabelece os eventos que, durante as ocorrências acidentais nas esferas EF-7201/EF-7202/EF-7203, EF-7204/EF-7205/EF-7206 e nos tanques de armazenamento de GLP refrigerado TQ-7201/TQ-7202/TQ-7203, podem causar efeito dominó, decorrente de um acidente gerando *BLEVE*. As interações da tabela indicam a possibilidade de um evento acidental vir a causar outros eventos, resultante da ação de sobrepressão proveniente de explosão ou carga térmica, originadas de incêndios, atuando sobre os demais equipamentos de armazenamentos de GLP liquefeitos ou refrigerados localizados no Parque Maria Quitéria.

De acordo com a tabela e atendendo a notação das variáveis da lógica booliana<sup>9</sup>, onde 0 (zero) é falso e 1 (um) é verdadeiro, as indicações das interações com notação 0 (zero), registram que não desencadeia o efeito dominó, já nas indicações das interações com notação 1 (um), indicam os eventos que desencadeiam efeito dominó nas áreas vulneráveis.

---

<sup>8</sup> Efeito dominó, evento decorrente da sucessão de outros eventos parciais indesejáveis, cuja magnitude global é o somatório dos eventos individuais.

<sup>9</sup> Lógica booliana: sistema de numeração posicional formado pelo conjunto binário {0,1} em que "zero" é falso e "um" é "verdadeiro".

Tabela 33: Eventos acidentais gerando efeito dominó no Parque Maria Quitéria

| Esfera e Tanque | EF-7201 | EF-7202 | EF-7203 | EF-7204 | EF-7205 | EF-7206 | TQ-7201 | TQ-7202 | TQ-7203 | (oc./ano) |
|-----------------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|-----------|
| EF-7201         | 0       | 1       | 1       | 1       | 1       | 0       | 0       | 0       | 0       | 3.60e-07  |
| EF-7202         | 1       | 0       | 1       | 0       | 0       | 0       | 0       | 0       | 0       | 1.80e-07  |
| EF-7203         | 1       | 1       | 0       | 0       | 0       | 0       | 0       | 1       | 0       | 2.70e-07  |
| EF-7204         | 1       | 0       | 0       | 0       | 1       | 1       | 0       | 0       | 0       | 2.70e-07  |
| EF-7205         | 1       | 0       | 0       | 1       | 0       | 1       | 0       | 0       | 0       | 2.70e-07  |
| EF-7206         | 0       | 0       | 0       | 1       | 1       | 0       | 0       | 0       | 0       | 1.80e-07  |
| TQ-7201         | 0       | 0       | 0       | 0       | 0       | 0       | 0       | 1       | 1       | 1.80e-07  |
| TQ-7202         | 0       | 0       | 0       | 0       | 0       | 0       | 1       | 0       | 1       | 1.80e-07  |
| TQ-7203         | 0       | 0       | 0       | 0       | 0       | 0       | 1       | 1       | 0       | 1.80e-07  |

### 5.5.2 Eventos EI-08, EI-17, EI-18, EI-19, EI-26 e EI-28

A Figura 38 mostra os três níveis das curvas de vulnerabilidade para o evento EI-08, onde o centro do círculo indica o ponto de origem da explosão e as faixas concêntricas indicam as áreas vulneráveis aos efeitos acidentais decorrentes de fatalidades e ferimentos e/ou danos materiais provocadas pelas ocorrências de acidentes nas instalações e dos possíveis desdobramentos do evento *BLEVE* e bola de fogo nas esferas EF-7204/EF-7205 no Parque Maria Quitéria.

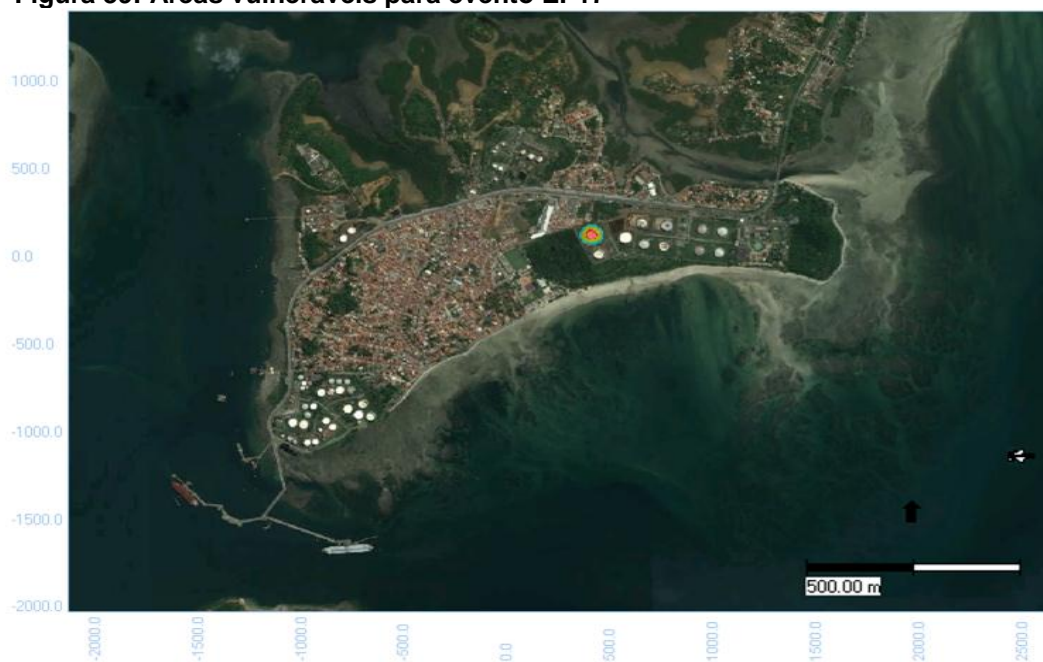
Figura 38: Áreas vulneráveis para evento EI-08





As Figuras 39, 40, 41, 42 e 43 mostram os três níveis das curvas de vulnerabilidade e definem as áreas vulneráveis aos efeitos acidentais sujeitas a fatalidades, ferimentos e/ou danos materiais, provocadas pelas ocorrências de acidentes nas instalações do Parque do Suape e Parque do Mirim, proveniente dos efeitos acidentais dos eventos EI-17, EI-18, EI-19, EI-26 e EI-28.

**Figura 39: Áreas vulneráveis para evento EI-17**



**Figura 40: Áreas vulneráveis para evento EI-18**

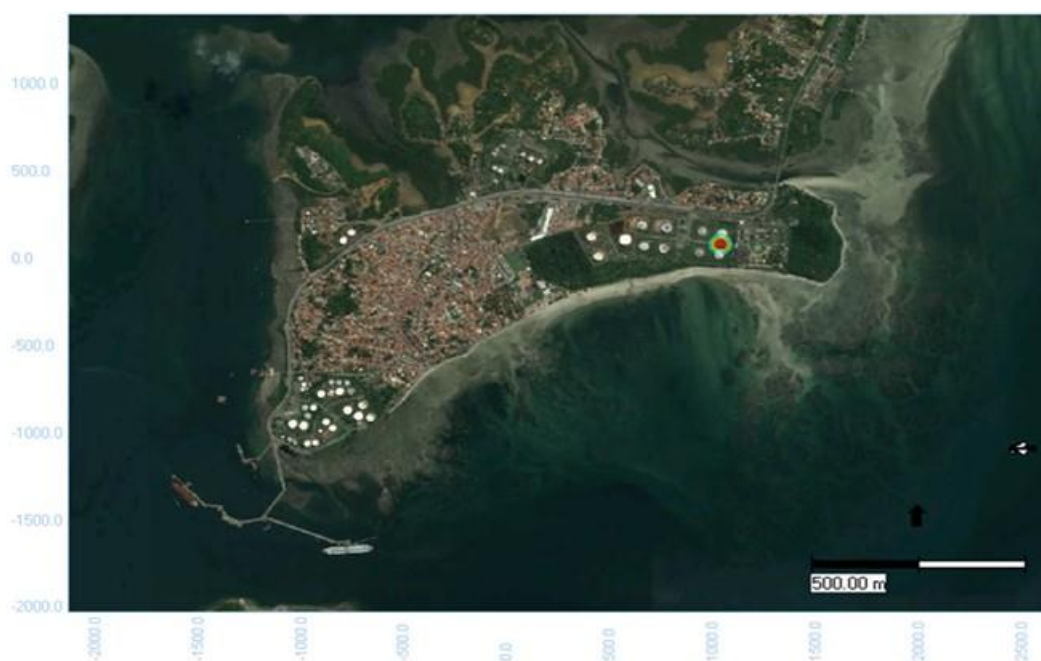




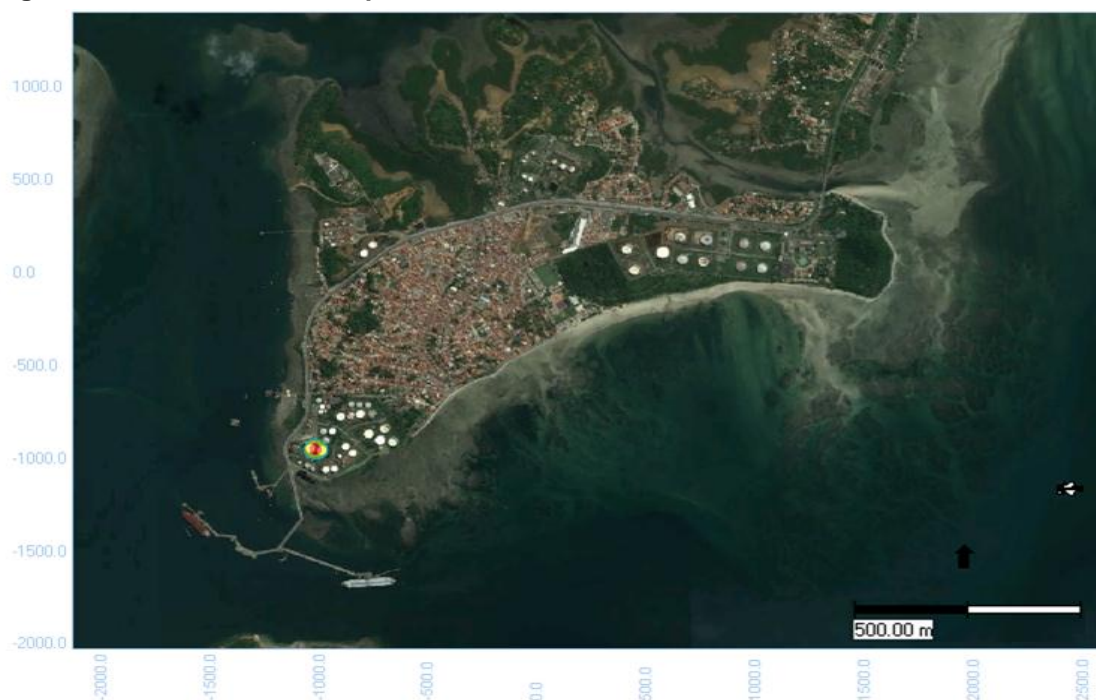
Figura 41: Áreas vulneráveis para evento EI-19



Figura 42: Áreas vulneráveis para evento EI-26



Figura 43: Áreas vulneráveis para evento EI-28



### 5.5.3. Vulnerabilidade aos efeitos acidentais

A Tabela 34 define os três níveis de vulnerabilidade considerados para as áreas de ocupação das esferas e dos tanques, propensas aos efeitos de um acidente a partir dos eventos EI-08, EI-17, EI-18, EI-19, EI-26 e EI-28, definindo as distâncias máximas de alcance na região com probabilidade de ocorrer fatalidades, ferimentos e/ou danos materiais em caso de acidentes decorrentes de *BLEVE* nas esferas de armazenamento de GLP EF-7204/EF-7205 para evento EI-08 no Parque Maria Quitéria, grande vazamento de gasolina nos tanques TQ-7101 para evento EI-17, nos tanques TQ-7104/TQ-7105 para evento EI-18 e no tanque TQ-7109 para evento EI-19 no Parque do Suape, grande vazamento de óleo combustível nos tanques TQ-7301 A/B/C/D para evento EI-26 e grande vazamento de nafta nos tanques TQ-7303 A/B/C/D para evento EI-28 no Parque do Mirim.

Através dos registros da Tabela 34 constatamos que as maiores distâncias de alcance para as probabilidades de fatalidade, a partir da ocorrência acidental, provêm do evento EI-08 decorrente do *BLEVE* e bola de fogo nas esferas EF-7204/EF-7205, localizadas no Parque Maria Quitéria. Em seguida o evento EI-19, durante a

ocorrência acidental de grande vazamento de gasolina no tanque TQ-7109, instalado no Parque do Suape.

