

UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO

CENTRO ACADÊMICO DO AGRESTE

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO

**GERENCIAMENTO DE RISCOS EM DESASTRES
NATURAIS: DIAGNÓSTICO DO CONTEXTO ATUAL
BASEADO NUMA REVISÃO SISTEMÁTICA DA
LITERATURA SOBRE EVENTOS NATECH**

KAYO RENATO DA SILVA NASCIMENTO

Orientador: Prof. Marcelo Hazin Alencar, DSc.

CARUARU

2016

UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO

CENTRO ACADÊMICO DO AGRESTE

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO

**GERENCIAMENTO DE RISCOS EM DESASTRES
NATURAIS: DIAGNÓSTICO DO CONTEXTO ATUAL
BASEADO NUMA REVISÃO SISTEMÁTICA DA
LITERATURA SOBRE EVENTOS NATECH**

DISSERTAÇÃO SUBMETIDA À UFPE
PARA OBTENÇÃO DE GRAU DE MESTRE
POR

KAYO RENATO DA SILVA NASCIMENTO

Orientador: Prof. Marcelo Hazin Alencar, DSc.

CARUARU, MARÇO / 2016

Catálogo na fonte:
Bibliotecária – Simone Xavier CRB/4 - 1242

N244g Nascimento, Kayo Renato da Silva.
Gerenciamento de riscos em desastres naturais: diagnóstico do contexto atual baseado numa revisão sistemática da literatura sobre eventos da Natech. / Kayo Renato da Silva Nascimento. – 2016.
90f. il. ; 30cm.

Orientador: Marcelo Hazin Alencar
Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Pernambuco, CAA, Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção, 2016.
Inclui Referências.

1. Avaliação de riscos ambientais. 2. Catástrofes naturais. 3. Gestão ambiental. I. Alencar, Marcelo Hazin (Orientador). II. Título.

620 CDD (23. ed.) UFPE (CAA 2016-061)

UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO
CENTRO ACADÊMICO DO AGRESTE
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO

DEFESA DE DISSERTAÇÃO DE MESTRADO DE

KAYO RENATO DA SILVA NASCIMENTO

**“GERENCIAMENTO DE RISCOS EM DESASTRES NATURAIS:
DIAGNÓSTICO DO CONTEXTO ATUAL BASEADO NUMA REVISÃO
SISTEMÁTICA DA LITERATURA SOBRE EVENTOS NATECH”**

ÁREA DE CONCENTRAÇÃO: OTIMIZAÇÃO E GESTÃO DA PRODUÇÃO.

A comissão examinadora composta pelos professores abaixo, sob a presidência do primeiro, considera o candidato KAYO RENATO DA SILVA NASCIMENTO **APROVADO**.

Caruaru, 11 de Março de 2016.

Prof. MARCELO HAZIN ALENCAR, DSc. (UFPE)

Prof. THALLES VITELLI GARCEZ, DSc. (UFPE)

Prof. ANTÔNIO ACÁCIO DE MELO NETO, DSc. (UFPE)

Dedico esse trabalho a minha mãe, Lúcia e a minha avó, Lurdes que estiveram ao meu lado, me apoiando e incentivando mesmo quando estive ausente na vida delas.

“O conhecimento serve para encantar as pessoas, não para humilhá-las.” (Mário Sérgio Cortella)

AGRADECIMENTOS

Gostaria de agradecer a todos meus colegas, professores e funcionários do programa de pós-graduação em engenharia de produção da Universidade Federal de Pernambuco – UFPE do Centro Acadêmico do Agreste que durante esse curto período me proporcionou um oportunidade de desenvolvimento acadêmico e pessoal único. Não poderia deixar de agradecer também a Fundação de Amparo à Ciência e Tecnologia – FACEPE, que acreditou na relevância desse trabalho mesmo antes de ter sido contemplado para tal responsabilidade. E finalmente a meu digníssimo orientador Marcelo Hazin Alencar, que teve paciência e sabedoria para me conduzir e tranquilizar nos momentos em que apresentei dificuldades, sempre sendo empático e humilde, estando sempre a disposição para diálogos construtivos que enriqueceram o nosso trabalho.

RESUMO

Os grandes impactos causados pela ocorrência dos eventos naturais em plantas industriais em todo o mundo tem feito com que este campo de estudo ganhe destaque nos últimos anos dado as perdas financeiras, humanas e ambientais que este tipo de evento pode acarretar. Os eventos provenientes de desastres naturais que proporcionam desastres tecnológicos são conhecidos como desastres/eventos *Natech*. Os eventos *Natech* apesar da baixa probabilidade de ocorrência apresentam grandes impactos e um nível de complexidade superior ao encontrado no gerenciamento de desastres naturais ou tecnológicos. Devido à necessidade de gerir vários tipos de riscos e dada a natureza finita dos recursos é necessário priorizar os riscos mais elevados e para auxiliar nessa análise dos riscos, é fundamental a utilização de ferramentas e metodologias que proporcionarão uma melhor compreensão dos desastres/eventos *Natech*.

Neste sentido, é realizada uma revisão sistemática da literatura (*Systematic Literature Review – SLR*) sobre eventos *Natech*, levando em conta especificamente, trabalhos publicados em periódicos científicos. Vários tipos de classificações dos dados analisados são apresentados neste trabalho com o intuito de prover informação mais detalhada acerca de aspectos considerados no estudo.

Esta pesquisa identificou a frequência de publicações dos eventos *Natech*, as revistas científicas e instituições que mais contribuíram sobre tema e os tipos de desastres naturais e setores da indústria mais abordados nos trabalhos avaliados, como também os tipos de ferramentas e metodologias utilizadas no gerenciamento destes riscos provendo informações relevantes para análises futuras e contribuindo para elucidação acerca do tema para a sociedade.

Palavras-chave: Risco; *Natech*; Desastres Naturais; Desastre Tecnológico; Revisão Sistemática da Literatura.

ABSTRACT

The great impacts caused by the occurrence of natural events in industrial plants around the world have made this field of study to gain prominence in recent years given the financial, human and environmental losses that this type of event can bring. The events arising from natural disasters that provide technological disasters are known as Natech disaster/events. The Natech events in spite of low probability of occurrence have large impacts and a higher level of complexity to that found in the management of natural and technological disasters. Due to the need to manage several types of risk and given the finite nature of resources is necessary to prioritize the higher risks and to assist in the analysis of the risks, it is essential to use tools and methodologies that will provide a better understanding of Natech disasters/events.

In this sense, a Systematic Literature Review (SLR) is performed on Natech events, taking into account specifically, papers published in scientific journals. Several types of classifications of the analyzed data is presented this work in order to provide more detailed information about aspects considered in the study.

This research has identified the frequency of publications of Natech events, scientific magazines and institutions that contributed to the theme and the types of natural disasters and industry sectors most discussed in this work, as well as the types of tools and methodologies used in the management of these risk giving relevant information for further analysis and contributing to elucidate the subject for society.

Keywords: Risk; Natech; Natural Disasters; Technological Disaster; Systematic Literature Review.

SUMÁRIO

1.	INTRODUÇÃO	1
1.1	Relevância e contribuição do estudo	1
1.2	Objetivos do trabalho	3
1.2.1	Objetivo geral	3
1.2.2	Objetivos específicos	3
1.3	Estrutura da dissertação	4
2.	METODOLOGIA	5
2.1	Revisão sistemática da literatura (Systematic Literature Review – SLR)	5
2.1.1	Planejamento da revisão	9
2.1.2	Condução da revisão	12
2.1.3	Encerramento da revisão	16
2.2	Conclusão do capítulo	16
3.	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	17
3.1	Risco	17
3.2	Gerenciamento do risco	19
3.3	Vulnerabilidade	21
3.4	Desastre	23
3.4.1	Desastre natural	26
3.4.2	Desastre tecnológico	29
3.5	Eventos Natech	31
3.6	Ferramentas e metodologias	33

3.6.1	Sistemas de informação geográfica (Geographical Information Systems – GIS)	33
3.6.2	Análise quantitativa de risco (Quantitative Risk Assessment – QRA)	34
3.6.3	Análise da árvore de eventos (Event Tree Analysis – ETA)	35
3.6.4	Análise da árvore de falhas (Fault Tree Analysis – FTA)	36
3.6.5	Matriz de Risco	37
3.7	Conclusão do capítulo	38
4.	REVISÃO DA LITERATURA	39
4.1	Conclusão do capítulo	43
5.	APRESENTAÇÃO DOS RESULTADOS E DISCUSSÕES	45
5.1	Frequência de publicação por ano	45
5.2	Frequência de publicação por revista	46
5.3	Distribuição dos artigos por instituição de pesquisa	48
5.4	Distribuição de artigos por tipo de desastre natural	51
5.5	Distribuição de artigos por setor industrial	53
5.6	Distribuição de artigos por ferramentas/metodologias	55
5.7	Conclusão do capítulo	60
6.	CONCLUSÕES E SUGESTÕES PARA FUTUROS TRABALHOS	62
	REFERÊNCIAS	66
	APÊNDICE 1	76

LISTA DE FIGURAS

<i>Figura 2.1 – Uma orientação sistemática para desenvolver uma revisão da literatura</i>	7
<i>Figura 2.2 – Estágios da revisão sistemática da literatura</i>	9
<i>Figura 2.3 – Roteiro para as etapas da revisão sistemática da literatura</i>	11
<i>Figura 2.4 – Fluxograma do processo de seleção de artigos</i>	14
<i>Figura 3.1 – Formação e gerenciamento do risco</i>	19
<i>Figura 3.2 – Processos para gerenciamento do risco</i>	20
<i>Figura 3.3 – Dano estimado (bilhões de US\$) causado por desastres naturais relatados entre 1960 e 2014</i>	27
<i>Figura 3.4 – Mapa continental com o número total de mortes em desastres naturais entre 1900 e 2015</i>	28
<i>Figura 3.5 – Número de pessoas mortas por desastres tecnológicos entre 1960 e 2014</i>	31
<i>Figura 5.1 – Artigos publicados por ano e base de pesquisa entre 2000 e 2015</i>	45
<i>Figura 5.2 – Frequência de publicações por tipo de desastre natural entre 2000 e 2015</i>	51
<i>Figura 5.3 – Frequência de publicações por setor entre 2000 e 2015</i>	53
<i>Figura 5.4 – Número de publicações entre desastres naturais e setores industriais</i>	54
<i>Figura 5.5 – Relação de publicações entre setor industrial, desastre natural e ferramentas / metodologias</i>	59
<i>Figura 5.6 – Relação entre as publicações por ano e as ferramentas/metodologias</i>	60

LISTA DE TABELAS

<i>Tabela 5.1 – Número de artigos publicados por revista</i>	47
<i>Tabela 5.2 – Número de artigos publicados por instituição de pesquisa</i>	49
<i>Tabela 5.3 – Número de artigos publicados por nacionalidade da instituição</i>	50
<i>Tabela 5.4 – Número de tipos de desastres naturais por artigos publicados</i>	52
<i>Tabela 5.5 – Número de tipos de desastres tecnológicos por artigos publicados</i>	55
<i>Tabela 5.6 – Número de ferramentas/metodologia utilizadas por artigos</i>	56
<i>Tabela 5.7 – Número de tipos de desastres por artigos publicados</i>	57
<i>Tabela 5.8 – Resumo das hipóteses levantadas</i>	61

1. INTRODUÇÃO

As mudanças climáticas e os desastres naturais têm se tornado temas cada vez mais relevantes para governos, comunidades internacionais, cientistas e agências de gerenciamento de emergências, que buscam formas para responder sobre potenciais consequências provenientes desses acontecimentos. Segundo dados do EM-DAT (2015), os desastres naturais vêm se tornando cada vez mais frequentes, chegando a afetar mais de 1.8 milhão de pessoas na última década e vitimar pouco mais de 1 milhão, proporcionando um prejuízo de aproximadamente 1.7 trilhão de dólares.

O aumento da frequência de eventos naturais graves causados pelas mudanças climáticas levantou uma preocupação com a possível interferência destes perigos nas atividades industriais. De acordo com de Almeida et al. (2015), uma situação mais crítica está relacionada à ocorrência de um desastre natural numa zona industrial, o que aumenta a chance da ocorrência de eventos com consequências catastróficas. Krausmann & Mushtaq (2008) afirmam que os desastres naturais têm potencial para desencadear acidentes tecnológicos de severas consequências para a população e/ou para o meio ambiente, ocorrendo em função da liberação de materiais perigosos processados ou armazenados em determinada região. Os eventos provenientes de desastres naturais que proporcionam desastres tecnológicos são conhecidos como desastres/eventos *Natech*.

