

Universidade de São Paulo  
Faculdade de Saúde Pública

Análise da vulnerabilidade aos acidentes  
tecnológicos no entorno do distrito industrial do  
município de Paulínia.

Rafael Alexandre Ferreira Luiz

Dissertação apresentada ao Programa de  
Pós-Graduação em Saúde Pública para  
obtenção do título de Mestre em Ciências.

Área de concentração: Saúde Ambiental

Orientadora: Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Adelaide Cássia  
Nardocci

São Paulo

2013

Análise da vulnerabilidade aos acidentes  
tecnológicos no entorno do distrito industrial do  
município de Paulínia.

Rafael Alexandre Ferreira Luiz

Dissertação apresentada ao Programa de  
Pós-Graduação em Saúde Pública para  
obtenção do título de Mestre em Ciências.

Área de concentração: Saúde Ambiental.  
Linha de pesquisa: Política, Planejamento e  
Gestão Ambiental.

Orientadora: Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Adelaide Cássia  
Nardocci

São Paulo

2013

É expressamente proibida a comercialização deste documento tanto na sua forma impressa como eletrônica. Sua reprodução total ou parcial é permitida exclusivamente para fins acadêmicos e científicos, desde que na reprodução figure a identificação do autor, título, instituição e ano da dissertação.

À minha família de sangue e de coração.  
Ao meu amigo, companheiro e lutador Vito

## RESUMO

Luiz, R. A. F. **Análise da vulnerabilidade aos acidentes tecnológicos no entorno do distrito industrial do município de Paulínia**. São Paulo; 2013. [Dissertação de Mestrado – Faculdade de Saúde Pública da Universidade de São Paulo].

Instalações industriais possuem uma ampla fonte de riscos. Por isso, o entendimento e gerenciamento destes adquirem grande importância para a garantia dos níveis de segurança. A temática *vulnerabilidade* é relevante na medida em que a relação do seu conceito ao de *risco* permite a contextualização deste último. A finalidade da avaliação da vulnerabilidade é descrever, dentro de um determinado contexto, a interação entre os riscos, a comunidade e o meio ambiente. Pesquisas deste tipo fornecem subsídios para o desenvolvimento de programas e estratégias de prevenção de riscos e promoção da saúde. Estudos que privilegiem a vulnerabilidade do entorno de plantas industriais ainda são escassos, porém de suma importância, pois os resultados visualizados na forma de mapas são úteis para a formulação de propostas e melhorias no gerenciamento dos riscos. Devido às características existentes nas áreas de entorno das plantas industriais no Brasil e, dada a gravidade e extensão dos danos que possíveis acidentes podem causar à saúde humana, a problemática da vulnerabilidade aos acidentes tecnológicos pode e deve ser encarada como um assunto pertinente para Saúde Pública, sendo esta área do conhecimento capaz de contribuir na formulação de estratégias de controle e prevenção de tais fatalidades. O objetivo dessa dissertação foi a aplicação do mapeamento da vulnerabilidade da área de entorno do distrito industrial do município de Paulínia e, então, a identificação dos alvos mais sensíveis à ocorrência de acidentes, a ponderação da viabilidade da aplicação deste para o contexto brasileiro e seu uso como instrumento de gestão de uso do solo no entorno de plantas industriais. A metodologia baseou-se em revisão da literatura, composição de base de dados e uso de um Sistema de Informação Geográfica. Os principais resultados indicaram valores elevados de vulnerabilidades para áreas que estão fora do limite destinado ao uso industrial, definido pelo zoneamento do município, principalmente no que diz respeito à vulnerabilidade humana. Por fim, concluiu-se que o planejamento territorial que leve em consideração a vulnerabilidade é fator primordial na redução dos danos ocasionados pelos acidentes tecnológicos, sobretudo no entorno de plantas industriais.

Palavras chave: Avaliação da Vulnerabilidade, Acidentes Tecnológicos, Mapeamento da Vulnerabilidade.

## ABSTRACT

Luiz, R. A. F. **Análise da vulnerabilidade aos acidentes tecnológicos no entorno do distrito industrial do município de Paulínia**. São Paulo; 2013. [Dissertação de Mestrado – Faculdade de Saúde Pública da Universidade de São Paulo].

Industrial facilities have a wide source of risk. Therefore, the understanding and management of them acquire great importance to guarantee the security levels. The vulnerability theme is relevant to the extent that its relationship with the risk concept allows the contextualization of the latter. The purpose of the vulnerability assessment is to describe, within a given context, the interaction between risks, the community and the environment. This kind of research provides subsidies for the development of programs and strategies for risk prevention and health promotion. Studies that emphasize the vulnerability of the surrounding areas of industrial plants are still scarce, but very important, because the results displayed in form of maps are useful to formulation of proposals and improvements in risk management. Due to the characteristics that are in the surrounding areas of industrial plants in Brazil and, considering the severity and extent of the damage that can cause possible injury to human health, the issue of vulnerability to technological accidents can and must be seen as a relevant subject to Public Health, and this area of knowledge can contribute to formulation of strategies for prevention and control of such fatalities. The purpose of this dissertation was the application of vulnerability mapping in the surrounding area of the industrial district at the Paulínia municipality and then, the identification of the more sensitivities targets to occurrence of accidents, the assessment of feasibility of applying this model to the Brazilian context and its use as a management tool in land use around plants. The methodology was based on a literature review, the composition of the database and the use of a Geographic Information System. The main results showed high vulnerability to areas outside limits for industrial use, defined by the municipality zoning, especially with regard to human vulnerability. Finally, it was concluded that territorial planning that takes into account the vulnerability is a key factor in reducing the damage caused by technological accidents, especially in surrounding areas of industrial plants.

Keywords: Vulnerability Assessment, Vulnerability Mapping, Technological Accidents

## ÍNDICE

<b>1. INTRODUÇÃO</b> .....	12
<b>2. OBJETIVOS</b> .....	19
2.1.1 Objetivo Geral.....	19
2.1.2 Objetivos Específicos.....	19
<b>3. REFERENCIAL TEÓRICO</b> .....	20
3.1 ACIDENTES TECNOLÓGICOS.....	20
3.2 VULNERABILIDADE.....	22
3.3 MAPEAMENTO DE ÁREAS VULNERÁVEIS.....	28
3.3.1 Avaliação de Mapeamento da Vulnerabilidade do Entorno de Plantas Industriais: Método <i>ARAMIS</i> .....	32
<b>MATERIAIS E MÉTODOS</b> .....	48
3.4 MATERIAL BIBLIOGRÁFICO E CARTOGRÁFICO.....	49
3.5 APLICATIVOS.....	50
3.6 ÁREA DE ESTUDO.....	50
3.6.1 Instalações Industriais.....	53
3.6.2 Composição da Malha Vetorial.....	54
3.7 IDENTIFICAÇÃO DOS CENÁRIOS ACIDENTAIS.....	56
3.7.1 Escolha das causas e substâncias.....	56
3.7.2 Determinação das distâncias de abrangências.....	59
3.8 IDENTIFICAÇÃO DOS ALVOS.....	62
3.8.1 Alvos Humanos.....	62
3.8.2 Alvos Ambientais.....	64
3.8.3 Alvos Materiais.....	66
4.6 APLICAÇÃO DO MODELO DE AVALIAÇÃO DA VULNERABIL.....	68
<b>4. RESULTADOS E DISCUSSÃO</b> .....	72
4.1 MAPEAMENTO DAS VULNERABILIDADES.....	72
5.2 PLANEJAMENTO TERRITORIAL COMO INSTRUMENTO INIBIDOR DE VULNERABILIDADES.....	79
<b>5. CONSIDERAÇÕES FINAIS</b> .....	83
5.1 RECOMENDAÇÕES.....	86
<b>6. REFERÊNCIAS</b> .....	87

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Acidentes tecnológicos relatados no período de 1900 a 2011.....	13
Figura 2. Número de pessoas mortas por acidentes tecnológicos relatados no período de 1900 a 2011.....	15
Figura 3. Visão geral das etapas metodológicas do projeto <i>ARAMIS</i> .....	34
Figura 4. Estrutura hierárquica da caracterização da vulnerabilidade humana por efeito físico.....	39
Figura 5. Estrutura hierárquica da caracterização da vulnerabilidade global.....	40
Figura 6. Exemplo da malha proposta pelo projeto <i>ARAMIS</i> , elaborada em ambiente SIG.....	46
Figura 7. Localização da área de estudo.....	51
Figura 8. Causas dos acidentes tecnológicos relatados no período de 1900 a 2011.....	57
Figura 9. Determinação das distâncias máximas de abrangências para os cenários acidentais considerados na área de estudo.....	61
Figura 10. Alvos humanos no município de Paulínia.....	63
Figura 11. Alvos ambientais no município de Paulínia.....	65
Figura 12. Alvos materiais no município de Paulínia.....	67
Figura 13. Fluxograma do processo de avaliação da vulnerabilidade humana.....	68
Figura 14. Fluxograma do processo de avaliação da vulnerabilidade ambiental e material.....	71



## LISTA DE MAPAS

Mapa 1. Distribuição da população de Paulínia por setor censitário, segundo dados do IBGE do ano de 2010, e localização da Zona Industrial.....	53
Mapa 2. Localização das instalações industriais pesquisadas.....	54
Mapa 3. Disposição da malha vetorial na área de estudo.....	55
Mapa 4. Vulnerabilidade humana aos acidentes tecnológicos no distrito industrial de Paulínia.....	73
Mapa 5. Vulnerabilidade ambiental aos acidentes tecnológicos no distrito industrial de Paulínia.....	74
Mapa 6. Vulnerabilidade material aos acidentes tecnológicos no distrito industrial de Paulínia.....	76
Mapa 7. Vulnerabilidade global aos acidentes tecnológicos no distrito industrial de Paulínia.....	78

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1. População do município de Paulínia, por área de residência segundo dados do Censo Demográfico do IBGE de 2000 e 2010.....	52
Tabela 2. Distâncias máximas de abrangência para os cenários acidentais selecionados.....	58

## **SIGLAS UTILIZADAS**

ARAMIS - Accidental Risk Assessment Methodology for Industries in the Context of the Seveso II Directive

CETESB - Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental

DER - Departamento de Estradas de Rodagem

EEA – European Environment Agency

EM-DAT - International Disaster Database – Centre of Research on the Epidemiology of Disasters

GEOGET - Grupo de Pesquisa de Geotecnologias Aplicadas à Gestão do Território

GLP – Gás Liquefeito de Petróleo

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

NRA - Núcleo de Pesquisas em Avaliação de Riscos Ambientais

ONU - Organizações das Nações Unidas

PAC - Programa de Aceleração do Crescimento

PIB – Produto Interno Bruto

RAIS - relação anual de informações sociais

REPLAN - Refinaria de Paulínia

SAD 69 - South American Datum of 1969

SIG's – Sistemas de Informações Geográficas

SP – Estado de São Paulo

UNICAMP – Universidade Estadual de Campinas

UNISDR - United Nations International Strategy for Disaster Reduction

USP – Universidade de São Paulo

UTM - Universal Transversa de Mercator

VDM - volume diário médio de tráfego

WHO – World Health Organization

ZUI - Zona de Uso Industrial

ZUPI - Zona Predominantemente Industrial

## **1. INTRODUÇÃO**

Desde a Revolução Industrial no século XVIII a sociedade moderna tem como uma de suas principais características a velocidade com que os avanços tecnológicos são alcançados no seu processo de industrialização e desenvolvimento. No entanto, como custo deste progresso, a humanidade se defronta com uma significativa ampliação de potencialidades que ameaçam constantemente a segurança nas mais variadas esferas da vida.

Os acidentes tecnológicos estão diretamente relacionados com a crescente demanda por novos materiais e produtos químicos verificados desde a mudança da base produtiva do carvão para o petróleo, intensificando-se após a Segunda Guerra Mundial, o que deu grande impulso à indústria química. Soma-se a isso, a maximização da produção inserida no contexto de um comércio globalizado e de acirrada concorrência entre as corporações, o que leva ao aumento da produção, armazenamento e transporte de substâncias e materiais nocivos ao homem e ao ambiente e, portanto, acarretando também no aumento da exposição a estes, sobretudo nas comunidades próximas às instalações que manuseiam tais substâncias e produtos, além dos próprios trabalhadores destas unidades (ROCHA JR. et al., 2006).

De acordo com o EM-DAT, nunca houve tantos registros de acidentes tecnológicos como o que se tem observado nas últimas décadas (figura 1).

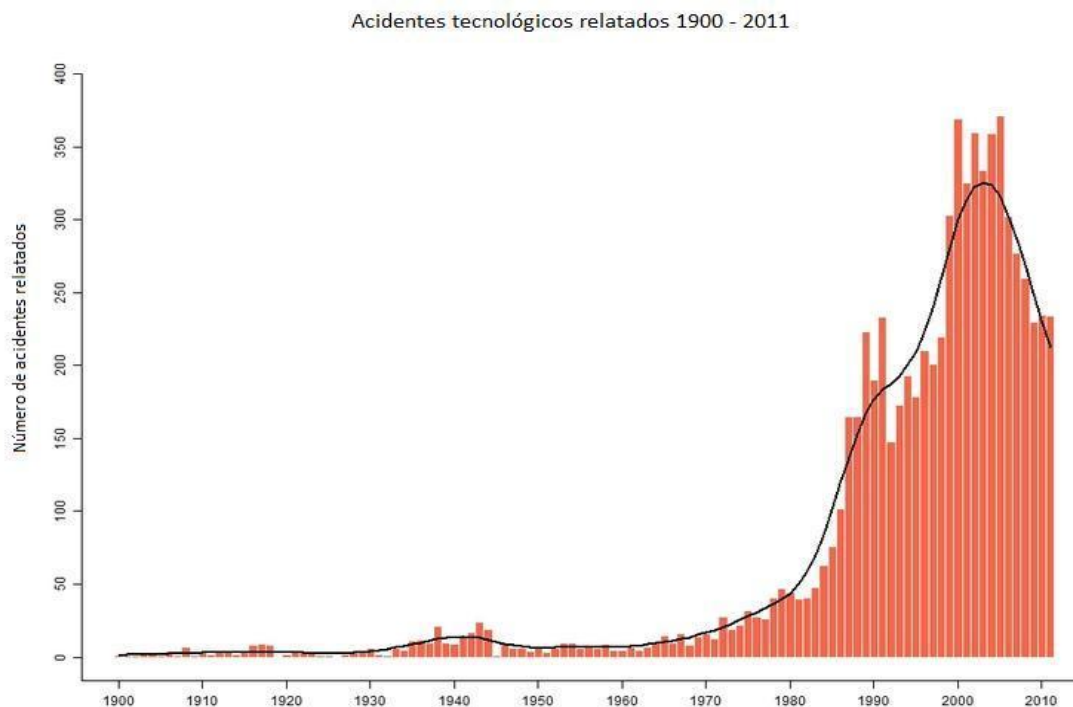


Figura 1. Acidentes tecnológicos relatados no período de 1900 a 2011.

Fonte: EM-DAT - The OFDA/CRED International Disaster Database  
(disponível em: [www.em-dat.net](http://www.em-dat.net)).

De acordo com a figura 1, o número de ocorrências tem aumentado significativamente no período compreendido entre 1900 a 2011, principalmente a partir da década de 1970. A curva de tendência a este tipo de acidente tem se mantido elevada até a década de 2000, onde se observa uma redução dos eventos, porem, ainda em patamares elevados (entre 200 e 250 casos).

Mesmo que este tipo de acidente possa ocorrer em países mais desenvolvidos, como os eventos em Enschede, Holanda, em 2000 e Toulouse, França em 2001 (OLIVEIRA JR., 2008), os efeitos mais severos são verificados nos países em desenvolvimento devido às particularidades existentes, com destaque para as concentrações populacionais no entorno das unidades industriais.

Tais fatores influenciam no aumento da vulnerabilidade dessas áreas e, conseqüentemente, na possibilidade de ocorrência de múltiplos danos à saúde e ao meio ambiente além dos danos materiais, ocasionando, no pior dos cenários, a perda de milhares de vidas humanas em apenas um único episódio (FREITAS et al., 1995).

Esse foi o caso do acidente ocorrido em 1984, na cidade de Bhopal, Índia, considerado o maior desastre tecnológico da história, matando cerca de 3800 pessoas após a liberação de mais de 40 toneladas de metil isocianato de uma fábrica de pesticida e, segundo o governo indiano na época, expondo mais de meio milhão de pessoas ao gás liberado. Muitos estudos epidemiológicos realizados após o acidente mostraram significativa morbidade e aumento da mortalidade na população exposta (Broughton 2005).

Na ocasião, as características do entorno e, sobretudo a falta de preparo da comunidade circunvizinha à indústria foram fatores determinantes na magnitude das conseqüências.

Ainda no ano de 1984 ocorreram outros acidentes emblemáticos do ponto de vista da gravidade dos danos em proximidades de plantas industriais, como o ocorrido na Vila Socó, Brasil e na cidade de San Juan de Ixhuatepec, no México. O primeiro causado pelo vazamento de milhares de litros de gasolina de um duto que resultou em um incêndio, totalizando 93 mortes, dezenas de feridos e destruição parcial da vila, o segundo, em virtude do vazamento de GLP em um tanque de armazenamento, que gerou uma explosão e a morte de cerca de 500 pessoas além do prejuízo estimado em US\$ 20 milhões (FREITAS et al. 1995 e FREITAS et al. 2000).

Estatísticas globais demonstram uma tendência crescente em relação às perdas decorrentes dos desastres tecnológicos, sobretudo no que diz respeito às perdas de vidas humanas (figura 2).

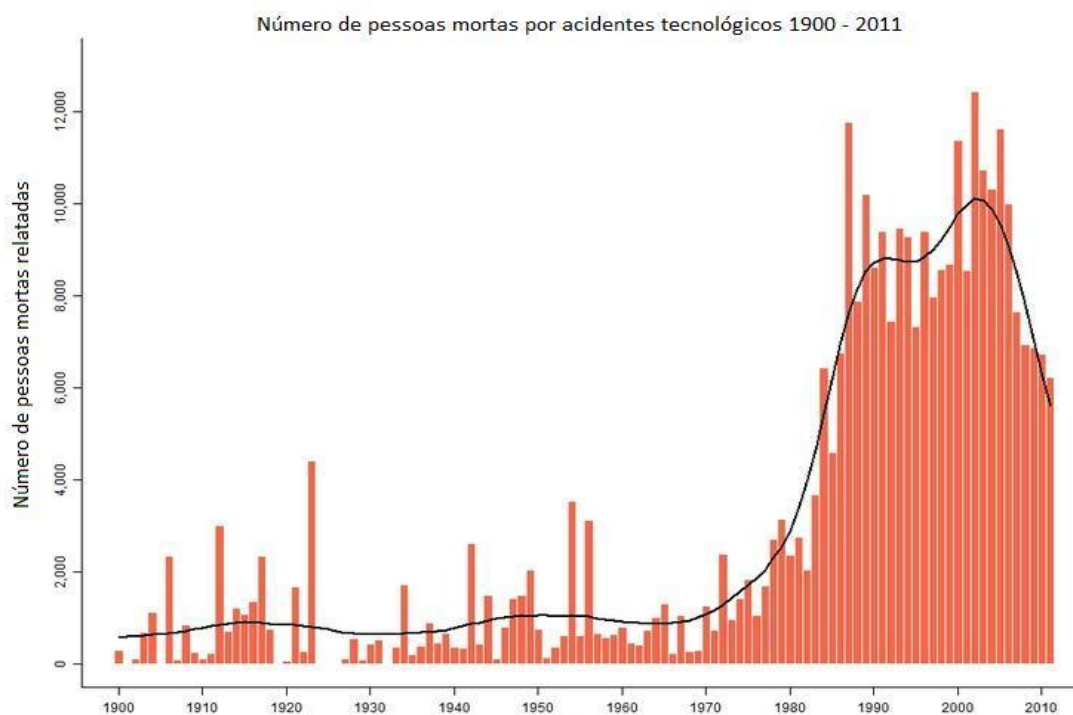


Figura 2. Número de pessoas mortas por acidentes tecnológicos relatados no período de 1900 a 2011. Fonte: EM-DAT - The OFDA/CRED International Disaster Database (disponível em: [www.em-dat.net](http://www.em-dat.net)).

A exemplo do número de ocorrências registradas, o número de mortes decorrentes dos acidentes tecnológicos apresenta um avanço significativo no período compreendido entre 1900 a 2011, sobretudo a partir da década de 1970. A tendência às fatalidades manteve-se elevada até a década de 2000, onde é possível observar uma diminuição dos óbitos, no entanto, ainda com valores elevados (aproximadamente 6 mil casos).



A razão para isso é simples e ao mesmo tempo complexa, e está relacionada ao modo de como as pessoas e as sociedades estão se tornando mais vulneráveis em uma sociedade onde as atividades humanas têm contribuído para a intensificação dos danos que tais eventos ocasionam. O uso de práticas não sustentáveis de desenvolvimento, o crescimento desordenado das cidades, a má distribuição de renda, entre outros, são algumas das causas deste processo (UNISDR, 2004).

Instalações industriais são fontes de riscos para a sociedade e o ambiente, pois, geralmente fazem parte de suas cadeias produtivas o manuseio de produtos químicos e a execução de processos que ameaçam a segurança. Por isso, o gerenciamento de riscos é uma atividade de grande relevância neste campo.

A temática *vulnerabilidade* adquire grande importância na medida em que este termo é indissociável do conceito de *risco*. A relação entre a vulnerabilidade e risco permite a contextualização deste último, sobretudo em processos de avaliação de riscos, o que torna essencial a busca pela compreensão dos processos que dão origem às vulnerabilidades (PORTO e FREITAS, 2002).