**Tabela 34: Níveis de vulnerabilidade para eventos EI-08, EI-17, EI-18, EI-19, EI-26 e EI-28**

| <b>Vulnerabilidade para os eventos EI-08, EI-17, EI-18, EI-19, EI-26 e EI-28</b> |               |                             |
|--|---------------|-----------------------------|
| <b>Evento EI-08 (BLEVE e bola de fogo EF-7204/EF-7205)</b>                       |               |                             |
| <b>Descrição</b>   | <b>Curva</b>  | <b>Distância máxima (m)</b> |
| 1% Probabilidade de fatalidade   | Azul          | 433,5460                    |
| 50% Probabilidade de fatalidade  | Amarela       | 299,9340                    |
| 99% Probabilidade de fatalidade  | Vermelha      | 136,3520                    |
| <b>Evento EI-17 (Grande vazamento gasolina TQ-7101)</b>                          |               |                             |
| <b>Descrição</b>   | <b>Curva</b>  | <b>Distância máxima (m)</b> |
| 1% Probabilidade de fatalidade   | Azul          | 58,8697                     |
| 50% Probabilidade de fatalidade  | Amarela       | 46,9451                     |
| 99% Probabilidade de fatalidade  | Vermelha      | 28,8511                     |
| <b>Evento EI-18 (Grande vazamento gasolina TQ-7104/TQ-7105)</b>                  |               |                             |
| <b>Descrição</b>   | <b>Curva</b>  | <b>Distância máxima (m)</b> |
| 1% Probabilidade de fatalidade   | Azul          | 58,8898                     |
| 50% Probabilidade de fatalidade  | Amarela       | 46,9752                     |
| 99% Probabilidade de fatalidade  | Vermelha      | 28,8613                     |
| <b>Evento EI-19 (Grande vazamento gasolina TQ-7109)</b>                          |               |                             |
| <b>Descrição</b>   | <b>Curva</b>  | <b>Distância máxima (m)</b> |
| 1% Probabilidade de fatalidade   | Azul          | 61,2854                     |
| 50% Probabilidade de fatalidade  | Amarela       | 41,8042                     |
| 99% Probabilidade de fatalidade  | Vermelha      | 24,6161                     |
| <b>Evento EI-26 (Grande vazamento óleo combustível TQ-7301 A/B/C/D)</b>          |               |                             |
| <b>Descrição</b>   | <b>Curvas</b> | <b>Distância máxima (m)</b> |
| 1% Probabilidade de fatalidade   | Azul          | 47,0714                     |
| 50% Probabilidade de fatalidade  | Amarela       | 39,4733                     |
| 99% Probabilidade de fatalidade  | Vermelha      | 24,4363                     |
| <b>Evento EI-28 (Grande vazamento nafta TQ-7303 A/B/C/D)</b>                     |               |                             |
| <b>Descrição</b>   | <b>Curva</b>  | <b>Distância máxima (m)</b> |
| 1% Probabilidade de morte  | Azul          | 57,0891                     |
| 50% Probabilidade de fatalidade  | Amarela       | 46,9379                     |
| 99% Probabilidade de fatalidade  | Vermelha      | 28,9690                     |

#### 5.5.4. Dispersão de gás inflamável pesado a partir de poça: padrão dia

As Figuras 44, 45, 46, 47 e 48 representam as isopleias que atendem a condição atmosférica padrão dia para ocorrência dos eventos EI-17, EI-18, EI-19, EI-26 e EI-28, as figuras mostram as áreas de concentração de gás, bem como as áreas vulneráveis a incêndios em nuvem resultado de um acidente de grande vazamento de gasolina, óleo combustível ou nafta dos tanques de armazenamento e, por consequência, libere uma massa contínua de gás pesado inflamável.

Figura 44: Isopleia para evento EI-17 (padrão dia)





Figura 45: Isopleta para evento EI-18 (padrão dia)



Figura 46: Isopleta para evento EI-19 (padrão dia)



Figura 47: Isopleta para evento EI-26 (padrão dia)



Figura 48: Isopleta para evento EI-28 (padrão dia)

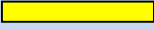

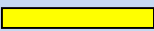

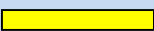



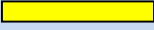



#### 5.5.4.1. Distâncias alcançadas pela nuvem de gás inflamável

A Tabela 35 estabelece as distâncias máximas e definem as áreas vulneráveis a serem alcançadas pelas nuvens de gás inflamável pesado constante a partir de poça atendendo a condição atmosférica padrão dia, liberada a partir da ocorrência acidental de um grande vazamento de gasolina dos tanques TQ-7101, TQ-7104/TQ-7105, TQ-7109, de um grande vazamento de óleo combustível dos tanques TQ-7301 A/B/C/D e de um grande vazamento de nafta nos tanques TQ-7303 A/B/C/D com a concentração da nuvem de gás inflamável correspondentes aos LII e LSI da gasolina, do óleo combustível e da nafta liberados acidentalmente. Estas distâncias definem os raios de alcance das áreas vulneráveis aos efeitos de incêndio em nuvem e estabelecem a probabilidade de todos os indivíduos, situados no interior da isopleta definidas pelo LSI e LII, estarem afeitos a fatalidade, proveniente de queimadura ou asfixia, ao passo que, os indivíduos que estiverem na parte externa da isopleta sobrevivem.

Conforme a Tabela 35 entre os eventos acidentais o que registra a maior distância máxima de alcance pelas nuvens de gás inflamável, atendendo a condição atmosférica padrão dia, é o evento EI-26 decorrente da liberação acidental de grande vazamento de óleo combustível dos tanques TQ-7301 A/B/C/D, instalados no Parque do Suape. Em seguida o evento EI-19 a partir da liberação acidental de grande vazamento de gasolina do tanque TQ-7109, também instalado no Parque do Suape.

Tabela 35: Dispersão de gás inflamável pesado constante a partir de poça (padrão dia)

| Dispersão de Gás Inflamável a Partir de Poça (Padrão Dia)                           |                  |                             |                      |
|---|------------------|-----------------------------|----------------------|
| Evento EI-17 (Grande vazamento gasolina TQ-7101)                                    |                  |                             |                      |
| Cor   | Descrição        | Limite (kg/m <sup>3</sup> ) | Distância máxima (m) |
|    | Concentração LII | 0,0412893                   | 158,8520             |
|    | Concentração LSI | 0,2300410                   | 43,8591              |
| Evento EI-18 (Grande vazamento gasolina TQ-7104/TQ-7105)                            |                  |                             |                      |
| Cor   | Descrição        | Limite (kg/m <sup>3</sup> ) | Distância máxima (m) |
|    | Concentração LII | 0,0412893                   | 158,8392             |
|    | Concentração LSI | 0,2300410                   | 43,8115              |
|    | Concentração LII | 0,0412893                   | 219,6990             |
|    | Concentração LSI | 0,2300410                   | 60,1915              |
| Evento EI-26 (Grande vazamento óleo combustível TQ-7301 A/B/C/D)                    |                  |                             |                      |
| Cor   | Descrição        | Limite (kg/m <sup>3</sup> ) | Distância máxima (m) |
|   | Concentração LII | 0,0412893                   | 227,2270             |
|  | Concentração LSI | 0,2300410                   | 64,2303              |
| Evento EI-28 (Grande vazamento nafta TQ-7303 A/B/C/D)                               |                  |                             |                      |
| Cor   | Descrição        | Limite (kg/m <sup>3</sup> ) | Distância máxima (m) |
|  | Concentração LII | 0,0412893                   | 156,5050             |
|  | Concentração LSI | 0,2300410                   | 43,3531              |

### 5.5.5. Dispersão de gás inflamável a partir de poça: padrão noite

As Figuras 49, 50, 51, 52 e 53 representam as isopletras, que atendem a condição atmosférica padrão noite para os eventos EI-17, EI-18, EI-19, EI-26 e EI-28.



Figura 49: Isopleta para evento EI-17 (padrão noite)



Figura 50: Isopleta para evento EI-18 (padrão noite)



Figura 51: Isopleta para evento EI-19 (padrão noite)



Figura 52: Isopleta para evento EI-26 (padrão noite)

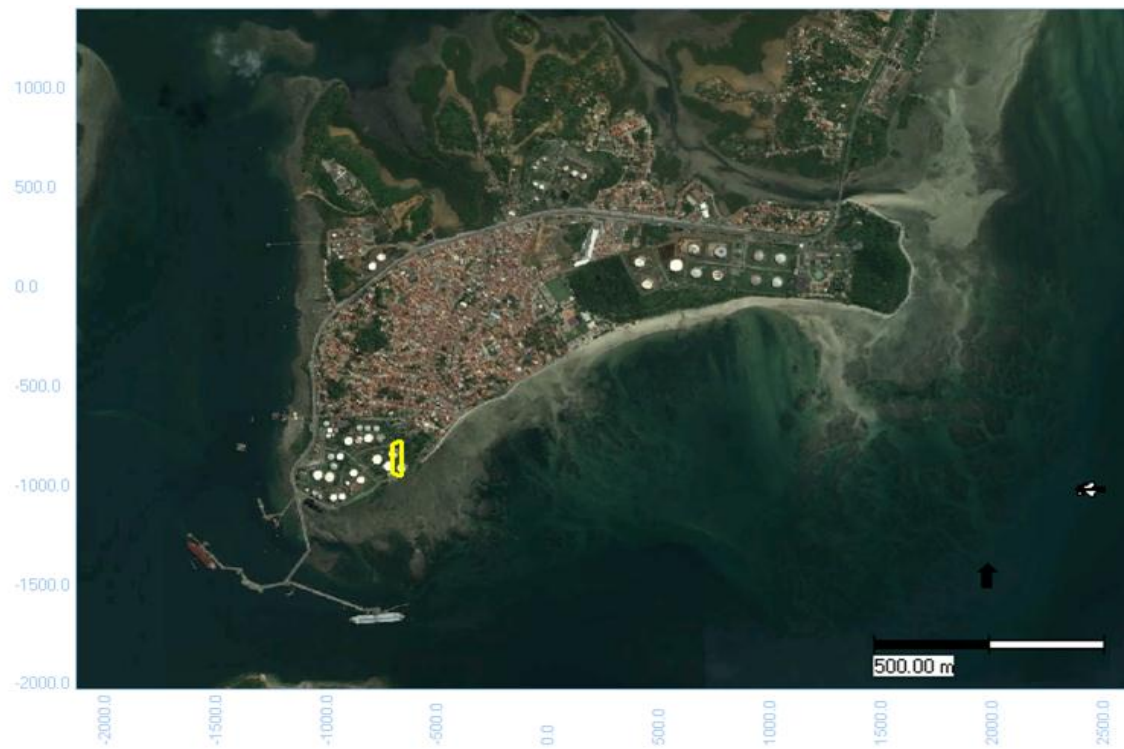
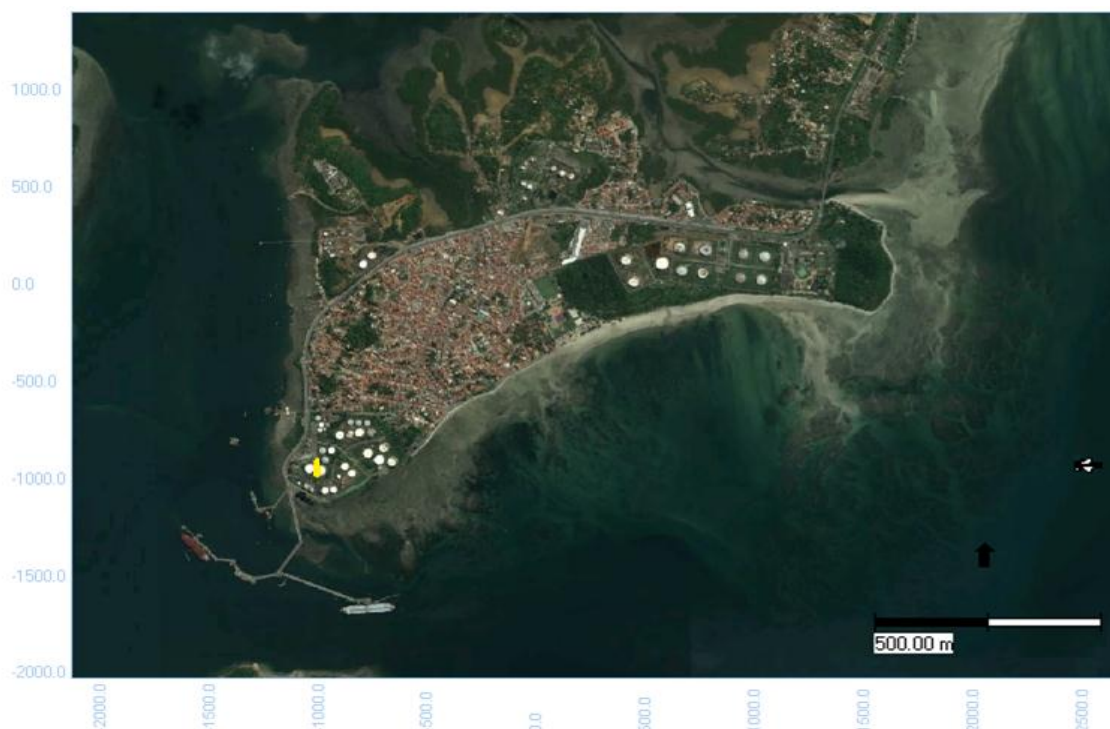


Figura 53: Isopleta para evento EI-28 (padrão noite)

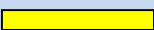
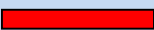






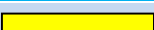



#### 5.5.5.1. Distâncias alcançadas pela nuvem de gás inflamável

A Tabela 36 estabelece as distâncias máximas a serem alcançadas pelas nuvens de gás inflamável pesado constante a partir de poça atendendo a condição atmosférica padrão noite.

Conforme a Tabela 36 entre os eventos acidentais o que registra a maior distância máxima de alcance pelas nuvens de gás inflamável e que definem as áreas vulneráveis, atendendo a condição atmosférica padrão noite, é o evento EI-26 decorrente da liberação acidental de grande vazamento de óleo combustível dos tanques TQ-7301 A/B/C/D, instalados no Parque do Suape. Em seguida o evento EI-19 a partir da liberação acidental de grande vazamento de gasolina do tanque TQ-7109, também instalado no Parque do Suape. Estabelecendo um comparativo entre as Tabelas 35 e 36 verifica-se que as distâncias máximas de alcance para a dispersão de gás inflamável a partir de poça para ocorrências no padrão dia são maiores em vista das condições atmosféricas durante o dia (velocidade do vento e a temperatura ambiente) favorecerem a dispersão da nuvem de gás inflamável no ambiente.