O risco *Natech* se difere do risco tecnológico ou do natural devido a características mais complexas e requer uma abordagem de gerenciamento dos riscos mais específica. De acordo com de Almeida et al. (2015), nas últimas décadas a condução de estudos para a análise e o gerenciamento dos riscos tem se tornado uma atividade cada vez mais complexa, tornando-se importante em diferentes esferas da sociedade. Okabe & Ohtani (2009) expõem que o fato de lidar com vários tipos de riscos e dada a natureza finita dos recursos (pessoas, materiais, recursos financeiros, etc), o desenvolvimento de planos de gestão de risco são extremamente importantes, nos quais medidas são definidas para priorizar os riscos mais elevados e, para auxiliar nessa análise dos riscos, é fundamental a utilização de ferramentas e metodologias que proporcionarão uma melhor compreensão dos desastres/eventos *Natech*.

1.1 Relevância e contribuição do estudo

Alguns eventos ocorridos durante a história evidenciam a importância de estudá-los mais a fundo, os eventos *Natech*, que, apesar da sua baixa probabilidade de ocorrência,

apresentam grandes impactos e um nível de complexidade superior ao encontrado no gerenciamento de desastres naturais ou tecnológicos.

Girgin (2011) descreveu o terremoto Kocaeli em 17 de agosto de 1999 como um dos desastres naturais mais devastadores na história da Turquia, provocando cerca de 17.500 mortos e 44.000 feridos, afetando 15 milhões de pessoas, resultando em danos materiais totais de mais de 15 bilhões de dólares. A área atingida pelo terremoto era um dos centros industriais do país densamente povoado, responsável por 35% do produto nacional bruto. O terremoto causou danos estruturais significativos nas instalações industriais com avarias em máquinas e equipamentos, o que levou a vários eventos secundários, que vão desde liberações de substâncias perigosas até enormes incêndios. Entre esses eventos, dois foram especialmente notáveis devido às suas extensões e consequências: o grande incêndio na refinaria Tupras Izmit em Korfez, e o derramamento de acrilonitrilo na planta de produção AKSA de fibra acrílica em Ciftlikkoy. O incêndio na refinaria durou cinco dias e só pôde ser extinto com o apoio internacional. O vazamento de 6.500 t de acrilonitrilo, uma substância tóxica que vitimou animais domésticos, afetou as atividades agrícolas, pôs em perigo a saúde pública, e resultou na poluição ambiental que exigiu 5 anos de tratamento contínuo para se recuperar. Ambos os eventos necessitaram da evacuação dos assentamentos nas imediações das instalações que dificultaram as operações de busca e salvamento.

Krausmann et al. (2010) relataram que em 12 de maio de 2008, às 14h28min, hora local, um grande terremoto devastou a área de Wenchuan na província de Sichuan no coração da China. O terremoto afetou uma área total de cerca de 500.000 km², vitimando aproximadamente 70.000 pessoas, ferindo mais de 374 mil e deixando 5 milhões de desabrigados. Como a província de Sichuan é responsável por uma parte significativa da produção química chinesa, instalações industriais também foram afetadas pelo terremoto. Em particular, empresas produtoras de fertilizantes nas regiões Shifang, Deyang e Mianyang. Assim, a preocupação sobre os danos desencadeados pelo terremoto e a destruição das instalações industriais apresentavam outro fator importante a ser gerenciado, a liberação de substâncias perigosas e as potenciais consequências para o homem e/ou para o ambiente, que já não contava com toda infraestrutura para suportar um acidente industrial. Estima-se que mais de 5 milhões de edifícios desabaram, enquanto 21 milhões de outras construções sofreram danos. As perdas econômicas devido ao terremoto superaram 140 bilhões de dólares.

Krausmann & Cruz (2013) ainda registraram o forte terremoto de magnitude 9,0 que ocorreu ao longo da costa nordeste da ilha de Honshu, no Japão, em 11 de Março de 2011, às 14h46min no horário padrão do Japão. Este terremoto, que é conhecido como o Grande Terremoto do Japão Oriental ou Tohoku, provocou um tsunami de 130 km ao longo da costa de Miyagi que inundou mais de 400 km² do território. Tanto o terremoto como o tsunami atingiram magnitudes inesperadas de gravidade e afetaram uma ampla área, deixando um rastro de devastação para trás. Um grande número de instalações químicas com risco de acidente grave estavam localizadas nas áreas afetadas pelo desastre, e muitas destas instalações foram danificadas ou destruídas pelo terremoto e/ou tsunami. Isto resultou em muitos casos de libertação de materiais tóxicos ou inflamáveis, bem como incêndios e explosões que constituíram um risco adicional para a população, bem como para as equipes de emergência. O número de mortos chegou a quase 16.000 e o total de danos econômicos superiores a 210 bilhões de dólares (sem considerar o acidente da central nuclear de Fukushima).

Fica evidente a relevância do estudo de eventos *Natech* com o intuito de compreender cada vez mais os possíveis impactos sociais, econômicos e ambientais que eles podem proporcionar; dessa forma as indústrias, governos, organizações e a população podem se preparar da melhor forma possível para esses desastres.

1.2 Objetivos do trabalho

1.2.1 Objetivo geral

Este trabalho tem como objetivo geral realizar uma análise da literatura sobre eventos *Natech* com o intuito de identificar aspectos relevantes tratados em artigos científicos, fornecendo um diagnóstico do que está sendo desenvolvido até o momento pela comunidade científica para nortear novas pesquisas na área e prover a sociedade de informações atualizadas a respeito do tema.

1.2.2 Objetivos específicos

Os objetivos específicos deste trabalho são:

- Identificar a evolução das publicações de artigos sobre eventos *Natech*;
- Avaliar as principais revistas que tratam do tema;
- Analisar as instituições de pesquisa que estão se destacando acerca do tema;

- Estudar os tipos de desastres naturais mais abordados nos trabalhos avaliados;
- Avaliar os setores da indústria que estão sendo mais enfatizados;
- Analisar a relação existente entre tipos de desastre natural e o setores industriais;
- Apresentar as ferramentas/metodologias mais utilizadas em análises dos riscos no ambiente *Natech*;
- Descrever as possíveis relações entre as ferramentas/metodologias com os tipos de desastres naturais;
- Apresentar as possíveis relações existentes entre ferramentas/metodologias e setores industriais;
- Produzir uma base de dados e informações referentes à análise de risco em eventos *Natech* com o intuito de auxiliar futuras pesquisas bem como contribuir para a sociedade.

1.3 Estrutura da dissertação

O trabalho está estruturado em seis capítulos. O capítulo 1, a Introdução, apresenta a relevância, as contribuições do estudo e os objetivos do trabalho. No capítulo 2, Metodologia, é apresentada a revisão sistemática da literatura. O capítulo 3, Fundamentação Teórica, é composto pelas definições de risco, gerenciamento do risco, vulnerabilidade, desastre, eventos *Natech* e ferramentas/metodologias. Já no capítulo 4, Revisão da Literatura, é apresentada uma breve evolução das contribuições da comunidade científica acerca de eventos *Natech*. No capítulo 5, Apresentação dos Resultados e Discussões, é divulgada a principal contribuição desse trabalho. E no capítulo 6, Conclusões e Sugestões para Trabalhos Futuros, é apresentado o encerramento do trabalho e seus possíveis desdobramentos para outros pesquisadores.

2. METODOLOGIA

Neste capítulo é apresentada a metodologia abordada no presente trabalho expondo sua posição segundo sua classificação, natureza e dados, além de descrever detalhadamente todos os processos da revisão da literatura.

No que diz respeito à classificação da pesquisa com relação ao objetivo trata-se de uma pesquisa exploratória, segundo Turrioni & Mello (2012), visando proporcionar maior familiaridade com um problema tentando torná-lo explícito ou construir hipóteses. Envolve levantamento bibliográfico e análise de exemplos que estimulem a compreensão.

Quanto à natureza, trata-se de uma pesquisa quantitativa. De acordo com Miguel et al. (2010), as principais preocupações da abordagem quantitativa estão associadas a mensurabilidade, causalidade, generalização e replicação. Vale ressaltar ainda a principal característica distintiva entre a abordagem quantitativa e qualitativa. Enquanto a abordagem quantitativa se destaca pelos aspectos destacados no início deste parágrafo a pesquisa qualitativa destaca-se pela ênfase na perspectiva do indivíduo que está sendo estudado, onde se observa uma abordagem não muito estruturada.

Quanto aos dados trata-se de uma pesquisa bibliográfica, onde uma Revisão Sistemática da Literatura (*Systematic Literature Review* – SLR) sobre eventos *Natech* foi estruturada, contemplando artigos publicados em periódicos e revistas indexados nas bases *Web of Science*[®] – Coleção Principal (*Thomson Reuters Scientific*) e SCOPUS (Elsevier) da plataforma Capes. Maiores detalhes a respeito da SLR desenvolvida serão apresentados no subitem 2.1 a seguir.

2.1 Revisão sistemática da literatura (*Systematic Literature Review* – SLR)

Para Kitchenham (2004), uma revisão sistemática da literatura (SLR) é um meio de identificar, avaliar e interpretar todas as pesquisas disponíveis relevantes para uma determinada pesquisa em questão ou tópico de área, ou fenômeno de interesse; e que os estudos individuais que contribuem para uma revisão sistemática são chamados de estudos primários e uma revisão sistemática é uma forma de um estudo secundário.

Petticrew & Roberts (2006) mencionam que a revisão sistemática da literatura é um método que dá sentido a um amplo conjunto de informações, e um meio de contribuir para responder as perguntas sobre o que funciona e o que não funciona e muitos outros tipos de

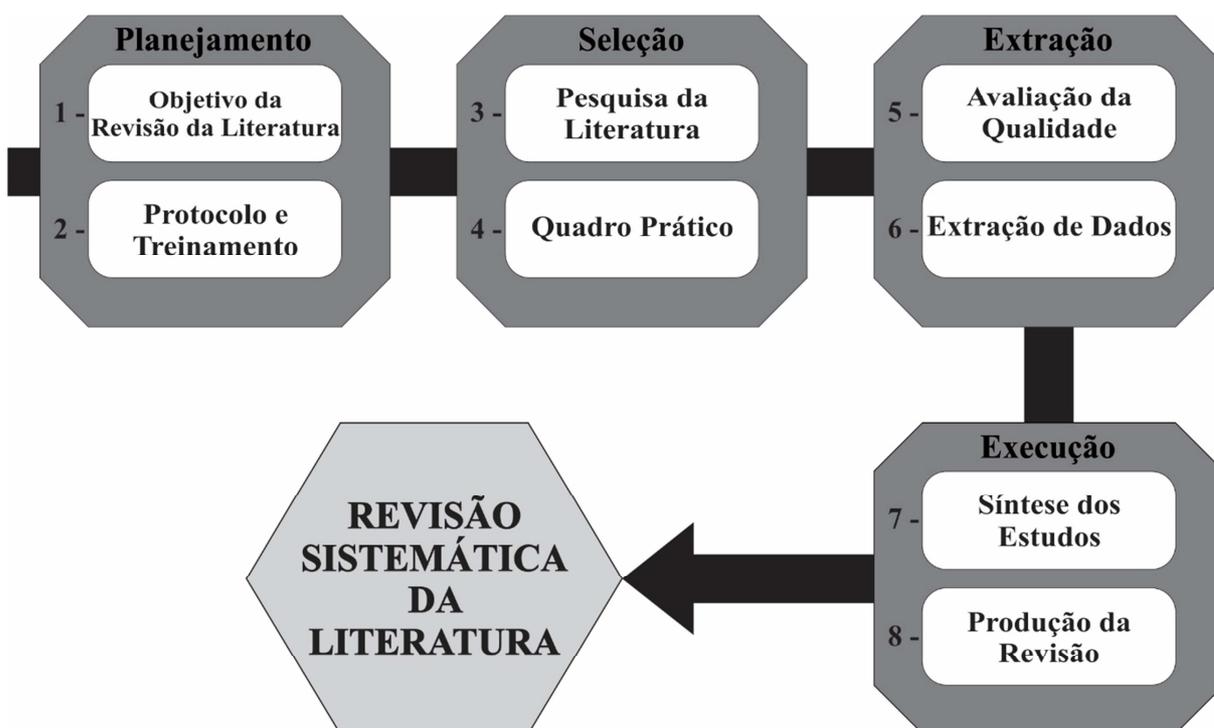
questões também. Ela é um método de mapear e identificar áreas de incerteza, onde pouca ou nenhuma investigação relevante tem sido feito, mas onde são necessários novos estudos.