O objetivo da avaliação da vulnerabilidade é descrever a interação entre os riscos, a comunidade e o ambiente inseridos em um determinado contexto. Pesquisas deste tipo fornecem subsídios valiosos para o desenvolvimento de programas e estratégias de prevenção de riscos e promoção da saúde (WHO, 1999).

Estudos que privilegiem a vulnerabilidade do entorno de plantas industriais ainda são escassos, principalmente em países como o Brasil, com grande extensão territorial e que ainda não concluiu seu ciclo desenvolvimentista. Exemplo disto pode ser verificado no chamado PAC do governo federal, o qual apresenta grande potencial de implicações no uso do solo em várias regiões do país.

Embora o processo de urbanização no entorno de alguns centros industriais já esteja consolidado, não há estudos sobre as vulnerabilidades sociais e ambientais existentes nestas áreas e como estas podem influenciar nas consequências de um acidente. Especialmente no estado de São Paulo, onde se localizam os maiores polos industriais do país, somente a CETESB, atendeu a 461 emergências do tipo em 2010, número acima da média dos últimos 15 anos (CETESB, 2011), e alto se for levado em conta que muitas emergências sequer são notificadas à agência.

A presença de grande quantidade de produtos químicos perigosos nos pólos industriais pode resultar na ocorrência de cenários acidentais envolvendo incêndios, explosões ou vazamentos de produtos e, dados como os da CETESB ratificam a necessidade de se buscar cada vez mais instrumentos de prevenção aos eventos desta origem.

Dada à gravidade e extensão de danos que tais eventos podem proporcionar à saúde humana e ao ambiente, pesquisas desse tipo podem contribuir na formulação de estratégias de controle e prevenção de fatalidades, na implantação de ações emergenciais que minimizem os danos envolvidos e, principalmente no planejamento do uso e ocupação do solo.

Partindo do pressuposto de que os grandes centros urbanos do país possuem grandes dificuldades em formular estratégias de planejamento territorial e de controle de disseminação das vulnerabilidades decorrentes de atividades industriais, especialmente no que se refere às áreas circunvizinhas destes, a questão norteadora que motivou a realização deste estudo é: quão vulnerável é o entorno de uma área destinada ao uso industrial (produtora de ameaças de origens tecnológicas), do ponto de vista humano, material, ambiental e, por conseguinte, global?

## **2. OBJETIVOS**

### **2.1 Objetivo geral**

Aplicar o modelo de mapeamento de vulnerabilidade proposto pelo método ARAMIS para avaliar a vulnerabilidade da área de entorno do distrito industrial do município de Paulínia.

### **2.2 Objetivos específicos**

- Identificar os alvos mais sensíveis à ocorrência de grandes acidentes tecnológicos em distritos industriais de grande porte;
- Avaliar a viabilidade da aplicação do modelo para o contexto brasileiro;
- Avaliar a aplicabilidade do modelo como instrumento de gestão de uso do solo no entorno de distritos industriais de grande porte no Brasil.

### 3. REFERENCIAL TEÓRICO

#### 3.1 ACIDENTES TECNOLÓGICOS

Existem diversos sinônimos para o termo “acidente tecnológico” (acidente industrial, acidente ampliado, evento agudo, desastre tecnológico<sup>1</sup>) que variam de acordo com o país, a causa e a consequência do evento. Também pode ser encontrado com maior frequência como *major accident* ou ainda como *man-made disasters/acidentes* na literatura estrangeira.

Tais acidentes são aqueles originados no universo dos riscos tecnológicos, ou seja, riscos que tipicamente estão inseridos no contexto urbano-industrial, como os encontrados no transporte de materiais e de pessoas, no uso de maquinarias pesadas e de rápida movimentação, no uso de sistemas de altas temperaturas, pressões e de grande voltagem elétrica, na manufatura, armazenamento, utilização e disposição de materiais perigosos, dentre outros (WHO, 1999).

É importante fazer a diferenciação com o termo *natech event*, que se refere aos acidentes causados pelo mau funcionamento de alguma tecnologia em decorrência de algum evento natural, como inundações, terremotos, erupções vulcânicas, secas, incêndios florestais, etc. (YOUNG et al., 2004). *Natech events* podem ter consequências múltiplas e simultâneas, principalmente se ocorrerem em áreas industrializadas e densamente povoadas, como quedas de

---

<sup>1</sup> Há um número considerável de trabalhos que utilizam o termo “desastre” com o mesmo sentido de “acidente”, por esse motivo, para fins práticos, consideraram-se ambos na revisão da bibliografia.

linhas de transmissão de energia que ocasionam blecautes, violação de barragens tendo como consequências inundações e deslizamentos, ruptura de oleodutos e gasodutos que podem gerar contaminações, explosões e incêndios (CRUZ et al., 2006).

De maneira geral, as definições sobre acidentes tecnológicos se referem aos eventos de origem ou causa humana e que tem como consequências lesões ou perdas de vidas humanas, danos materiais e ao ambiente.

A UNISDR, criada em 2000, pela ONU e dedicada a orientar e coordenar esforços a fim de se alcançar a redução das perdas decorrentes dos desastres no mundo propõe definições sobre acidentes tecnológicos que vão além da explicação apenas pela origem e consequências de tais eventos.

Segundo a UNISDR, acidentes tecnológicos são descritos como resultados da combinação entre a exposição, a vulnerabilidade e a capacidade insuficiente de lidar com consequências negativas, como perdas de vidas humanas, lesões, doenças e outras implicações para a saúde (física e mental) e o bem-estar do homem, juntamente com danos materiais, destruição de bens, avarias nos serviços, colapso econômico, social e degradação ambiental (UNISDR, 2009).

Sob esta perspectiva, este tipo de acidente envolve eventos extremos que podem afetar diretamente uma população vulnerável, causando interrupções nos meios de subsistência e nas estruturas básicas para o funcionamento de uma comunidade (estradas, gasodutos, linhas de energia, esgotos, comunicações, instalações portuárias, etc.). Indiretamente,

podem gerar eventos como, explosão e um incêndio em uma área industrial que, se não chega a ocasionar mortes ou danos para a população, pode trazer consigo o desemprego para os trabalhadores e prejuízos financeiros para seus familiares, gerando uma série de infortúnios (WHO, 2004).

### 3.2 VULNERABILIDADE

O processo de construção de um conceito nunca será uma tarefa simples, exige grande esforço intelectual e, na maioria das vezes, nunca estará completamente finalizado, estando sempre sujeito a novas modificações.

Este parece ser o caso do conceito de vulnerabilidade, que varia conforme o contexto ao qual é aplicado e possui referenciais teóricos provenientes de diferentes campos do conhecimento, com destaque para a saúde pública, ciências ambientais e ciências sociais.

PORTO (2007) chama atenção para o fato das discussões sobre vulnerabilidade buscarem integrar diferentes e irreduzíveis dimensões da realidade analisada (sociais, econômicas, culturais, ambientais e de saúde) ao mesmo tempo em que explicita aspectos éticos essenciais relacionados aos graves problemas sócio-ambientais decorrentes da desigualdade, pobreza, degradação ambiental e (re) emergência de certas doenças.

LI et al. (2010) exploram o conceito de vulnerabilidade sob o enfoque social, ao mapear a vulnerabilidade do entorno de um parque industrial na cidade de Nanjing, China aos acidentes

químicos. Na ocasião, os autores desenvolveram um modelo conceitual de vulnerabilidade humana, enfatizando seu papel no processo de gerenciamento de riscos.

Outra aplicação sob o ponto de vista social é encontrada em BURG (2008), que utiliza o conceito de vulnerabilidade no contexto da segurança alimentar na Etiópia. No trabalho, o autor se propõe à construção de um modelo capaz de medir a vulnerabilidade da população em decorrência da condição de insegurança alimentar que países do “chifre” da África, como a Etiópia, sofrem de maneira crônica.

O uso do conceito em estudos de desastres naturais é encontrado com abundância na literatura. Nestes casos, vulnerabilidade é entendida como o conjunto de características de uma pessoa ou um grupo considerando sua capacidade de antecipação, sobrevivência, resistência e recuperação do impacto de uma ameaça natural. Implica em uma combinação de fatores que determinam o grau em que a vida e a subsistência de alguém ou algum grupo sob uma situação de risco (por um evento distinto e identificável da natureza ou da sociedade) se encontra (BLAIKIE, 1996).

REID et al. (2009), ao mapearem as áreas mais vulneráveis às ondas de calor nos Estados Unidos, abordam a vulnerabilidade sob o enfoque ambiental. No trabalho, os autores entendem que, embora seja importante compreender a vulnerabilidade às ondas de calor no contexto biomédico, ao considerar os demais fatores, incluindo os pertencentes ao local, faz com que os diferentes níveis de risco sejam melhor conhecidos e, portanto, podem ser de grande utilidade na elaboração de soluções preventivas.



Outra aplicação ambiental do conceito de vulnerabilidade pode ser encontrada em MENDOZA-CANTÚ et al. (2011). Ao identificar áreas ambientalmente vulneráveis a vazamentos de oleodutos, os autores definem vulnerabilidade como as características intrínsecas dentro de uma área que determinam a extensão dos danos.

PORTO e FREITAS (2002) apontam para a interessante e promissora perspectiva que o conceito de vulnerabilidade possui no que diz respeito ao desenvolvimento de estudos de caráter transdisciplinar e para a proposição de estratégias de promoção à saúde, dentro de uma abordagem mais integradora. Neste contexto, o conceito de vulnerabilidade surge com o objetivo de articular o entendimento dos processos biológicos, geofísicos e tecnológicos e dos processos sócio-econômicos e políticos que influenciam na geração-exposição-efeito que um determinado grupo populacional está submetido e que o coloca em uma situação de risco, em escalas espaciais e temporais diversas.

Uma aplicação do conceito de vulnerabilidade de cunho mais prático e integrador é encontrado em TIXIER et al. (2006), que se propõem a avaliar a vulnerabilidade no entorno de uma planta industrial. Neste trabalho, os autores definem o conceito de vulnerabilidade como o grau de perda de um determinado elemento, ou conjunto de tais elementos resultantes da ocorrência de um fenômeno de uma dada magnitude. Para isso, identificam e quantificam possíveis alvos humanos (trabalhadores em indústrias, população local, estabelecimentos públicos, linhas de comunicação), ambientais (áreas cultiváveis, áreas naturais, corpos d'água.) e materiais (plantas industriais, infraestruturas, estruturas privadas e públicas).

ALVES (2006) chama atenção para o fato de uma das linhas que estudam vulnerabilidade estar pautada nas pesquisas sobre acidentes naturais (*natural hazards*) e avaliação de risco (*risk assessment*). Nesta perspectiva, a vulnerabilidade pode ser vista como a interação entre o risco existente em determinado lugar, as características e o grau de exposição da população residente.

A complexidade que envolve o conceito de vulnerabilidade obriga a quem pretende estudar a temática ao esforço de compreender sua associação com outros conceitos. Neste sentido, surge a necessidade do entendimento de *perigo*, *susceptibilidade*, *resiliência*, *exposição* e *capacidade de resposta*.

*Perigo* pode ser definido como um elemento intrínseco a algum fenômeno, substância, atividade humana ou condição com potencial de causar um acidente (desastre), que pode ocasionar em perda de vidas, ferimentos ou outros danos à saúde, danos materiais, perda de meios de subsistência e serviços, ruptura social e econômica ou danos ambientais. Podem ter origens naturais (geológica, hidrometeorológica e biológica) e/ou tecnológica, e que por vezes se manifesta de forma combinada e/ou seqüencial (KREJSA et. al., 2007; UNISDR, 2004; WHO, 2004 e TOMINAGA et. al., 2009).

Muitas definições sobre vulnerabilidade admitem a associação inerente com o termo *susceptibilidade*. É o caso da EEA (2010) que a define como a característica ou circunstância de uma comunidade ou sistema que a torna mais sujeita aos efeitos nocivos de um risco.

Muitas ainda trazem consigo a associação com o termo *resiliência*, como o verificado em WHO (1999), onde o termo é definido como a habilidade de uma comunidade suportar as consequências de um acidente, e é dada como função de vários fatores que permitem a esta comunidade responder às emergências e se recuperar dos danos.

Por uma questão de alinhamento teórico conceitual, não será utilizada nesta pesquisa o conceito de vulnerabilidade associado com os termos *susceptibilidade* e *resiliência*, ao invés disso, será admitida a associação com os termos *exposição* e *capacidade de resposta*.

Tal escolha é devido o termo *susceptibilidade* estar relacionado às características intrínsecas de algum grupo (crianças e idosos, por exemplo), não se configurando exatamente como um fator que poderá influenciar na vulnerabilidade a algum acidente (crianças e idosos sempre serão vulneráveis em uma situação de emergência, independente do lugar em que estejam ou dos altos níveis de segurança que existam).

Em relação à *resiliência*, optou-se pela não associação pelo fato desta palavra ser uma adaptação do termo da Física, que denota a aptidão de um material voltar ao seu estado normal depois de ter sofrido uma determinada tensão. Se transcrito seu significado para um cenário de acidente como o que se pretende neste estudo, é algo que se torna irreal de acontecer, pois, após uma comunidade sofrer os efeitos adversos, ela nunca mais será a mesma na medida em que sempre haverá heranças positivas (como por exemplo, o conhecimento acumulado durante décadas de ocorrências de terremotos no Japão e as melhorias

no sistema de alertas deste país), ou negativas (como por exemplo, a alteração da identidade cultural de um lugar, como Nova Orleans depois do furacão *Katrina* ou ainda a situação calamitosa do Haiti após seu último terremoto em 2010).

Uma definição de *exposição* no contexto dos acidentes tecnológicos e que se alinha ao presente estudo é encontrada em UNISDR (2009), onde é tida como os elementos e/ou sistemas (incluindo pessoas e propriedades) que estão presentes nas zonas de risco e que por isso, estão sujeitos a perdas potenciais. Podem incluir a quantidade de habitantes ou tipos de propriedades (domicílios, escolas, hospitais) em um determinado lugar que, quando combinados com a vulnerabilidade específica de cada alvo, fornecem os subsídios para a estimativa dos riscos existentes na área de interesse.

Em relação ao termo *capacidade de resposta*, que também está associado nesta pesquisa, este pode ser entendido como uma combinação de todos os pontos fortes, atributos e recursos disponíveis dentro de uma sociedade, comunidade ou organização que podem ser utilizados para reduzir os níveis de risco ou efeitos de um acidente. Envolve infraestrutura, recursos e sociedades habilitadas para o enfrentamento, assim como conhecimento acumulado, habilidades e atributos coletivos como relações inter-sociais, liderança e gestão (UNISDR, 2004).

### 3.3 MAPEAMENTO DE ÁREAS VULNERÁVEIS

VEYRET (2007) define *alvos* como elementos ou os sistemas de uma determinada área que estão sob ameaças de origens diversas (naturais, tecnológicas, sociais, econômicas, políticas). Podem ser desde uma população qualquer até elementos avaliados em termos econômicos (vias de comunicação, fábricas, entre outros). Os alvos também são classificados como ambientais (parques naturais, locais excepcionais) e materiais (imóveis, infraestruturas de transporte,).

São numerosos os fatores que permitem estimar a vulnerabilidade de determinadas áreas. É preferível que eles sejam classificados segundo sua importância e a escala de trabalho também deve ser selecionada com o devido cuidado, de acordo com a área e a confiabilidade dos dados disponíveis. Isto posto, os fatores podem ser ponderados com o objetivo de se extrair um valor de vulnerabilidade para cada unidade de superfície estabelecida.

De acordo com a WHO (1999), os elementos que podem ser utilizados na descrição da vulnerabilidade são:

*Demografia:* número de pessoas que vivem na área de estudo, sua distribuição pelo espaço e a concentração de grupos vulneráveis (crianças, idosos, doentes, etc). Os indicadores mais importantes relacionados são os de saúde, que determinam o quão resistente são os habitantes diante dos efeitos de um acidente (taxa de mortalidade infantil; taxa de cobertura de vacinação; modelos de padrões de doenças (re) emergentes;

taxa de subnutrição, etc) e os de educação, que determinam o quão sofisticados os papéis da comunidade podem ser em participar das atividades de resposta e o nível e tipo de mensagem pública que pode ser usada quando na ocorrência de um acidente (taxa de alfabetização, grau de instrução, etc);

*Cultura:* inclui a tradição, aspectos étnicos e valores sociais relevantes, que influenciam na preparação da comunidade, de como ela se comporta em relação aos seus aspectos mais vulneráveis já que algumas relutam em tomar providências para a redução das vulnerabilidades;

*Economia:* considerações sobre os segmentos econômicos da comunidade mais sensíveis às consequências de um acidente (provável colapso da indústria de turismo após um grande acidente, prejuízos do comércio em virtude da interrupção das vias de comunicação e acesso, etc.);

*Infraestrutura:* inclui os aspectos físicos e organizacionais de uma comunidade e os prováveis danos na estrutura de governo (poder), serviços de emergência (polícia, corpo de bombeiros, ambulâncias e hospitais, proteção civil e forças armadas), sistemas de distribuição (abastecimento de água, sistemas de comunicações, etc), e demais características relevantes no gerenciamento de emergências como as estruturas e condições das residências. São geralmente interpretados através da perda da efetividade dos serviços da comunidade, meios alternativos de suprir os serviços afetados, tempo e custo requerido para os reparos necessários;

*Ambiente:* importante na determinação dos padrões de ocupação e estilos de vida das comunidades leva-se em conta o entorno natural (vegetação, fauna, água, ar e solo) e os danos que estes elementos podem sofrer e causar para os demais compartimentos ambientais, incluindo poluições crônicas e agudas causadas por substâncias nocivas.

Mapear as vulnerabilidades permite não só a visualização de determinados grupos populacionais e áreas vulneráveis a situações de riscos específicos, mas, permite ainda, a realização de uma análise que auxilia no esclarecimento dos processos que dão origem ou contribuem para tais vulnerabilidades. Esta análise, por sua vez, incentiva a criação de estratégias e políticas públicas capazes de atingir melhorias no enfrentamento do risco. A análise de um mapa de vulnerabilidades torna-se então, elemento estratégico na contextualização e na formulação de táticas de prevenção do risco, assim como na possibilidade de levar a discussão a nível coletivo de forma mais efetiva.

As técnicas de mapeamento através do uso de SIG's adquirem grande importância na medida em que através destes é possível realizar a aquisição, armazenamento, manipulação, análise e apresentação de dados georreferenciados, o que torna prática análises complexas que exigem a integração de dados de fontes variadas.

A utilização de SIG's em estudos de riscos e vulnerabilidades tem ganhando cada vez mais espaço, como verificado em KUMPULAINEN (2006), que elaborou um mapeamento da vulnerabilidade para todo o espaço europeu abrangido pela ESPON (*European Spatial Planning Observation Net Work*), identificando cinco classes de vulnerabilidades

através da reunião e análise de dados de renda *per capita* regional e nacional, densidade populacional e proporção de áreas naturais fragmentadas.

CARTIER et al. (2009) mapeou e analisou, por intermédio de um SIG, cinco áreas vulneráveis concêntricas a um distrito industrial na cidade do Rio de Janeiro. Utilizando-se de indicadores sócio-econômicos, demográficos e de infraestrutura, chegou à conclusão de que existe forte correlação entre os grupos socialmente mais vulneráveis e os riscos ambientais tendo por referência a proximidade das indústrias na região escolhida.

Com o objetivo de desenvolver uma metodologia para descrever os riscos decorrentes do transporte de produtos perigosos na província de Valladolid, Espanha, MARTINEZ-ALEGRÍA et al. (2003) elaboraram, em ambiente SIG, o mapeamento das vulnerabilidades ambientais e populacionais da região se valendo de dados demográficos e de infraestruturas.

GUHA-SAPIR et al. (2011) utilizaram métodos baseados em SIG's ao combinar imagens de satélite de áreas inundáveis com dados populacionais e de desastres para estimar os riscos de inundações em bacias hidrográficas entre a Índia e Bangladesh, o que, na opinião dos autores podem melhorar o entendimento dos impactos dessas inundações e, desse modo, reforçar a segurança em novas ocorrências.

O uso dos SIG's nos estudos acadêmicos, instituições de governos e empresas privadas tem aumentado a cada dia. Porém, o universo de aplicação ainda é vasto se levar em conta



o potencial destes sistemas e a escassez de informações adequadas para a tomada de decisões sobre questões complexas como é o caso da identificação de áreas vulneráveis e os riscos envolvidos.

### **3.3.1 Avaliação e Mapeamento da Vulnerabilidade do Entorno de Plantas Industriais: Método ARAMIS**

O projeto ARAMIS de iniciativa do *Institute for the Protection and Security of the Citizen (Joint Research Centre, European Commission)* foi concebido em virtude da preocupação da comunidade europeia em relação à ocorrência de acidentes tecnológicos nas décadas de 1980 e 1990, e da necessidade de reavaliar a atuação das agências de regulação, em especial, quanto à consistência e transparência nos processos de prevenção de riscos e de tomada de decisões empregadas.

Decisões baseada em risco necessitam de uma carga científica em sua análise, entretanto, esta carga varia muito de um especialista para outro, o que pode influenciar significativamente qualquer tomada de decisão. Desse modo, o projeto foi desenvolvido como uma ferramenta conceitual que tem por objetivo ser um elemento norteador para as indústrias, as autoridades competentes e as autoridades locais, a fim de se evitar que cada um desses atores aborde o processo de gerenciamento de risco de forma unilateral.