Tabela 36: Dispersão de gás inflamável pesado constante a partir de poça (padrão noite)

| <b>Dispersão de Gás Inflamável a Partir de Poça (Padrão Noite)</b>                  |                  |                                  |                             |
|---|------------------|----------------------------------|-----------------------------|
| <b>Evento EI-17 (Grande vazamento gasolina TQ-7101)</b>                             |                  |                                  |                             |
| <b>Cor</b>  | <b>Descrição</b> | <b>Limite (kg/m<sup>3</sup>)</b> | <b>Distância máxima (m)</b> |
|    | Concentração LII | 0,0412893                        | 155,8670                    |
|    | Concentração LSI | 0,2300410                        | 42,1262                     |
| <b>Evento EI-18 (Grande vazamento gasolina TQ-7104/TQ-7105)</b>                     |                  |                                  |                             |
| <b>Cor</b>  | <b>Descrição</b> | <b>Limite (kg/m<sup>3</sup>)</b> | <b>Distância máxima (m)</b> |
|    | Concentração LII | 0,0412893                        | 155,7640                    |
|    | Concentração LSI | 0,2300410                        | 42,0960                     |
| <b>Evento EI-19 (Grande vazamento gasolina TQ-7109)</b>                             |                  |                                  |                             |
| <b>Cor</b>  | <b>Descrição</b> | <b>Limite (kg/m<sup>3</sup>)</b> | <b>Distância máxima (m)</b> |
|    | Concentração LII | 0,0412893                        | 216,1130                    |
|    | Concentração LSI | 0,2300410                        | 59,8650                     |
| <b>Evento EI-26 (Grande vazamento óleo combustível TQ-7301 A/B/C/D)</b>             |                  |                                  |                             |
| <b>Cor</b>  | <b>Descrição</b> | <b>Limite (kg/m<sup>3</sup>)</b> | <b>Distância máxima (m)</b> |
|    | Concentração LII | 0,0412893                        | 223,6760                    |
|    | Concentração LSI | 0,2300410                        | 62,8303                     |
| <b>Evento EI-28 (Grande vazamento nafta TQ-7303 A/B/C/D)</b>                        |                  |                                  |                             |
| <b>Cor</b>  | <b>Descrição</b> | <b>Limite (kg/m<sup>3</sup>)</b> | <b>Distância máxima (m)</b> |
|  | Concentração LII | 0,0412893                        | 143,3240                    |
|  | Concentração LSI | 0,2300410                        | 37,6469                     |

### 5.5.6. Risco social para os eventos EI-08, EI-17, EI-18, EI-19, EI-26 e EI-28

As curvas F-N das Figuras 54, 55, 56, 57, 58 e 59 representam as tolerabilidades para o risco social dos cenários de acidentes decorrentes dos desdobramentos dos eventos EI-08, EI-17, EI-18, EI-19, EI-26 e EI-28.