De acordo com Okoli & Schabram (2010), pode-se concluir que uma SLR é um método sistemático, explícito e reproduzível para identificar, avaliar e sintetizar um existente conjunto completo e registrado de trabalho produzido por pesquisadores, acadêmicos e profissionais. Eles propõem oito etapas adaptadas para produzirem uma SLR. Ressaltam que essas oito etapas são importantes para qualquer tipo de revisão da literatura e que para uma revisão ser cientificamente rigorosa é essencial seguir as seguintes etapas demonstradas na Figura 2.1 e descritas abaixo:

1. Objetivo da revisão da literatura: a primeira etapa para qualquer revisão requer que o revisor deixe claramente identificado o propósito e os objetos da revisão;
2. Protocolo e treinamento: para qualquer revisão da literatura que apresente mais de um revisor é fundamental que para os revisores, os detalhes dos procedimentos a serem seguidos estejam completamente claros e de acordo. Isso requer tanto um protocolo descrito detalhadamente quanto um treinamento para todos os revisores, a fim de garantir a consistência na execução da revisão;
3. Pesquisar a literatura: o revisor precisa ser explícito na descrição dos detalhes da pesquisa bibliográfica, como também, explicar e justificar como a abrangência da pesquisa foi assegurada;
4. Quadro prático: também conhecida como triagem para inclusão, esta etapa requer que os revisores sejam explícitos sobre quais estudos foram considerados na revisão e quais foram eliminados sem novo exame. Para os estudos excluídos, o revisor deve indicar quais foram as razões práticas para a sua não consideração, e justificar como o resultado da revisão ainda pode ser compreensivo tendo em conta os critérios de exclusão;
5. Avaliação da qualidade: também conhecida como triagem para exclusão, os revisores enunciam explicitamente os critérios para julgar quais os artigos são de qualidade insuficiente para serem incluídos na síntese da revisão;

6. Extração de dados: depois de todos os estudos que devem ser incluídos na revisão terem sido identificados, os revisores precisam extrair sistematicamente as informações aplicáveis a partir de cada estudo;
7. Sintetizar os estudos: também conhecido como análise, este passo envolve a combinação de fatos extraídos dos estudos utilizando técnicas apropriadas, quer quantitativas, qualitativas ou ambas;
8. Produzir a revisão: além dos princípios-padrão a serem seguidos ao escrever artigos de pesquisa, o processo de uma revisão sistemática da literatura precisa ser relatado em detalhes suficientes para que os resultados da avaliação possam ser reproduzidos de forma independente.

Figura 2.1 – Uma orientação sistemática para desenvolver uma revisão da literatura



Fonte: Adaptado de Okoli & Schabram (2010)

Kitchenham (2004) aconselha que para pesquisas com um único autor, como dissertações de mestrado ou teses de doutorado, as etapas sugeridas para uma revisão sistemática da literatura são:

1. Desenvolver um protocolo;

2. Definir as questões de pesquisa;
3. Especificar o que irá ser feito para direcionar o problema para um único pesquisador, aplicando a inclusão/exclusão de critérios e realizando todas as extrações de dados;
4. Definir a estratégia de busca;
5. Definir os dados que serão extraídos de cada estudo primário, incluindo dados qualitativos;
6. Manter lista de estudos incluídos e excluídos;
7. Usar as orientações para sintetizar os dados;
8. Usar as orientações para reportar.

Desta forma, com base nas abordagens apresentadas por Okoli & Schabram (2010) e Kitchenham (2004) os estágios da revisão sistemática da literatura deste trabalho foram divididos em três fases principais: planejando, conduzindo e encerrando a revisão, que foram demonstrados na Figura 2.2 e descritos mais detalhadamente a seguir.

As etapas relacionadas com o estágio de planejamento da revisão foram:

- Identificar as razões para a revisão sistemática da literatura;
- Desenvolver o protocolo da revisão sistemática da literatura.

As etapas relacionadas com o estágio de condução da revisão foram:

Identificar as pesquisas;

- Selecionar os estudos primários;
- Extrair os dados dos estudos primários;
- Sintetizar os dados dos estudos primários.

A etapa relacionada com o estágio de encerramento da revisão é:

- Formatar o relatório final (SLR).

Figura 2.2 – Estágios da revisão sistemática da literatura



Fonte: Esta pesquisa (2016)

Estas etapas foram dispostas de forma sequenciada, mas é importante ressaltar que todo o processo é interativo, podendo assim retornar para etapas anteriores caso seja identificada a necessidade de alguma modificação nas características definidas inicialmente.

Para Kitchenham (2004), a vantagem da SLR é que ela fornece informações sobre os efeitos de alguns fenômenos através de uma ampla variedade de configurações e métodos empíricos. Se os estudos apresentam resultados consistentes, a revisão sistemática fornecerá evidências de que o fenômeno é robusto e transferível. Se os estudos apresentam resultados inconsistentes, fontes de variação podem ser estudadas.

2.1.1 Planejamento da revisão

Kitchenham (2004) afirma que a necessidade de uma revisão sistemática decorre da exigência de pesquisadores para resumir toda a informação existente sobre algum fenômeno de uma forma completa e imparcial.

2.1.1.1 Razões para a revisão

Okoli & Schabram (2010) apontam que a primeira etapa de uma revisão sistemática da literatura é definir claramente qual o propósito da sua realização. E, com isso, responder uma pergunta simples, porém fundamental para a utilização da SLR que é “Por que fazer uma revisão estruturada da literatura?”. Desta forma, segundo o trabalho realizado por eles, algumas das razões para realizar uma SLR são:

- Para analisar o progresso de um fluxo específico de pesquisas;
- Para realizar recomendações para trabalhos futuros;
- Para avaliar a aplicação de um modelo teórico;
- Para avaliar a aplicação de uma abordagem metodológica;
- Para desenvolver um modelo ou estrutura;
- Para responder a uma específica questão de pesquisa.

Já segundo Kitchenham (2004) há várias razões para realizar uma revisão da literatura, mas as mais comuns são:

- Para resumir a existência de evidências sobre um tratamento ou tecnologias;
- Para identificar eventuais lacunas em pesquisas atuais, a fim de sugerir novas áreas de investigação;
- Para fornecer uma estrutura/conhecimento, a fim de posicionar adequadamente novas atividades de pesquisa.

No entanto, Kitchenham (2004) também afirma que as SLR também podem ser realizadas para examinar evidências empíricas que suportam/contradizem hipóteses teóricas, ou até mesmo para ajudar a geração de novas hipóteses.

Nesse trabalho, o principal motivo da utilização da SLR, tendo em vista a abordagem dada por Okoli & Schabram (2010) e Kitchenham (2004), foram:

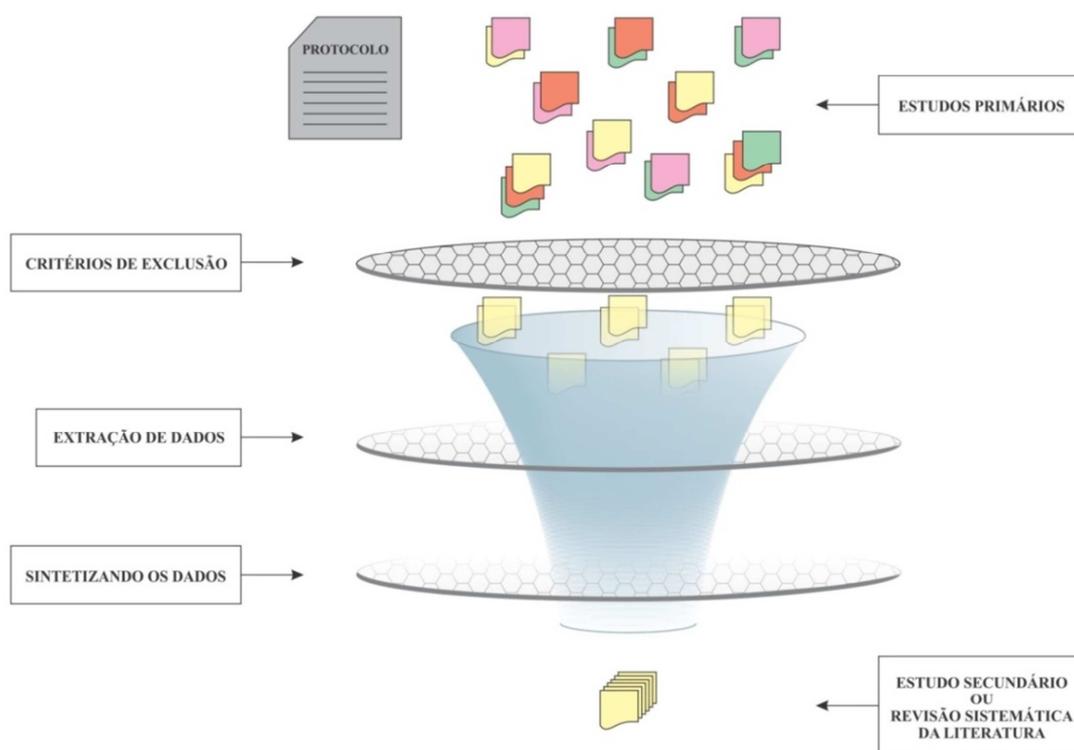
1. Tentar analisar o progresso dos artigos sobre a análise de riscos em desastres *Natech* e identificar a evolução das várias áreas que o tema aborda;
2. Propor um direcionamento para novas pesquisas sobre o tema, tendo em vista possíveis ausências de publicações em algumas áreas do tema;

3. E responder algumas questões especiais, definidas nos objetivos específicos deste trabalho, como por exemplo, “Quais as ferramentas/metodologias mais empregadas na análise de desastres *Natech*?” .

2.1.1.2 Protocolo da revisão

Outra etapa que faz parte do planejamento da SLR é o desenvolvimento do protocolo que, segundo Kitchenham (2004), deve ser realizado e validado antes do início dos estudos para verificar seu rigor. Okoli & Schabram (2010) definem como sendo um plano que descreve o comportamento de uma proposta de revisão sistemática da literatura.

Figura 2.3 – Roteiro para as etapas da revisão sistemática da literatura



Fonte: Esta pesquisa (2016)

Assim, depois que as razões para utilização da SLR tenham sido identificadas o protocolo irá servir como roteiro para alcançar essas razões durante todas as etapas da SLR, como demonstrado na Figura 2.3. O protocolo utilizado para esse trabalho foi adaptado de Kitchenham (2007) e é demonstrado no (Apêndice 1) desse trabalho.

2.1.2 Condução da revisão

Uma vez que o protocolo tenha sido concluído, a revisão propriamente dita poderá começar. Esta condução envolve três etapas que serão discutidas adiante.

2.1.2.1 Estudos primários

Kitchenham (2004) expõe que o objetivo de uma revisão sistemática é encontrar o maior número de estudos primários relativos à questão de pesquisa quanto possível, utilizando uma estratégia de busca imparcial, e que o rigor do processo de pesquisa é um fator que distingue revisões sistemáticas de comentários tradicionais.