Sendo assim, o projeto visou desenvolver uma nova metodologia de avaliação de risco para as indústrias, no

contexto da Diretiva de Seveso II<sup>2</sup>, buscando, dessa maneira, realizar uma convergência entre as abordagens determinista e probabilística por meio de um método capaz de suprir as expectativas dos atores envolvidos.

Foram objetivos do projeto ARAMIS:

a) Permitir a demonstração de que os perigos são identificados e o risco adequadamente gerenciado, levando em consideração também a eficiência do sistema de gerenciamento;

b) Fornecer informações para o processo de tomada de decisão relacionado ao planejamento de uso do solo e emergência e,

c) Apresentar uma abordagem clara e compreensível ao público em geral.

A figura 3 apresenta uma visão geral da metodologia empregada pelo projeto ARAMIS.

---

<sup>2</sup> A Diretiva de Seveso II tem por objetivo prevenir os acidentes graves envolvendo substâncias perigosas e limitar suas repercussões sobre o homem e o ambiente, tendo em vista garantir elevados níveis de proteção para a Comunidade Européia. Fonte: [http://europa.eu/legislation\\_summaries/environment/civil\\_protection/l21215\\_pt.htm](http://europa.eu/legislation_summaries/environment/civil_protection/l21215_pt.htm).

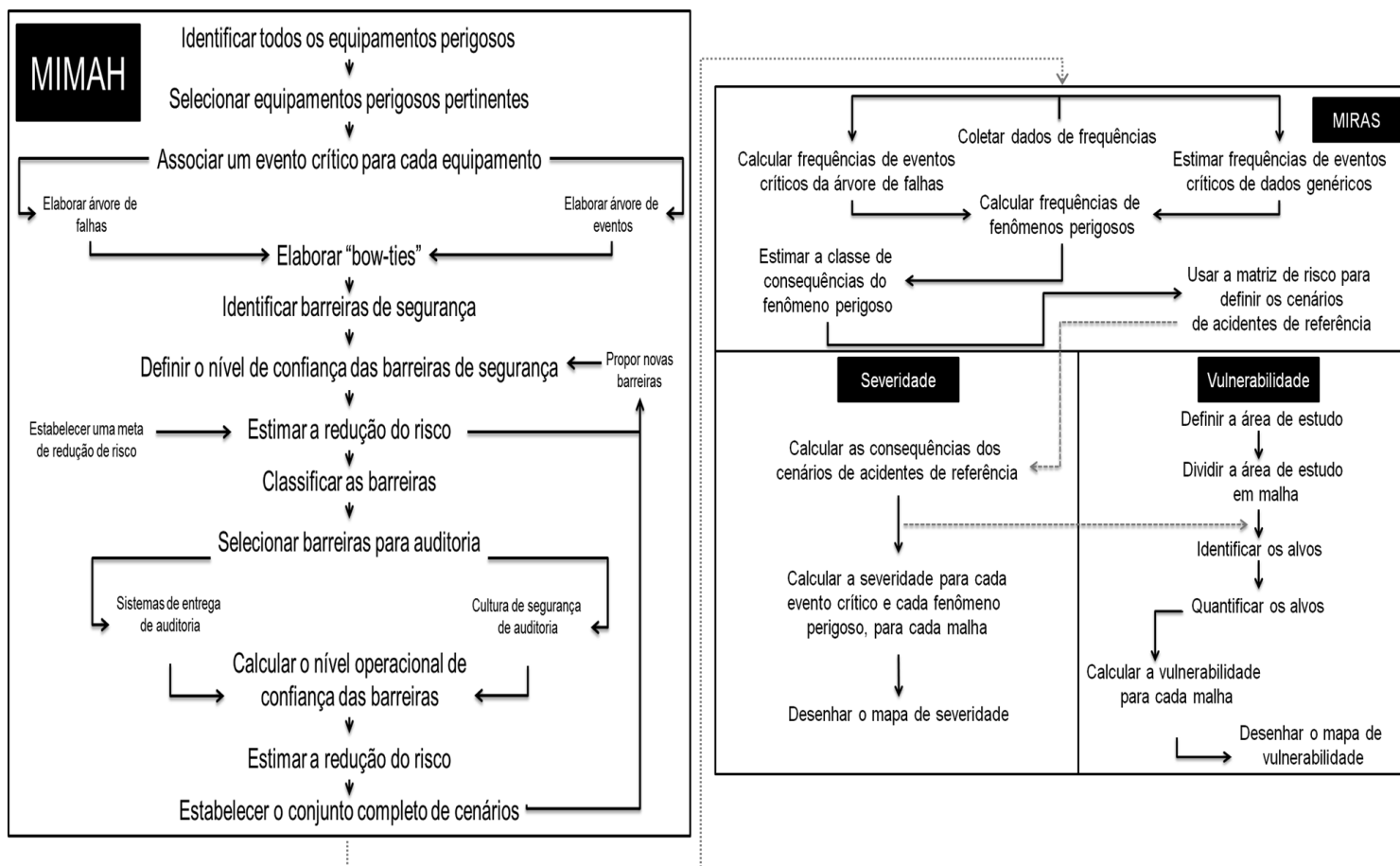


Figura 3. Visão geral das etapas metodológicas do projeto ARAMIS.

Adaptada de: TIXIER et. al. (2006)

A linha metodológica do projeto ARAMIS é dividida em quatro etapas, são elas:

- Metodologia para identificação dos principais perigos de acidentes (*Methodology for the Identification of Major Accident Hazards, MIMAH*);
- Metodologia para identificação de cenários de acidentes de referência (*Methodology for the Identification of Reference Accident Scenarios, MIRAS*);
- Mapeamento da gravidade dos riscos dos cenários de referências (*Mapping the risk severity of reference scenarios*);

- Mapeamento da vulnerabilidade do entorno da planta industrial (*Mapping of the vulnerability of the plant's surroundings*).

A última etapa (objetivo desta pesquisa) é dedicada à avaliação da vulnerabilidade. O índice de vulnerabilidade é constituído da combinação linear do número de diferentes tipos de alvos (humanos, ambientais e materiais) e, para cada categoria de alvo é atribuído um peso referente a cada um dos efeitos físicos representativos de sua vulnerabilidade.

A fim de se avaliar a vulnerabilidade existente no entorno de uma área industrial, a metodologia do projeto foi desenvolvida baseada no uso de um SIG para identificar e quantificar os alvos, juntamente com a apreciação de especialistas, organizados de acordo com o Método Saaty<sup>3</sup> de decisão multicritério para determinar o índice de vulnerabilidade.

A vulnerabilidade é obtida através da definição de um índice que representa a presença de três diferentes categorias de alvos em uma determinada área de estudo: humanos, ambientais e materiais.

Cada categoria de alvo é, por sua vez, dividida nas seguintes subcategorias:

---

<sup>3</sup> Método de Análise Hierárquica (*AHP – Analytic Hierarchy Process*), um dos métodos desenvolvidos no ambiente das decisões multicritério mais conhecidos, desenvolvido por Thomas Saaty.

## **Alvos Humanos (H):**

Trabalhadores da indústria (H1): Quadro geral de funcionários.

População da área de entorno (H2): População rural; população em área urbana descontínua; população em área urbana contínua.

População em estabelecimentos públicos (H3): Relacionada com os transportes: estações rodoviárias, aeroportos, zona portuária, etc. Relacionada com o setor comercial: *shoppings centers*, feiras, áreas comerciais, etc. Relacionada com atividades de lazer: restaurantes, hotéis, pensões, bares, boates, estabelecimentos ao ar livre, locais de eventos esportivos, etc. Relacionada com atividades culturais: bibliotecas, museus, exposições, etc. Relacionada com o setor da saúde e serviços sociais: hospitais e unidades de atendimento médico, escolas e unidades educacionais, bancos, escritórios, etc.

Usuários de vias de comunicação (H4): Usuários de rodovias federais, estaduais; usuários de linhas férreas; usuários de hidrovias.

## **Alvos Ambientais (E):**

Áreas agrícolas (E1): Terras cultiváveis e regularmente lavradas sob um sistema de rotação; culturas permanentes; pastagens; áreas de cultura heterogênea;

Florestas e áreas semi-naturais (E2): Florestas de qualquer domínio morfoclimático brasileiro; florestas de transição; clareiras ou espaços com pouca ou sem vegetação.

Áreas naturais específicas (E3): Zonas de interesse faunístico e florístico; áreas de conservação; áreas naturais peculiares (ambientes cárstico, etc.); reservas naturais (federais, estaduais, etc.).

Nascentes e corpos d'água (E4): Áreas parcialmente, sazonalmente ou permanentemente inundadas de água doce, salobra ou salina; cursos d'água naturais ou artificiais e respectivos canais (largura mínima de 100 m); corpos d'água naturais ou artificiais; lagoas costeiras; estuários.

#### **Alvos Materiais (M):**

Plantas industriais (M1): Área total da indústria.

Infraestruturas e serviços públicos (M2): Serviços de segurança pública (contingentes policiais, serviços de intervenção), brigadas de incêndio, etc; meios de comunicação; gás, eletricidade; rodovias, ferrovias, hidrovias e rotas aéreas; zonas de estacionamento, estações rodoviárias, aeroportos, áreas portuárias, pontes, túneis, etc; equipamentos envolvidos em serviços de abastecimento de água.

Estruturas privadas (M3): Residências familiares; Prédios e condomínios fechados.

Estruturas públicas (M4): Monumentos, igrejas, castelos, museus, etc; estruturas administrativas; unidades de educação e

centros de pesquisa; áreas destinadas à atividades de lazer; zonas comerciais; hospitais públicos, privados, casas de repouso, etc.

A fim de estipular a sensibilidade destes alvos, as características que representam os efeitos gerados pelos acidentes e a definição dos respectivos impactos são determinados da seguinte forma:

Sensibilidade em relação a um tipo de efeito físico:

- Sobrepressão - *Overpressure* (op);
- Fluxo térmico - *Thermal flux* (tr);
- Toxicidade de gás - *Gas toxicity* (tox);
- Poluição líquida - *Liquid pollution* (poll).

Em função do tipo de impacto gerado:

- Integridade: efeitos sobre as estruturas dos alvos (i);
- Econômico: efeitos em termos de perda de produção ou de reabilitação (e);
- Psicológico: efeitos em termos de influência em um grupo de pessoas (p).

Sendo assim, a vulnerabilidade no contexto do método ARAMIS é dada das seguintes maneiras:

- a) Para uma classe de alvos e um dado efeito físico, a vulnerabilidade de cada tipo de alvo com relação ao outro é avaliada por meio de comparações binárias em função dos critérios de cada um dos três impactos. O resultado é a vulnerabilidade de uma determinada classe de alvo para um determinado efeito físico (na figura 4 é possível verificar a estrutura deste procedimento para a vulnerabilidade humana);

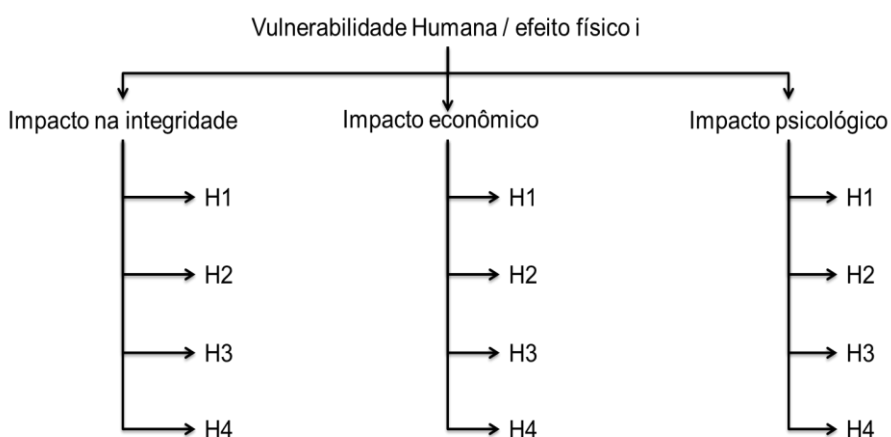


Figura 4. Estrutura hierárquica da caracterização da vulnerabilidade humana por efeito físico. Fonte: TIXIER et. al. (2006)

- b) Para uma classe de alvos, a importância de cada efeito físico com relação ao outro é também avaliado por meio de comparações binárias. O resultado é a vulnerabilidade de uma classe de alvo;



c) E, finalmente, a vulnerabilidade de cada classe de alvo é comparada com outra classe. O resultado é a vulnerabilidade global (na figura 5 é possível verificar a estrutura hierárquica da caracterização da vulnerabilidade global).

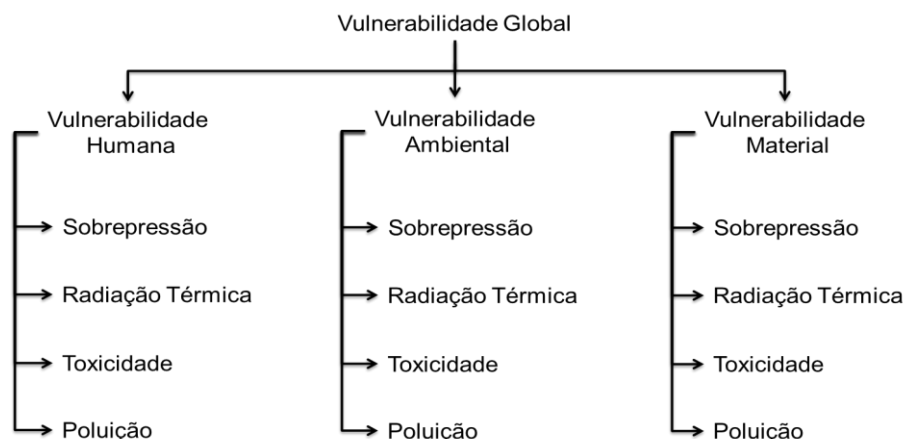


Figura 5. Estrutura hierárquica da caracterização da vulnerabilidade global.

Fonte: TIXIER et. al. (2006)

A avaliação da vulnerabilidade foi baseada na consulta de 38 especialistas (peritos em risco, autoridades competentes e indústria) de diferentes países da Europa, usando o método Saaty de decisão multicritério. Essa abordagem faz uso de comparações binárias entre elementos de matrizes e permite avaliar a vulnerabilidade da seguinte forma:

- A vulnerabilidade de cada classe de alvo (H, E, M) para cada efeito físico (op, tr, tox, poll) é determinada com base na vulnerabilidade de cada tipo de subcategoria de alvo (H1,H2, H3, H4, E1, E2, E3, E4, M1, M2, M3, M4) para os impactos de cada efeito físico (i, e, p) determinada a partir de comparações binárias de elementos das matrizes.

Por exemplo, a vulnerabilidade humana à sobrepressão é obtida como:

$$V_H^{op} = x_1^H \times V_H^{op_I} + y_1^H \times V_H^{op_E} + z_1^H \times V_H^{op_P}$$

Onde:

$$V_H^{op_I} = a_I^H \times H_1 + b_I^H \times H_2 + c_I^H \times H_3 + d_I^H \times H_4$$

$$V_H^{op_E} = a_E^H \times H_1 + b_E^H \times H_2 + c_E^H \times H_3 + d_E^H \times H_4$$

$$V_H^{op_P} = a_P^H \times H_1 + b_P^H \times H_2 + c_P^H \times H_3 + d_P^H \times H_4$$

Assim, a vulnerabilidade de cada classe de alvo (H, E, M) para todos os efeitos físicos (op, tr, tox, poll) é determinada:

$$V_H = \alpha_1 \times V_H^{op} + \alpha_2 \times V_H^{tr} + \alpha_3 \times V_H^{tox} + \alpha_4 \times V_H^{poll}$$

$$V_E = \beta_1 \times V_E^{op} + \beta_2 \times V_E^{tr} + \beta_3 \times V_E^{tox} + \beta_4 \times V_E^{poll}$$

$$V_M = \gamma_1 \times V_M^{op} + \gamma_2 \times V_M^{tr} + \gamma_3 \times V_M^{tox} + \gamma_4 \times V_M^{poll}$$

Por fim, a vulnerabilidade global pode ser avaliada a partir do conhecimento de  $V_H$ ,  $V_E$  e  $V_M$ , como se segue:

$$V_{global} = \alpha \times V_H + \beta \times V_E + \gamma \times V_M$$

O valor de todos os coeficientes das expressões acima é obtido através da aplicação da metodologia Saaty para matrizes, derivadas do julgamento de especialistas, cuja coerência foi testada estatisticamente.

O conjunto completo de equações é, então, o seguinte:

### Vulnerabilidade Global:

$$V_{\text{global}} = 0,752 \times V_H + 0,197 \times V_E + 0,051 \times V_M$$

### Vulnerabilidade Humana:

$$V_H = 0,242 \times V_H^{\text{op}} + 0,225 \times V_H^{\text{tr}} + 0,466 \times V_H^{\text{tox}} + 0,067 \times V_H^{\text{poll}}$$

#### Sobrepresão (Overpressure):

$$V_H^{\text{op}} = 0,666 \times V_H^{\text{op}_1} + 0,111 \times V_H^{\text{op}_E} + 0,222 \times V_H^{\text{op}_P}$$

$$V_H^{\text{op}_1} = 0,366 \times H_1 + 0,278 \times H_2 + 0,233 \times H_3 + 0,124 \times H_4$$

$$V_H^{\text{op}_E} = 0,404 \times H_1 + 0,340 \times H_2 + 0,139 \times H_3 + 0,117 \times H_4$$

$$V_H^{\text{op}_P} = 0,150 \times H_1 + 0,368 \times H_2 + 0,282 \times H_3 + 0,200 \times H_4$$

#### Fluxo térmico (Thermal flux):

$$V_H^{\text{tr}} = 0,648 \times V_H^{\text{tr}_1} + 0,122 \times V_H^{\text{tr}_E} + 0,230 \times V_H^{\text{tr}_P}$$

$$V_H^{\text{tr}_1} = 0,354 \times H_1 + 0,354 \times H_2 + 0,161 \times H_3 + 0,131 \times H_4$$

$$V_H^{\text{tr}_E} = 0,409 \times H_1 + 0,350 \times H_2 + 0,158 \times H_3 + 0,082 \times H_4$$

$$V_H^{\text{tr}_P} = 0,167 \times H_1 + 0,333 \times H_2 + 0,333 \times H_3 + 0,167 \times H_4$$

#### Toxicidade gás (Gas toxicity):

$$V_H^{\text{tox}} = 0,735 \times V_H^{\text{tox}_1} + 0,069 \times V_H^{\text{tox}_E} + 0,196 \times V_H^{\text{tox}_P}$$

$$V_H^{\text{tox}_1} = 0,227 \times H_1 + 0,424 \times H_2 + 0,227 \times H_3 + 0,122 \times H_4$$

$$V_H^{\text{tox}_E} = 0,351 \times H_1 + 0,351 \times H_2 + 0,189 \times H_3 + 0,109 \times H_4$$

$$V_H^{\text{tox}_P} = 0,140 \times H_1 + 0,456 \times H_2 + 0,263 \times H_3 + 0,141 \times H_4$$

#### Poluição líquida (Liquid pollution):

$$V_H^{\text{poll}} = 0,594 \times V_H^{\text{poll}_1} + 0,157 \times V_H^{\text{poll}_E} + 0,249 \times V_H^{\text{poll}_P}$$

$$V_H^{\text{poll}_1} = 0,212 \times H_1 + 0,497 \times H_2 + 0,191 \times H_3 + 0,100 \times H_4$$

$$V_H^{\text{poll}_E} = 0,283 \times H_1 + 0,490 \times H_2 + 0,152 \times H_3 + 0,076 \times H_4$$

$$V_H^{\text{poll}_P} = 0,138 \times H_1 + 0,479 \times H_2 + 0,256 \times H_3 + 0,128 \times H_4$$

### Vulnerabilidade Ambiental:

$$V_E = 0,071 \times V_E^{\text{op}} + 0,148 \times V_E^{\text{tr}} + 0,277 \times V_E^{\text{tox}} + 0,503 \times V_E^{\text{poll}}$$

#### Sobrepresão (Overpressure):

$$V_E^{\text{op}} = 0,333 \times V_E^{\text{op}_1} + 0,333 \times V_E^{\text{op}_E} + 0,333 \times V_E^{\text{op}_P}$$

$$V_E^{\text{op}_1} = 0,122 \times E_1 + 0,227 \times E_2 + 0,424 \times E_3 + 0,227 \times E_4$$

$$V_E^{\text{op}_E} = 0,289 \times E_1 + 0,246 \times E_2 + 0,289 \times E_3 + 0,175 \times E_4$$

$$V_E^{\text{op}_P} = 0,168 \times E_1 + 0,239 \times E_2 + 0,395 \times E_3 + 0,198 \times E_4$$

#### Fluxo térmico (Thermal flux):

$$V_E^{\text{tr}} = 0,550 \times V_E^{\text{tr}_S} + 0,240 \times V_E^{\text{tr}_E} + 0,210 \times V_E^{\text{tr}_P}$$

$$V_E^{\text{tr}_S} = 0,195 \times E_1 + 0,231 \times E_2 + 0,426 \times E_3 + 0,148 \times E_4$$

$$V_E^{\text{tr}_E} = 0,227 \times E_1 + 0,227 \times E_2 + 0,424 \times E_3 + 0,122 \times E_4$$

$$V_E^{\text{tr}_P} = 0,200 \times E_1 + 0,200 \times E_2 + 0,400 \times E_3 + 0,200 \times E_4$$