Figura 54: Risco social para evento EI-08

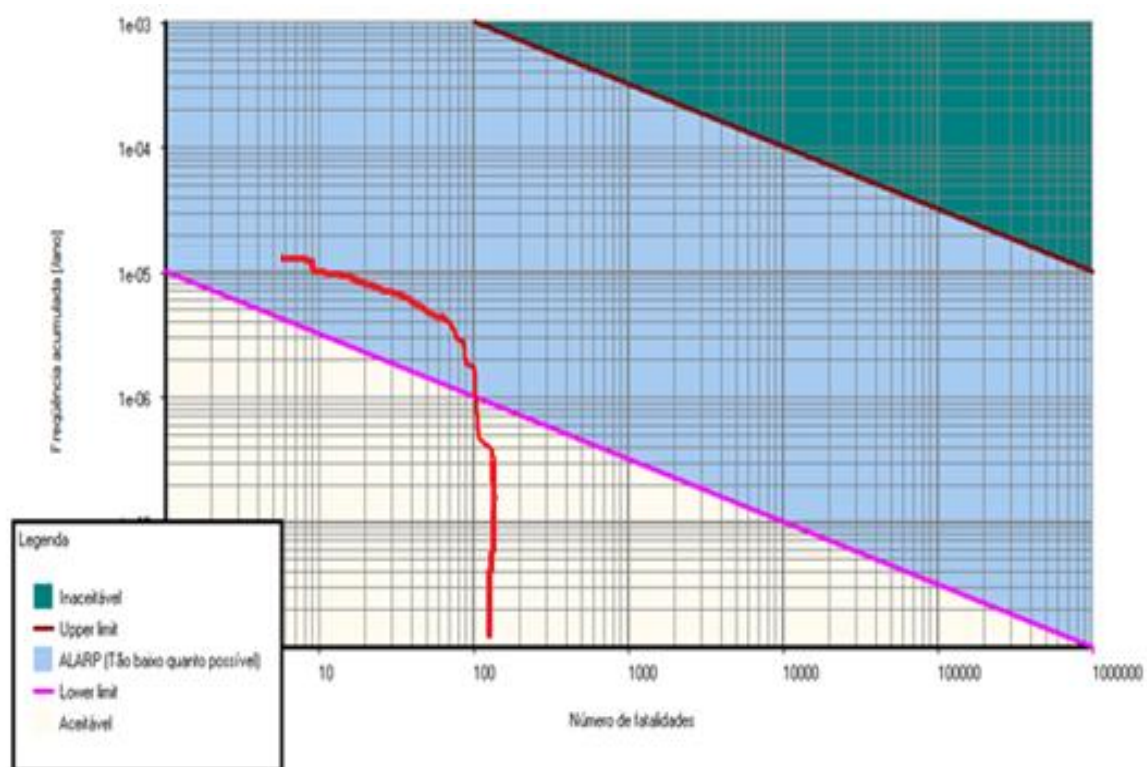


Figura 55: Risco social para evento EI-17

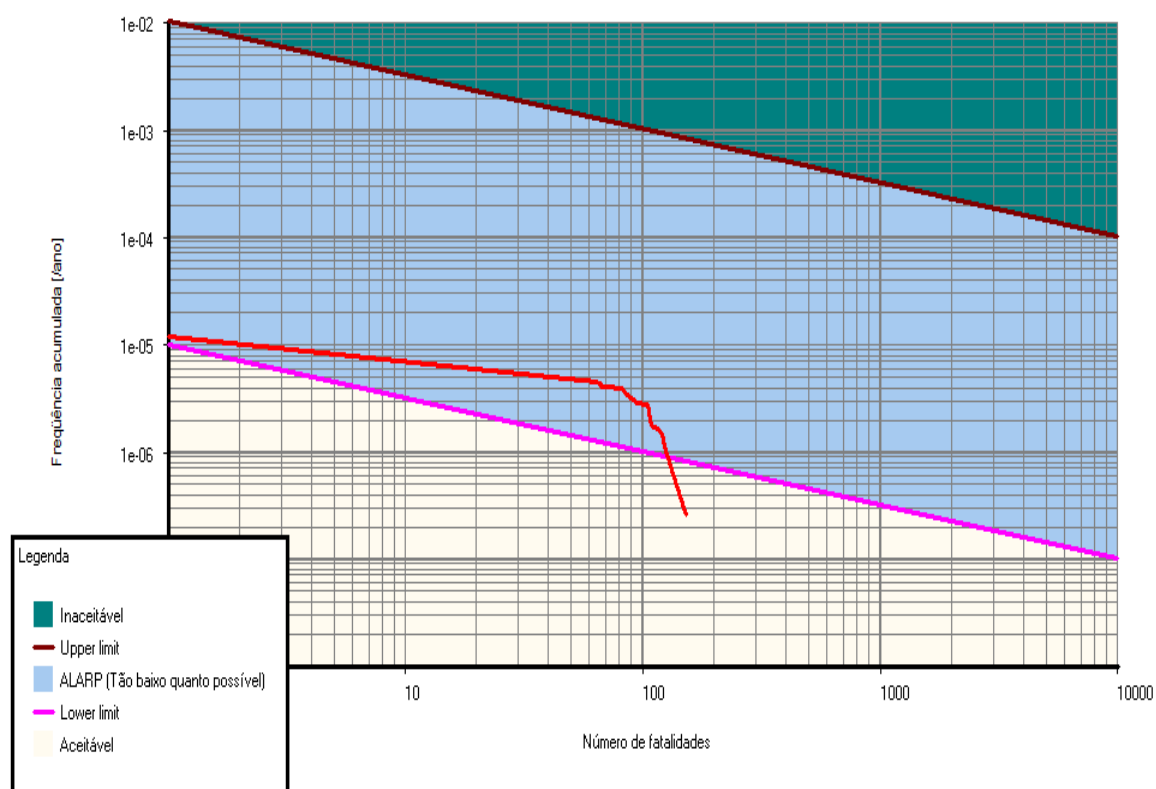


Figura 56: Risco social para evento EI-18

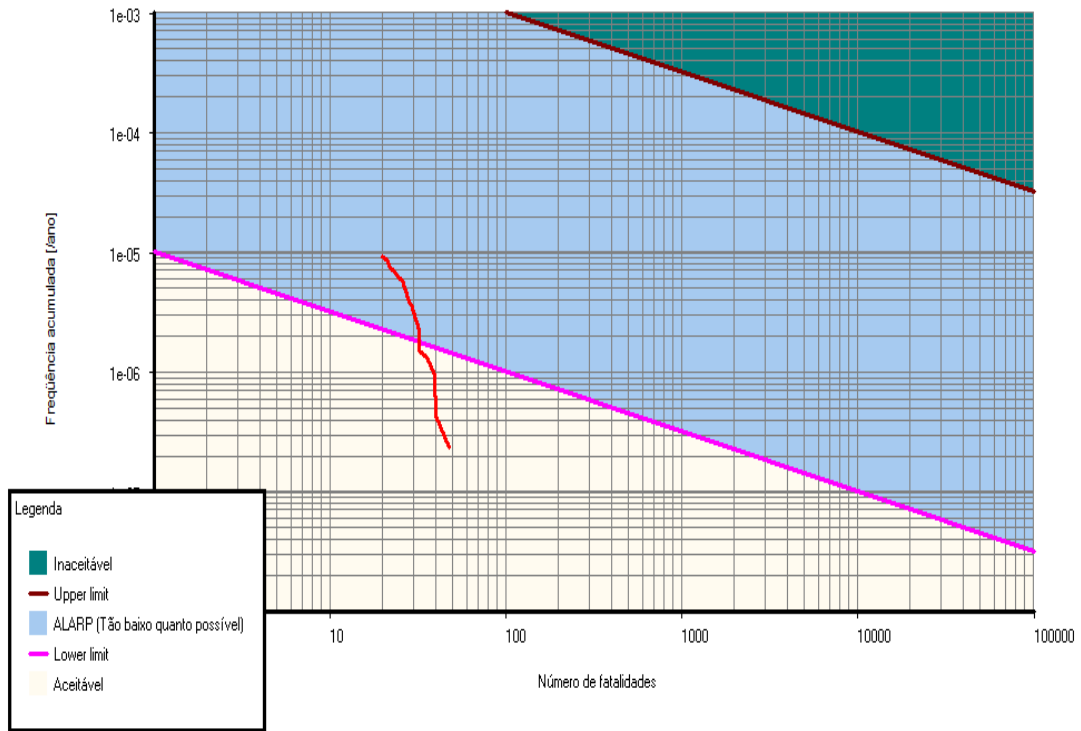


Figura 57: Risco social para evento EI-19

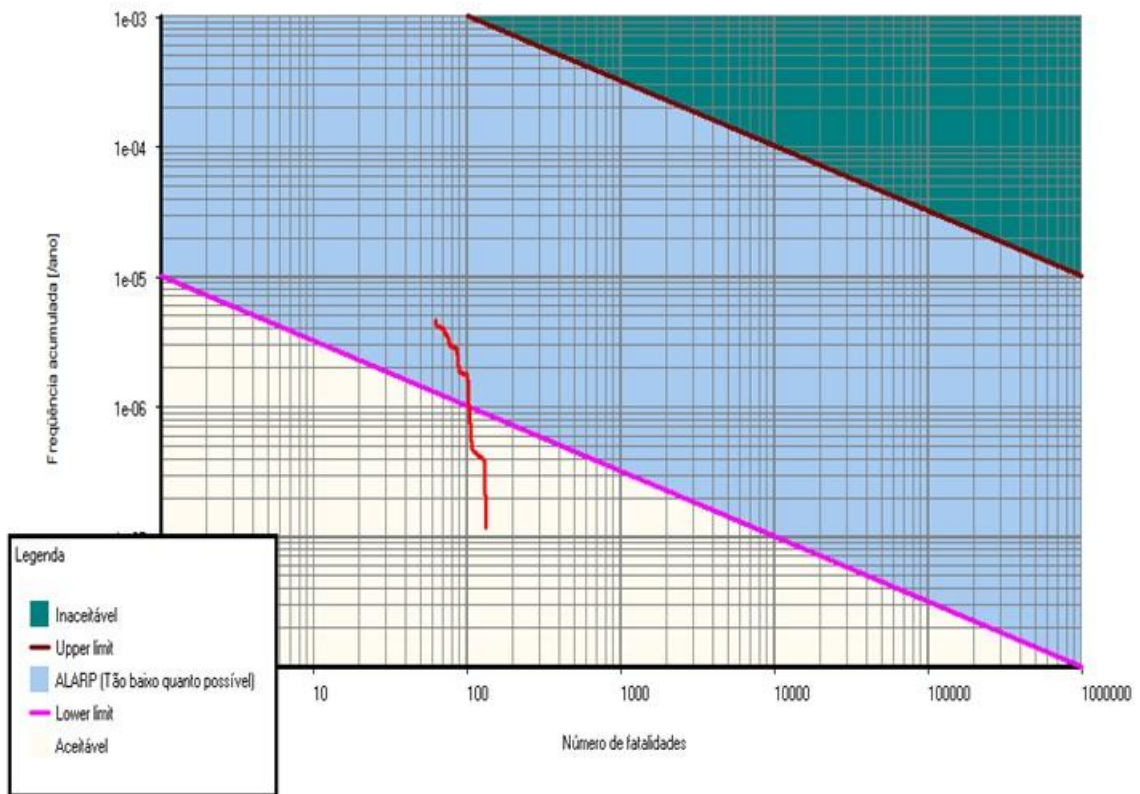


Figura 58: Risco social para evento EI-26

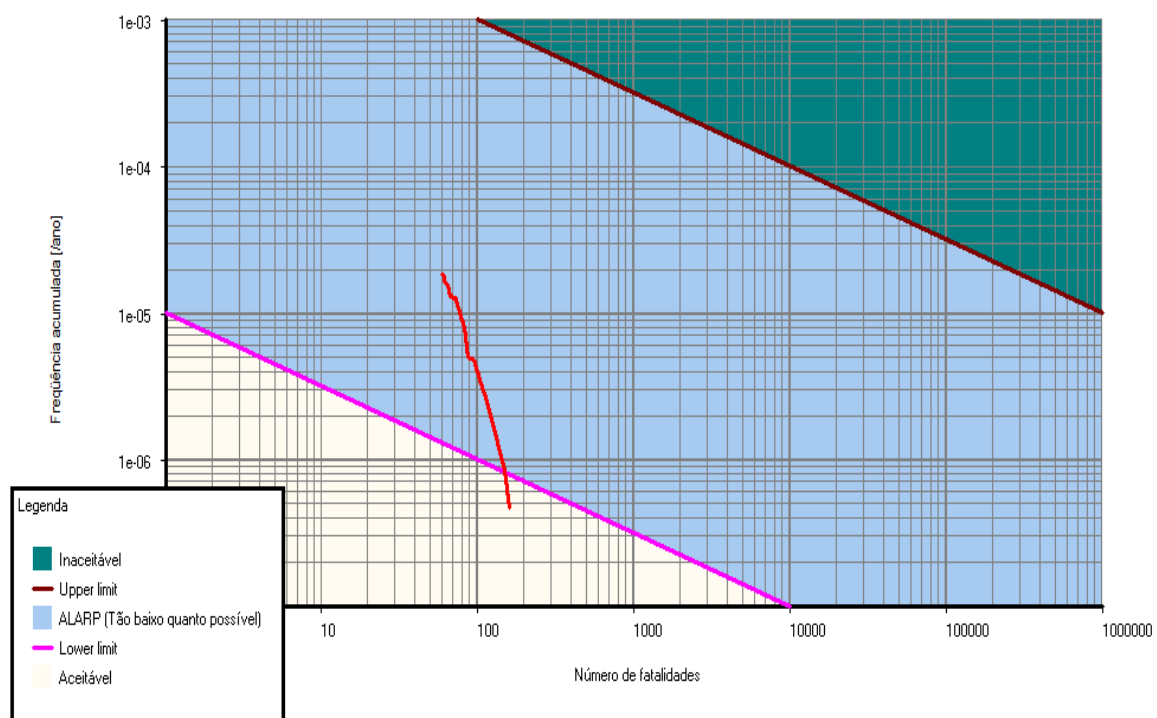
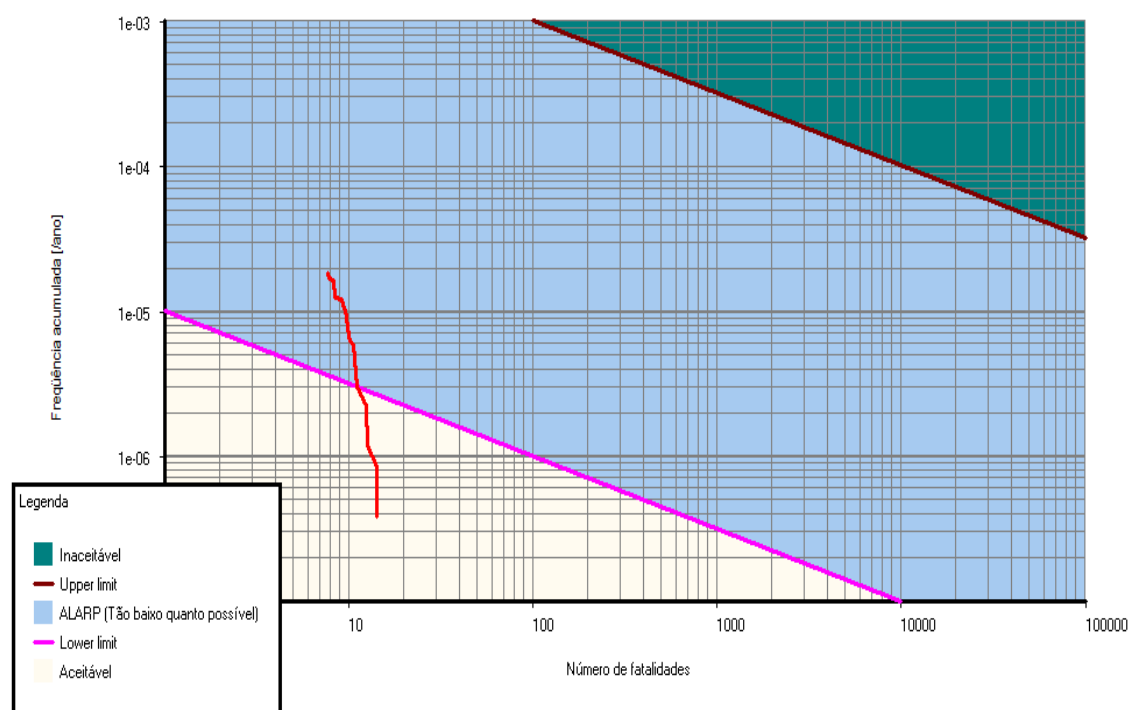


Figura 59: Risco social para evento EI-28



#### 5.5.6.1 Avaliação do risco social para eventos (EI-08, EI-17, EI-18, EI-19, EI-26 e EI-28)

As curvas F-N de tolerabilidades para o risco social das Figuras 54, 55, 56, 57, 58 e 59 mostram os traçados das curvas para os eventos EI-08, EI-17, EI-18, EI-19, EI-26 e EI-28 na região *ALARP*. Conforme critério de aceitabilidade de risco estabelecido pela CETESB é a região de risco considerada tolerável, na condição em que medidas mitigadoras sejam adotadas, de forma que estas medidas sejam avaliadas em termos de custo e benefício de maneira que o risco inerente à instalação seja reduzido tanto quanto praticável.

Devido às curvas das figuras citadas anteriormente terem os traçados na região *ALARP*, para efeito de aceitabilidade dos riscos para as ocorrências acidentais de *BLEVE* e bola de fogo nas esferas EF-7204/EF-7205, grande vazamento de gasolina dos tanques TQ-7101, TQ-7104/TQ-7105 e TQ-7109, grande vazamento de óleo combustível dos tanques TQ-7301 A/B/C/D e grande vazamento de nafta dos tanques TQ-7303 A/B/C/D, e pelo fato de atenderem aos critérios estabelecidos pela CETESB, cabe ao responsável pelas as instalações dos tanques do Parque do Suape, Parque Maria Quitéria e Parque do Mirim, indicar as razões que tornam a adoção de medidas adicionais para redução dos riscos impraticáveis ou ineficientes, na medida em que envolve a segurança das comunidades circunvizinhas às instalações industriais expostas aos efeitos dos acidentes.

#### 5.5.6.2. Risco social por tipo de dano

A Tabela 37 registra os dados que definem a contribuição do risco social por tipo de dano de maior gravidade para as comunidades e as instalações circunvizinhas, na ocorrência de um dos eventos EI-08, EI-17, EI-18, EI-19, EI-26 ou EI-28, provocando os seguintes tipos de danos: carga térmica proveniente de incêndio em poça; queima e asfixia decorrente de incêndio em nuvem; colapso estrutural em equipamentos e construções prediais em decorrência de explosão.



Conforme a Tabela 37, para a ocorrência de *BLEVE* e bola de fogo nas esferas EF-7204/EF-7205 armazenando GLP decorrente do desdobramento do evento EI-08, o tipo de dano que prevalece é o dano decorrente da carga térmica com valor do risco social médio de 6,3449e-05 fat./ano. Os danos causados para a população são provenientes da onda de pressão, motivada pela rápida expansão do vapor liberado e pela projeção aleatória de fragmentos metálicos das esferas ou mesmo dos componentes metálicos a elas interligados, provocando fatalidades e queimaduras na população residente e danos nas estruturas prediais e nos demais equipamentos no entorno das instalações.

**Tabela 37: Risco social por tipo de dano para eventos EI-08, EI-17, EI-18, EI-19, EI-26 e EI-28**

| <b>Contribuição do Risco Social por Tipo de Dano</b>                     |                                      |                        |
|--|--------------------------------------|------------------------|
| <b>Evento: EI-08 (BLEVE e bola de fogo EF-7204/EF-7205)</b>              |                                      |                        |
| <b>Tipo de dano</b>  | <b>Risco Social Médio (fat./ano)</b> | <b>Porcentagem (%)</b> |
| Carga Térmica  | 6,3449e-05                           | 100,00                 |
| Total  | 6,3449e-05                           | 100,00                 |
| <b>Evento: EI-17 (Grande vazamento gasolina TQ-7101)</b>                 |                                      |                        |
| <b>Tipo de dano</b>  | <b>Risco Social Médio (fat./ano)</b> | <b>Porcentagem (%)</b> |
| Carga Térmica  | 1,7050e-06                           | 0,75                   |
| Colapso estrutural   | 4,6219e-04                           | 99,25                  |
| Total  | 4,6389e-04                           | 100,00                 |
| <b>Evento: EI-18 (Grande vazamento gasolina TQ-7104/TQ-7105)</b>         |                                      |                        |
| <b>Tipo de dano</b>  | <b>Risco Social Médio (fat./ano)</b> | <b>Porcentagem (%)</b> |
| Colapso estrutural   | 2,4837e-04                           | 100,00                 |
| Total  | 2,4837e-04                           | 100,00                 |
| <b>Evento: EI-19 (Grande vazamento gasolina TQ-7109)</b>                 |                                      |                        |
| <b>Tipo de dano</b>  | <b>Risco Social Médio (fat./ano)</b> | <b>Porcentagem (%)</b> |
| Colapso estrutural   | 3,9517e-04                           | 100,00                 |
| Total  | 3,9517e-04                           | 100,00                 |
| <b>Evento: EI-26 (Grande vazamento óleo combustível TQ-7301 A/B/C/D)</b> |                                      |                        |
| <b>Tipo de dano</b>  | <b>Risco Social Médio (fat./ano)</b> | <b>Porcentagem (%)</b> |
| Colapso estrutural   | 1,4924e-03                           | 100,00                 |
| Total  | 1,4924e-03                           | 100,00                 |
| <b>Evento: EI-28 (Grande vazamento nafta TQ-7303 A/B/C/D)</b>            |                                      |                        |
| <b>Tipo de dano</b>  | <b>Risco Social Médio (fat./ano)</b> | <b>Porcentagem (%)</b> |
| Colapso estrutural   | 1,7580e-04                           | 100,00                 |
| Total  | 1,7580e-04                           | 100,00                 |

Os registros da Tabela 37 indicam que o dano provocado por colapso estrutural proveniente de explosão, prevalece entre os eventos acidentais gerados de grande vazamento de óleo combustível dos tanques TQ-7301 A/B/C/D e grande vazamento de gasolina dos tanques TQ-7101 (Parque do Suape); portanto é o dano que tem maior participação para o risco social médio (fat./ano), com maior possibilidade de ocorrer e de provocar na população residente no entorno do parque de tancagem deslocamento do corpo, fratura na base do crânio, hemorragia pulmonar entre outros danos físicos.

#### 5.5.6.3 Risco social por tipo de acidente

A Tabela 38 registra os dados para contribuição do risco social médio (fat./ano) por tipo de acidente de maior gravidade para as comunidades no entorno das instalações industriais, assim como registra os acidentes com maior probabilidade de ocorrer a partir dos desdobramentos acidentais dos eventos EI-08, EI-17, EI-18, EI-19, EI-26 ou EI-28.