A busca pelos estudos primários ocorreu em duas bases digitais, *Web of Science*[®] e SCOPUS, no qual todas as pesquisas foram baseadas em título, *abstract* e palavras-chave. As pesquisas ocorreram entre 25 de maio e 26 de setembro de 2015, utilizando um conjunto simples de sequências de pesquisa por trabalhos publicados entre 2000 e 2015, e agregados os resultados de cada uma das pesquisas. O conjunto de pesquisa utilizado é demonstrado a seguir:

1. *“Natech” OR “Na-tech”;*
2. *“Natural Disaster” AND “Industrial Disaster”;*
3. *“Natural Disaster” AND “Industrial Accident”;*
4. *“Natural Disaster” AND “Technological Disaster”;*
5. *“Natural Disaster” AND “Industrial Safety”;*
6. *“Natural Disaster” AND “Industrial Risk”;*
7. *“Natural Disaster” AND “Major Accident Hazard”;*
8. *“Natural Hazard” AND “Industrial Disaster”;*
9. *“Natural Hazard” AND “Industrial Accident”;*
10. *“Natural Hazard” AND “Technological Disaster”;*
11. *“Natural Hazard” AND “Industrial Safety”;*
12. *“Natural Hazard” AND “Industrial Risk”;*
13. *“Natural Hazard” AND “Major Accident Hazard”.*

Esse processo de pesquisa forneceu 319 trabalhos, sendo 211 na base SCOPUS e 108 na *Web of Science*[®]. Uma vez que os estudos primários potencialmente relevantes foram obtidos, eles precisaram ser avaliados quanto à sua relevância real. Assim, os critérios de exclusão foram aplicados para refinar o resultado. Os critérios de exclusão identificados e protocolados no início da SLR foram:

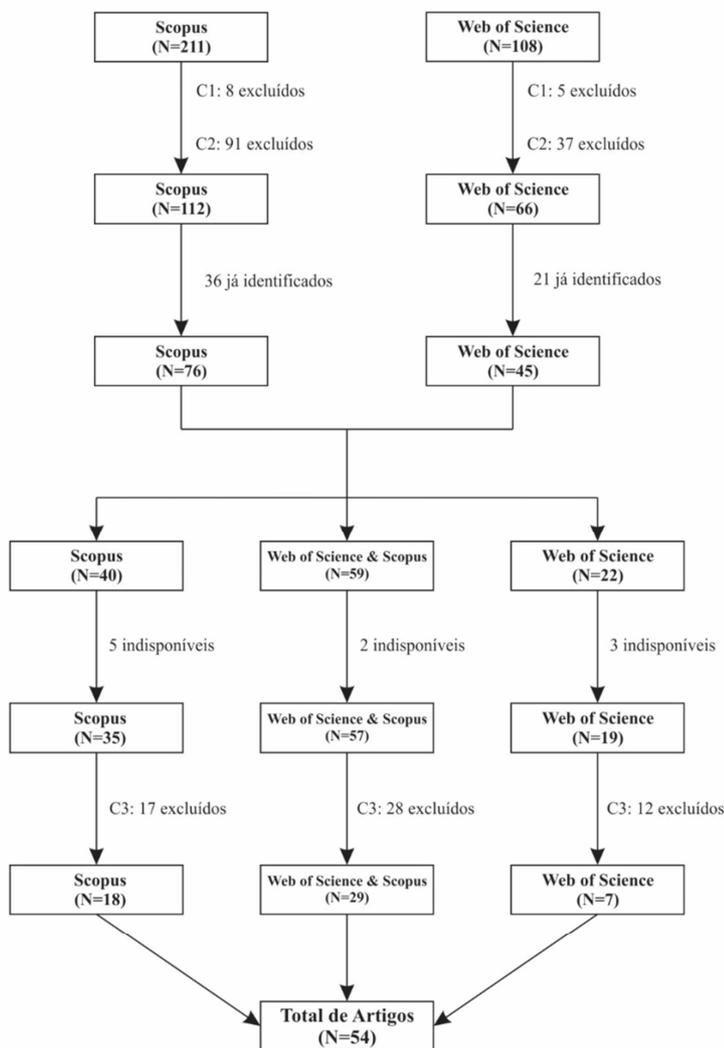
- C1: Qualquer outro idioma que não fosse a língua inglesa;
- C2: Qualquer estudo que não fossem artigos publicados em periódicos;
- C3: Artigos que não apresentavam uma análise do risco envolvendo desastre *Natech* (fora do escopo).

Para primeira etapa da pesquisa foram utilizados apenas os critérios C1 e C2, o C3 foi utilizado no final da seleção, nos artigos que foram selecionados para a sua leitura completa.

Após a exclusão dos trabalhos, as bases SCOPUS e *Web of Science*[®] apresentaram respectivamente 112 e 66 trabalhos, porém entre esses trabalhos existiam alguns que já haviam sido identificados na base de pesquisa devido à forma em que a busca foi realizada. Eliminando a duplicidade dentro de cada base, a pesquisa apresentou 76 artigos na base SCOPUS e 45 artigos na base *Web of Science*[®]. A partir dessa etapa foi realizado o processo de seleção dos artigos, que consistiu em identificar quais estavam apenas na base SCOPUS, na *Web of Science*[®] e quais artigos estavam em ambas as bases, evidenciando 40 artigos na SCOPUS, 22 na *Web of Science*[®] e 59 nas duas.

A pesquisa identificou que dos artigos selecionados, 10 não se encontraram disponíveis para livre acesso, eliminando assim uma quantidade significativa da amostra. Fazendo uma análise completa dos artigos disponíveis, 57 trabalhos foram eliminados devido ao critério C3, restando uma amostra final de 54 artigos, como pode ser observado na figura 2.4.

Figura 2.4 – Fluxograma do processo de seleção de artigos



Fonte: Esta pesquisa (2016)

2.1.2.2 Extração de dados

Para Kitchenham (2007), o objetivo desta etapa é projetar formas de extração de dados para registrar com precisão as informações obtidas dos estudos primários e coletar todas as informações necessárias para abordar as questões da SLR. Okoli & Schabram (2010) enfatizam que as informações serão sistematicamente tomadas a partir de cada artigo para atuar como matéria-prima para a fase de síntese e que o tipo de dados a serem removidos baseia-se na questão de pesquisa estabelecida durante a fase de protocolo. Dessa maneira foi

registrado no protocolo quais os dados que deveriam ser extraídos dos estudos primários, que foram:

- Nome do artigo;
- Base de pesquisa;
- Revista;
- Ano de publicação;
- Nacionalidade;
- Instituição;
- Autores;
- Ferramentas/metodologias;
- Tipo de desastre natural;
- Setor industrial do desastre tecnológico.

2.1.2.3 Sintetizando os dados

Okoli & Schabram (2010) afirmam que é nessa etapa que os revisores agregam, discutem, organizam e comparam os estudos selecionados e que no final, a sintetização dos dados deverá estar completa e bem organizada para que a próxima etapa, escrever a revisão, seja um processo simples. Kitchenham (2007) coloca que a sintetização dos dados envolve coletar e resumir os resultados dos estudos primários e que esse processo esteja especificado no protocolo.

Ainda segundo Kitchenham (2007), as informações extraídas sobre os estudos primários selecionados devem ser tabuladas de uma maneira consistente com as questões da revisão, e as tabelas devem ser estruturadas para destacar semelhanças e diferenças entre os resultados dos estudos. Com base nessas afirmações foi construído um banco de dados para inserir os dados extraídos de acordo com as informações necessárias, e que auxiliasse a elaboração da revisão conforme os seus questionamentos.

2.1.3 Encerramento da revisão

2.1.3.1 Formatando a revisão

Este é último estágio da SLR e segundo Okoli & Schabram (2010), tem a finalidade de relatar os resultados escrevendo-os na revisão. Eles colocam que o objetivo mais importante é que a SLR deve ser documentada em detalhes suficientes para que todo o procedimento seja reproduzível no sentido científico, para que outros pesquisadores que desejam replicar os resultados da avaliação devam ser capazes de seguir os mesmos passos descritos e chegar ao mesmo resultado. Além de simplesmente relatar os procedimentos, a SLR deve destacar quaisquer novas descobertas e resultados inesperados.

A fase final de uma revisão sistemática para Kitchenham (2007) envolve escrever os resultados da avaliação e divulgação dos resultados a potenciais interessados, onde normalmente essa revisão é escrita de duas formas:

- Em um relatório técnico ou em uma sessão de uma tese de PhD;
- Em uma revista ou artigos de conferência.

Assim, esse trabalho se enquadra na primeira forma que Kitchenham expõe, entretanto em uma sessão de dissertação de mestrado, que pode ser vista logo a seguir.

2.2 Conclusão do capítulo

A revisão sistemática da literatura (SLR) proporciona uma pesquisa estruturada que facilita o entendimento de como a pesquisa foi desenvolvida, contribuindo para que outros pesquisadores que venham a ter interesse sobre o tema possam reproduzir o trabalho e obter os mesmos resultados, como também norteá-los para uma possível ampliação dessa pesquisa.

3. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

A base conceitual utilizada para trabalho é apresentada a seguir e consiste sobre Risco, Gerenciamento do risco, Vulnerabilidade, Desastre, Eventos *Natech* e Ferramentas e Metodologias.

3.1 Risco

Os autores de Almeida et al. (2015) afirmam que embora na literatura existam várias definições do termo risco, o conceito básico está associado com a incerteza em um ambiente, e isto está relacionado com a probabilidade da ocorrência de um evento indesejável e do impacto de suas consequências.

Aven (2010) expõe algumas definições para risco, como:

1. Risco é uma medida da probabilidade e gravidade dos efeitos adversos;
2. Risco é a combinação da probabilidade de um evento e suas consequências;
3. Risco é igual ao trio (s_i, p_i, c_i) , onde s_i corresponde ao cenário i , p_i é a probabilidade desse cenário, e c_i é a consequência do cenário, $i = 1, 2, \dots, N$;

O que é comum em todas as definições de risco analisadas é que o conceito de risco é constituído em função de eventos (ou cenários), consequências e probabilidades, onde as incertezas são expressas através das probabilidades e a severidade é um modo de caracterizar as consequências. Sendo assim, o risco pode ser formalizado como apresentado na equação (3.1):

$$\text{Risco} = f \{ \text{Cenário, Consequência, Probabilidade} \}; \quad (3.1)$$

Além disso, Aven (2010) coloca que a probabilidade é sempre condicionada a um conhecimento prévio, e dado este conhecimento prévio não há incertezas relacionadas à probabilidade atribuída. Assim, ele sugere outra definição para risco, levando em conta as incertezas, além das probabilidades (3.2):

$$\text{Risco} = f \{ \text{Cenário, Consequência, Incerteza} \}; \quad (3.2)$$

Para Covello & Merkhofer (1993) risco é, no mínimo, um conceito bidimensional que envolve a possibilidade de um resultado adverso, e a incerteza sobre a ocorrência, momento,

ou magnitude desse resultado, podendo ser definido como em função do perigo e da vulnerabilidade dos elementos expostos ao perigo (3.3):

$$\text{Risco} = \text{Perigo} \times \text{Vulnerabilidade}; \quad (3.3)$$

Eiser et al. (2012) afirmam que as *Decision Sciences* consideram o risco em função de (a) a probabilidade e (b) o valor de algum possível evento ou eventos futuros. Mesmo os termos 'probabilidade' e 'valor' precisam ser usados com cautela, visto que probabilidade pode significar mais que probabilidade estatística e valor mais do que benefício econômico e custo. O mais importante, no entanto, é que o risco não surge só a partir de algum evento futuro como descrito, mas a partir da incerteza, real ou percebida, a qual não só se manifesta sobre a probabilidade de um evento, como pode haver incerteza sobre o valor das consequências, em parte porque "valor" significa muitas coisas.

O risco associado com perigos ambientais não depende apenas de condições físicas e eventos, mas também sobre as ações humanas, condições (fatores de vulnerabilidade, etc.), decisões e cultura na qual a gravidade das consequências de qualquer desastre dependerá também da forma como muitas pessoas escolhem (ou consideram não ter escolha) viver e trabalhar em áreas de risco mais elevado (ICSU, 2008).

ISDR (2004) trata o risco como a probabilidade de consequências negativas ou perdas esperadas (mortes, lesões, propriedades, meios de vida, interrompimento de atividade econômica ou ambiente danificado) resultantes de interações entre os riscos naturais ou induzidas pelo homem e as condições vulneráveis. Para de Almeida et al. (2015), o risco deve ser entendido em função do perigo, vulnerabilidade, exposição e resiliência.