#### Toxicidade gás (Gas toxicity):

$$V_E^{\text{tox}} = 0,691 \times V_E^{\text{tox}_1} + 0,160 \times V_E^{\text{tox}_E} + 0,149 \times V_E^{\text{tox}_P}$$

$$V_E^{\text{tox}_1} = 0,286 \times E_1 + 0,142 \times E_2 + 0,286 \times E_3 + 0,286 \times E_4$$

$$V_E^{\text{tox}_E} = 0,340 \times E_1 + 0,140 \times E_2 + 0,239 \times E_3 + 0,280 \times E_4$$

$$V_E^{\text{tox}_P} = 0,205 \times E_1 + 0,169 \times E_2 + 0,338 \times E_3 + 0,288 \times E_4$$

#### Poluição líquida (Liquid pollution):

$$V_E^{\text{poll}} = 0,710 \times V_E^{\text{poll}_1} + 0,155 \times V_E^{\text{poll}_E} + 0,135 \times V_E^{\text{poll}_P}$$

$$V_E^{\text{poll}_1} = 0,227 \times E_1 + 0,122 \times E_2 + 0,227 \times E_3 + 0,424 \times E_4$$

$$V_E^{\text{poll}_E} = 0,278 \times E_1 + 0,123 \times E_2 + 0,231 \times E_3 + 0,367 \times E_4$$

$$V_E^{\text{poll}_P} = 0,140 \times E_1 + 0,140 \times E_2 + 0,262 \times E_3 + 0,458 \times E_4$$

### Vulnerabilidade Material:

$$V_M = 0,446 \times V_M^{op} + 0,410 \times V_M^{tr} + 0,069 \times V_M^{tox} + 0,075 \times V_M^{poll}$$

#### Sobrepresão (Overpressure):

$$\begin{aligned} V_M^{op} &= 0,571 \times V_M^{op}_I + 0,286 \times V_M^{op}_E + 0,143 \times V_M^{op}_P \\ V_M^{op}_I &= 0,200 \times M_1 + 0,400 \times M_2 + 0,200 \times M_3 + 0,200 \times M_4 \\ V_M^{op}_E &= 0,288 \times M_1 + 0,338 \times M_2 + 0,169 \times M_3 + 0,205 \times M_4 \\ V_M^{op}_P &= 0,143 \times M_1 + 0,286 \times M_2 + 0,286 \times M_3 + 0,286 \times M_4 \end{aligned}$$

#### Toxicidade de gás (Gas toxicity):

$$\begin{aligned} V_M^{tox} &= 0,200 \times V_M^{tox}_I + 0,400 \times V_M^{tox}_E + 0,400 \times V_M^{tox}_P \\ V_M^{tox}_I &= 0,142 \times M_1 + 0,286 \times M_2 + 0,286 \times M_3 + 0,286 \times M_4 \\ V_M^{tox}_E &= 0,204 \times M_1 + 0,347 \times M_2 + 0,204 \times M_3 + 0,246 \times M_4 \\ V_M^{tox}_P &= 0,100 \times M_1 + 0,300 \times M_2 + 0,300 \times M_3 + 0,300 \times M_4 \end{aligned}$$

#### Fluxo térmico (Thermal flux):

$$\begin{aligned} V_M^{tr} &= 0,443 \times V_M^{tr}_I + 0,387 \times V_M^{tr}_E + 0,169 \times V_M^{tr}_P \\ V_M^{tr}_I &= 0,246 \times M_1 + 0,298 \times M_2 + 0,210 \times M_3 + 0,246 \times M_4 \\ V_M^{tr}_E &= 0,400 \times M_1 + 0,200 \times M_2 + 0,200 \times M_3 + 0,200 \times M_4 \\ V_M^{tr}_P &= 0,143 \times M_1 + 0,286 \times M_2 + 0,286 \times M_3 + 0,286 \times M_4 \end{aligned}$$

#### Poluição líquida (Liquid pollution):

$$\begin{aligned} V_M^{poll} &= 0,260 \times V_M^{poll}_I + 0,413 \times V_M^{poll}_E + 0,327 \times V_M^{poll}_P \\ V_M^{poll}_I &= 0,127 \times M_1 + 0,313 \times M_2 + 0,280 \times M_3 + 0,280 \times M_4 \\ V_M^{poll}_E &= 0,204 \times M_1 + 0,347 \times M_2 + 0,204 \times M_3 + 0,246 \times M_4 \\ V_M^{poll}_P &= 0,127 \times M_1 + 0,280 \times M_2 + 0,313 \times M_3 + 0,280 \times M_4 \end{aligned}$$

A quantificação dos alvos é obtida por meio de definição adimensional, variável na faixa de 0-1, que representa a “quantidade” real de cada alvo em relação ao valor máximo esperado, em que 0, indica ausência total do alvo na área e 1 indica a presença máxima do alvo.

Portanto, os fatores de quantificação visam à obtenção de uma contagem normalizada de cada tipo de detalhado de alvo (H1 ao H4, E1 ao E4 e M1 ao M4).

Em relação aos alvos humanos, o fator de quantificação ( $H_i$ ) para cada um dos tipos de alvos na área é determinado da seguinte maneira:

$$H_i = \frac{N_i}{N_{max}}$$

Onde,  $N_i$  é o número total de pessoas expostas e  $N_{max}$  é o número máximo de pessoas da área de estudo sob a malha proposta pelo modelo (explicado a seguir). Por conseguinte,

para a quantificação dos alvos humanos, é necessário, primeiramente definir o valor máximo ( $N_{\max}$ ).

No que se refere aos alvos ambientais, o fator de quantificação ( $E_i$ ) para cada um dos tipos de alvos na área, é dado conforme a seguir:

$$E_i = \frac{A_i}{A}$$

Onde,  $A_i$  é a extensão da área coberta pelo tipo de alvo ambiental dentro dos limites da área sob a malha proposta pelo modelo (em  $\text{km}^2$ ) e  $A$ , é a extensão da área de estudo (em  $\text{Km}^2$ ).

Por fim, em relação aos alvos materiais, o fator de quantificação ( $M_i$ ) para cada um dos tipos de alvos na área é determinado como:

$$M_i = \frac{A_i}{A}$$

Onde,  $A_i$  é a extensão da área coberta pelo tipo de alvo material dentro dos limites da área sob a malha proposta pelo modelo (em  $\text{km}^2$ ). No entanto, caso algum alvo (do tipo 2 e 4 somente) estiver presente, o fator de quantificação é alterado da seguinte forma:

$$M_j = \frac{A_j}{A} + \sum_k \frac{I_{j,k}}{I_{\max_j}}$$

Onde  $j$  é igual ao tipo 2 ou 4 do alvo material,  $k$  é um fator representativo da importância dos alvos  $j$  pendentes e presentes na área sob a malha proposta pelo modelo e,  $I_{\max}$  é o máximo valor da importância do alvo  $j$  pendente. Na verdade, sendo

muito difícil atribuir um “valor” aos alvos pendentes, este pode ser obtido com base numa escala relativa de importância.

No contexto do projeto ARAMIS, a área de estudo é aquela onde podem ocorrer os possíveis impactos de um acidente originado numa planta industrial, incluindo a extensão espacial que os efeitos deste podem alcançar.

Na maioria dos casos, uma área de 20 x 20 km centrada na planta industrial seria adequada, mas uma área menor (10 x 10 km) ou maior (40 x 40 km) também pode ser adotada. A fim de se obter a informação detalhada em relação à vulnerabilidade ambiental, a área de estudo é dividida em uma malha (*meshe*): que pode variar de 500 x 500 m até 50 x 50 m, além disso, é possível selecionar malhas maiores ou menores na zona industrial e proximidades (2 x 2 km ou 4 x 4 km). A grade interna (*inner grid*) é composta por malhas menores que permitem uma melhor representação espacial da vulnerabilidade próxima à instalação industrial. Na figura 6 é possível visualizar um exemplo da aplicação da grade proposta pelo projeto ARAMIS.

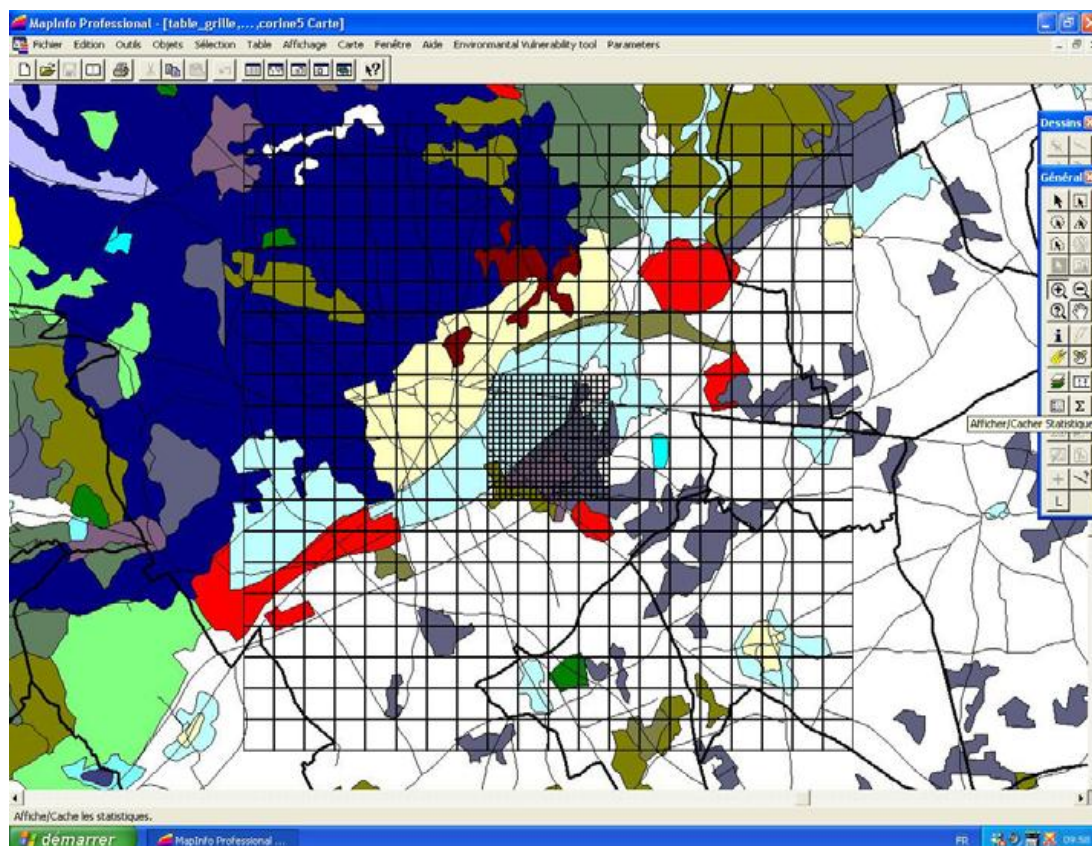


Figura 6. Exemplo da malha proposta pelo projeto ARAMIS, elaborada em ambiente SIG (grade principal de 10 x 10 km com uma malha de 500 x 500 m e grade interna de 2 x 2 km com malha de 100 x 100 m). Fonte: Joint Research Centre (2002).

As tecnologias SIG permitem a manipulação de dados e informações adicionadas de acordo com o usuário. Neste sentido, é possível:

- Definir a área de estudo e as malhas de acordo com as preferências do usuário, projetando a grade centrada na instalação industrial;
- Identificar as diferentes categorias de alvos e respectivas subcategorias;
- Quantificar a “quantidade” de cada categoria de alvo e subcategoria existentes no interior de cada malha da área de estudo;

- Executar os cálculos de vulnerabilidade para cada categoria e subcategoria de alvo e para cada malha da área de estudo;
- Fornecer ao usuário os mapas de vulnerabilidade.

A quantificação dos alvos representa a “quantidade” real de cada alvo na malha em relação ao valor máximo esperado.

Para alvos humanos, isso requer que o usuário defina os chamados “fatores de normalização” (*normalisation factors*), como por exemplo, densidade populacional máxima para:

- Trabalhadores da indústria (H1);
- População da área de entorno (H2);
- População em estabelecimentos públicos (H3);
- Usuários de vias de comunicação (H4).

A apropriada seleção dos fatores de normalização é de grande importância para a correta estimativa da vulnerabilidade.



## **4. MATERIAIS E MÉTODOS**

Para o desenvolvimento da estratégia de análise da vulnerabilidade aos acidentes tecnológicos no entorno do distrito industrial de Paulínia, foram utilizados *softwares* específicos de análise de risco e de SIG's. O *software* de análise de risco permitiu simular os cenários acidentais hipotéticos, gerando as distâncias máximas de extensão das áreas atingidas, já o SIG, foi utilizado para geração de banco de dados, análise espacial dos dados geográficos, criação de *layouts* e plotagens dos mapas.

Uma vez que o tema da pesquisa se restringe à integração das informações geográficas da análise da vulnerabilidade, os cenários acidentais não foram pesquisados com profundidade, limitando-se apenas aos dados espaciais de tais simulações.

Na estruturação do SIG, definiu-se uma base cartográfica com as seguintes camadas de informação: mapa base de mosaico multitemporal de imagens de satélites (2008 a 2013), limites regionais, limite municipal, limites de zoneamento, setores censitários e rede de transporte. A escala de trabalho adotada foi a de 1:100.000 e a de visualização dos resultados 1:90.000. O sistema de projeção utilizado foi o UTM, fuso 23, Datum<sup>4</sup> SAD 69.

---

<sup>4</sup> Superfície de referência da Terra (OLIVEIRA, 1983)

## 4.1 MATERIAL BIBLIOGRÁFICO E CARTOGRÁFICO

A pesquisa teve como principal fonte bibliográfica artigos científicos internacionais que possuíam as palavras-chave em inglês: *vulnerability assessment*, *technological disaster*, e *mapping vulnerability* no banco de artigos do portal *PubMed* (<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed>), e as correspondentes em português: avaliação da vulnerabilidade, desastre tecnológico, mapeamento da vulnerabilidade no banco de artigos do portal *SciELO* (<http://www.scielo.org>).

Demais materiais bibliográficos também foram levantados através de consultas na biblioteca digital da USP (<http://www.teses.usp.br/>) e da UNICAMP (<http://www.bibliotecadigital.unicamp.br>), além de buscas na biblioteca física da Faculdade de Saúde Pública da USP.

Os materiais cartográficos utilizados foram:

- Base digital do município de Paulínia, do ano 2005, obtido no banco de dados do NRA da Faculdade de Saúde Pública da USP, em formato *shapefile*, compatível com a escala 1:10.000 e sistema de projeção UTM SAD69.
- Malha de setores censitários, do ano de 2010, obtida através do IBGE, no formato *shapefile* e sistema de projeção UTM SAD69.

- Mapeamentos de uso do solo do município de Paulínia, elaborados pelo GEOGET do Departamento de Geografia da UNICAMP, disponibilizados em PDF, na escala de 1:60.000.

## **4.2 APLICATIVOS**

A edição dos textos e o tabulação de dados foram executados respectivamente através do editor de textos Word e do editor de planilhas Excel do pacote Microsoft Office 7.

Para a aquisição das distâncias máximas dos cenários acidentais foi utilizado o *software Effect-GIS*<sup>5</sup>, após a entrada das substâncias químicas como um dos parâmetros exigidos. O SIG adotado foi o *ArcGis 10*<sup>6</sup>, com o pacote *ArcInfo*.

## **4.3 ÁREA DE ESTUDO**

O estudo foi desenvolvido na região do Distrito Industrial do município de Paulínia, situado a nordeste de SP. O município compõe a Região Metropolitana de Campinas e possui uma área de 138,72 km<sup>2</sup> (IBGE 2010). A figura 7 mostra a localização do município de Paulínia dentro do contexto nacional.

---

<sup>5</sup> *The Netherlands Organisation - TNO.*

<sup>6</sup> *Environmental Sciences Research Institute - ESRI*

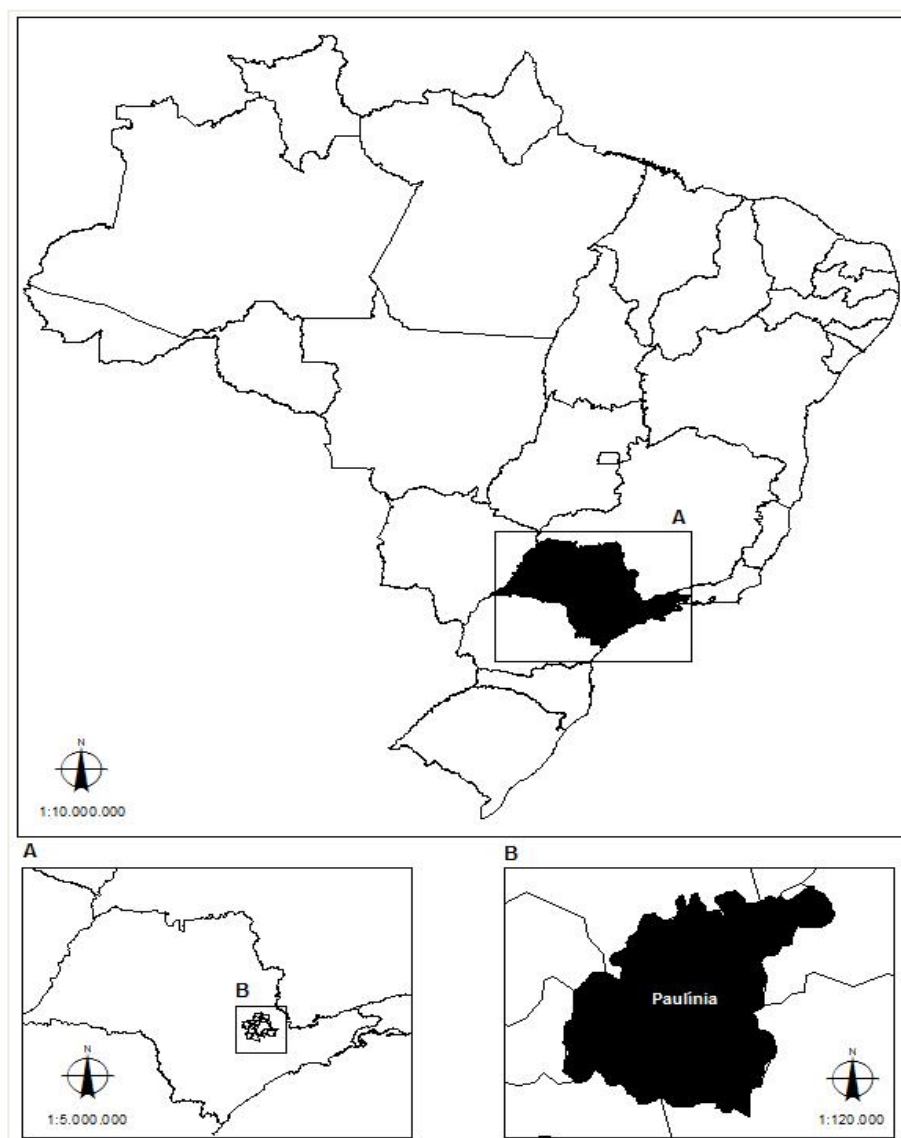


Figura 7. Localização da área de estudo.

A opção pela área de estudo foi devida às atividades executadas em sua zona industrial. Em virtude do polo petroquímico de expressiva atuação, principalmente nas atividades ligadas ao setor de refino de petróleo, existem, no local, o manuseio e armazenamento de substâncias perigosas em grandes quantidades. Além disso, a região se destaca pelo aspecto econômico no contexto regional e nacional. Em 2010, o município apresentou o nono maior PIB *per capita* dentre os 645 municípios de SP (SEADE, 2010).

No entanto, a principal justificativa para a escolha da área é devido o município de Paulínia, apesar do rápido crescimento urbano verificado principalmente depois da implantação da REPLAN na década de 1970, ainda apresentar em sua configuração territorial, espaços fronteiriços à zona destinada exclusivamente à atividade industrial que não estão habitados, fator primordial na análise da vulnerabilidade aos acidentes tecnológicos.