**Tabela 38: Risco social por tipo de acidente para eventos EI-08, EI-17, EI-18, EI-19, EI-26 e EI-28**

| <b>Contribuição do Risco Social por Tipo de Acidente</b>         |                                      |                        |
|--|--------------------------------------|------------------------|
| <b>Evento: EI-08 (BLEVE e bola de fogo EF-7204/EF-7205)</b>      |                                      |                        |
| <b>Tipo de acidente</b>  | <b>Risco Social Médio (fat./ano)</b> | <b>Porcentagem (%)</b> |
| BLEVE (bola de fogo)   | 6,3449e-05                           | 100,00                 |
| Total  | 6,3449e-05                           | 100,00                 |
| <b>Evento: EI-17 (Grande vazamento gasolina TQ-7101)</b>         |                                      |                        |
| <b>Tipo de acidente</b>  | <b>Risco Social Médio (fat./ano)</b> | <b>Porcentagem (%)</b> |
| Incêndio em poça   | 3,5132e-06                           | 0,75                   |
| Explosão em nuvem  | 4,6219e-04                           | 99,25                  |
| Total  | 4,6570e-04                           | 100,00                 |
| <b>Evento: EI-18 (Grande vazamento gasolina TQ-7104/TQ-7105)</b> |                                      |                        |
| <b>Tipo de acidente</b>  | <b>Risco Social Médio (fat./ano)</b> | <b>Porcentagem (%)</b> |
| Explosão em nuvem  | 2,4837e-04                           | 100,00                 |
| Total  | 2,4837e-04                           | 100,00                 |

Continua

Continuação

| <b>Evento: EI-19 (Grande vazamento gasolina TQ-7109)</b>                 |                                      |                        |
|--|--------------------------------------|------------------------|
| <b>Tipo de acidente</b>  | <b>Risco Social Médio (fat./ano)</b> | <b>Porcentagem (%)</b> |
| Explosão em nuvem  | 3,9517e-04                           | 100,00                 |
| Total  | 3,9517e-04                           | 100,00                 |
| <b>Evento: EI-26 (Grande vazamento óleo combustível TQ-7301 A/B/C/D)</b> |                                      |                        |
| <b>Tipo de acidente</b>  | <b>Risco Social Médio (fat./ano)</b> | <b>Porcentagem (%)</b> |
| Explosão em nuvem  | 1,4924e-03                           | 100,00                 |
| Total  | 1,4924e-03                           | 100,00                 |
| <b>Evento: EI-28 (Grande vazamento nafta TQ-7303 A/B/C/D)</b>            |                                      |                        |
| <b>Tipo de acidente</b>  | <b>Risco Social Médio (fat./ano)</b> | <b>Porcentagem (%)</b> |
| Explosão em nuvem  | 1,7580e-04                           | 100,00                 |
| Total  | 1,7580e-04                           | 100,00                 |

Através dos resultados obtidos e registrados na Tabela 38 fica evidenciado que para as instalações dos tanques, para a ocorrência de grande vazamento de produto inflamável, TQ-7101, TQ-7104/TQ-7105, TQ-7109, TQ-7301 A/B/C/D e TQ-7303 A/B/C/D o tipo de acidente que prevalece para o risco social é a explosão em nuvem em decorrência da grande quantidade de produto inflamável, armazenado em cada um dos tanques relacionados.

Conforme registros da tabela o acidente mais grave e com maior possibilidade de ocorrer para o risco social médio (fat./ano) é o acidente decorrente do evento EI-26, provocado por grande vazamento de óleo combustível dos tanques TQ-7301 A/B/C/D, com valor de 1,4924e-03 fat./ano de risco social médio, instalados no Parque do Suape. Com o desdobramento do acidente com capacidade de provocar explosão em nuvem e, por consequência, a partir da energia de radiação térmica gerada da explosão, causar danos à população (fatalidades e ferimentos), colapsos estruturais nos equipamentos e edificações no entorno das instalações dos tanques.

O acidente que gera o segundo maior risco social médio é o proveniente do evento EI-17, decorrente de grande vazamento de gasolina no tanque TQ-7101, com valor de 4,6219e-04 fat./ano de risco social médio, instalado no Parque do Suape, provocando os efeitos acidentais provenientes de explosão em nuvem e a partir da energia de radiação térmica gerada da explosão, causando danos à população e

colapsos estruturais nos equipamentos e edificações no raio de alcance dos efeitos acidentais.

Os eventos de maior risco social médio estão diretamente relacionados com o número de pessoas expostas a fatalidades provenientes dos efeitos acidentais.

#### **5.5.7 Risco individual para eventos (EI-08, EI-17, EI-18, EI-19, EI-26 e EI-28)**

A Figura 60 apresenta as curvas de iso-risco e definem os contornos de risco individual para a ocorrência de *BLEVE* e bola de fogo nas esferas EF-7204/EF-7205. A representação gráfica da figura permite visualizar os níveis das curvas de iso-risco ultrapassando os limites das instalações do Parque Maria Quitéria e alcançando as regiões de ocupação residencial no entorno das instalações das esferas em decorrência do desdobramento acidental do evento EI-08, com possibilidade de ocasionar danos ao indivíduo das comunidades circunvizinhas das instalações das esferas expostas aos riscos.

Através da figura percebe-se que o contorno da curva de maior risco individual de cor azul claro, proveniente do desdobramento do evento EI-08 e com valor de  $1,00e-07$ /ano de nível de risco de fatalidade, delimita a região sujeita aos efeitos acidentais proveniente do *BLEVE* e bola de fogo, ocasionando fatalidade e ferimento ao indivíduo e danos materiais a centenas de metros de distância, conforme os resultados da Tabela 34 que define as distâncias máximas de alcance dos níveis de vulnerabilidade para a ocorrência de *BLEVE* e bola de fogo nas esferas EF-7204/EF-7205.

O nível da curva de iso-risco calculada para a ocorrência do evento EI-08 de valor  $1,00e-07$ /ano indica, conforme o critério de aceitabilidade de risco estabelecido pela CETESB, para a região o risco individual aceitável para as instalações desde que seja assegurada a condição do padrão de risco no nível atual.

**Figura 60: Curvas de Risco individual para evento EI-08**



As curvas de iso-risco das Figuras 61, 62, 63, 64 e 65 representam os contornos de risco individual para as possibilidades de ocorrência de grande vazamento dos tanques de gasolina, óleo combustível e nafta. As curvas foram calculadas para toda a área de abrangência das instalações dos tanques, indicando as áreas expostas aos níveis de risco individual para as comunidades externas às instalações dos tanques de armazenamento, com o respectivo valor referente à probabilidade de ocorrência de fatalidade individual por ano, para um indivíduo situado em qualquer das posições de abrangência dos contornos das curvas de iso-risco, representativas dos desdobramentos dos eventos EI-17, EI-18, EI-19, EI-26 e EI-28.

As figuras mostram os contornos das curvas de iso-risco de maior risco individual de cor violeta ultrapassando os limites das instalações industriais, com valor de  $1,00e-06$ /ano de risco individual de fatalidade, o que representa a chance de um indivíduo de uma das comunidades vir a sofrer acidentes decorrentes de uma das seguintes tipologias acidentais e suas respectivas consequências em termos de danos gerados: incêndio em poça, com a ocorrência de explosão; incêndio em nuvem, ocasionando carga térmica, queimadura e asfixia; explosão multi energia,

ocasionando colapso estrutural, deslocamento do corpo, fratura de crânio, hemorragia pulmonar e demais efeitos físicos danosos ao indivíduo das comunidades circunvizinhas às instalações industriais, ocasionando fatalidade e ferimento ao indivíduo e danos materiais conforme as distâncias máximas de alcance dos níveis de vulnerabilidades, registradas na Tabela 34 ou mesmo os efeitos decorrentes da nuvem de gás inflamável proveniente de poça para ocorrências padrão dia e padrão noite definidos, respectivamente, na Tabela 35 e Tabela 36, decorrentes do desdobramento accidental de um dos eventos EI-17, EI-18, EI-19, EI-26 ou EI-28.

Os níveis das curvas de iso-risco para as ocorrências dos eventos EI-17, EI-18, EI-19, EI-26 ou EI-28 de valor  $1,00e-06$ /ano indica, conforme o critério de aceitabilidade de risco estabelecido pela CETESB, que o nível de risco para as instalações coincide com a região *ALARP*, região onde o risco é considerado tolerável desde que a reparação do risco seja impraticável tecnicamente ou se o custo da reparação for desproporcional ao benefício.