De acordo com IPCC (2012), a definição de risco associado a desastre natural é a probabilidade durante um período de tempo específico de alterações graves no funcionamento normal de uma comunidade ou uma sociedade devido a eventos físicos perigosos que interagem com as condições sociais vulneráveis; isto acarreta distintos efeitos adversos envolvendo aspectos humanos, materiais, econômicos ou ambientais que exijam uma resposta de emergência imediata para satisfazer as necessidades humanas críticas, e que podem necessitar de apoio externo para a recuperação. Os conceitos de risco, vulnerabilidade e resiliência são importantes nos estudos sobre desastres naturais, e são usados como uma abordagem para entender a dinâmica dos mesmos (de Almeida et al., 2015). Além disso, o risco de desastres deriva de uma combinação de perigos físicos e das vulnerabilidades dos

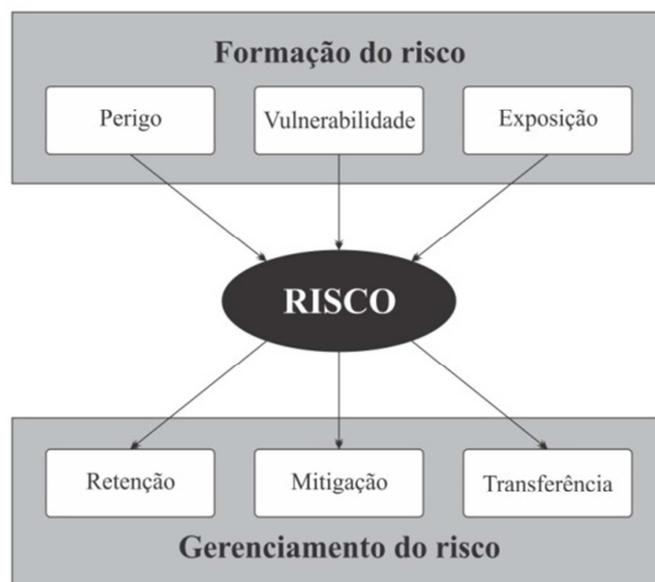
elementos expostos que estarão sujeitos a uma interrupção grave do funcionamento normal da sociedade afetada, uma vez que se materializa como um desastre.

3.2 Gerenciamento do risco

Gerenciamento do risco é o processo de desenvolvimento e aplicação de políticas, procedimentos e práticas para as tarefas de avaliação, monitoramento, comunicação e tratamento dos riscos (Crozier & Glade, 2005).

Para Chen e Tsai (2010) um esboço da abordagem de formação e gerenciamento do risco de desastres é mostrado na Figura 3.1. A formação do risco de desastres inclui três elementos: a origem do perigo, danos aos objetos causados pelo incidente, e a ameaça. O nível do risco não pode ser calculado se qualquer um desses três elementos estiver faltando. Depois que o risco de desastres tiver sido calculado, um gerente do risco pode analisar as várias fontes do risco de desastres e do alcance dos efeitos através de uma ferramenta de avaliação do risco de desastres desenvolvido por ele. Isto proporciona ao tomador de decisão estratégias de gerenciamento do risco necessárias. As estratégias de gerenciamento do risco mais comum podem ser divididas em três categorias: retenção, mitigação e de transferência.

Figura 3.1 – Formação e gerenciamento do risco

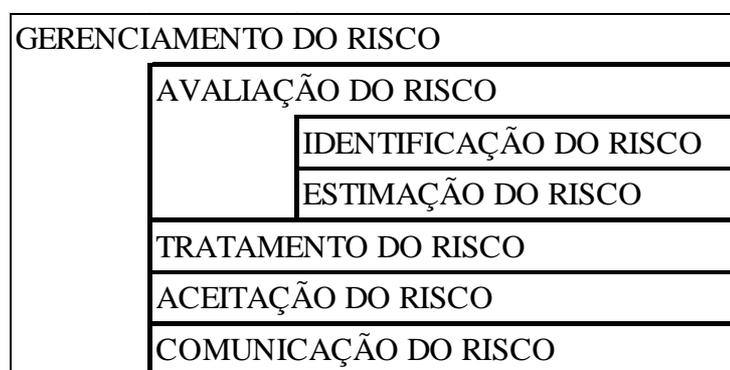


Fonte: Adaptado de Chen & Tsai (2010)

O gerenciamento do risco possui uma abordagem sistemática e prática da gestão da incerteza conseguindo minimizar potenciais danos e perdas que compreende avaliação e análise do risco e a implementação de estratégias e ações específicas para controlar, reduzir e transferir riscos (ISDR, 2009). Para de Almeida et al.(2015), isto é fundamental para que as mais adequadas ações de mitigação possam ser adequadamente planejadas e implementadas.

Okabe & Ohtani (2009) também acreditam que o estabelecimento de planos em relação ao gerenciamento do risco envolve análise do risco, tratamento do risco, aceitação do risco e comunicação do risco, como pode ser visto na Figura 3.2.

Figura 3.2 – Processos para gerenciamento do risco



Fonte: Adaptado de Okabe & Ohtani (2009)

O planejamento de desastres é baseado nas avaliações dos riscos e lições aprendidas, que são codificados em um conjunto de planos de emergência e do gerenciamento do risco e projetados para tornar as políticas e práticas eficazes e eficientes (Wisner et al. 2006). Os autores de Almeida et al.(2015) expõem que as organizações e os países deveriam considerar a busca por gerenciamentos do risco mais efetivos como um objetivo fundamental. O controle adequado do risco e monitoramento devem ser feitos da melhor forma possível, minimizando assim a ocorrência de consequências catastróficas.

Smolka (2006) acredita que em relação a gerenciamento do risco de catástrofes extremas, os princípios e procedimentos podem ser aplicados como o mesmo contexto dos riscos naturais clássicos. Isto significa que os riscos têm de ser identificados e avaliados e, em seguida, as perdas potenciais devem ser controladas, impedidas e atenuadas, o quanto antes possível. Enquanto isso, de Almeida et al. (2015) destacam que algumas observações são necessárias com relação a obstáculos existentes para um gerenciamento do risco mais

adequado no contexto de desastres naturais. Um dos possíveis problemas é a disponibilidade de uma base de dados confiável, dado que a dinâmica da sociedade (ex: mudanças significantes na ocupação demográfica e no uso do solo) associados com as mudanças climáticas frequentemente tornam os dados coletados em períodos anteriores de pouco valor (ou mesmo sem valor) para os estudos em execução.

Wisner et al.(2006) afirmam que enquanto a gestão de desastres tem evoluído a partir de um enfoque de assistência e resposta, o gerenciamento do risco aborda com maior foco a redução de vulnerabilidades (e o aumento das capacidades de enfrentamento), iniciativas que visam a mitigação e prevenção, que ainda são poucas e mal financiadas. A vulnerabilidade é um dos principais aspectos que devem ser levados em conta no processo de gerenciamento do risco em relação a desastres naturais, e até a migração populacional para uma mesma localidade pode tornar a localidade mais ou menos vulnerável em diferentes épocas (de Almeida et al., 2015).

O custo para reduzir a vulnerabilidade é incomparável com os prejuízos causados por desastres, como por exemplo, assistência humanitária e reconstruções, que muitas vezes poderiam ter sido evitados com medidas simples.

3.3 Vulnerabilidade

Um conceito-chave dos estudos de perigos naturais é a vulnerabilidade, a propensão a sofrer algum grau de perda a partir de um evento perigoso (Etkin et al., 2003).

Para Fuchs et al. (2012), consequências negativas de perigos naturais são o resultado tanto da frequência e intensidade do perigo quanto da vulnerabilidade da sociedade ou a exposição de elementos em situação de risco. Portanto, a avaliação da vulnerabilidade é um passo essencial para reduzir essas decorrências e, conseqüentemente, o risco do perigo natural.

A vulnerabilidade é um conjunto de condições e processos resultantes de fatores físicos, sociais, econômicos e ambientais que aumentam a susceptibilidade de uma comunidade ao impacto aos perigos (Kumpulainen, 2006).

IPCC (2012) aponta a importância da vulnerabilidade para o gerenciamento do risco de desastres, apreciando a forma como a vulnerabilidade ajuda a destacar o papel dos fatores sociais na constituição do risco, afastando-se das explicações puramente físicas e atribuições

de perdas e danos. O conceito de vulnerabilidade tem sido uma poderosa ferramenta analítica para descrever estados de susceptibilidade a danos, impotência e marginalidade dos sistemas físicos e sociais, e para orientar a análise normativa de ações para melhorar o bem-estar através de redução do risco (Adger, 2006).

A ideia central da definição do IPCC (2001), é que a vulnerabilidade corresponde ao grau em que um sistema é susceptível ou incapaz de lidar com os efeitos adversos da mudança climática, incluindo a variabilidade climática e eventos extremos. Adger (2006) complementa esse conceito de vulnerabilidade para mudança climática como uma característica de um sistema e como uma função da exposição, sensibilidade e capacidade de adaptação.

Cutter et al. (2008) destacam que a vulnerabilidade é função da exposição (quem ou o que está em risco) e sensibilidade do sistema (o grau em que as pessoas e lugares podem ser prejudicados). Já Eiser et al. (2012) relatam que é função tanto do lugar (onde as pessoas vivem e trabalham), quanto das atividades humanas e interações sociais.

No entanto, Turner et al. (2003) ressaltam que a vulnerabilidade é registrada não apenas pela exposição aos perigos por si só; ela também reside na resiliência do sistema. De certa forma, a resiliência é a outra face da vulnerabilidade, colocando em ênfase a capacidade de ligar o sistema social-ecológico com o perigo e fornecer ideias sobre como fazer um sistema menos vulnerável (BERKES, 2007). Walker et al. (2004) e Cutter et al. (2008) definem resiliência como a capacidade de um sistema absorver a perturbação e se reorganizar enquanto passando por uma mudança de forma a ainda conservar essencialmente a mesma função, estrutura, identidade e opiniões.

De acordo com Cutter (1996), a vulnerabilidade é entendida de diferentes maneiras e três temas distintos podem ser encontrados nas pesquisas de vulnerabilidades:

1. Vulnerabilidade como exposição ao perigo: a investigação neste domínio concentra-se na distribuição de algumas condições de perigo, na ocupação humana de certa área e no grau de perda associada a um evento perigoso. A vulnerabilidade é uma condição pré-existente;
2. Vulnerabilidade como resposta social: a investigação neste domínio concentra-se na capacidade de resposta e enfrentamento, incluindo a resistência social e a resiliência aos perigos, bem como a recuperação de um evento perigoso. Esta abordagem destaca a construção social da vulnerabilidade;

3. Vulnerabilidade de lugares: é uma combinação da exposição ao perigo e resposta social, dentro de uma área geográfica específica.

Uma característica identificada na vulnerabilidade é que ela não muda se o perigo é mais intenso ou não, em contraste com a exposição que deve mudar e que influencia o grau do risco (Fuchs et al., 2012). Entretanto, níveis diferentes de vulnerabilidade levam a níveis diferentes de danos e perdas em condições semelhantes de exposição a eventos físicos de uma determinada magnitude (Wisner et al., 2012).

Baud et al. (2011) expõem que vulnerabilidade para desastres naturais está desigualmente dividida, sendo relacionada não só aos perigos em questão, mas também para a distribuição desigual dos direitos para os recursos socioeconômicos. Adger (2006) afirma que os países em desenvolvimento são declarados mais vulneráveis às alterações climáticas, porque entre outras coisas, a falta de capacidade institucional (geralmente interpretado como uma falta da capacidade do governo) se destaca.

3.4 Desastre

O IPCC (2012) define desastres como alterações graves no funcionamento normal de uma comunidade ou de uma sociedade, devido a eventos físicos perigosos que interagem com as condições sociais vulneráveis, levando a generalizados efeitos adversos humanos, materiais, econômicos e ambientais que necessitam de resposta de emergência imediata para satisfazer as necessidades humanas críticas e que podem precisar de apoio externo para a recuperação. Birkmann et al. (2010) descrevem os desastres como sendo acontecimentos significativos que implicam em grandes danos e perdas para aqueles que estão expostos a eles. Como exemplo desses danos, temos a interrupção do acesso para o local afetado impossibilitando o suporte de equipes de ajuda, o corte abrupto do fornecimento de água e energia elétrica para a população da região impactada bem como serviços de utilidades pública como postos de saúde, hospitais e farmácias.

Os eventos extremos são frequentemente - mas nem sempre - associados com o desastre. Esta associação vai depender das condições físicas, geográficas e sociais particulares que prevalecem (IPCC, 2012). Os eventos extremos são processos naturais ou provocados pelo homem que operam nos extremos de sua escala de energia, produtividade, etc. Eles causam estresse em sistemas humanos e suas estruturas porque as forças envolvidas são

maiores do que aqueles com as quais os sistemas e estruturas normalmente lidam (WHO, 2002).