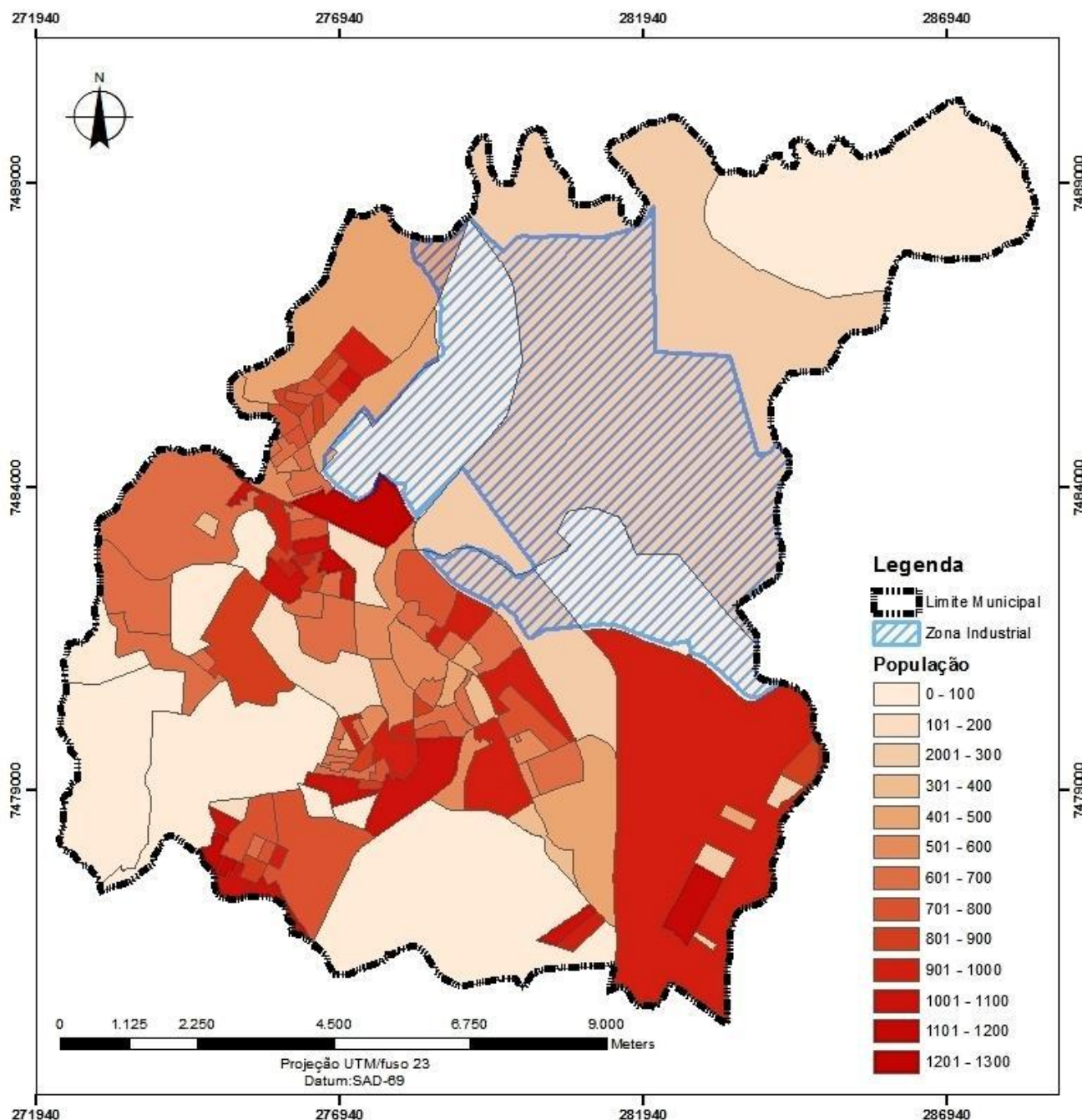
De acordo com o último censo demográfico, a população residente em 2010 era de 82.146 habitantes que, distribuída no território municipal, resulta em uma densidade de 591,17 hab/km<sup>2</sup> (IBGE 2010). A tabela 1 mostra os dados relativos à população de Paulínia por área de residência em 2000 e 2010.

Tabela 1. População do município de Paulínia, por área de residência segundo dados do Censo Demográfico do IBGE de 2000 e 2010.

<b>Área de residência</b>	<b>Número (2000)</b>	<b>% (2000)</b>	<b>Número (2010)</b>	<b>% (2010)</b>
Urbana	50.762	98,9	82.070	99,9
Rural	564	1,1	76	0,1
<b>Total</b>	<b>51.326</b>	<b>100</b>	<b>82.146</b>	<b>100</b>

Ao analisar os dados da tabela 1 verifica-se no período, um aumento da população de cerca de 30%, além de acentuada queda da população rural na ordem de 77%.

O mapa 1 mostra a distribuição da população de Paulínia por setor censitário, segundo dados do IBGE do ano de 2010, e a localização da zona industrial.



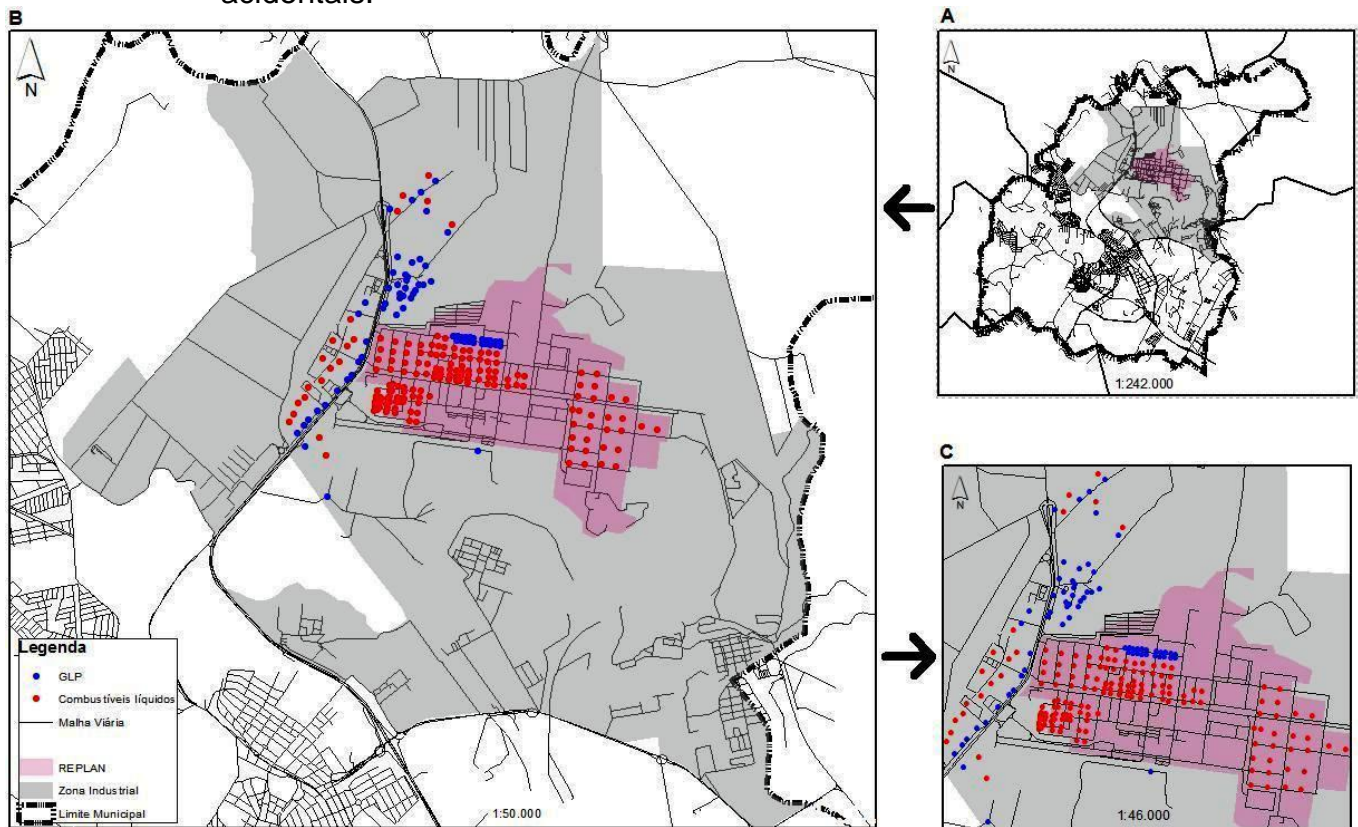
Mapa 1. Distribuição da população de Paulínia por setor censitário, segundo dados do IBGE do ano de 2010, e localização da Zona Industrial.

### 4.3.1 Instalações Industriais

O distrito industrial de Paulínia é composto, segundo o atual plano diretor do município, pela ZUPI e ZUI, regiões onde estão localizadas as empresas de distribuição de produtos

processados, como GLP e os combustíveis líquidos como gasolina, diesel e álcool.

As instalações industriais consideradas importantes do ponto de vista de acidentes tecnológicos foram identificadas por meio de interpretação de mosaico de imagens de satélite que compõe o mapa base do próprio SIG utilizado. Especificamente, foram quantificados os tanques das instalações (mapa 2) que serviram para a geração das distâncias máximas nos cenários acidentais.

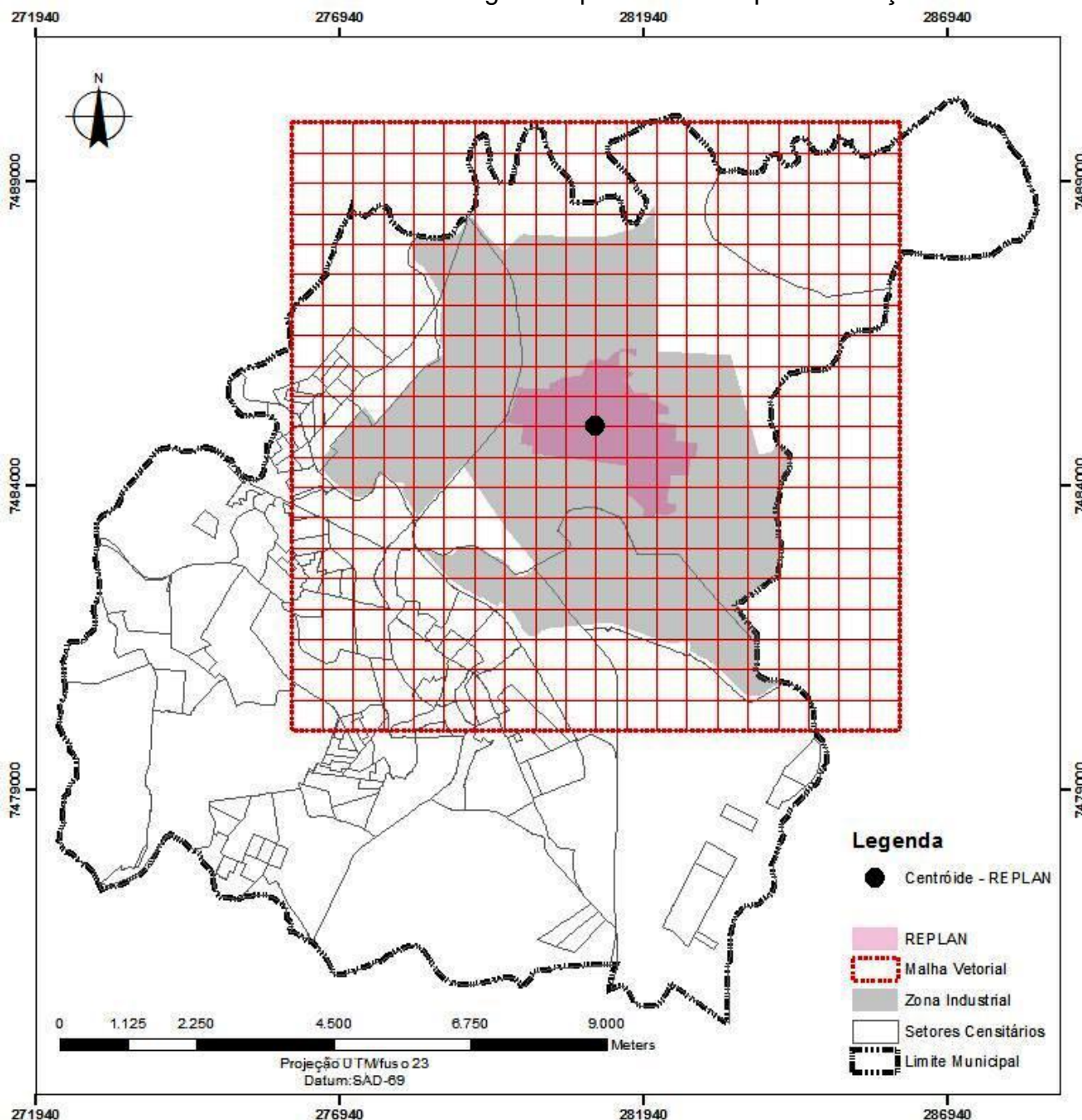


Mapa 2. Localização das instalações industriais pesquisadas.

#### 4.3.2 Composição da malha vetorial

Para composição da malha vetorial referente à área de estudo, foi projetada a partir do centro da REPLAN, uma área de 100 km<sup>2</sup>, dividida internamente em uma grade de 500 x 500

metros (mapa 3), para obtenção de uma informação detalhada da vulnerabilidade, conforme sugestão da metodologia adotada. Neste caso, optou-se pela não projeção de uma grade interna, pois, para efeitos de planejamento territorial no que se refere à prevenção de acidentes tecnológicos, o que se busca é o a distância máxima de abrangência que um evento pode alcançar.



Mapa 3. Disposição da malha vetorial na área de estudo.



## 4.4 IDENTIFICAÇÃO DOS CENÁRIOS ACIDENTAIS

As informações necessárias para a identificação dos cenários acidentais foram divididas em três fases: escolha das causas e substâncias envolvidas, determinação dos raios de abrangências, composição da malha vetorial.

### 4.4.1 Escolha das causas e substâncias

A identificação dos cenários acidentais levou em conta dois fatores: a realidade da área de estudo (estrutura física e substâncias envolvidas) e as causas mais frequentes em acidentes tecnológicos.

A predominância da atividade de refino de petróleo resultou na existência de um grande número de tanques de armazenamento de combustíveis líquidos e GLP nas instalações industriais do pólo petroquímico de Paulínia, além de malha dutoviária significativa.

Outro elemento chave inerente desta atividade e que se faz muito presente na dinâmica existente da área é o caminhão-tanque que também foi incluído nas hipóteses acidentais.

Em relação às principais causas de acidentes tecnológicos, ao verificar o banco de dados do EM-DAT, constatou-se que as principais são: explosões (*overpressure* – op), e incêndios (*Thermal flux* -tr), conforme mostra a figura 8.

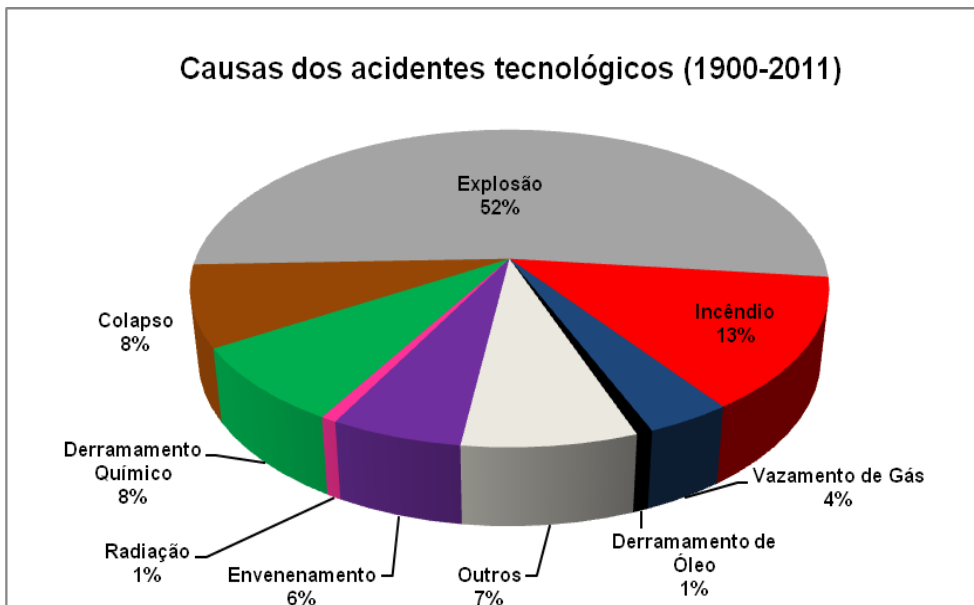


Figura 8. Causas dos acidentes tecnológicos relatados no período de 1900 a 2011. Fonte: EM-DAT: *The OFDA/CRED International Disaster Database* (disponível em: <http://www.em-dat.net>).

As duas principais causas foram consideradas na construção dos cenários acidentais e, além disso, para enriquecimento das simulações, também foi incluído uma terceira causa: vazamento tóxico (*gas toxicity – tox*).

É importante ressaltar que, pela indisponibilidade de dados, a variável poluição líquida (*liquid pollution - poll*) não foi contemplada na formulação dos mapas de vulnerabilidade, sendo o seu peso dividido e distribuído igualmente entre as demais variáveis.

Como as consequências de um acidente dependem em sua maioria, do tipo de substância envolvida, também foram selecionadas as principais manuseadas em uma refinaria: GLP, gás de amônia e combustíveis líquidos inflamáveis (Khan e Abassi 1999; Khan e Abassi 1999b).

Devido às diferenças existentes no que se refere à capacidade de armazenamento, os tanques pertencentes à REPLAN foram analisadas separadamente daqueles que não fazem parte da refinaria, fazendo surgir, portanto, cenários específicos adicionais.

Sendo assim, foram estabelecidos 14 cenários acidentais para tanques de armazenamento e caminhões que transportam GLP, gás de amônia e combustíveis líquidos inflamáveis, dentro e fora da REPLAN (Tabela 2).

Tabela 2: Cenários acidentais definidos para tanques de armazenamento e caminhões. Organização: Adelaide Cássia Nardocci.

<b>Cenário</b>	<b>Causa</b>	<b>Descrição</b>
1	Explosão (Overpressure)	Explosão catastrófica de tanque fora da REPLAN (GLP)
2	Explosão (Overpressure)	Explosão catastrófica de tanque dentro da REPLAN (GLP)
3	Explosão (Overpressure)	Explosão catastrófica do tanque do caminhão (GLP)
4	Incêndio (Thermal flux)	Ruptura catastrófica do gasoduto fora da REPLAN, durante o recebimento (GLP)
5	Incêndio (Thermal flux)	Ruptura catastrófica do gasoduto dentro da REPLAN, durante o recebimento (GLP)
6	Incêndio (Thermal flux)	Ruptura catastrófica da linha de descarga do caminhão – tanque (GLP)
7	Vazamento tóxico (Gas toxicity)	Vazamento do tanque dentro da REPLAN através da tubulação (amônia)
8	Vazamento tóxico (Gas toxicity)	Vazamento do caminhão – tanque através da linha (amônia)
9	Explosão (Overpressure)	Ruptura catastrófica de tanque fora da REPLAN (combustíveis líquidos)
10	Explosão (Overpressure)	Ruptura catastrófica de tanque dentro da REPLAN (combustíveis líquidos)
11	Explosão (Overpressure)	Ruptura catastrófica do tanque do caminhão (combustíveis líquidos)
12	Incêndio (Thermal flux)	Ruptura catastrófica do tanque fora da REPLAN (combustíveis líquidos)
13	Incêndio (Thermal flux)	Ruptura catastrófica do tanque dentro da REPLAN (combustíveis líquidos)
14	Incêndio (Thermal flux)	Ruptura catastrófica do tanque do caminhão (combustíveis líquidos)

#### 4.4.2 Determinação das distâncias de abrangências

Conforme explicitado anteriormente, as diferenças existentes no que diz respeito à capacidade de armazenamento (maior para os tanques da refinaria) fizeram com que as distâncias (raios) de abrangência dos cenários acidentais das instalações pertencentes à REPLAN fossem analisadas separadamente daquelas que não fazem parte da refinaria.

Para os tanques situados fora do perímetro da REPLAN, os raios dos cenários foram estabelecidos através do *software Effect-GIS*, após a entrada das substâncias como um dos parâmetros exigidos.

Para os tanques localizados dentro da área da REPLAN, os raios foram determinados de acordo com KHAN e ABBASI (1999). Especificamente para o cenário composto por vazamento tóxico, o raio de abrangência foi adotado em conformidade com a predominância da direção sudeste do regime de ventos, conforme analisado em estudo de impacto ambiental para a modernização da REPLAN (disponível em <http://www.comitepcj.sp.gov.br>).

As distâncias dos cenários compostos por caminhões-tanques (3, 6, 8, 11 e 14) foram estabelecidas linearmente, já para os cenários de tanques (1, 2, 4, 5, 7, 9, 10, 12 e 13), estas foram determinadas em raios, ambas por intermédio da criação de *buffers* no *software*

No tabela 3 é possível verificar as distancias de abrangências para cada um dos cenários acidentais selecionados.

Tabela 3. Distâncias máximas de abrangência para os cenários acidentais selecionados. Organização: Adelaide Cássia Nardocci.

<b>Cenário</b>	<b>Causa</b>	<b>Descrição</b>	<b>Distâncias máximas (metros)</b>
1	Explosão (Overpressure)	Explosão catastrófica de tanque fora da REPLAN (GLP)	450
2	Explosão (Overpressure)	Explosão catastrófica de tanque dentro da REPLAN (GLP)	3.000
3	Explosão (Overpressure)	Explosão catastrófica do tanque do caminhão (GLP)	260
4	Incêndio (Thermal flux)	Ruptura catastrófica do gasoduto fora da REPLAN, durante o recebimento (GLP)	119
5	Incêndio (Thermal flux)	Ruptura catastrófica do gasoduto dentro da REPLAN, durante o recebimento (GLP)	1.000
6	Incêndio (Thermal flux)	Ruptura catastrófica da linha de descarga do caminhão – tanque (GLP)	14
7	Vazamento tóxico (Gas toxicity)	Vazamento do tanque dentro da REPLAN através da tubulação (amônia)	1.500
8	Vazamento tóxico (Gas toxicity)	Vazamento do caminhão – tanque através da linha (amônia)	1.500
9	Explosão (Overpressure)	Ruptura catastrófica de tanque fora da REPLAN (combustíveis líquidos)	200
10	Explosão (Overpressure)	Ruptura catastrófica de tanque dentro da REPLAN (combustíveis líquidos)	3.000
11	Explosão (Overpressure)	Ruptura catastrófica do tanque do caminhão (combustíveis líquidos)	100
12	Incêndio (Thermal flux)	Ruptura catastrófica do tanque fora da REPLAN (combustíveis líquidos)	136
13	Incêndio (Thermal flux)	Ruptura catastrófica do tanque dentro da REPLAN (combustíveis líquidos)	1.000
14	Incêndio (Thermal flux)	Ruptura catastrófica do tanque do caminhão (combustíveis líquidos)	47

Na figura 9 é possível analisar as distâncias de abrangências na área de estudo para cada cenário acidental e para a justaposição de todas as hipóteses.