**Figura 61: Curvas de risco individual para evento EI-17**

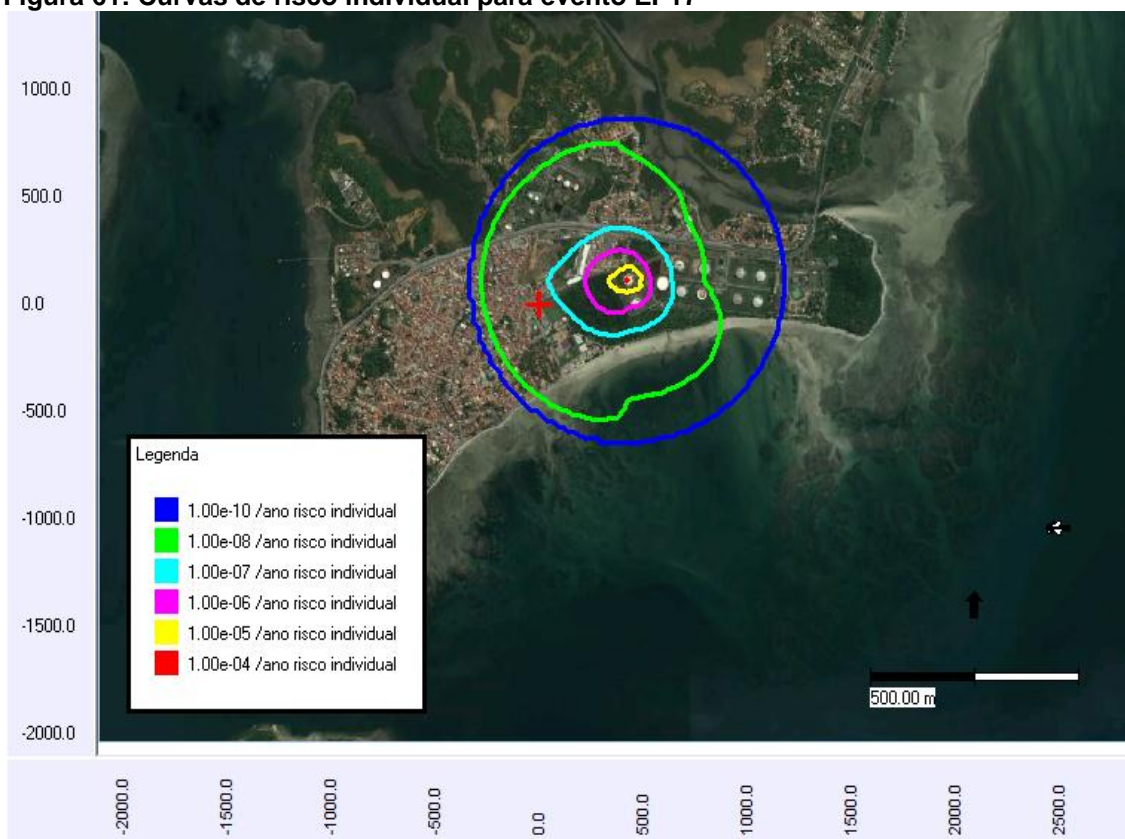




Figura 62: Curvas de risco individual para evento EI-18

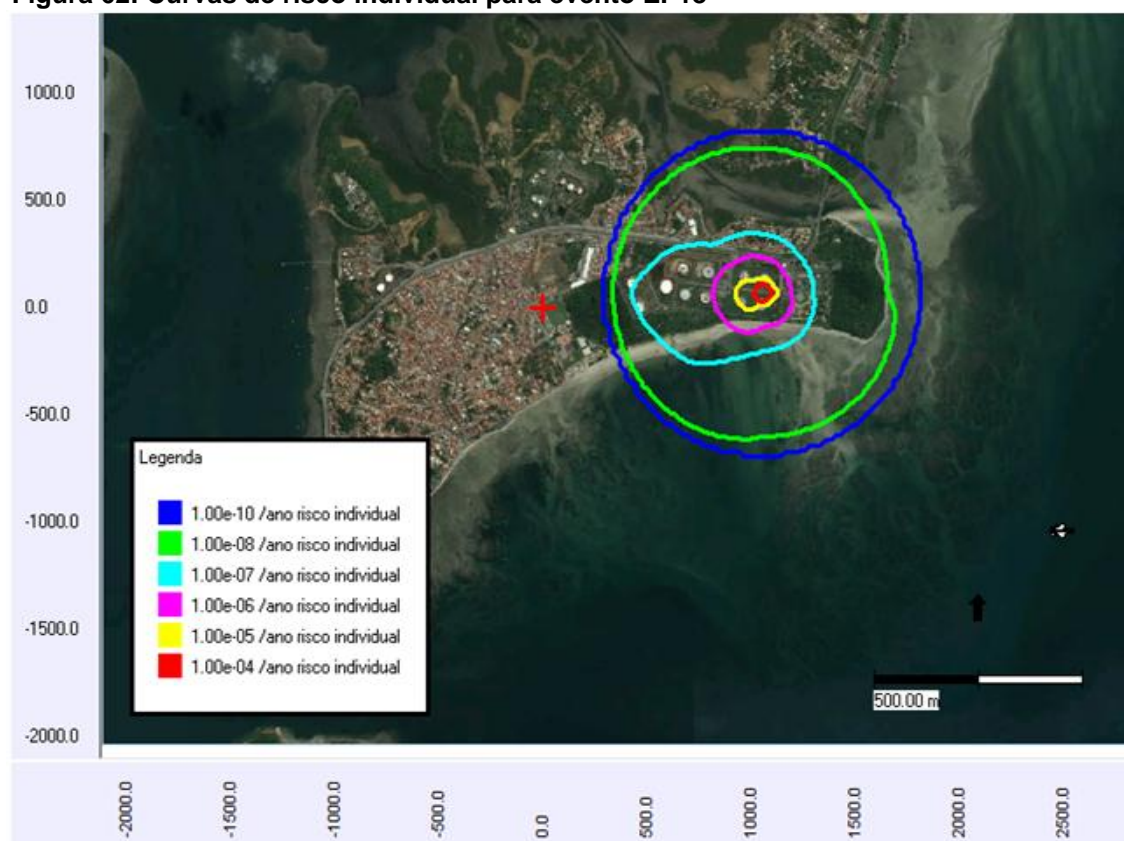


Figura 63: Curvas de risco individual para evento EI-19

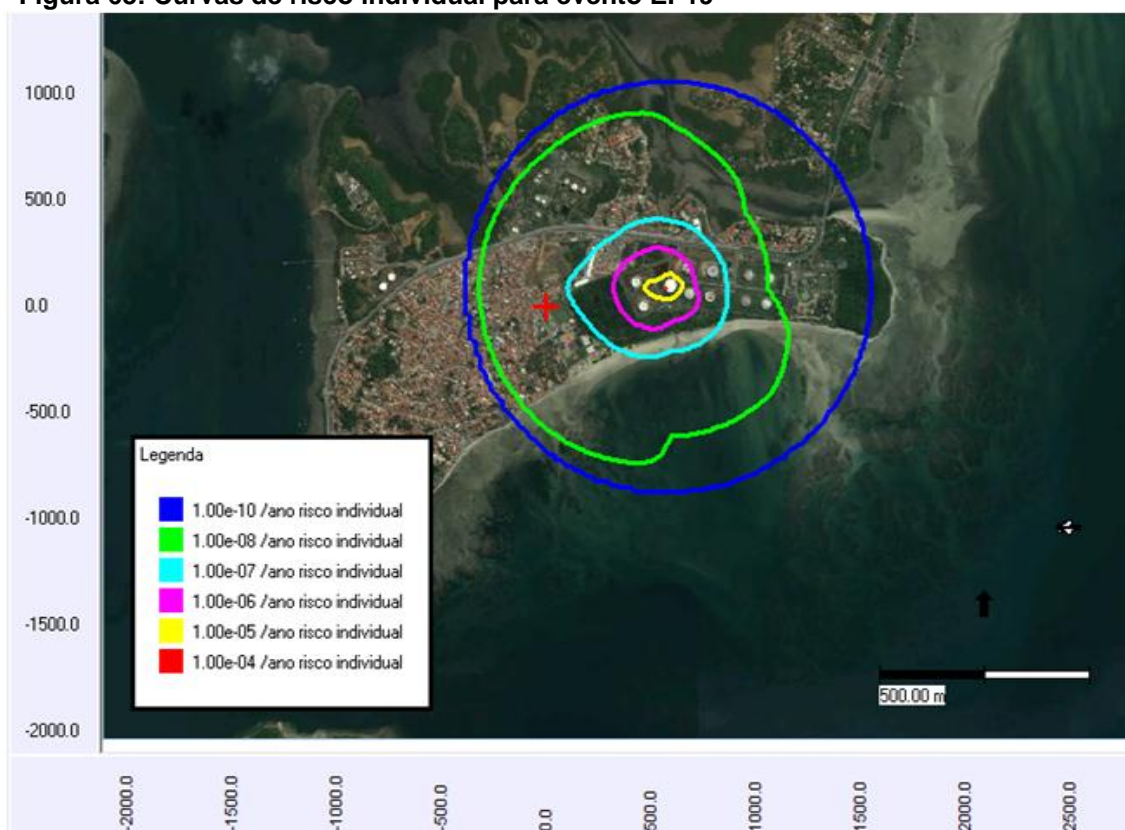


Figura 64: Curvas de risco individual para evento EI-26

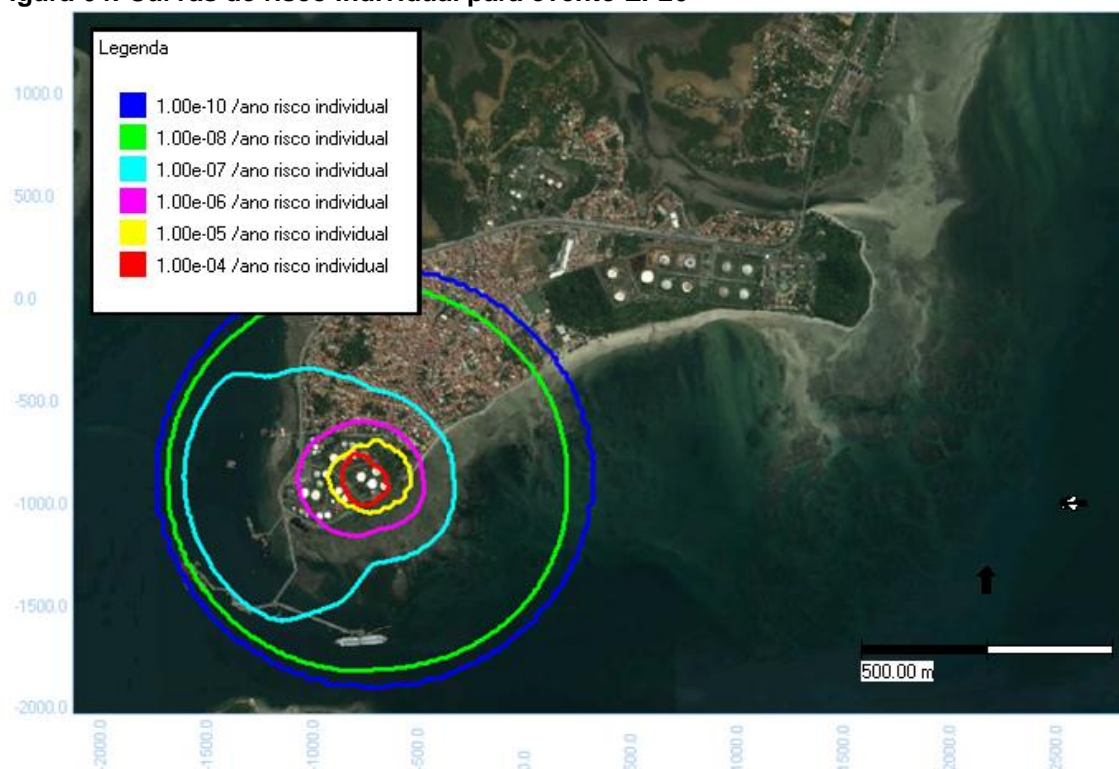


Figura 65: Curvas de risco individual para evento EI-28





#### 5.5.7.1 Risco individual médio para eventos (EI-08, EI-17, EI-18, EI-19, EI-26 e EI-28)

A Tabela 39 representa o risco individual médio por ano, para as regiões afeitas aos níveis de influência das ocorrências acidentais a partir de um dos eventos EI-08, EI-17, EI-18, EI-19, EI-26 ou EI-28 para os sistemas de armazenamento em esferas e tanques e indica qual a chance de uma pessoa de uma das comunidades relacionadas, situada em uma determinada posição, ser afetada em caso de ocorrência de um dos eventos acidentais.

Dos locais relacionados na Tabela 39, a região do município mais propensa ao risco individual médio (/ano) é a região do entorno do Parque do Mirim afeita ao desdobramento acidental durante a ocorrência do evento EI-26 com valor de risco individual médio de  $2,04e-11$  por ano, proveniente de grande vazamento de óleo combustível dos tanques TQ-7301 A/B/C/D. O indicativo de maior exposição ao risco individual médio para a comunidade residente no entorno do Parque do Mirim é justificado, conforme expressão (8), devido ao fato da região do entorno das instalações dos tanques apresentar um risco social médio maior, conforme a Tabela 28, em relação às outras regiões do município.

A outra região que apresenta propensão ao risco individual médio para a ocorrência do evento EI-26, mas com menor potencial, é a região da Fábrica de Asfalto II com valor de risco individual médio de  $1,47e-12$  por ano.

Tabela 39: Risco individual médio para eventos EI-08, EI-17, EI-18, EI-19, EI-26 e EI-28

| Risco Individual Médio Eventos EI-08, EI-17, EI-18, EI-19, EI-26 e EI-28 |                               |
|--|-------------------------------|
| <b>Risco Individual Médio Evento EI-08</b>                               |                               |
| Local  | Risco Individual Médio (/ano) |
| Parque do Suape / Maria Quitéria   | 6,52e-14                      |
| Fábrica de Asfalto I   | 9,96e-14                      |
| <b>Risco Individual Médio Evento EI-17</b>                               |                               |
| Local  | Risco Individual Médio (/ano) |
| Parque do Suape / Maria Quitéria   | 5,68e-13                      |
| <b>Risco Individual Médio Evento EI-18</b>                               |                               |
| Local  | Risco Individual Médio (/ano) |
| Parque do Suape / Maria Quitéria   | 2,36e-13                      |
| <b>Risco Individual Médio Evento EI-19</b>                               |                               |
| Local  | Risco Individual Médio (/ano) |
| Parque do Suape / Maria Quitéria   | 3,85e-13                      |
| <b>Risco Individual Médio Evento EI-26</b>                               |                               |
| Local  | Risco Individual Médio (/ano) |
| Parque do Mirim  | 2,04e-11                      |
| Fábrica de Asfalto I   | 2,59e-13                      |
| Fábrica de Asfalto II  | 1,47e-12                      |
| <b>Risco Individual Médio Evento EI-28</b>                               |                               |
| Local  | Risco Individual Médio (/ano) |
| Parque do Mirim  | 1,60e-13                      |

### 5.5.8 Avaliação dos riscos e das consequências para eventos (EI-08, EI-17, EI-18, EI-19, EI-26 e EI-28)

Conforme o critério de aceitabilidade dos riscos estabelecido pela CETESB, as instalações das esferas EF-7204/EF-7205 de armazenamento de GLP localizadas no Parque Maria Quitéria, para ocorrência acidental de *BLEVE* e bola de fogo, assim como os tanques TQ-7101, TQ-7104/TQ-7105 e TQ-7109 de armazenamento de gasolina localizados no Parque do Suape, e mais os tanques TQ-7301 A/B/C/D de

armazenamento de óleo combustível e os tanques TQ-7303 A/B/C/D de armazenamento de nafta, localizados no Parque do Mirim, para a ocorrência acidental de grande vazamento, atendem ao risco social (região *ALARP*) e ao risco individual (região *ALARP*), de acordo com o que estabelece critério de aceitabilidade dos riscos da CETESB. As instalações estão aprovadas, desde que medidas preventivas sejam sempre consideradas de forma a reduzir os riscos das instalações das esferas e dos tanques para as comunidades circunvizinhas.

A partir dos resultados obtidos para as simulações dos eventos EI-08, EI-17, EI-18, EI-19, EI-26 e EI-28 em que a aceitabilidade dos riscos das instalações atendem ao critério da CETESB, em termos de aprovação das instalações para as hipóteses acidentais nas esferas EF-7204/EF-7205, localizadas no Parque Maria Quitéria e nos tanques TQ-7101, TQ-7104/TQ-7105 e TQ-7109, localizados no Parque do Suape, bem como, nos tanques TQ-7301 A/B/C/D e TQ-7303 A/B/C/D localizados no Parque do Mirim, vale ressaltar que para a atual estrutura de instalação dos equipamentos de armazenamento em relação à estrutura de ocupação urbana do município, existem condições que impedem o aceite favorável para as instalações das esferas e dos tanques em decorrência do atual padrão de ocupação da população no entorno das instalações dos parques de tancagem e dos sistemas de transferências através de dutos de produtos derivados de petróleo e o álcool por toda a extensão do município, resultando dessa forma em risco para a população residente externamente às instalações dos parques de armazenamento e do sistema de transporte através da dutovia, em decorrência do acúmulo de grande quantidade de produtos de alto poder de inflamabilidade, explosividade e toxicidade nas proximidades das estruturas urbana, circunvizinha às instalações dos parques de armazenamento para um município que apresenta uma elevada densidade de ocupação humana.

## 6. RESULTADO E CONCLUSÃO DAS SIMULAÇÕES

Para o desenvolvimento do presente estudo foram identificados e analisados, em termos de parâmetros de riscos, trinta e um eventos acidentais para as instalações industriais existentes no município de Madre de Deus. A partir desses eventos acidentais foram relacionados pelo sistema computacional e selecionados para efeito desse estudo de análise quantitativa de risco os dez eventos acidentais mais sérios para as instalações industriais em termos de risco e que representam o maior risco social médio, conforme relação da Tabela 28, formando o grupo dos cenários de maior preocupação para as possíveis consequências mais severas para a população externa e os cenários acidentais afeitos às medidas de mitigação.

Nesse capítulo será feita a avaliação quantitativa do risco a partir do critério de aceitabilidade de risco (risco social e risco individual) abrangendo as estruturas dos equipamentos da indústria petrolífera destinados ao transporte através de dutos e armazenamento em esferas e tanques de produtos derivados do petróleo e álcool em relação à população externa residente no município de Madre de Deus.

Como citado anteriormente, conforme estabelecido na Norma Técnica CETESB P4.261 (2003, p.33) para a aprovação das instalações industriais em termos de aceitabilidade de risco para a população residente externamente às instalações industriais os critérios de risco social e de risco individual devem ser atendidos conjuntamente.