Os desastres são eventos que ocorrem quando um número significativo de pessoas estão expostas a eventos extremos a que estão vulneráveis, com consequente lesão e perda de vidas, muitas vezes combinados com danos materiais e meios de subsistência (WHO, 2002). Nesse sentido a distinção entre os eventos extremos e os desastres está na região em que tal fenômeno ocorre, quando o evento extremo impacta sobre os locais inabitados os danos são inigualáveis comparado quando o mesmo evento ocorre em zonas povoadas e ainda mais agravadas com a alta vulnerabilidade de suas estruturas.

Por outro lado, desastres também são desencadeados por eventos que não são extremos no sentido estatístico. Níveis de exposição e vulnerabilidade elevadas irão transformar até mesmo alguns eventos de pequena escala em desastres para algumas comunidades afetadas. Eventos de pequena ou média dimensão recorrentes que afetam as mesmas comunidades podem levar a uma erosão grave das suas opções de base de desenvolvimento e de subsistência, aumentando assim a vulnerabilidade (IPCC, 2012).

Desastres geralmente conduzem a situações de emergência e ocorrem em diversas situações em todas as partes do mundo, em ambas as regiões rurais e urbanas, densamente ou escassamente povoadas, bem como em situações que envolvam riscos naturais e provocados pelo homem (WHO, 2002).

Berren et al. (1980) descrevem cinco fatores principais que podem ser usados para distinguir conceitualmente um desastre de outro. Os cinco fatores são:

1. Tipo de desastre (um evento natural, em comparação com um desastre perpetuado pelo homem): grande parte da literatura usa o termo "desastre" e "desastre natural" sinonimamente. Nem todos os desastres, no entanto, são catástrofes naturais. Eventos catastróficos podem variar de desastres naturais ou atos de Deus para desastres que são propositadamente perpetuados pelo homem;
2. Duração do desastre: muitos desastres podem durar apenas alguns segundos ou alguns minutos. Outros são precedidos por anos de destruição iminente;

3. Grau de impacto pessoal: dois terremotos de magnitude iguais terão um impacto significativamente diferente dependendo de onde eles ocorram. Da mesma forma, um único terremoto, furacão ou inundação terá um impacto diferente sobre os indivíduos que são classificados como "vítimas";
4. Potencial de ocorrência (recorrência): alguns desastres têm uma maior probabilidade de ocorrência do que outros;
5. O controle sobre impacto futuro: há algumas catástrofes que o homem tem a oportunidade de impedir que ocorra novamente ou, pelo menos, reduzir as suas potenciais consequências devastadoras.

Para Alcántara-Ayala (2002), os desastres são muitas vezes classificados de acordo com sua velocidade de início (súbita ou lenta), ou de acordo com a sua causa (natural ou feito pelo homem). Segundo o EM-DAT (2015) os desastres podem ser agrupados em desastres naturais e tecnológicos, onde estes se subdividem em:

- Desastres Naturais:
 - Geofísico – terremoto, movimento de massa e atividade vulcânica;
 - Meteorológico – temperatura extrema, névoa, tempestade;
 - Hidrológico – inundação, desmoronamento e ação das ondas;
 - Climatológico – seca, afloramento de lagos glaciais e queimadas;
 - Biológico – epidemias, infestação de insetos e acidentes com animais;
 - Extraterrestre – impactos e clima espacial.
- Desastres Tecnológicos:
 - Acidentes industriais – derramamento químico, colapso, explosão, incêndio, vazamento de gás, intoxicação, radiação e outros;
 - Acidentes de transporte – aéreo, rodoviário, ferroviário e aquático;
 - Acidentes diversos – colapso, explosão, incêndio e outros.

Desastres são eventos naturais extremos que impactam sobre uma determinada região povoada, na qual evento proporcione algum prejuízo físico, social ou econômico.

3.4.1 Desastre natural

Alcántara-Ayala (2002) define um desastre natural como algum impacto rápido, instantâneo ou profundo do ambiente natural sobre o sistema socioeconômico, ou como um desequilíbrio súbito do balanceamento entre as forças liberadas pelo sistema natural e as forças do sistema social, no qual a gravidade de tal desequilíbrio depende da relação entre a magnitude do evento natural e a tolerância do habitat humano a tal evento. Devido a ocupações desordenadas e desestruturas, a população torna-se exposta a tais desastres naturais submetendo-se a conviver os riscos provenientes desses fatores. Nesse sentido, o IPCC (2012) expõe que desastre natural implica em impactos sociais, econômicos e ambientais que perturbam gravemente o funcionamento normal das comunidades afetadas e que os eventos climáticos e meteorológicos extremos vão levar ao desastre se:

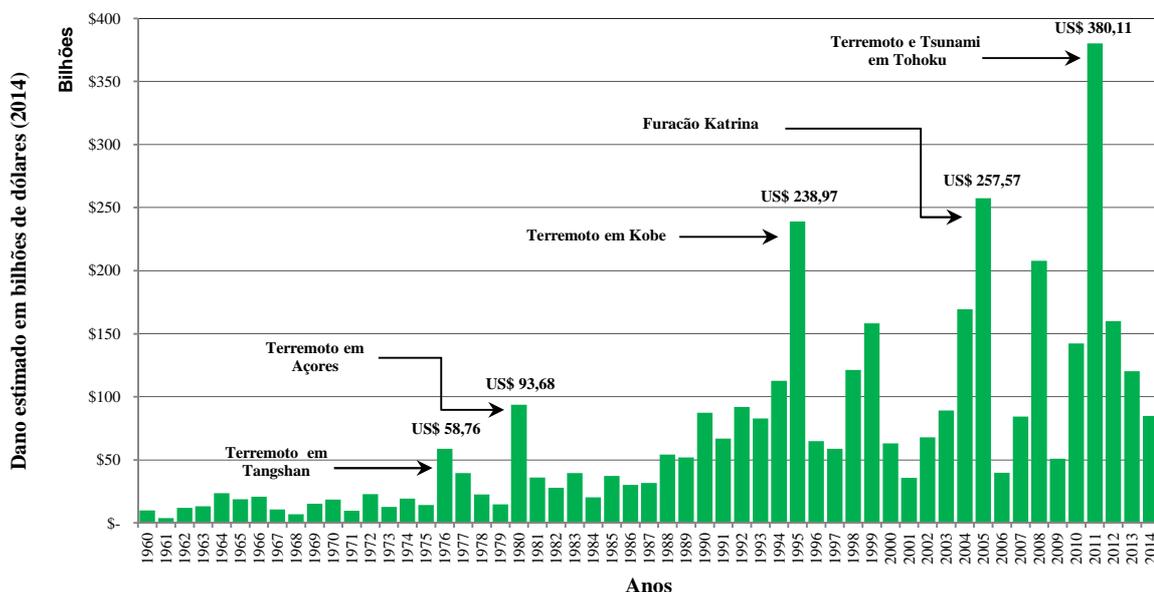
1. Comunidades estão expostas a esses eventos;
2. A exposição a eventos extremos potencialmente prejudiciais é acompanhada por um alto nível de vulnerabilidade (a predisposição por perdas e danos).

Khole & Dandekar (2004) apresentam classificações para os desastres naturais em três tipos, seguintes:

1. Os desastres naturais causados diretamente por eventos climáticos: furacões / tufões, inundações, secas, ondas de calor / ondas de frio, etc;
2. Os desastres naturais indiretamente relacionados com fenômenos meteorológicos: deslizamentos de terra, avalanches, incêndios florestais, fomes e epidemias, etc;
3. Os desastres naturais não relacionados ao clima, mas causados por certos eventos geofísicos: terremotos, tsunamis, vulcões, etc.

Conforme Zhou et al. (2014), os desastres naturais são um dos maiores problemas que a humanidade vem enfrentando. Além de causar perdas econômicas significativas ao longo das últimas décadas, sua incidência vem crescendo e assim impõe sérios desafios para o desenvolvimento sustentável da sociedade como pode ser visto na figura 3.3.

Figura 3.3 – Dano estimado (bilhões de US\$) causado por desastres naturais relatados entre 1960 e 2014



Fonte: Adaptado de EM-DAT – The OFDA/CRED International Disaster Database (2015)

Uma possível explicação para o aumento da devastação causada por desastres naturais é que a frequência de eventos naturais está aumentando. Uma explicação diferente e mais provável, no entanto, é que há um aumento da influência de eventos devido à vulnerabilidade crescente resultante de populações maiores em locais de elevado risco (Huppert & Sparks, 2006). Para Khole & Dandekar (2004), as pessoas nos países menos desenvolvidos também se concentram cada vez mais em rápido crescimento de aglomerações urbanas ou megacidades de forma menos estruturada e, portanto, estão vulneráveis aos desastres naturais.

Alcántara-Ayala (2002) evidencia que Westgate e O’Keefe em 1976, foram alguns dos primeiros a reconhecer a importância da vulnerabilidade através da definição de desastre como a interação entre fenômenos extremos naturais ou físicos e a vulnerabilidade de um grupo humano, resultando na interrupção, destruição, perda de vidas e modo de vida.

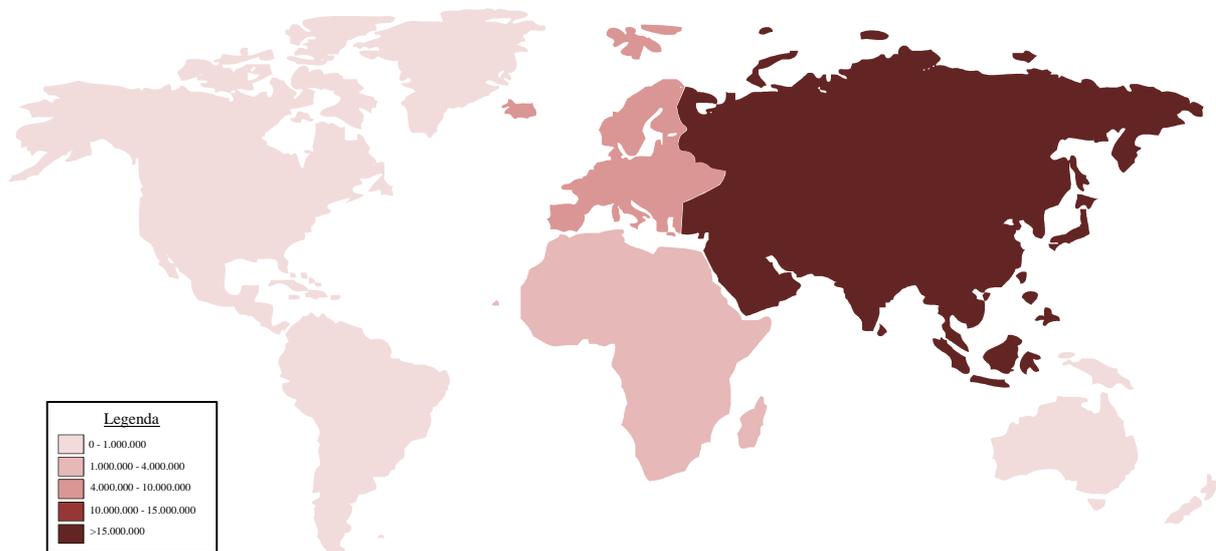
Os autores de Almeida et al. (2015) destacam o aumento dos estudos associados aos perigos naturais e sua associação com as mudanças climáticas, observados com maior intensidade nos últimos anos em todas as partes do mundo. Acrescente-se a isto a migração humana para áreas urbanas e o conseqüente crescimento da densidade populacional nos

grandes centros urbanos, aumentando assim significativamente o impacto dos desastres naturais na sociedade, e uma prova disto pode ser evidenciado na figura 3.4. Huppert & Sparks (2006) consolidam que as principais causas do aumento de desastres naturais estão diretamente relacionadas às atividades humanas. Efeitos óbvios incluem o crescimento da população e da urbanização, com um crescimento espetacular das megacidades ao longo das últimas décadas, a degradação ambiental e as alterações causadas pelas atividades humanas.

A população mundial está se tornando mais concentrada em áreas urbanas do que em áreas rurais, menos densamente povoadas. Tomados em conjunto, essas alterações tornam as comunidades muito mais vulneráveis a perigos naturais.