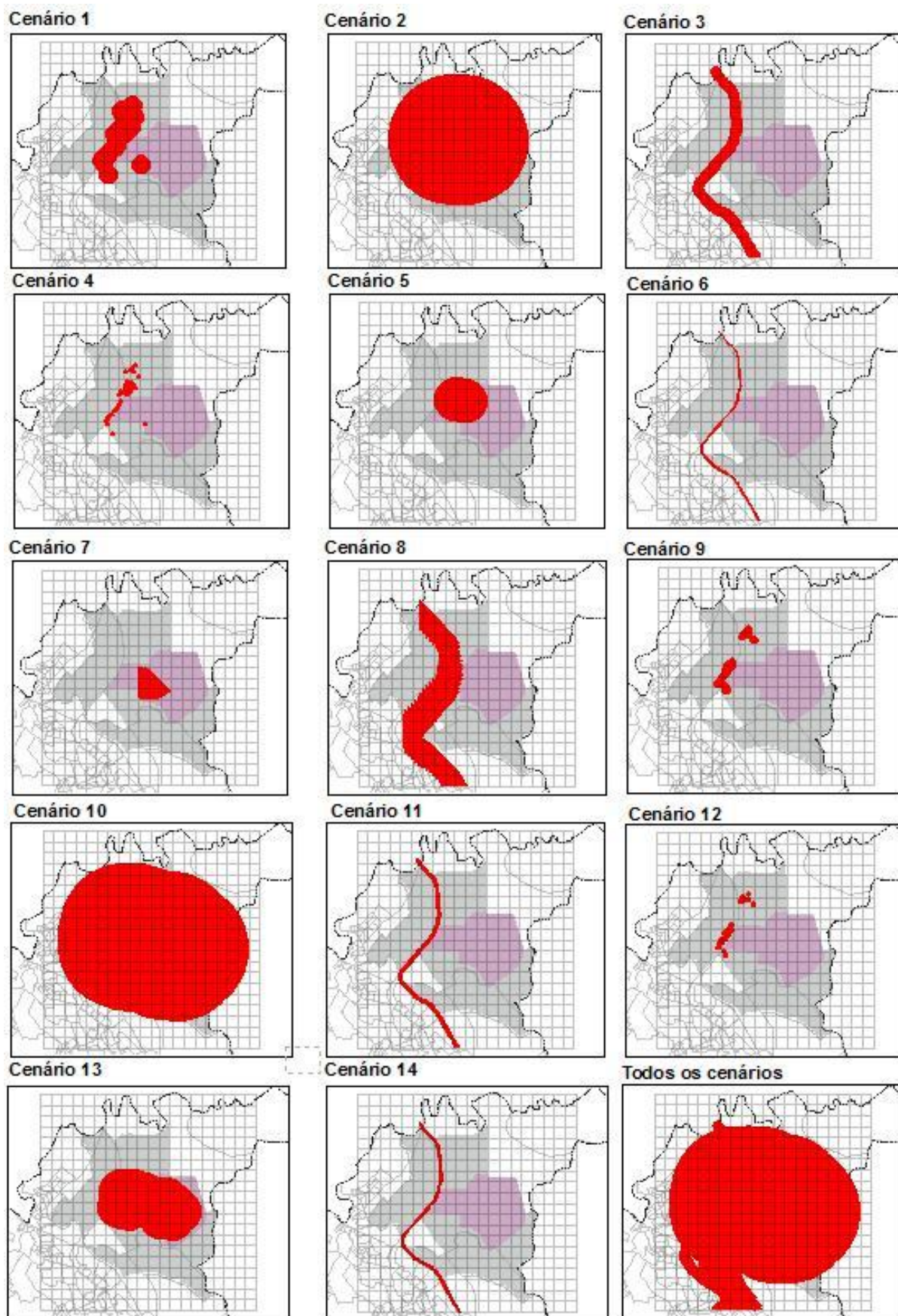


Figura 9. Determinação das distâncias máximas de abrangências para os cenários acidentais considerados na área de estudo.

Para atingir o objetivo desta pesquisa, apesar de conhecidas todas as distâncias para cada cenário acidental, o que se busca é a distância máxima que os eventos podem alcançar. Por isso, foram utilizadas na etapa de aplicação do modelo conceitual de avaliação da vulnerabilidade as informações espaciais referentes à sobreposição de todos os cenários.

## **4.5 IDENTIFICAÇÃO DOS ALVOS**

A etapa de identificação dos alvos foi realizada considerando a disponibilidade dos dados existentes bem como a realidade da área de estudo. Neste sentido, foram utilizados os mapeamentos recentes que GEOGET, da Universidade de Campinas elaborou sobre o município de Paulínia, em especial os referentes ao uso do solo.

### **4.5.1 Alvos Humanos**

Fazem parte dos alvos humanos (figura 10): trabalhadores da indústria (H1), população da área de entorno (H2), população em estabelecimentos públicos (H3) e usuários de vias de comunicação (H4).

A espacialização dos trabalhadores do distrito industrial de Paulínia (H1) foi estimada com base no cálculo de densidade demográfica do número de empregos formais registrado em dezembro de 2011 para o setor industrial, obtido na RAIS do Ministério do Trabalho e Emprego (BRASIL 2012) e das áreas de uso exclusivamente industrial, adquiridas através de

minucioso mapeamento da forma do uso da terra intraurbano realizada por Fagundes (2012) para o município de Paulínia.

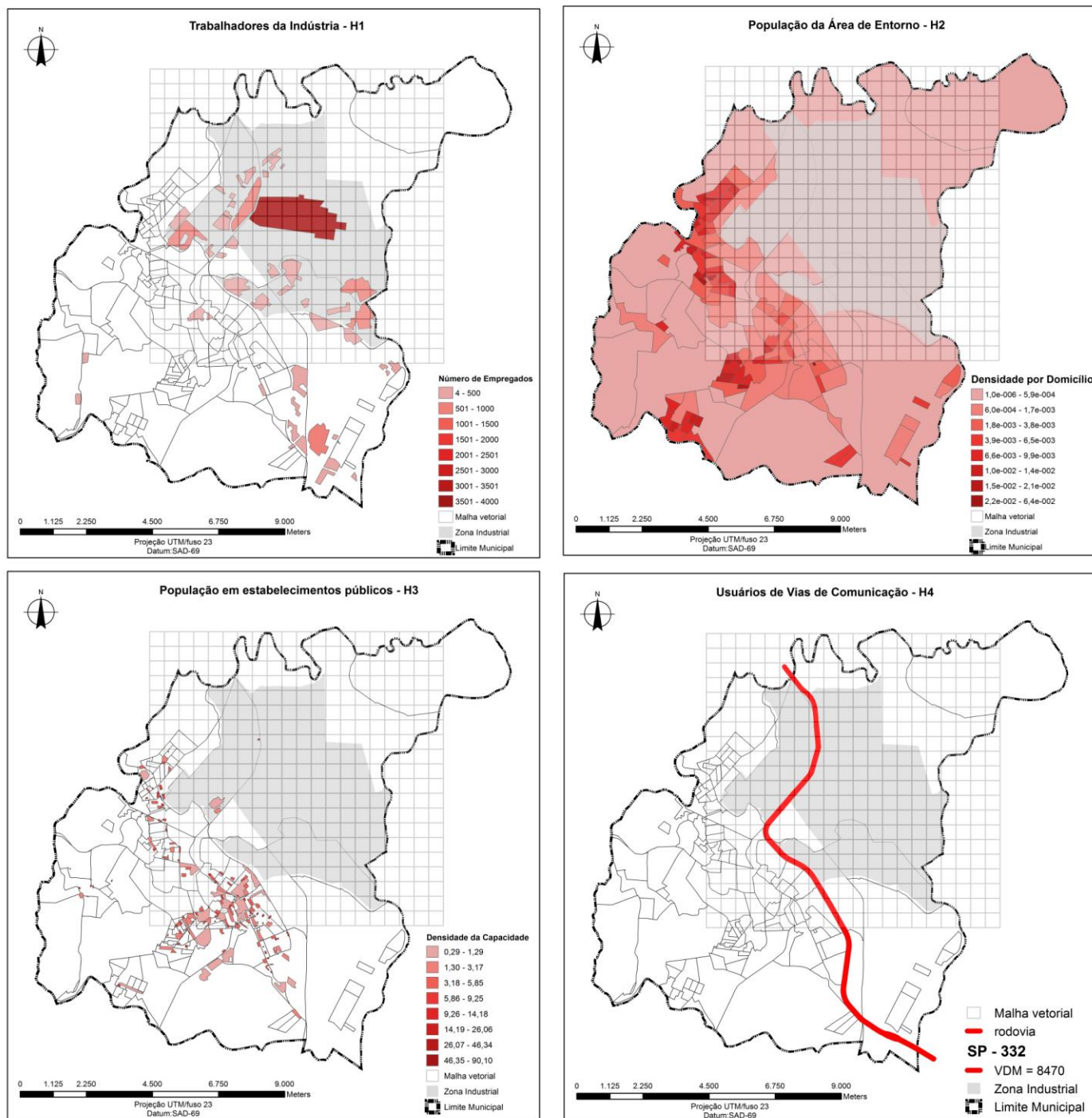


Figura 10. Alvos humanos no município de Paulínia



No que se refere à população da área de entorno (H2), esta foi extraída através das informações dos setores censitários do município de Paulínia para o censo demográfico de 2010, elaborado pelo IBGE (IBGE, 2012).

Em relação à população em estabelecimentos públicos (H3), esta foi estimada extraindo o número de empregos existentes no setor comercial e de serviços, obtido na relação RAIS de 2010 (BRASIL 2012) e estipulada a presença média constante de três pessoas a mais por estabelecimento e, então, calculou-se a densidade demográfica usando as áreas detectadas como de uso comercial em trabalho realizado por Fagundes (2012).

Por fim, em relação os usuários das vias de comunicação (H4), estes foram estimados com base no VDM para a principal rodovia do município: General Milton Tavares de Souza (SP – 332) para os anos de 2011, oriundo do DER (DER, 2012).

#### **4.5.2 Alvos Ambientais**

Compõem os alvos ambientais (figura 11): áreas agrícolas (E1), florestas e áreas semi-naturais (E2), áreas naturais específicas (E3) e nascentes e corpos d'água (E4).

A identificação das áreas agrícolas (E1) e das áreas definidas como florestas e áreas semi-naturais (E2) foram realizadas através de georeferenciamento e vetorização de mapa de uso do solo em trabalho realizado por Bargas (2010).

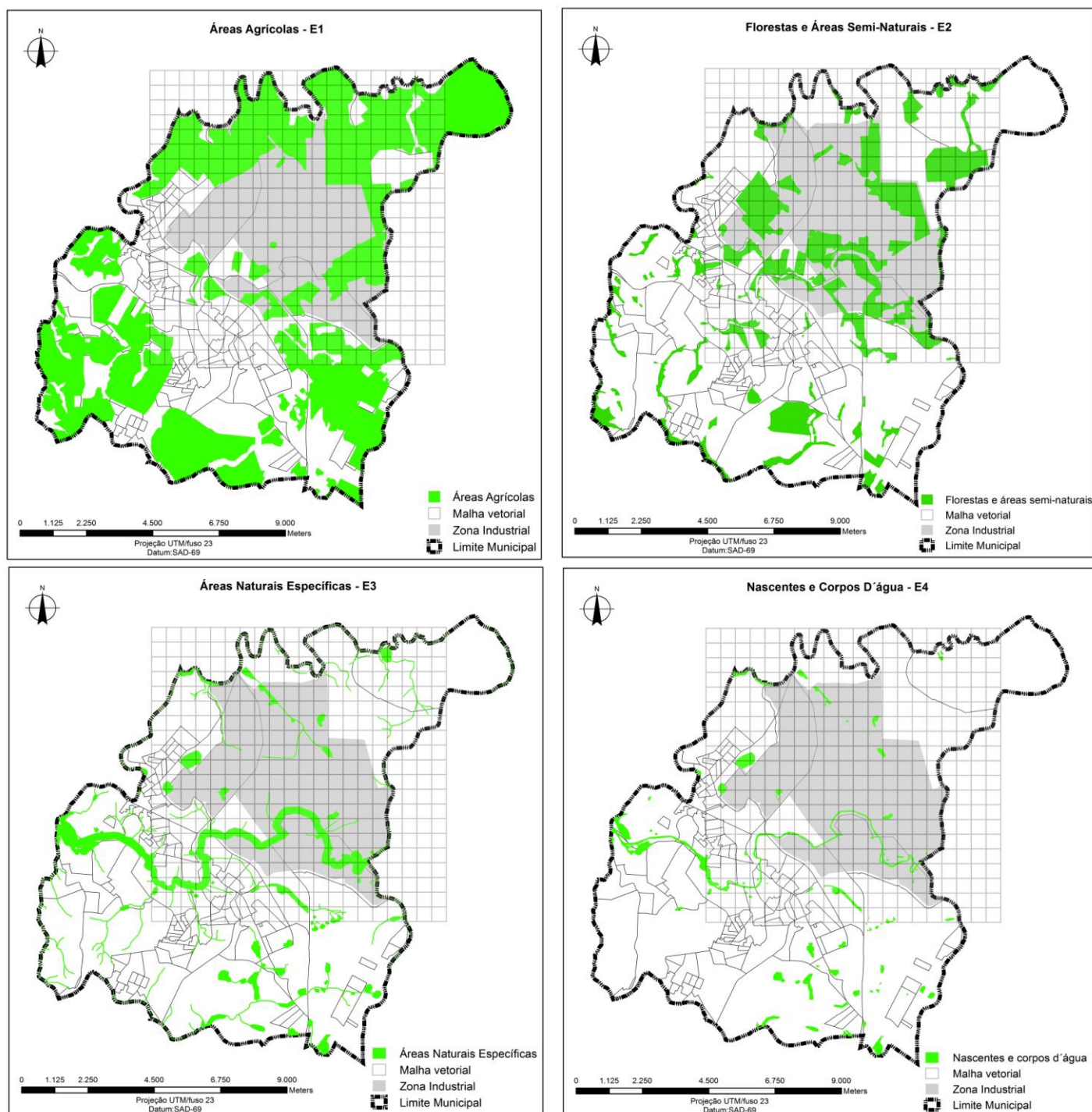


Figura 11. Alvos ambientais no município de Paulínia

Em relação ao E1, foram consideradas áreas agrícolas: culturas alimentares comerciais, culturas alimentares e cana-de-açúcar. Já para E2 foram classificadas nesta subcategoria: áreas campestres sem uso identificado, mata sem uso identificado e reflorestamento.

As áreas naturais específicas (E3) foram obtidas através de georeferenciamento e vetorização do mapa do uso e ocupação de áreas de preservação permanentes (APP's) realizado por Campos (2011) para o município de Paulínia.

Em relação às nascentes e corpos d'água (E4), estas foram obtidas por intermédio de georeferenciamento e vetorização do mapa do mapa de hidrografia realizado também por Campos (2011) para o município de Paulínia.

### **4.5.3 Alvos Materiais**

Fazem parte dos alvos materiais (figura 12): plantas industriais (M1), infraestrutura e serviços públicos (M2), estruturas privadas (M3) e estruturas públicas (M4).

A elaboração dos mapas de todos os alvos materiais foi realizada através de georeferenciamento de vetorização do mapa de uso do solo intraurbano, executada por Fagundes (2012).

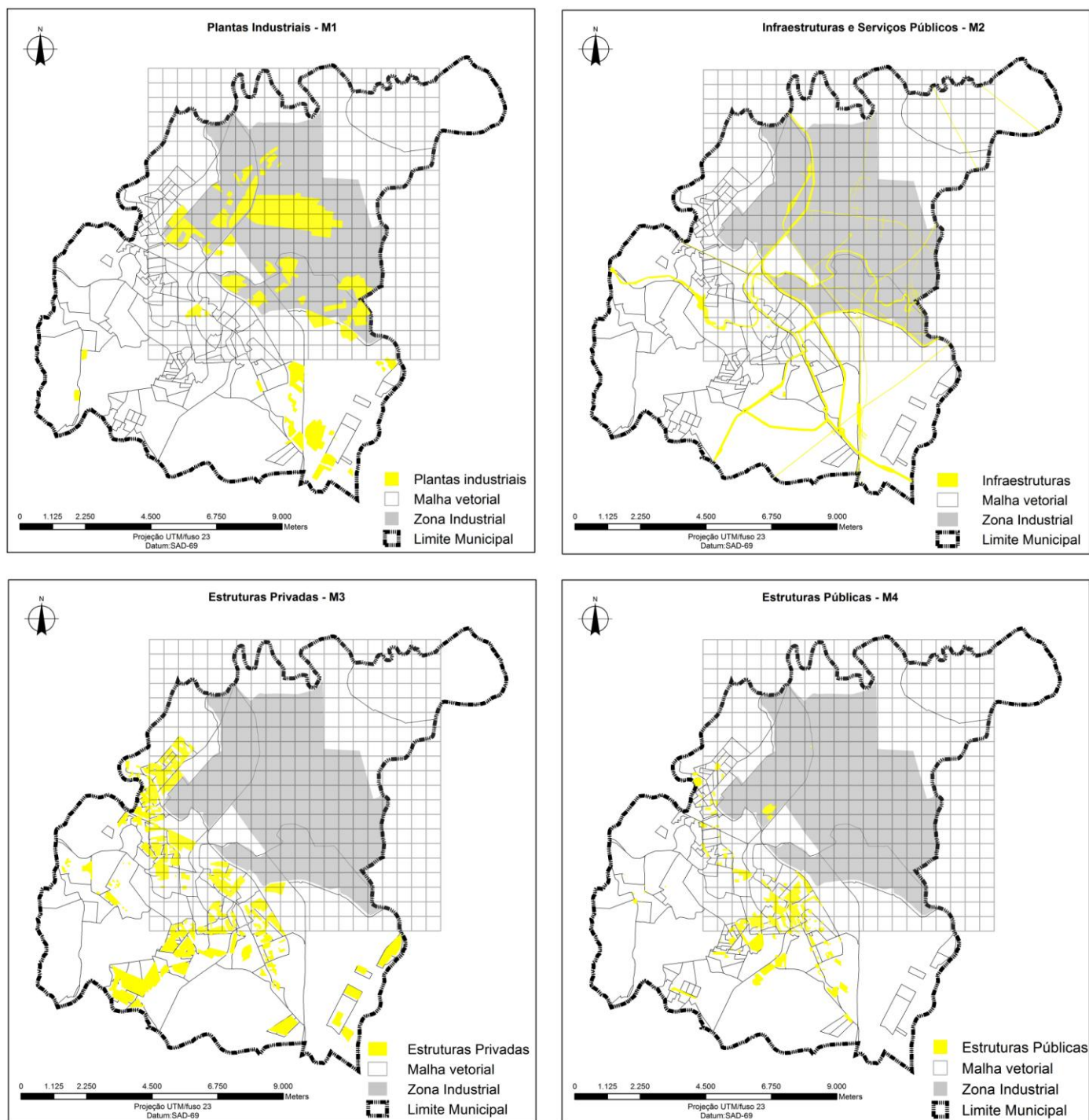


Figura 12. Alvos materiais no município de Paulínia

## 4.6 APLICAÇÃO DO MODELO DE AVALIAÇÃO DA VULNERABILIDADE

A aplicação do modelo conceitual de avaliação da vulnerabilidade proposto pelo método ARAMIS se deu inteiramente em ambiente SIG através de ferramentas específicas de análise espacial (*merge*, *intersect*, *dissolve*, *spatial join* e *clip*) e criação de rotinas que facilitaram a execução das operações para cada subcategoria e categoria de alvo (*model builder*).

Na figura 13 é possível verificar o fluxograma do processo utilizado para se chegar ao mapeamento da vulnerabilidade humana.

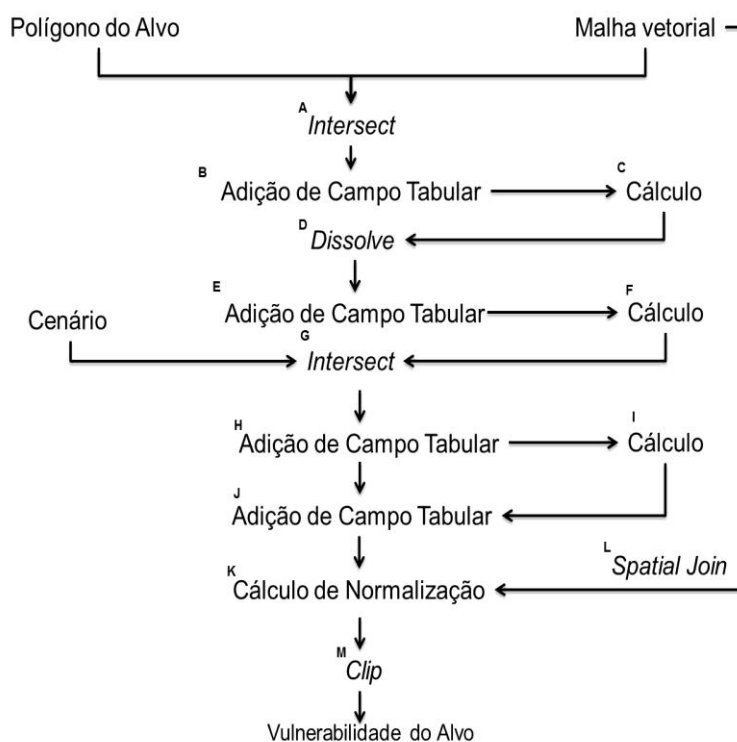


Figura 13. Fluxograma do processo de avaliação da vulnerabilidade humana.

Para os alvos humanos, primeiramente, foram interseccionados (*intersect*) os polígonos dos alvos com o polígono da malha vetorial utilizada (A), gerando um arquivo de saída.

Em seguida foram inseridos campos tabulares (B) neste arquivo de saída onde se calculou (C) a população absoluta em cada quadrante da malha, através da multiplicação da densidade demográfica do alvo com a área de cada quadrante da malha.