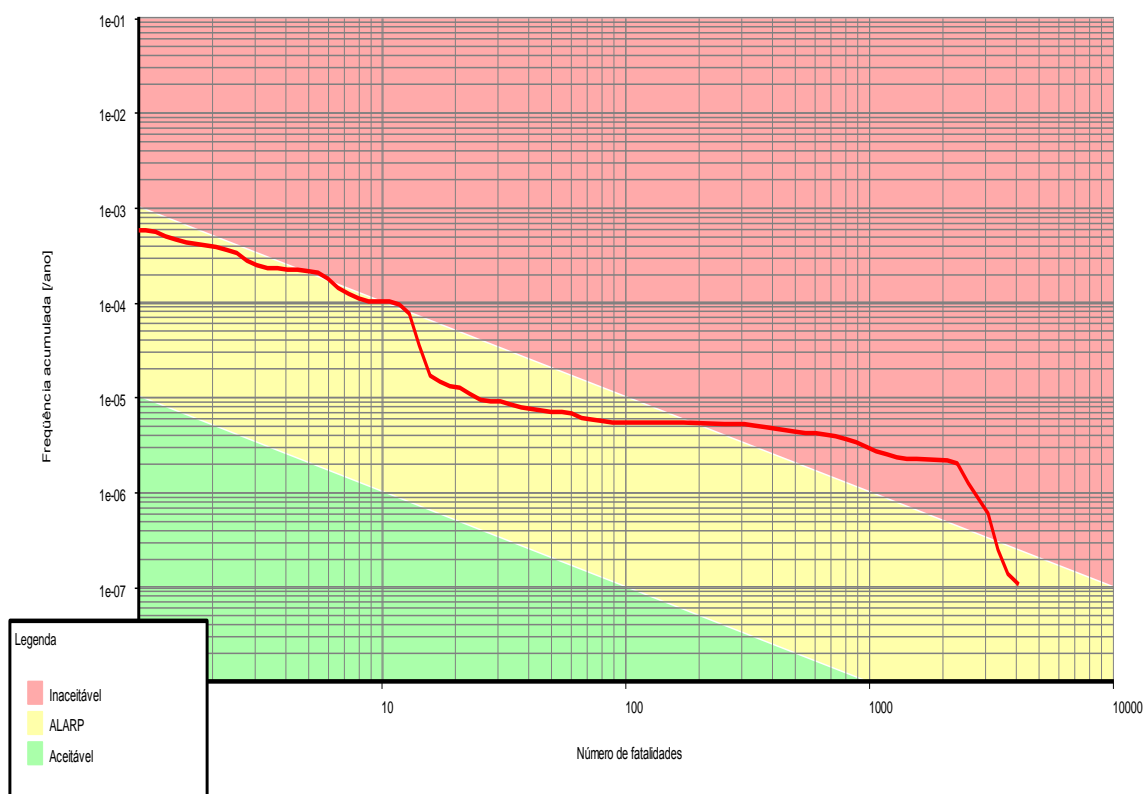
### 6.1 RISCO SOCIAL PARA O MUNICÍPIO DE MADRE DE DEUS

A Figura 66 representa o gráfico da curva de aceitabilidade do risco social cumulativo para os trinta e um eventos iniciadores simulados para o presente estudo e configura a exposição aos riscos das comunidades residentes no município em relação ao conjunto das instalações petrolíferas do TEMADRE. O traçado da curva F-N de aceitabilidade dos riscos, mostra que a curva representativa do risco social ultrapassa o limite da região de risco do gráfico caracterizada como risco intolerável, ou seja, região de nível alto dos riscos e por essa razão as instalações industriais do

TEMADRE são consideradas não aceitáveis para a atual estrutura de ocupação dos equipamentos de transporte e armazenamento de produtos tóxicos, inflamáveis e explosivos em relação à ocupação da população no seu entorno.

Partindo do princípio que o risco social está diretamente relacionado à proximidade e ao número de pessoas expostas às consequências de uma ocorrência acidental em uma instalação industrial de manuseio de produtos químicos, conforme demonstrado nas expressões de (1) à (4) do presente estudo, o traçado da curva de tolerabilidade de risco para o município na região intolerável justifica-se pelo fato das comunidades no entorno das instalações dos equipamentos de armazenamento e transporte dos produtos químicos manuseados no terminal, serem densamente povoadas, favorecendo de forma direta em um possível número elevado de fatalidade e de ferimento para as pessoas das comunidades quando da ocorrência de um acidente químico ampliado.

**Figura 66: Risco social para o município de Madre de Deus (padrão CETESB P4.261, 2003)**



## 6.2 RISCO SOCIAL MÉDIO PARA O MUNICÍPIO DE MADRE DE DEUS

O risco social médio total (fat./ano) para as instalações do TEMADRE, conforme a expressão (5), é definido como o somatório dos trinta e um eventos do produto da frequência de cada um dos eventos (/ano) pelos valores respectivos das suas consequência resultante de cada um dos eventos (fat.) componentes desse estudo.

A Tabela 28 registra os valores do risco social médio compostos das frequências e das consequências para cada evento e o total obtido conforme a expressão (5) para os dez eventos iniciadores relacionados pelo sistema computacional como sendo os de maior risco social médio para a população residente no município de Madre de Deus exposta aos riscos acidentais das instalações industriais.

Os registros da Tabela 28 indicam que o evento EI-01 (Grande vazamento nos dutos de GLP) é o que mais contribui para o risco social médio para a população externa, com uma contribuição relativa de 42,29% devido ao valor do risco social médio de  $4,1111e-03$  fat./ano. Em seguida os eventos EI-05 (*BLEVE* e bola de fogo nos dutos de GLP) e EI-26 (Grande vazamento de óleo combustível nos TQ-7301 A/B/C/D) com contribuição relativa de 17,54% e 15,35%, e valor do risco social médio, respectivamente, de  $1,7050e-03$  fat./ano e  $1,4924e-03$  fat./ano. E o registro do valor total do risco social médio para os dez eventos de maior risco social médio de  $9,3824e-03$ , representando uma contribuição relativa para os eventos simulados de 96,75%.

## 6.3 RISCO INDIVIDUAL PARA O MUNICÍPIO DE MADRE DE DEUS

A instalação dos equipamentos como já foram visto, estão agrupados nas localidades do Parque do Suape, Parque Maria Quitéria, Fábrica de Asfalto, Parque do Mirim e na Dutovia, conforme disposição da Figura 10, constituindo-se dessa maneira em áreas vulneráveis e pelas quais estão delimitadas pelas curvas

representativas de iso-risco, que definem os contornos para um determinado nível de risco individual para o município.

A Figura 67 representa os contornos de risco individual, as curvas foram calculadas para toda a extensão do município e definem as áreas vulneráveis ao risco individual para o indivíduo das comunidades externas às instalações do terminal petrolífero existentes no município. Lembrando que as áreas vulneráveis delimitadas pelas curvas de iso-risco, definem os contornos externos das regiões potencialmente afetadas a serem atingidas pelos efeitos danosos de possíveis ocorrências de acidentes químicos ampliados de forma a provocar danos (fatalidade e ferimento) ao indivíduo.

De acordo com os critérios da CETESB, o risco individual considerado intolerável para a população externa é de  $1,0e-05$ /ano de risco individual para instalações industriais existentes e para as instalações da dutovia é de  $1,0e-04$ /ano. A partir da Figura 67 observamos que a curva de iso-risco de maior risco individual de cor amarela relativa à dutovia tem valor de  $1,0e-05$ /ano de risco individual, coincidindo com o centro do traçado da dutovia, logo de acordo com o critério CETESB, o limite de tolerabilidade de risco para a dutovia está na região *ALARP*, fazendo ver que as instalações da dutovia necessitam de medidas para a redução do risco individual. Isso se deve principalmente pelas proximidades e o grande número de pessoas residentes expostas aos riscos e a grande concentração de produtos derivados do petróleo e o álcool transportados através da dutovia.

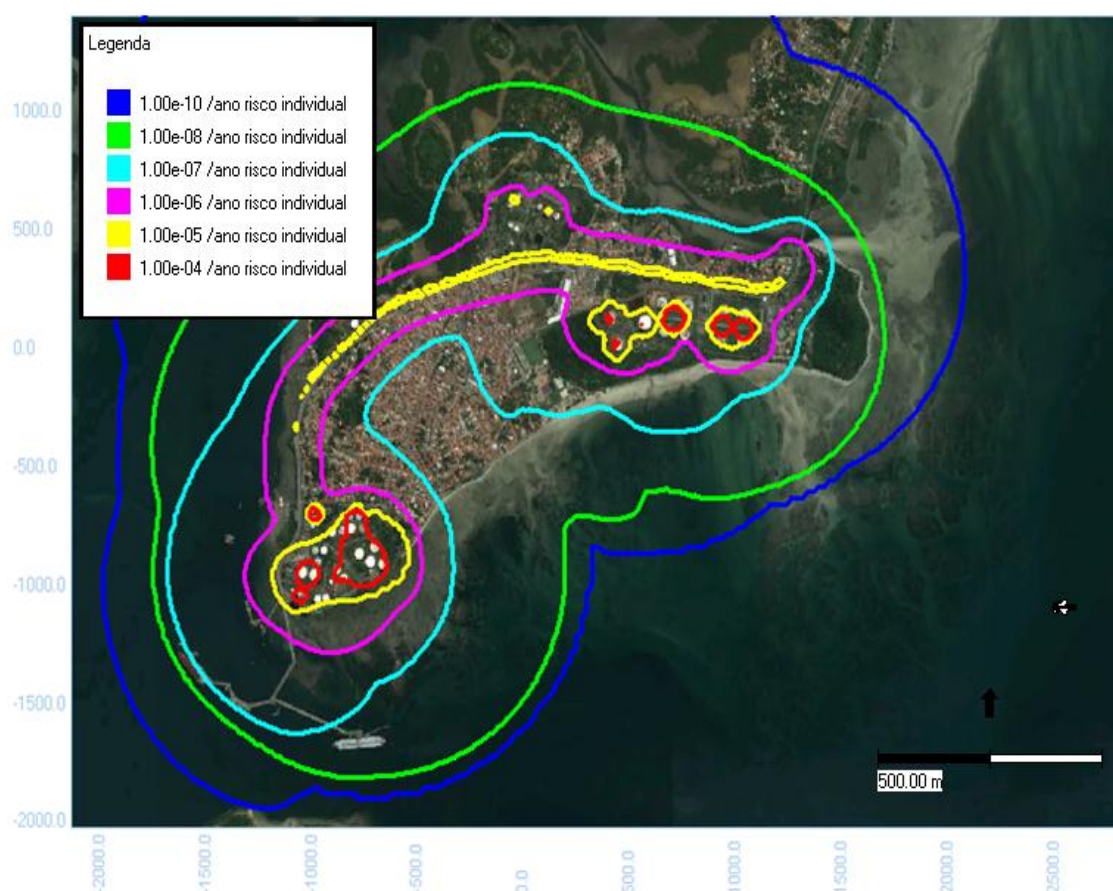
Para as instalações dos parques de tancagem (esferas e tanques) observamos que a curva de iso-risco e que representa maior risco individual de cor amarela e de valor  $1,0e-05$ /ano de risco individual, afeita à região do Parque do Mirim, atinge a área externa das instalações, onde o risco individual é considerado inaceitável, logo as instalações necessitam de medidas preventivas e/ou mitigadoras para a redução do risco individual para a comunidade externa às instalações.

Para as demais instalações dos parques de tancagem as curvas de iso-risco de cor amarela de valor  $1,0e-05$ /ano de risco individual (região intolerável) ficam restritas à parte interna das instalações do terminal, não constituindo risco, portanto, para o indivíduo localizado na parte externa das instalações.

Através da figura constatamos que a área delimitada pela curva representativa de risco individual de cor violeta com valor de  $1,0e-06$ /ano de risco individual,

conforme critério da CETESB, está na região *ALARP*, demonstrando que as instalações industriais do terminal marítimo, para toda a extensão do município, necessitam de medidas mitigadoras para a redução do risco individual para a população externa. Isso se deve ao fato de que proporcionalmente o risco individual total aumenta em decorrência da alta taxa de ocupação populacional, o que faz elevar a probabilidade de fatalidade entre os indivíduos das comunidades circunvizinhas das instalações industriais do TEMADRE.

**Figura 67: Curvas de risco individual para o município de Madre de Deus**



#### 6.4 RISCO INDIVIDUAL MÉDIO PARA O MUNICÍPIO DE MADRE DE DEUS

A Tabela 40 estabelece o risco individual médio por ano para as regiões propensas a serem atingidas pelos efeitos danosos das ocorrências acidentais, indicando qual a chance de uma pessoa das comunidades relacionadas, situada numa



determinada posição, ser afetada em caso da ocorrência de um evento acidental de grande proporção. Conforme a tabela, a região com maior propensão durante a ocorrência acidental é a região da Fábrica de Asfalto II com valor de  $2,19e-09$ /ano de risco individual médio, devido à região apresentar um risco social médio maior em relação às demais regiões em decorrência da maior da frequência de ocorrência por ano de acidente e da consequência gerada em termos de fatalidade para o indivíduo da comunidade.

**Tabela 40: Risco individual médio para ocorrência acidental no município de Madre de Deus**

| <b>Risco Individual Médio para o Município de Madre de Deus</b> |                                      |
|---|--------------------------------------|
| <b>População do Local</b>                                       | <b>Risco Individual Médio (/ano)</b> |
| Parque do Suape / Maria Quitéria                                | 1,12e-11                             |
| Parque do Mirim   | 7,45e-12                             |
| Fábrica de Asfalto I  | 2,10e-11                             |
| Fábrica de Asfalto II   | 2,19e-09                             |

## 6.5 AVALIAÇÃO DO RESULTADO DOS RISCOS

A partir dos resultados obtidos para risco social (Figura 66) e para risco individual (Figura 67) e conforme a comparação dos riscos com os critérios de aceitabilidade da CETESB para as instalações indústria petrolífera existentes no município e como o presente estudo está voltado para os efeitos dos impactos decorrentes de acidente químico ampliado de forma a afetar agrupamentos de pessoas das comunidades no entorno das instalações petrolíferas, para atendimento a esse estudo e para aprovação dos níveis de riscos das instalações industriais existentes no município em estudo, o risco social representa o índice determinante para estabelecer a aceitabilidade dos riscos das instalações de transporte através de dutos e armazenamento em tanques de produtos petrolíferos e álcool existentes no ambiente urbano do município.

Ao se comparar os resultados obtidos entre o risco social, considerado como intolerável (região impraticável) devido ao elevado nível de riscos que as instalações representam para a população residente no entorno das instalações do TEMADRE e

o risco individual considerado como tolerável (região *ALARP*) para o indivíduo das comunidades circunvizinhas às instalações implantadas no município e conforme os critérios de tolerabilidade estabelecidos na Norma Técnica CETESB P4.261/2003, conclui-se que os riscos das instalações do terminal para as operações de transporte e armazenamento de produtos derivados de petróleo e álcool em Madre de Deus, representam, atualmente, uma situação intolerável para a população externa residente no município, uma vez que o risco social é determinante para estabelecer a aceitabilidade dos riscos.

## 6.6 CONCLUSÃO

Com os resultados obtidos das simulações de cenários hipotéticos de vazamentos acidentais de produtos derivados de petróleo e álcool, pode-se concluir que existem riscos significativos associados às instalações do terminal marítimo, envolvido com a operacionalidade através de transferência e armazenamento de produtos derivados do petróleo e álcool, caracterizados pela toxicidade, inflamabilidade e/ou explosividade por toda a extensão do município de Madre de Deus.