Alguns aspectos destacados por de Almeida et al. (2015) devem ser considerados para medir os efeitos dos desastres naturais como os impactos sociais (ex: como o número de pessoas desabrigadas e o aumento na taxa de incidência de crime); impactos financeiros (ex: desemprego, perdas de volumes de produção, redução de vendas e redução de coleta de impostos) e danos ambientais (ex: custos de recuperação do meio ambiente, restrições quanto ao uso de água ou ao consumo de peixe, por exemplo).

Figura 3.4 – Mapa continental com o número total de mortes em desastres naturais entre 1900 e 2015



Fonte: Adaptado de EM-DAT – The OFDA/CRED International Disaster Database (2015)

Outra questão discutida em estudos relacionados a desastres naturais é a análise das consequências. A ocorrência de um acontecimento ou uma combinação de dois ou mais eventos podem causar diferentes impactos em diferentes dimensões. A situação mais crítica é

a possibilidade de um desastre natural que ocorre em áreas industriais, que podem aumentar a chance de ocorrência de eventos com consequências catastróficas (de Almeida et al., 2015).

3.4.2 Desastre tecnológico

O termo “desastre tecnológico” pode ser compreendido de diversas formas (acidente ampliado, evento agudo, acidente tecnológico) que muda dependendo do país, a causa e a consequência do evento. É comum na literatura estrangeira a utilização dos termos: *major accident* ou ainda como *mam-made disasters/accidents* (Luiz, 2013).

Shaluf et al. (2003) apresentam a definição para desastre tecnológico do manual de controle de risco da ILO (1988) como um acontecimento com uma grande emissão, incêndio ou explosão resultante do desenvolvimento incontrolado de processos no âmbito de uma atividade industrial, levando a um grave perigo para o homem, imediato ou retardado, no interior ou no exterior do estabelecimento, e ao meio ambiente, e que envolva uma ou mais substâncias perigosas. Já Cline et al. (2010) expõe que desastres induzidos pelo homem normalmente têm sido chamados desastres tecnológicos e envolvem acidentes ou outras formas de falha humana. Embora, após desastres naturais, os seres humanos podem ser culpados por respostas incompetentes ou fracassadas em casos de desastres tecnológicos, visto que todo sistema é sujeito a falhas e podem não estar preparados para gerenciar o nível de estresse de eventos naturais extremos.

Para Shaluf et al. (2003), há muitos fatores que contribuem para catástrofes tecnológicas, alguns dos quais são facilmente observados enquanto outros são parcialmente desapercibidos. Os principais fatores que provaram ser importantes no passado são resumidos como segue:

- Fator Humano – incluem erros de operação e gestão. O erro humano é definido como uma decisão humana inadequada ou indesejável, que apresenta o potencial de redução da eficácia, segurança ou do desempenho do sistema;
- Fator Organizacional – inadequações organizacionais que têm contribuído para desastres geralmente foram identificadas como falhas da política, alocações de recursos inadequados e pressão estratégica empresarial, que conduzem a uma negligência de questões de segurança, falhas de comunicação, equívocos sobre a extensão e natureza dos riscos, planos de emergência inadequados e pressões de custos que restringem segurança;

- Fator Tecnológico – uma garantia da integridade técnica em qualquer projeto de instalação de processamento é essencial para assegurar que não haverá nenhum dano às pessoas ou ao meio ambiente. A integridade técnica está preocupada com o desenvolvimento da intenção do projeto para a planta e equipamentos, para proporcionar um funcionamento seguro.

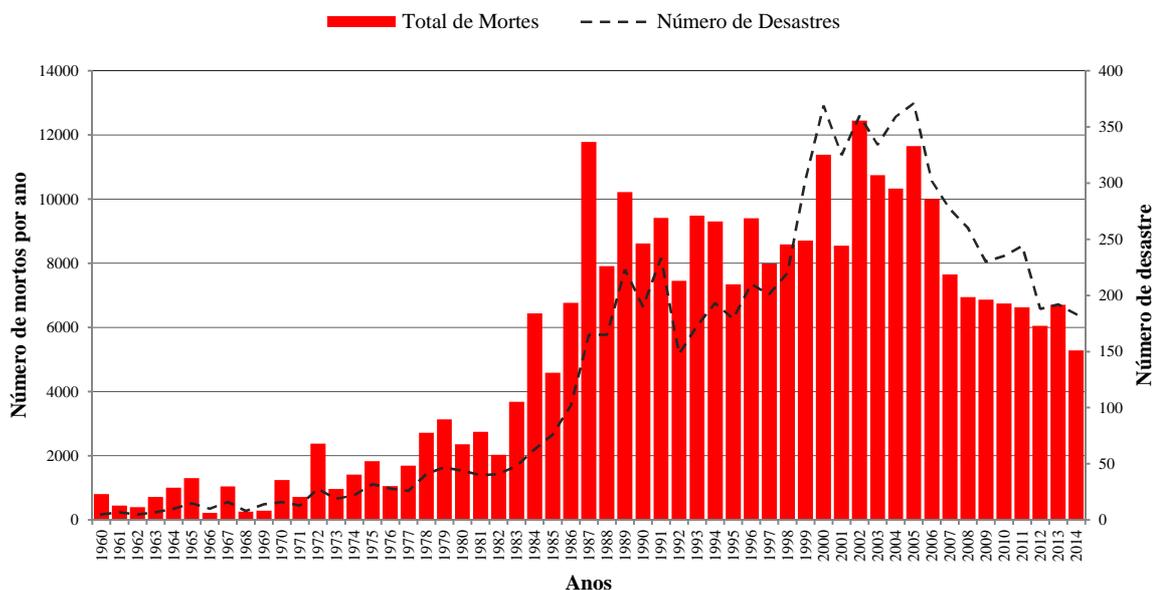
De acordo com Weisæth et al. (2002), um desastre induzido pelo humano é o resultado de uma falha da “mão humana” ou de produtos feitos pelo homem, nos quais podem ser classificados como:

1. Sistemas de transporte (acidentes aéreos, acidentes rodoviários de grande porte, descarrilamentos de comboios e colisões, navios de passageiros e outras catástrofes marítimas);
2. Colapso de construções feitas pelo homem;
3. Grandes fogos de toda classe;
4. Tecnológicos e tóxicos (acidentes em usinas de energia nuclear, o vazamento de substâncias perigosas da eliminação de resíduos, etc.).

Weisæth et al. (2002) afirmam que o número de desastres tecnológicos está aumentando, como demonstrado na figura 3.5. Como a tecnologia se desenvolve, há simplesmente mais coisas que podem dar errado, mesmo que não intencionalmente e não calculada. Quando algo dá errado, ou um erro é cometido, houve erro humano e alguém é sempre responsável. Assumir a responsabilidade faz uma diferença substancial nas reações psicológicas das pessoas afetadas e do público em geral. Hoje, a mídia questiona rapidamente a gestão das empresas e das agências envolvidas durante a crise e logo após os desastres tecnológicos, a fim de descobrir se o gerenciamento e a liderança estavam suficientemente preparados e treinados.

Sociedades industriais modernas geralmente são mais vulneráveis a desastres, devido a serem criticamente dependentes de acesso contínuo imperturbável para uma infraestrutura bem desenvolvida, especialmente de transporte e eletricidade. Mais e mais pessoas vivem na ocupação de áreas urbanas com alta densidade onde os locais concentrados apresentam um alto risco (Khole & Dandekar, 2004).

Figura 3.5 – Número de pessoas mortas por desastres tecnológicos entre 1960 e 2014



Fonte: Adaptado de EM-DAT – The OFDA/CRED International Disaster Database (2015)

Dessa forma a definição de Cline et al. (2010) é a que melhor se enquadra no contexto desse trabalho, no qual o homem é o responsável diretamente ou indiretamente pelos desastres tecnológicos, seja por imprudência, negligencia ou imperícia pois a tecnologia está submetida ao ser humano e esse é passivo de falha.

3.5 Eventos Natech

Showalter & Myers, em 1994, destacaram uma pesquisa realizada pela *State Emergency Management Agencies* (SEMAs) que documentou o vazamento de materiais perigosos devido a ocorrência de desastres naturais nos EUA no período entre 1980 e 1989, criando o termo “Natech” (Cruz et al., 2012). Eventos naturais que impactam as plantas industriais podem provocar o vazamento de substâncias perigosas causando acidentes tecnológicos severos. Estes tipos de eventos observados em cascata são denominados eventos Natech (Natural-Tecnológico) (Cozzani et al., 2014).

Desastres naturais tem o potencial para causar acidentes tecnológicos com consequências devastadoras para a população e/ou para o ambiente natural ou construído devido ao vazamento de substâncias perigosas processadas ou estocadas nos sites industriais. A combinação de desastre naturais e desastre tecnológico ocorrido em uma ordem predefinida resulta em acidentes complexos que devem ser gerenciados conjuntamente, pois quando

analisados isoladamente apresentam outras características. Desta forma, estes acidentes denominados *Natech* precisam ser monitorados com atenção, pelo fato de poderem provocar múltiplos e simultâneos vazamentos de materiais perigosos, requerendo esforços múltiplos de resposta (Krausmann & Mushtaq, 2008). De acordo com de Almeida et al. (2015) os riscos *Natech* diferem dos riscos tecnológicos e naturais, exigindo uma abordagem de gestão de risco que é integrada e mais complexa.

Os eventos *Natech* podem ter consequências múltiplas e simultâneas, principalmente em áreas industrializadas e densamente povoadas, como quedas de 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). Um dos principais problemas com esse tipo de cenário segundo de Almeida et al. (2015), é a ocorrência simultânea de um desastre natural e um acidente tecnológico, tanto que requerem esforços de resposta ao mesmo tempo. Durante os últimos anos tem-se observado um aumento no número de ocorrências de eventos naturais que podem provocar consequências severas nas atividades das indústrias (Gheorghiu et al., 2014). Um estudo desenvolvido por Rasmussen em 1995, indicou que eventos naturais causam cerca de 3% dos acidentes industriais (Necci et al., 2013).

Cruz & Okada (2008) enfatizam que se não bastasse os problemas decorrentes dos desastres naturais, os desastres tecnológicos desencadeados podem reduzir a disponibilidade de recursos necessários de resposta para as vítimas dos desastres naturais. A resposta emergencial para os desastres tecnológicos é também altamente afetada pelo fato de medidas mitigadoras ou de segurança tornarem-se não efetivas devido à perda de energia elétrica, fornecimento de água ou interrupção dos sistemas de comunicação. Além disso, o vazamento de materiais perigosos pode ser introduzido por uma única fonte ou várias fontes simultaneamente, de várias instalações perigosas na área afetada por um desastre natural (de Almeida et al., 2015).

Dessa forma, se os efeitos conjuntos dos eventos *Natech* não são identificados, avaliados e planejados tanto pelas indústrias como pelo governo com o intuito de tornar o gerenciamento de contingência mais efetivo, as partes não estarão preparadas para responder às demandas provocadas pelos eventos *Natech* (Cruz & Okada, 2008). Segundo Krausmann & Cruz (2008), o risco *Natech* se difere do risco tecnológico ou do natural porque sua natureza

requer uma abordagem verdadeiramente integrada a uma abordagem de gerenciamento dos riscos.

Para Girgin & Krausmann (2013), estima-se que o risco de desastres *Natech* aumente no futuro devido à crescente industrialização, o aumento das ocorrências de desastres naturais por causa das mudanças climáticas e a crescente vulnerabilidade da sociedade que está se tornando cada vez mais interligada aos polos industriais. A prevenção e o planejamento de emergências adequadas são necessárias tanto para prevenir desastres *Natech* como mitigar as suas consequências.

3.6 Ferramentas e metodologias

Algumas ferramentas/metodologias são utilizadas no processo de gerenciamento dos riscos industriais. Segundo Fedra (1998), a moderna tecnologia da informação fornece algumas ferramentas para apoiar as atividades de gerenciamento dos riscos. O uso de sistemas de informação geográfica, modelos de simulação, sistemas especialistas e métodos de apoio à tomada de decisão melhoram a eficácia das ações associadas à mitigação/eliminação dos riscos.

3.6.1 Sistemas de informação geográfica (*Geographical Information Systems – GIS*)

Desde 1970, a tecnologia *Geographical Information Systems* (GIS) concedeu a capacidade distintiva de automatizar e analisar uma variedade de dados espaciais. Atualmente, o GIS é uma ferramenta poderosa na modelagem espacial que envolve um grande número de problemas de decisão espaciais fornecendo cenários alternativos no contexto de mapas (Chandio et al., 2013).