Para obtenção do número exato de pessoas existentes em cada quadrante foi usada a ferramenta *dissolve* (D) para a mescla das duas feições em apenas uma (no caso a do quadrante) ao mesmo tempo em que se efetuou a soma da população absoluta na área do quadrante.

Conhecida a população absoluta em cada quadrante da malha, buscou-se a densidade desta. Para isso, foi adicionado um novo campo (E) onde se dividiu a população absoluta com a área do quadrante da malha (F).

A próxima etapa foi uma nova intersecção (G), desta vez com o polígono referente à sobreposição de todos os cenários acidentais, gerando um novo arquivo de saída.

Neste novo arquivo de saída, adicionou-se um campo tabular (H) onde foi calculada (I) a população absoluta que está exposta ao cenário, multiplicando a densidade da população de cada quadrante com a área do cenário acidental, gerando mais uma vez um novo arquivo de saída.

Neste terceiro arquivo de saída adicionado um novo campo tabular (J) onde se calculou o fator de normalização (K) que nada mais é do que a divisão da população absoluta exposta ao cenário acidental pela população absoluta do quadrante.

Em seguida, foi executada a opção *spatial join* (L) para associar os novos valores dos quadrantes à feição original da malha de 100 km<sup>2</sup>.

Finalmente, foi executada a função *clip* (M) para corte ou descarte das feições espaciais não incluídas no limite municipal de Paulínia.

Desse modo é possível conhecer quão vulnerável está uma população a um cenário acidental, onde 0 significa total ausência de exposição e 1, a completa exposição ou 100% da população do quadrante da malha.

Para os alvos ambientais e materiais seguiu-se com o mesmo procedimento, porém, de maneira mais simplificada uma vez que o que se buscou foi uma relação de área exposta com a área total de cada quadrante da malha, onde, como nos alvos humanos, 0 significa total ausência de área exposta e 1, a completa exposição da área do quadrante ao cenário acidental, conforme explicitado no figura 14.

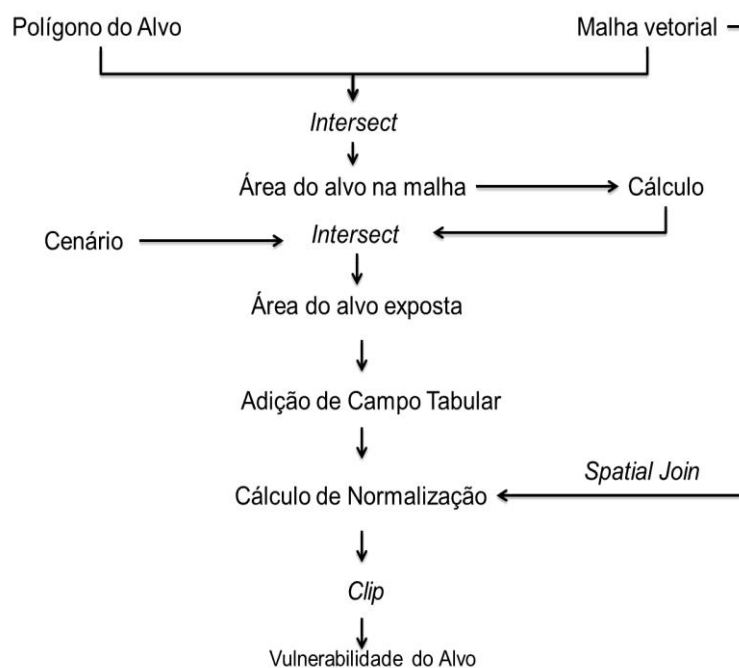


Figura 14. Fluxograma do processo de avaliação da vulnerabilidade ambiental e material.

Este processo foi inserido em uma rotina (*model builder*) que foi repetida de maneira semi-automática para cada subcategoria de alvo, totalizando doze aplicações.

É importante ressaltar que, devido à indisponibilidade de informações, não foi realizado o escalonamento de importância para os alvos materiais M2 (infraestruturas e serviços públicos) e M4 (estruturas públicas), sendo os polígonos destas categorias tratados de maneira igualitária no processo de avaliação da vulnerabilidade.



## **5. RESULTADOS E DISCUSSÃO**

### **5.1 MAPEAMENTO DAS VULNERABILIDADES**

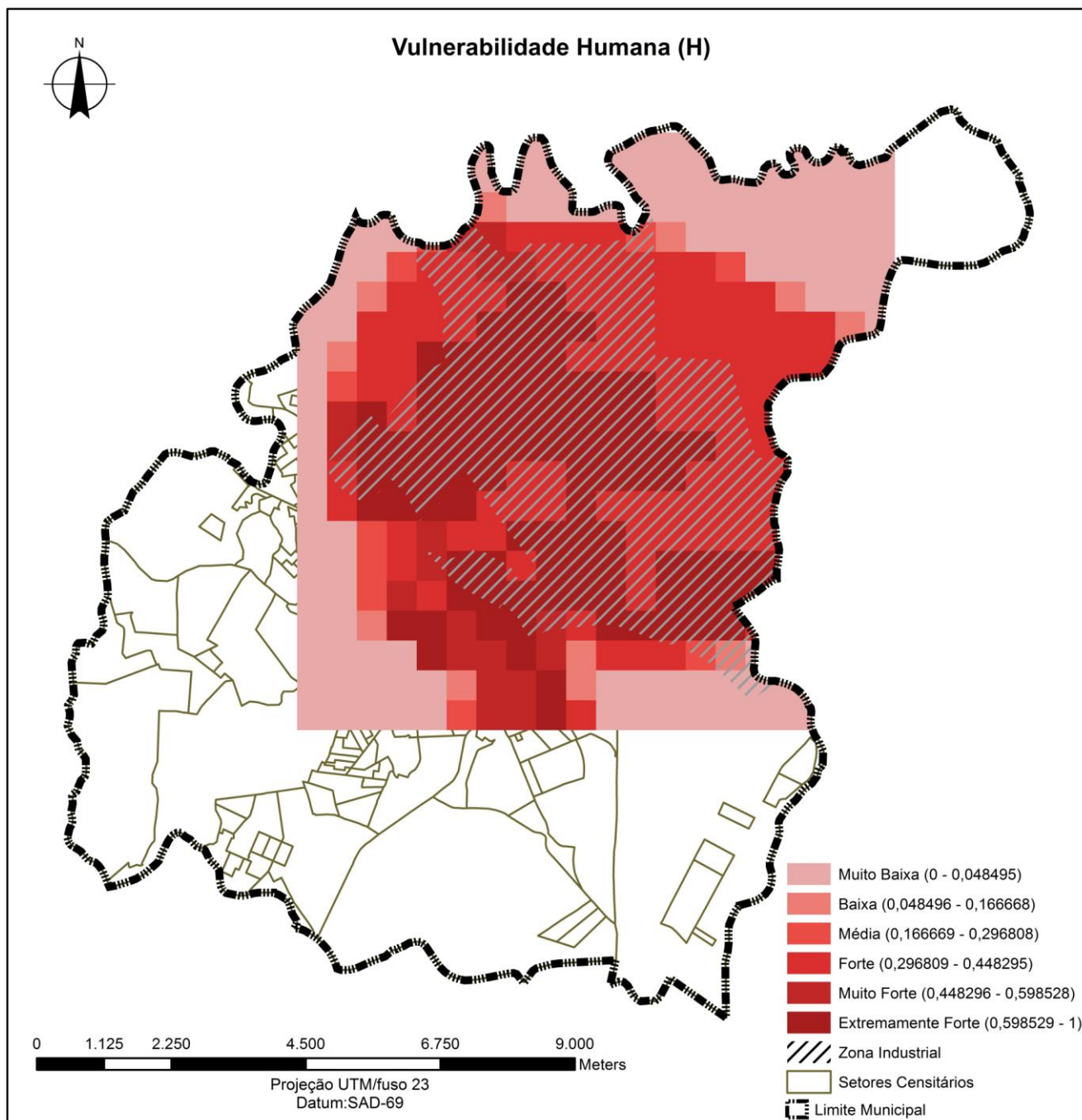
A vulnerabilidade humana (mapa 4) apresentou valores elevados para grande parte da área de estudo, sobretudo nas porções centro-oeste, sul e sudoeste, onde as classes extremamente forte e muito forte se destacam.

A disposição dos resultados é similar à área de abrangência dos cenários acidentais adotados, o que já era esperado devido às subcategorias dos alvos humanos possuírem maior cobertura espacial que as demais.

É sabido que a vulnerabilidade desta categoria está intimamente relacionada com a densidade populacional (H2) e com os trabalhadores do setor industrial (H1), o que explica a espacialização dos resultados.

Outro elemento que contribuiu para o resultado foi o VDM elevado na rodovia SP 332 (H4), que corta o município de Paulínia e também a zona industrial.

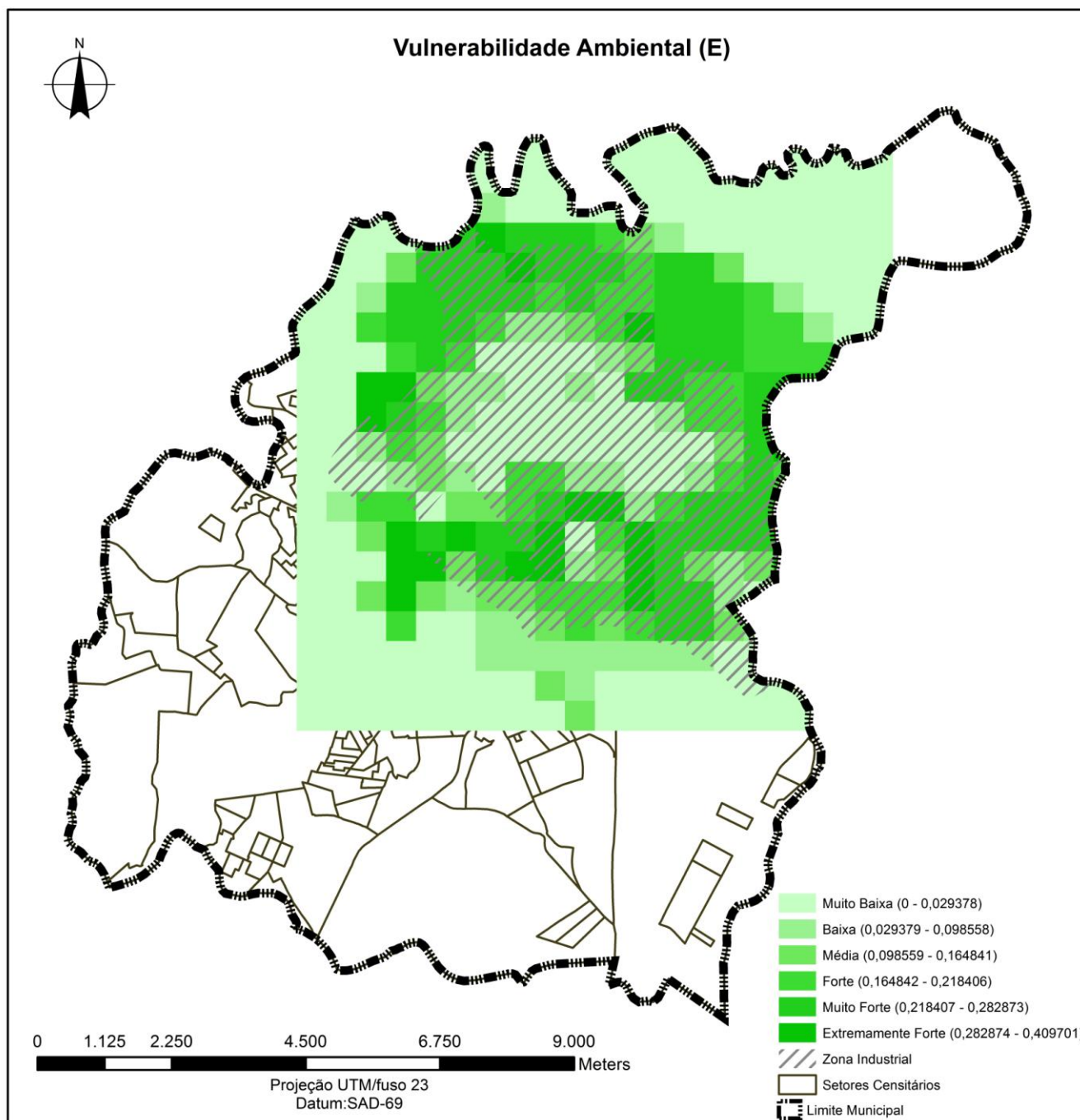
No entanto, chama a atenção a extrapolação da vulnerabilidade na zona industrial, principalmente na porção sudoeste, local onde se concentra a população em estabelecimentos públicos (H3), que, apesar de não ser muito representativa na totalidade do território do município (mapa 5) está agrupada nesta região.



Mapa 4. Vulnerabilidade humana aos acidentes tecnológicos no distrito industrial de Paulínia.

Ao analisar os resultados para a vulnerabilidade ambiental (mapa 5) verifica-se que grande parte da área de estudo apresentou valores considerados muito fortes e fortes, bem como uma tendência contrária àquela encontrada anteriormente na vulnerabilidade humana.

A presença das vulnerabilidades obedeceu a um padrão centrífugo ao núcleo industrial com destaque para as vulnerabilidades no formato de arco na porção norte da malha, região de extensas áreas agrícolas (E1).



Mapa 5. Vulnerabilidade ambiental aos acidentes tecnológicos no distrito industrial de Paulínia.

Destaca-se a presença de áreas de vulnerabilidade extremamente forte dentro da zona industrial, devido à existência do rio Atibaia (E4), que “corta” o município de leste a oeste e está inserido dentro desta zona.

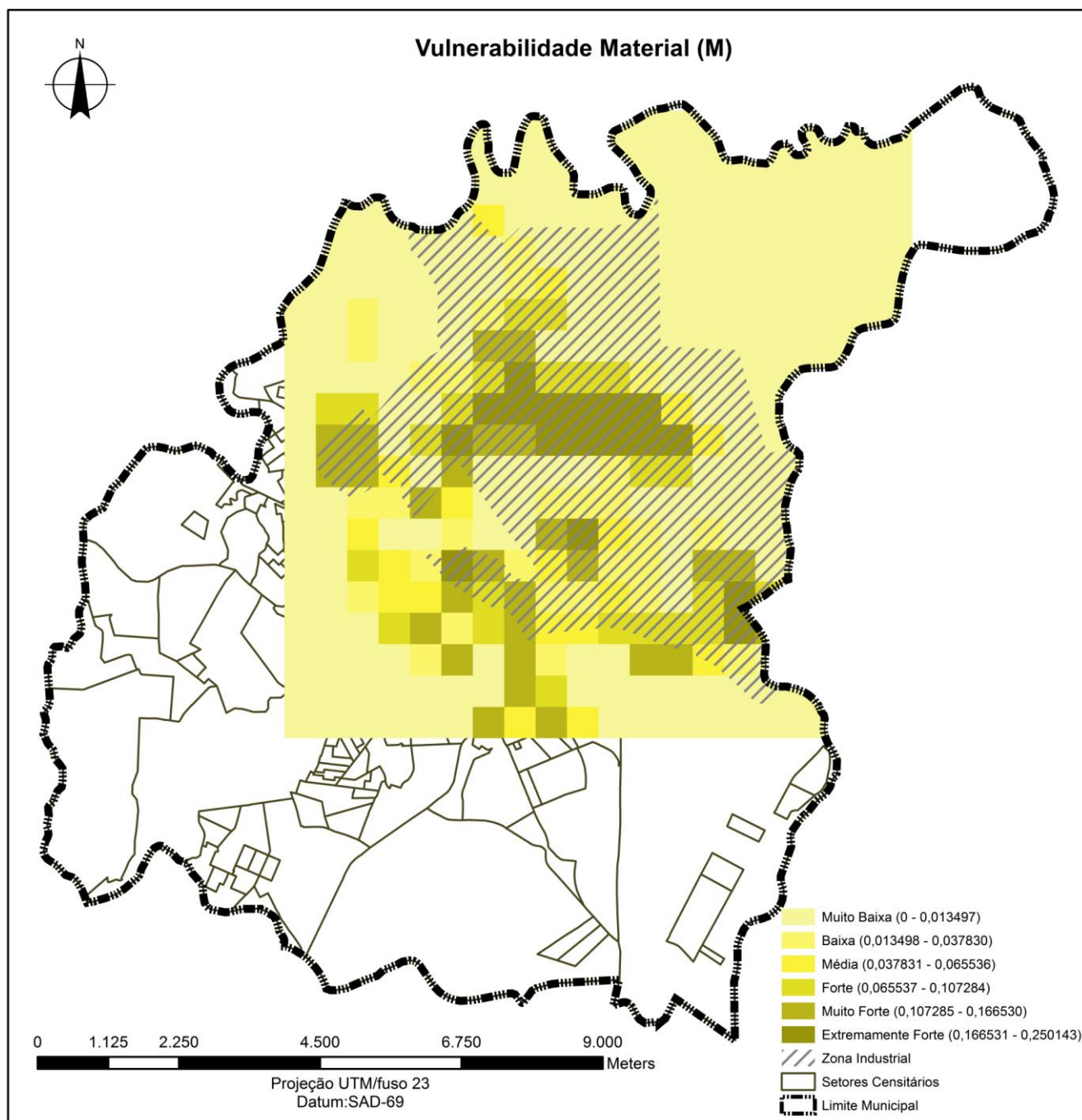
A existência de vulnerabilidades elevadas na porção norte da zona industrial é devida às parcelas do solo onde há reflorestamento, que, se utilizadas ou não para fins industriais, foram incluídas na subcategoria florestas e áreas seminaturais (E2).

A ausência da variável poluição líquida (*liquid pollution*) na composição dos cenários acidentais influenciou na não exacerbação dos resultados obtidos, uma vez que esta representa mais de 50% na avaliação da vulnerabilidade.

De qualquer forma os resultados obtidos também chamam a atenção por, assim como a vulnerabilidade humana, suplantarem os limites da zona industrial

Ao observar o mapa de vulnerabilidade material (mapa 6) nota-se que as maiores classes estão associadas às maiores extensões industriais (M1), especialmente da região da REPLAN e no seu entorno.

Destaca-se também o espalhamento dos resultados partindo do centro da zona industrial, além de uma pequena concentração na porção sul e de pontos vulneráveis no oeste e sudeste da área de estudo.



Mapa 6. Vulnerabilidade material aos acidentes tecnológicos no distrito industrial de Paulínia.

A concentração na porção sul da malha proposta é em virtude da existência de infraestruturas e serviços públicos (M2), estruturas privadas (M3) e principalmente públicas (M4).

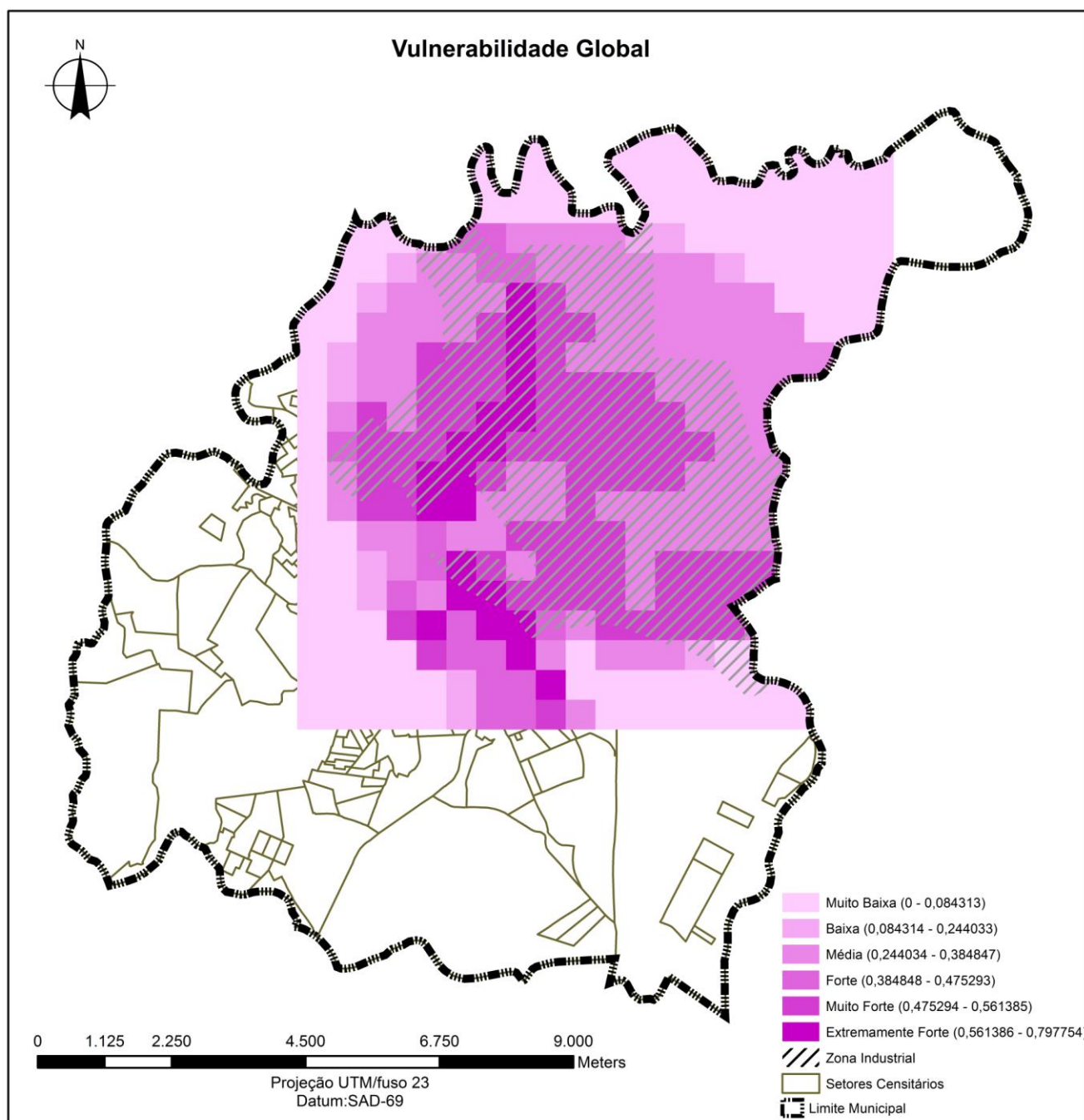
Assim como os resultados obtidos para as vulnerabilidades humana e ambiental, a material também se destaca pelo fato desta ir além da zona industrial.