O manuseio de produtos considerados perigosos com características de elevada toxicidade, inflamabilidade e/ou explosividade, em instalação que têm funções operacionais típicas de um terminal de carga e descarga, que são o transporte e armazenamento de produtos derivados do petróleo, está afeita à ocorrência de descargas acidentais desses produtos de forma descontrolada para o ambiente circunvizinho às instalações do terminal. O acidente decorrente de descarga acidental de produtos perigosos causa efeitos físicos provenientes do desdobramento do acidente através de fluxo térmico, sobrepressão e nuvem de gases tóxicos, podendo causar danos físicos (fatalidades e ferimentos) nas pessoas e danos estruturais em equipamentos e construções prediais situadas no entorno das instalações industriais.

Em vista do atual padrão de ocupação das estruturas urbanas no entorno dos equipamentos de transporte e armazenamento de produtos derivados do petróleo e álcool no município de Madre de Deus, constatou-se que as instalações da TRANSPETRO apresentam riscos, para a população externa residente nas

circunvizinhanças das instalações da indústria petrolífera para a probabilidade da ocorrência de um acidente químico ampliado.

A partir das simulações desenvolvidas foi possível constatar que as disposições dos equipamentos de transporte e armazenamento de substâncias derivadas do petróleo e álcool por toda a extensão do município de Madre de Deus, representam um grande perigo para a população, as estruturas físicas urbana e o meio ambiente do município. Percebe-se ainda, que as instalações da dutovia e do conjunto de tancagem de armazenamento (esferas e tanques) têm possibilidade de gerar acidentes de grandes proporções, com milhares de fatalidades. A situação de risco para a perspectiva de acidente químico ampliado, decorrente de incêndio ou explosão de grande magnitude no município, ficam evidenciadas, em virtude de fatores que elevam a potencialidade dos riscos para as estruturas de ocupação urbana do município, tais como: a) a elevada probabilidade para ocorrência acidental, conforme demonstrado na curva de tolerabilidade para risco social que tem o traçado da curva de aceitabilidade dos riscos na região caracterizada como risco intolerável (Figura 66); b) as condições favoráveis para a propagação de acidente devido à grande quantidade de substâncias tóxicas e inflamáveis concentradas por toda a extensão do município e que na ocorrência de um acidente de grandes proporções os efeitos acidentais extrapolam os limites das instalações do terminal de carga e descarga de combustíveis; c) a provável grande dificuldade de mobilidade para evacuar a população de uma cidade densamente povoada e que não apresenta nenhuma estrutura capaz de mobilizar as pessoas de forma rápida e eficiente, vez que, o município está implantado em uma ilha e na estrutura urbana do município existe apenas uma estrada de acesso, que é paralela em toda a sua extensão à dutovia.

Assim através das análises dos resultados, decorrentes dos estudos de consequências dos eventos acidentais simulados, concluímos que os efeitos danosos decorrentes de um acidente químico ampliado extrapolam os limites das instalações do terminal de carga e descarga de combustíveis existentes no município de Madre de Deus atingindo a população externa residente nas comunidades no entorno das instalações industriais

## REFERÊNCIAS

- AGÊNCIA NACIONAL DO PETRÓLEO (ANP). **Instalações Dutoviárias e Terminais Terrestres**. Autorização Nº 4 de 04 de fevereiro de 1998. Publicado no Diário Oficial da União (DOU) de 05 de fevereiro de 1998. Disponível em: <<http://nxt.anp.gov.br/nxt/gateway.dll/leg/autorizacao>>. Acesso em: 21 de jul. de 2012, 10:22:30.
- APARÍCIO, Ricardo. **QF 431 – Físico – Química – Notas de Aula**. Versão 0-50 / 2012. Instituto de Química / UNICAMP Disponível em: <<http://www.labec.iqm.unicamp.br/cursos/QF431/index.html>>. Acesso em: 02 de set. de 2013.
- AP 42, Section 7.1. **Organic Liquid Storage Tanks**. Fifth Edition, Volume I, Chapter 7, 2006.
- CCPS, Center for Chemical Process Safety – AICHE. **Guidelines for Evaluating the Characteristics of Vapor Cloud Explosions, Flash Fires, and BLEVEs**. American Institute of Chemical Engineers, 1994.
- CCPS. **Guidelines for Chemical Transportation Risk Analysis**. American Institute of Chemical Engineers, 1995.
- CCPS, Center for Chemical Process Safety - AICHE. **Guidelines for Chemical Process Quantitative Risk Analysis**. AICHE, 2ª Edição, 2000.
- CENTER FOR THE CHEMICAL PROCESS SAFETY OF THE AMERICAN CENTER OF CHEMICAL ENGINEERS. **Guidelines for Chemical Process Quantitative Risk Analysis**, 1989.
- COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO - CETESB - **Norma Técnica P4.261**, 2003.
- COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO – CETESB - **Emergência Química**, 2014. Disponível em: <<http://www.cetesb.sp.gov.br/gerenciamento-de-risco>>. Acesso em: 18 jan. de 2014.
- CPR 14E, **Methods for the calculation of physical effects - due to releases of hazardous materials (liquids and gases)** - 'Yellow Book', 2005.
- CROWL, Daniel A.; LOUVAR, Joseph F. **Chemical Process Safety: Fundamentals with Applications**. Prentice - Hall, 1990.
- DET NORSKE VERITAS - DNV. **Módulo 5: Modelos de Avaliação de Consequência de Acidentes (vazamentos, incêndios, explosões, contaminação ambiental)**. Apostila do Curso sobre Estudo de Análise de Riscos e Programa de Gerenciamento de Riscos. Preparado para: Ministério do Meio Ambiente - Secretaria de Qualidade Ambiental. Edição: 03/04/2007.

FUNDACENTRO. **Prevenção de Acidentes Industriais Maiores**. Ministério do Trabalho e Emprego. Um código de práticas da OIT. Contribuição da OIT para o Programa Internacional de Segurança Química do PNUMA, OIT e OMS (IPCS), 2002.

HERCULANO, Selene. **Desenvolvimento local, responsabilidade sócio-ambiental e royalties: a Petrobras em Macaé (RJ)**. Impactos sociais, ambientais e urbanos das atividades petrolíferas: o caso de Macaé, Cap. 1-2: Selene Herculano - p 20, 2010. Disponível em: <[http://www.uff.br/macaehimpacto/OFFICINAMACAE/pdf/12\\_SeleneHerculano.pdf](http://www.uff.br/macaehimpacto/OFFICINAMACAE/pdf/12_SeleneHerculano.pdf)>. Acesso em: 12 de abr. 2012, 10:16:45.

HEATH AND SAFETY EXECUTIVE - HSE, **Failure Rate and Event Data for use within Risk Assessments**, 2012.

HEATH AND SAFETY EXECUTIVE - HSE, **A Guide to the Control of Major Accidents Hazards Regulations**, 1990.

HISTÓRIAS DAS CIDADES. Disponível em: <<http://www.visiteabahia.com.br>>. Acesso em: 13 de jun. 2012.

INNOVATION. **8ª Conferência, Internacional de Simulação. Simulação para Avaliação de Terminais Aquaviários**, 2011. Disponível em: <<http://www.belge.com.br/innovation2011/>>. Acesso em 14 de mai. 2012, 07:16:55

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE. **Perfil dos Municípios Brasileiros**, 2012. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/economia/perfilmunic/2012/>>. Acesso em: 03 de ago. 2012

IBGE - CIDADES. Disponível em: <<http://www.cidades.ibge.gov.br>>. Acesso em: 04 de jul. 2013.

KLETZ, T. A. **Loss Prevention in the Process Industries**. Hazard Identification, Assessment and Control. Third Edition. Volume 1, 2003.

KOEHNE, André. **Mapa da Região Metropolitana de Salvador**, 2007. Disponível em: <[http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Regi%C3%A3o\\_Metropolitana\\_Salvador.png](http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Regi%C3%A3o_Metropolitana_Salvador.png)>. Acesso em: 14 de set. 2012.

MHIDAS. **Major Hazard Incident Data System**; 2002, London, United Kingdom Atomic Energy Authority; SRD - Safety and Reliability Directorate.

NORMA PETROBRAS N – 270, REVISÃO C. **Projeto de Tanque Atmosférico**. CONTEC SC – 02 – Caldeiraria, 2003.

ORGANIZAÇÃO INTERNACIONAL DO TRABALHO - OIT. **CONVENÇÃO Nº 174 - Prevenção de Acidentes Industriais Maiores**, Editada em 1993 e Promulgada: Decreto nº 4.085 de 15 de jan. 2002.

PASQUILL, F., Meteorological Magazine. **The Estimator of the Dispersion of Wind – Borne Material**, 1961, p. 33 – 49.

PETRÓLEO BRASILEIRO S.A. - PETROBRAS. **Ficha de Informação de Segurança de Produto Químico - FISPQ**.

DISTRIBUIDORA BRASILEIRA DE PETRÓLEO - DIBRAPE. **Ficha de Informação de Segurança de Produto Químico** - Nº FISPQ: Pb0035\_P, Versão 0.2P de 27/01/2009;

\_\_\_\_\_ Nº FISPQ: 9000113, Rev.1-11 de 31/01/2011 (LIQUIGÁS/PETROBRAS);

\_\_\_\_\_ Nº FISPQ: Pb0044\_P, Versão 0.2P de 28/01/2009;

\_\_\_\_\_ Nº FISPQ: Pb0046\_P, Versão 0.3P de 28/01/2009;

\_\_\_\_\_ Nº FISPQ: Pb0142\_P, Versão 0.1P de 29/01/2009;

\_\_\_\_\_ Nº FISPQ: Pb0091\_P, Versão 0.4P de 18/02/2009;

\_\_\_\_\_ Nº FISPQ: Pb0095\_P, Versão 0.4P de 11/11/2009;

\_\_\_\_\_ Nº FISPQ: Pb0113\_P, Versão 0.3P de 10/02/2009;

\_\_\_\_\_ Nº FISPQ: Pb0116\_P, Versão 0.3P de 10/02/2009;

\_\_\_\_\_ Nº FISPQ: BR0058\_P, Versão 00P de 21/11/2002;

\_\_\_\_\_ Nº FISPQ: BR0350, Versão 3 de 07/02/2014;

\_\_\_\_\_ Nº FISPQ: BR0611, Versão 1 de 17/09/2012.

PETRÓLEO BRASILEIRO S.A. - PETROBRAS. **Plano de Emergência Local da UN - RLAM**. Código: PG - 3AL - 00316 - K, 2002.

REFINARIA LANDULPHO ALVES DE MATARIPE - RLAM. **Estação Meteorológica da RLAM**. Indicativos 2005 a 2007.

RESOLUÇÃO CONAMA Nº 3, de 28 de junho de 1990. **Publicada no Diário Oficial da União**. De 22 de agosto de 1990, Seção 1, p. 15937 a 15939. Complementar a Resolução CONAMA nº 5 / 89. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/res/res90/res0390.html>>. Acesso em: 03 de set. 2012.

RIJNMOND PUBLIC AUTHORITY. **Risk Analysis of Six Potentially Hazardous Industrial Objects in the Rijnmond Area, a Pilot Study**. Netherlands, 2012.

RISKAN, Risk Analysis Essentials, **Manual do Usuário, Versão 1.0.2**, 2012.

RISKAN, Risk Analysis Essentials, **Relatório de Certificação do Programa RISKAN 1.0.2**, 2006.

SECRETÁRIA DE SAÚDE / SISTEMA DE INFORMAÇÃO DA ATENÇÃO BÁSICA (SESAU/SIAB). **Fonte de Distribuição Populacional**. Prefeitura Municipal de Madre de Deus, 2012.

SEVÁ FO, A. Oswaldo. **Riscos e Prejuízos Sociais e Ambientais da Indústria Petrolífera. Uma Introdução Sobre o Panorama no Brasil Até 2011**. Cap. 1: Publicação FASE / Sindipetro, p.9, 2012. Disponível em: <[http://www.ifch.unicamp.br/profseva/2012\\_cap1red\\_livroFASE\\_petroleo\\_Brasil\\_SEVA.pdf](http://www.ifch.unicamp.br/profseva/2012_cap1red_livroFASE_petroleo_Brasil_SEVA.pdf)>. Acesso em: 01.02.2014.

TNO. **Guideline for Quantitative Risk Analysis**. Purple Book. Committee for the Prevention of Disasters. Dutch Ministry of Housing, 2001.

TNO. **Methods for the Determination of Possible Damage to People and Objects Resulting from Releases of Hazardous Materials**. Green Book. Dutch Ministry of Housing, 1989.

TNO. **Methods for the Calculation of Physical Effects due to Releases of Hazardous Materials (liquids and gases)**. Yellow Book. Dutch Ministry of Housing, 1997.

URS, United Research Services. **Guia Setorial de Responsabilidade Ambiental para a Armazenagem de Produtos Petrolíferos**. Espanha, 2011.

VALLE, Cyro Eyer; LAGE, Henrique. **Meio Ambiente: Acidentes, lições e soluções**. São Paulo: SENAC, 2003.

VASCONCELLOS, E. S; GOMEZ, C. M. **O acidente químico ampliado e os efeitos sobre a saúde dos trabalhadores e da população**. Revista Brasileira de Saúde Ocupacional, Fundacentro, v. 23, n. 87-8, p. 9-16, novembro 1997.

WASH – 1400 (NUREG – 75 / 014). **Reactor Safety Study – An Assessment of Accident Risks in U.S. Commercial Nuclear Power Plants**. Appendices III and IV, Page III - 7/8, Table III 2-1. United States Nuclear Regulatory Commission, october 1975.