Ao comparar os mapas de vulnerabilidades é possível deduzir que grande parte da configuração espacial dos valores mais elevados é bastante similar à localização dos alvos humanos e materiais, e que os maiores valores encontrados para a vulnerabilidade ambiental se especializaram de maneira oposta aos demais.

Pode-se afirmar que os mapas de vulnerabilidade traduzem bem a realidade da área de estudo, onde o caráter ambiental, apesar de possuir peso superior ao material nas equações do modelo de avaliação adotado (cerca de 20% a despeito de 5%), não é tão significativo se comparada às demais variáveis pesquisadas. No entanto, vale ressaltar que a não inclusão da variável poluição líquida (*liquid pollution*) pode ter mascarado a amenização dos resultados para esta categoria.

A reunião dos mapas de vulnerabilidade humana, ambiental e material permitiu a composição do mapa de vulnerabilidade global aos acidentes tecnológicos na área de estudo (mapa 7).

A vulnerabilidade global da área de estudo apresentou valores considerados muito fortes e fortes de maneira similar às encontradas nas vulnerabilidades humana e material e, valores baixos similares aos encontrados na vulnerabilidade ambiental.



Mapa 7. Vulnerabilidade global aos acidentes tecnológicos no distrito industrial de Paulínia.

As maiores vulnerabilidades foram observadas em porções da área de estudo que coincidem com o traçado da rodovia SP 332 (H4). Tal resultado pode ser explicado pela combinação de vulnerabilidades de alvos humanos e materiais, já que a rodovia também é considerada como um componente

dos alvos denominados como infraestruturas e serviços públicos (M2).

Ressalta-se que, a exemplo dos mapeamentos anteriores, a vulnerabilidade global também se destaca por apresentar valores que vão além das fronteiras da zona industrial delimitada para o município de Paulínia.

## **5.2 PLANEJAMENTO TERRITORIAL COMO INSTRUMENTO INIBIDOR DE VULNERABILIDADES**

Em virtude dos resultados obtidos no mapeamento das vulnerabilidades, é necessário salientar a importância do planejamento territorial como instrumento legal, capaz de mitigar as consequências de um possível acidente em uma região industrializada como a área de estudo da pesquisa.

Acidentes tecnológicos ocorrem, em sua grande maioria, devido uma decisão inicial de planejamento territorial que permitiu a alocação de uma atividade perigosa em um lugar inapropriado, ou, que não foi capaz de controlar os diversos usos do entorno, especialmente o residencial (SMITH e PETLEY 2009).

De acordo com Farias (2010) o município de Paulínia possui um preocupante histórico de tomadas de decisões acerca do zoneamento de seu território. Desde a década de 1960, o perímetro destinado ao uso urbano (o qual está inserido o uso industrial) já foi ampliado oito vezes, o último, verificado em 2005.



Segundo Galindo (2009) o aumento da área urbana sobre a zona rural tem por objetivo conferir uma área mais ampla que fica então “reservada” para o uso industrial, o que reforça o papel industrial do município de Paulínia no sistema econômico regional e nacional e potencializa as vulnerabilidades aos acidentes tecnológicos de grande porte.

Farias (2010) ainda chama a atenção ao fato de que, o uso industrial corresponde a 40% da mancha urbana do município, fator que favorece o crescimento populacional acelerado como o verificado no último censo demográfico (tabela 1). O movimento migratório, segundo o autor, já desperta preocupações sobre as transformações das formas predominantes de ocupação, que envolve um conjunto de condicionantes que vão desde as questões relativas à propriedade e uso da terra como à intervenção do poder público, à localização das atividades econômicas e até à distribuição tanto das infraestruturas como da própria população, evidenciando ainda mais a vulnerabilidade humana na área.

Fagundes (2012) aponta para o fato da REPLAN apresentar significativa dimensão territorial, sendo a responsável por grande parcela da área industrial de grande porte e que, apesar de sua alocação se encontrar em conformidade com o zoneamento previsto pela legislação de Paulínia, a magnitude do complexo petroquímico, em termos de área e principalmente em termos da produção de artigos derivados de petróleo, demanda a existência da garantia de uma fiscalização efetiva quanto aos impactos desse uso nas imediações, devido à potencialidade de ocorrer problemas de ordem socioambiental.

No que se refere à gestão de acidentes tecnológicos como os passíveis de ocorrer na área de estudo, o objetivo do planejamento territorial é a redução dos riscos associados à localização de instalações perigosas e a minimização das consequências de possíveis acidentes. Para isso, lança mão de instrumentos legais, a fim de que conseguir uma maneira de separar áreas densamente povoadas de atividades nocivas ao homem, assim como as vias de transportes associadas.

Na tentativa de incorporar tais diretrizes em planejamentos territoriais, várias abordagens que vão nessa direção têm sido utilizadas em países da Europa e nos EUA. Uma delas consiste na delimitação de zonas no entorno de plantas industriais, com diferentes restrições de uso e ocupação do solo, de acordo com níveis de riscos e ou consequências toleráveis (CHRISTOU 2006; COZZANI et al 2006, SMITH e PETLEY 2009).

A política de planejamento territorial do município de Paulínia não tem contemplado estas zonas de restrições no entorno de suas plantas industriais - prática que deveria ser adotada frente aos resultados alcançados no presente trabalho, onde chama a atenção o fato de que, em todos os mapas de vulnerabilidade o limite industrial foi superado, atingindo consideravelmente o entorno.

A preocupação a respeito da extrapolação das vulnerabilidades do distrito industrial de Paulínia já foi observada por Oliveira Jr. (2008), que discorre sobre quão importante deverá ser o ordenamento das atividades industriais do município, uma vez que seu parque industrial é relativamente recente, porém com grande potencial de expansão em virtude da

presença da REPLAN, considerada a maior refinaria da América Latina.

Ainda que algumas características da vulnerabilidade do entorno sejam levadas em conta, como o grau de preparação frente a situações emergenciais e os aspectos sociais da comunidade local, o uso do solo é o fator primordial em questões que envolvam planejamento territorial e acidentes tecnológicos (COZZANI, 2006).

## **6. CONSIDERAÇÕES FINAIS**

A ocorrência de acidentes tecnológicos e a gravidade de danos que tais eventos podem causar à saúde humana e ao ambiente tem sido motivo de grande apreensão na sociedade atual. Muitos países já mapeiam as vulnerabilidades do entorno de suas plantas industriais, contribuindo para o entendimento da gênese dos riscos envolvidos e melhorando constantemente as práticas de gerenciamento no setor. No entanto, no Brasil, avaliações e mapeamento de vulnerabilidades em áreas circunvizinhas aos distritos industriais ainda são esparsos, mas podem fornecer valiosos subsídios na formulação de estratégias de controle e prevenção de acidentes além de contribuir para políticas públicas que abordem a temática, como em planejamentos territoriais.

O esforço empreendido nesta pesquisa procurou de alguma forma colaborar na difusão e inclusão do tema em um recorte da realidade onde o perigo é verdadeiro e iminente.

Pelo que foi exposto, é possível afirmar que o objetivo geral da pesquisa foi alcançado, uma vez que foi aplicado o modelo proposto para avaliação da vulnerabilidade na área de estudo.

Em relação aos objetivos específicos, estes também foram atingidos. A identificação dos alvos mais sensíveis à ocorrência grandes acidentes tecnológicos em distritos industriais de grande porte foi realizada, conforme explicitados nos mapeamentos dos alvos da área de estudo. Entretanto, os resultados poderiam ser aprimorados caso houvesse a disponibilização de um banco de

dados mais confiáveis acerca dos elementos selecionados para composição dos alvos, principalmente acerca dos alvos materiais, onde a existência de um cadastro técnico multifinalitário forneceria informações valiosas.

O modelo se mostrou viável de ser aplicado em qualquer realidade, inclusive a brasileira, uma vez que é conceitual. A visualização das equações que compõem os pesos pode ser modificada desde que mantida a condição adimensional para o cálculo da vulnerabilidade. Sua aplicabilidade em ambiente SIG é outra versatilidade, se considerarmos que a disponibilidade de programas *open source* e gratuitos para geoprocessamento é vasta e tende a crescer no setor de geotecnologias.

O modelo fornece subsídios preciosos que podem ser inseridos em instrumentos de gestão do uso do solo no entorno de áreas industriais, pois os resultados são em formato de mapas acessíveis e de fácil interpretação para todas as entidades que estão envolvidas em processos como este.

Diante da exposição dos resultados, as seguintes considerações são proeminentes:

1. A reavaliação do atual zoneamento do município, observando as áreas vulneráveis aos acidentes tecnológicos do distrito industrial;
2. A incorporação da avaliação da vulnerabilidade no entorno de plantas industriais na política de planejamento territorial de Paulínia.

As limitações da pesquisa foram:

- A indisponibilidade de dados referentes aos cenários acidentais das instalações industriais da REPLAN, que prejudicaram a composição das distâncias de abrangências dos cenários acidentais;
- A falta de um cadastro técnico multifinalitário do município, que aprimoraria a informação dos alvos selecionados;
- A indisponibilidade de dados referente ao efeito físico poluição líquida (liquid pollution) que influenciou diretamente o mapa de vulnerabilidade ambiental (50% do peso)
- A não inclusão de um efeito combinado ou dominó nas equações do modelo;
- A indisponibilidade de um trabalho de campo na região, que permitiria a percepção não abstrata da área de estudo;
- A falta de uma metodologia que levasse em conta o transporte rodoviário e dutoviário, além da população flutuante para a composição das vulnerabilidades.

## **6.1 RECOMENDAÇÕES**

Recomendam-se as seguintes propostas para trabalhos futuros:

- A aplicação do mesmo modelo utilizando dados mais acurados e confiáveis, fazendo uso de todas as variáveis da metodologia;
- A aplicação do modelo em outras áreas industriais como as refinarias de Cubatão, Mauá e São José dos Campos;
- O desenvolvimento de um SIG gratuito e específico com base na metodologia proposta que permita a avaliação da vulnerabilidade de maneira automatizada e rápida, mas que, principalmente, espalhe a cultura de avaliação de vulnerabilidades próprias para acidentes tecnológicos no Brasil.

## 7 REFERÊNCIAS

ALVES, H. P. F. Vulnerabilidade socioambiental na metrópole paulistana: uma análise sociodemográfica das situações de sobreposição espacial de problemas e riscos sociais e ambientais. **Revista Brasileira de Estudos da População**. São Paulo, vol. 23, n. 1, p. 43-59. 2006.

BLAIKIE, P. **At Risk: natural hazards, people's vulnerability and disasters**. London: Routledge, 1996.

BRASIL. **Ministério do trabalho e emprego**. Disponível em: <<http://portal.mte.gov.br/portal-mte/>> Acesso em: 13 fev.de 2012.

BARGOS, D. C. **Mapeamento e Análise das Áreas Verdes Urbanas como Indicador da Qualidade Ambiental Urbana: estudo de caso de Paulínia-SP**. 2010. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Instituto de Geociências, Universidade Estadual de Campinas, Campinas.

BROUGHTON, E. The Bhopal disaster and its aftermath: a review. **Environmental Health: A Global Access Science Source**. 2005, 4:6. Disponível em <<http://www.ejournal.net/content/4/1/6>>. Acesso em: 12 set. 2012.

BURG, J. Measuring populations' vulnerabilities for famine and food security interventions: the case of Ethiopia's Chronic Vulnerability Index. **Disasters**. Vol. 32, n. 4, p.609-630. 2008.



CAMPOS, F.F. **Análise da relação entre as áreas de preservação permanente (APPS) e a qualidade da água fluvial no município de Paulínia (SP).** Trabalho de conclusão de curso. Universidade de Campinas, 2011.

CARTIER, R.; BARCELLOS, C.; HÜBNER, C.; PORTO, M. F. Vulnerabilidade social e risco ambiental: uma abordagem metodológica para avaliação ambiental. **Cadernos de Saúde Pública.** Rio de Janeiro, vol. 25, n. 12, p.2695-2704. 2009.

CETESB. **Relatório de emergências químicas atendidas pela CETESB em 2010.** São Paulo, 2011.

CHRISTOU, M. **Industrial and Environmental Risks.** Joint Research Centre. European Commission, 2006a.

CHRISTOU, M.D., Struckl, M, Biermann, T. **Land-Use Planning Guidelines in the context of article 12 of the Seveso II Directive 96/82/EC as amended by Directive 105/2003/EC.** Joint Research Centre. Of European Commission; 2006b.

CHRISTOU, M. D., Porter, S. **Guidance on land Use Planning as required by council directive 96/82/EC (SEVESO II),** Institute for Systems Informatics and Safety, 1999.

COZZANI, V. et al. Application of land-use planning criteria for the control of major accident hazards: A case-study. **Journal of Hazardous Materials,** A 136, 2006; p170-180.

CRUZ, A.M.; STEINBERG, L.J.; VETERE-ARELLANO, A.L. Emerging Issues for Natech Disaster Risk Management in Europe. **Journal of Risk Research**. Vol. 9, n. 5, p.483-501. 2006.

DER/SP. **Volume diário médio de tráfego**. Departamento de Estradas e Rodagem. Secretaria dos Transportes. Governo do Estado de São Paulo. Disponível em <<http://www.der.sp.gov.br/website/Malha/vdm.aspx>>. Acesso em 15 fev.2013.

EEA – European Environment Agency. **Mapping the impacts of recent natural disasters and technological accidents in Europe. Environmental Issue Report**. Copenhagen, 2003.

EEA – European Environment Agency. **Mapping the impacts of recent natural disasters and technological accidents in Europe. An Overview of the last decade**. Copenhagen, 2010.

FAGUNDES, C.A. **Análise do uso da terra intraurbano na cidade de Paulínia (SP): Uma contribuição teórico-metodológica**. Dissertação de mestrado (mestrado em Geografia), Universidade de Campinas, 2012.

FARIAS, F.O. **Análise do processo de instalação e expansão dos loteamentos fechados horizontais de alto padrão na cidade de Paulínia**. Trabalho de conclusão de curso. Universidade de Campinas, 2010.

FREITAS, C. M. PORTO, M. F. S.; GOMEZ, C. M. Acidentes químicos ampliados: um desafio para a saúde pública. **Revista da Saúde Pública**, Rio de Janeiro, v. 29, n. 6, p. 503-514, ago. 1995.

FREITAS, C. M. PORTO, M. F. S.; MACHADO, J. M. H. **Acidentes industriais ampliados**. Rio de Janeiro: Editora Fiocruz. 2000.

GALINDO, C. de A. **Diagnóstico do uso da terra no município de paulínia (sp) frente às proposições do plano diretor municipal (2006)**. Relatório de Iniciação Científica PIBIC/CNPq, Universidade de Campinas, 2009.

GUHA-SAPIR, D.; LLANES, J. M. R.; JAKUBICKA, T. Using disaster footprints, population databases and GIS to overcome persistent problems for human impact assessment in flood events. **Natural Hazards**. Vol. 58, n. 3. P.845-852. 2011.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Censo Demográfico 2010**. Resultados do universo. Disponível em: <[http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/populacao/censo2010/default\\_resultados\\_universo.shtm](http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/populacao/censo2010/default_resultados_universo.shtm)>. Acesso em: 15 fev.2012.

JOINT RESEARCH CENTRE. **Accidental Risk Assessment Methodology for Industries in the Context of the Seveso II Directive- ARAMIS PROJECT**. European Commission: 5th Framework Programme, 2002.

OLIVEIRA JR, M.A.R.. **Geoprocessamento como ferramenta de análise integrada de riscos de acidentes industriais**. 2008. 119 p. Dissertação (Mestrado em Saúde Pública) – Faculdade de Saúde Pública, Universidade de São Paulo, São Paulo.

KHAN, F.I.; ABBASI S.A. The World's Worst Industrial Accident of 1190s. **Process Safety Progress**, n. 3, vol. 18, p. 135 – 145. 1999a.

KHAN, F.I.; ABBASI S.A. TORAP – a new tool for conducting rapid risk assessment in petroleum refineries and petrochemical industries. **Journal of Loss Prevention in the Process Industries**. n.12, p. 299-313. 1999b.

KREJSA, P. e CONVENER OF INTERNATIONAL WORKING GROUP. **Report on early warning for technological hazards**. Austria Research Centre Seibersdorf. Austria, 2007. 31 p.

KUMPULAINEN, S. 2006. Vulnerability concepts in hazard and risk assessment. in: Schmidt-Thome, P. (ed.): Natural and technological hazards and risks affecting the spatial development of European regions. **Geological Survey of Finland**, Special Paper 42, p.65–74. 2006.

LI, F.; BI, J.; HUANG, L.; QU, C.; YANG, J.; BU, Q. Mapping human vulnerability to chemical accidents in the vicinity of chemical industry parks. **Journal of Hazardous Materials**. Holanda, n. 179, p.500-506, 2010.

MARTÍNEZ-ALEGRÍA, R.; ORDOÑES, C.; TABOADA, J. A conceptual model for analyzing the risks in the transportation of hazardous goods: implementation in a Geographic Information System. **Human and Ecological Risk Assessment**. Philadelphia, v.9, n.3, p.857-879. 2003.

MENDOZA-CANTÚ, A.; HEYDRICH, S. C.; CERVANTES, I. S.; OROZCO, O. O. Identification of environmentally vulnerable areas with priority for prevention and management of pipeline crude oil spills. **Journal of Hazards Materials**, n.92, p.1706-1713. 2011.

OLIVEIRA, C. de **Dicionário Cartográfico**. Rio de Janeiro: IBGE. 1983

PORTO, M.F.S. **Uma ecologia política dos riscos**. Rio de Janeiro: Editora Fiocruz. 2007.

PORTO, M.F.S.; FREITAS, C. M. de (Org.). **Problemas ambientais e vulnerabilidades: abordagens integradoras para o campo de saúde pública**. Rio de Janeiro: CESTE/ENSP/FIOCRUZ, 2002.

REID, C.; O'NEILL, M. S.; GRONLUND, C. J.; BRINES, S. J.; BROWN, D. G.; DIEZ-ROUX, A. V. Mapping Community Determinants of Heat Vulnerability. **Environmental Health Perspectives**. Vol. 117, n. 11, p.1730 – 1736. 2009.

ROCHA, A. A. e CESAR, C. L. G. (Org.). **Saúde pública: bases conceituais**. São Paulo: Editora Atheneu, 2008.

ROCHA JR., E.; COSTA, M. C. M.; GODINI, M. D. Acidentes ampliados e as normas internacionais: *Diretiva de Seveso* e a Convenção n. 174 da Organização Internacional do Trabalho – OIT. **II Workshop de Gestão Integrada: Risco e Sustentabilidade. São Paulo, 19 e 20 de maio de 2006.**

SEADE – Fundação Sistema Estadual de Análise de Dados. **Perfil Municipal.** Disponível em: <<http://www.seade.gov.br/produtos/perfil/>>. Acesso em : 14 fev. 2013.

SMITH, K.; PETLEY, D. N. **Environmental hazards: assessing risk and reducing disaster.** London: Routledge, 2009.

TIXIER, J.; DANDRIEUX, A.; DUSSERE, G; BUBBICO, R.; MAZZAROTTA, B.; SILVETTI, B.; HUBERT, E.; RODRIGUES, N.; SALVI, O. Environmental vulnerability assessment in the vicinity of an industrial site in the frame of ARAMIS European project. **Journal of Hazards Materials**, n.130, p.251-264. 2006.

TOMINAGA, L. K.; SANTORO, J.; AMARAL, R. (Orgs). **Desastres Naturais: conhecer para prevenir.** São Paulo: Instituto Geológico, 2009. 200 p.

UNITED NATIONS INTERNATIONAL STRATEGY REDUCTION. **2009 UNISDR Terminology on Disaster Risk Reduction.** Geneva, 2009. 29 p.

UNITED NATIONS INTERNATIONAL STRATEGY FOR DISASTER REDUCTION. **Living with risk: a global review of disaster initiatives.** New York e Geneva, 2004. 429 p.

VALLE, C, E; LAGE, H. **Meio Ambiente: Acidentes, lições, e soluções.** São Paulo: Editora Senac, 2003.

VEYRET, Y. (org.). **Os riscos: o homem como agressor e vítima do meio ambiente.** São Paulo, Editora Contexto, 2007.

WORLD HEALTH ORGANIZATION. **Community emergency preparedness: a manual for managers and policy-makers.** Geneva, 1999. 141 p.

WORLD HEALTH ORGANIZATION. **International Programme on Chemical Safety - Risk Assessment Terminology.** Geneva, 2004. 117 p.

YOUNG, S.; BALLUZ, L.; MALILAY, J. Natural and technologic hazardous material releases during and after natural disasters: a review. **Science of the Environmental**, Atlanta, n. 322, p.3-20, jul. 2004.