Fedra (1998) afirma que o GIS é uma ferramenta para capturar, manipular e processar a visualização espacial ou georreferenciada de dados. Eles contêm informações que descrevem as propriedades espaciais e geométricas dos objetos tais como pontos, linhas e áreas. Os conceitos básicos no GIS são a localização, a distribuição espacial e sua relação, e os elementos básicos (objetos espaciais).

Tecnologicamente, sistemas de informação geográfica fornecem uma ferramenta poderosa para a avaliação geoambiental em apoio do planejamento do uso do solo urbano (Lee et al., 2001). Nesse contexto, Malczewski (2004) afirma que a análise do uso adequado do solo visa identificar o padrão espacial mais adequado para a utilização futura da terra de

acordo com específicos requisitos, preferências ou preditores de alguma atividade. A análise do uso adequado da terra com base em GIS tem sido aplicado em uma ampla variedade de situações, incluindo abordagens ecológicas para a definição de aptidão agrícola / habitante para as espécies animais e vegetais, favorabilidade geológica, adequação de terras para atividades agrícolas, avaliação e planejamento da paisagem, avaliação de impactos ambientais, escolha do melhor local para as instalações do setor público e privado, e planejamento regional.

Uma característica importante do GIS é a capacidade de gerar novas informações, integrando os diversos conjuntos de dados existentes que partilham um sistema de referência espacial compatível (Lee et al., 2001).

Chandio et al. (2013) aponta que, o desenvolvimento do sistema de informação geográfica tornou possível o armazenamento de dados, a constituição de um gerenciamento de dados integrado e melhorias da participação pública.

3.6.2 Análise quantitativa de risco (*Quantitative Risk Assessment – QRA*)

A aplicação de técnicas de análise quantitativa de risco (QRA) na indústria de engenharia pode ser rastreada até o século 19. As técnicas foram aplicadas pela primeira vez nas indústrias químicas e de processo de hidrocarbonetos e nos estudos de demonstração em Canvey e Rijnmond no final de 1970 (Pitblado, 1994).

Análise quantitativa de risco (QRA) é uma abordagem sistemática que integra informações quantitativas sobre um incidente e fornece uma análise detalhada que ajuda a minimizar a probabilidade de ocorrência e reduzir as suas consequências adversas, estimando o risco representado por um determinado sistema em termos de perdas humanas ou, em alguns casos, perda econômica. (Khan et al., 2011; Cozzani et al., 2014).

Para Ham et al. (2011), a avaliação de risco quantitativa é uma das ferramentas usadas nas tomadas de decisões baseadas em risco, na determinação de distâncias de segurança, medidas de redução de riscos e planejamento do uso da terra em torno de atividades em que materiais perigosos são envolvidos. Cozzani et al. (2014) expõe que ela é amplamente aplicada em todo o mundo para fornecer informações quantitativas sobre o risco causado por acidentes convencionais, como por exemplo em indústrias químicas e de processos.

Segundo Meng et al. (2010), o modelo QRA tem sido comprovado como uma metodologia eficaz para avaliar quantitativamente o nível de segurança global dos riscos. Ele permite uma avaliação quantitativa dos riscos de uma instalação prestados por uma ampla gama de acidentes de baixa frequência e alta gravidade, através de uma avaliação numérica das consequências de acidentes, frequências e sua combinação em uma medida de risco global. De acordo com recomendações de especialistas e de organizações internacionais, a análise quantitativa do risco deve refletir a variabilidade do risco e avaliar separadamente a incerteza associada com as estimativas de risco (Delignette-Muller & Pouillot, 2010).

Aven & Rettedal (1998) afirma que, em uma análise de risco quantitativa (QRA) o risco é quantificado em um sentido absoluto ou um sentido relativo, muitas vezes em relação a algum tipo de critérios de aceitação de risco. A análise identifica atividades e sistemas críticos, e prevê o efeito da aplicação de medidas de redução de risco. A realização de uma QRA também dá a compreensão das causas dos perigos e potenciais caminhos de escalonamento. O objetivo da análise é fornecer uma base para as tomadas de decisões relativas à escolha de soluções e medidas.

A aplicação do QRA para longas e complexas áreas industriais ou para grupos químicos exigiu o desenvolvimento de metodologias específicas para esclarecer questões como a distribuição da população e do transporte de substâncias perigosas de e para áreas de preocupação (Cozzani et al., 2014). Ham et al. (2011) ressaltam que QRA está sendo usado em pedidos de licenças ambientais, no ordenamento do território e na preparação de resposta de emergência para os riscos causados por quaisquer atividades industriais ou de transporte.

Cozzani et al. (2014) aponta que a extensão da análise quantitativa de riscos para a avaliação de cenários *Natech* foi recentemente reconhecida como uma questão importante na obtenção da compreensão dos dados na avaliação do risco industrial relacionada com riscos de acidentes graves.

Event tree analysis (ETA) e *fault tree analysis* (FTA) são dois métodos distintos para QRA que desenvolvem uma relação lógica entre os eventos que levaram ao acidente e estimam o risco associado com o mesmo (Khan et al., 2011).

3.6.3 Análise da árvore de eventos (*Event Tree Analysis* – ETA)

Event tree analysis (ETA) é comumente usado para identificar as consequências que podem resultar na sequência da ocorrência de um evento potencialmente perigoso. Ele foi

aplicado pela primeira vez em avaliações de risco para a indústria nuclear, mas agora é usado por outras indústrias, tais como processamento químico, produção de petróleo, gás e transporte. A quantificação do diagrama da árvore de evento permite que a frequência de cada um dos resultados seja prevista (Andrews & Dunnett, 2000).

Segundo Ericson (2005), a ETA é uma técnica analítica usada para identificar e avaliar sequências de eventos que podem provocar danos potenciais por meio de cenários acidentais. Por meio da ETA verifica-se que diferentes resultados podem ser produzidos a partir de um único evento inicial. A visualização destas informações se dá por meio de uma estrutura em árvore conhecida como árvore de eventos (*Event Tree – ET*).

Wang et al. (2001) define como um método lógico indutivo e esquemático para identificar os vários resultados possíveis de um determinado evento inicial. Para a iniciação do evento, a modelagem de dois estados é empregada (um estado de fracasso e um estado de sucesso), em seguida, uma árvore de eventos pode ser construída como uma árvore binária com os nós que representam um conjunto de possíveis estados de sucesso e insucesso.

Aneziris et al. (2014) afirma que as sequências de acidentes para serem quantificadas nas árvores de eventos são especificadas e manipuladas de acordo com as leis da álgebra Booleana, a fim de serem colocados em uma forma adequada para a quantificação.

Em ETA convencionais, falhas de sistema que causam esses eventos são analisados por meio de *fault tree analysis* (FTA) para identificar as inter-relações entre os sistemas e componentes (Wang et al., 2001).

3.6.4 Análise da árvore de falhas (*Fault Tree Analysis – FTA*)

Fault tree analysis (FTA) foi originalmente proposto em 1962 nos Estados Unidos na *Bell Laboratories* por Watson. A árvore de falhas é um modelo gráfico das várias combinações paralelas e sequenciais de falhas que irão resultar na ocorrência do evento indesejado predefinido (evento principal). As falhas podem ser qualquer evento que está associado com falha de hardware, erro humano ou outras formas de falhas. É importante notar que uma árvore de falhas não pode modelar todas as possíveis falhas do sistema. A árvore de falhas só pode considerar um evento de topo o que corresponde a um particular evento de falha do sistema (Zang et al., 2011). Khan et al. (2011) esclarece que as causas básicas são denominadas eventos básicos, e o evento não desejado é chamado o evento de topo.

De acordo com de Almeida et al. (2015), FTA é uma ferramenta amplamente utilizada nos processos industriais incorporando o ambiente de risco, podendo ser classificada tanto como uma ferramenta qualitativa como uma quantitativa (quando faz uso de probabilidades de ocorrência dos eventos de falha).

Para Andrews & Dunnett (2000), FTA é uma análise dedutiva que pode ser usada em conjunção com a árvore de eventos para identificar as causas de falhas do subsistema ou eventos de ramificação. A quantificação da árvore de falhas fornece a probabilidade de que passa ao longo de cada um dos ramos de árvores evento. E, segundo Huang et al. (2004), é baseada em álgebra booleana e na teoria da probabilidade, além de ser consistente com a teoria de confiabilidade convencional. Assume-se que as probabilidades exatas de eventos são dadas e muitos dados de falhas estão disponíveis.

Chang et al. (2006) indicaram que FTA é adequado para o diagnóstico de falha do sistema de produção/processo porque tem as seguintes características:

- a. Pode ser usado profundamente para analisar o nível de falha específica por nível;
- b. Pode apontar claramente os aspectos do sistema/processo relevantes para falhas significativas;
- c. É uma ilustração clara para o pessoal de gestão e de manutenção que nunca participaram na concepção do sistema/processo, o que irá reduzir significativamente o tempo de treinamento do pessoal de manutenção e, portanto, reduzir as despesas para o treinamento do pessoal;
- d. Pode fornecer aos designers uma visão sobre o comportamento do sistema/processo, de modo a ser capaz de encontrar os links fracos no esquema do projeto e tomar medidas corretivas.

3.6.5 Matriz de Risco

Matriz de avaliação de risco é uma ferramenta para realizar uma avaliação subjetiva do risco (Markowski & Mannan, 2008). De acordo com Cox (2008), é uma tabela que possui várias categorias de “probabilidade” ou “frequência” por suas linhas (ou colunas) e várias categorias de “gravidade”, “impacto” ou “consequências” para suas colunas (ou linhas, respectivamente). Ela associa um nível recomendado de risco, urgência, prioridade ou ação de gerenciamento com cada par linha-coluna, ou seja, com cada célula.

Têm sido amplamente elogiadas e adotadas como abordagens simples e eficazes à gestão de riscos. Elas fornecem um quadro claro para a avaliação sistemática dos riscos individuais e de portfólios; uma conveniente documentação da lógica de rankings de risco e estabelecimento de prioridades; relativamente simples aparecendo entradas e saídas, muitas vezes com grades atraentemente coloridas; oportunidades para muitas partes interessadas a participar em personalizar definições de categorias e níveis de ação; e oportunidades para consultores treinarem diferentes partes das organizações nos conceitos da “cultura de risco” em diferentes níveis de detalhe (Cox, 2008).

Segundo Cox (2008), o uso de tais matrizes de riscos para definir prioridades e orientar a alocação de recursos, também tem sido recomendado em normas nacionais e internacionais.

3.7 Conclusão do capítulo

O conteúdo apresentado nesse capítulo ofereceu uma noção dos assuntos relevantes para o presente trabalho e, posteriormente, serão abordados direta e indiretamente na apresentação dos resultados e discussões. É importante ressaltar que muitas dessas definições podem divergir dependendo do autor abordado e que o presente trabalho busca apenas oferecer ao leitor algumas das várias definições existentes na ciência sobre os assuntos estudados nesse capítulo.

4. REVISÃO DA LITERATURA

A origem do termo *Natech* deu-se em 1994 por meio de um artigo publicado por Showalter e Myers, no qual eles investigaram a interação entre os desastres naturais e tecnológicos no período de 1980 a 1989 nos Estados Unidos. A partir daí vários outros artigos foram publicados nos anos seguintes. Entretanto, até o presente momento não foi observada a publicação de nenhum outro trabalho que realizasse uma revisão sistemática da literatura sobre eventos *Natech*, com o intuito de alcançar os objetivos propostos nesse estudo.

Young et al. (2004) apresentaram uma revisão sistemática da literatura sobre lançamentos diretos e indiretos de materiais perigosos que contaminaram o ambiente e submeteram a efeitos adversos a saúde humana que estavam associados a desastres naturais. Eles impõem que a análise aprofundada do histórico dos materiais perigosos que são liberados durante desastres naturais pode ser utilizada para identificar futuras ameaças e assim, suavizar o impacto dos danos.

Campedel et al. (2008) propuseram uma metodologia para uma avaliação quantitativa dos riscos de acidentes desencadeados por eventos sísmicos em instalações industriais no qual utiliza dados históricos disponíveis para avaliar as frequências esperadas e a severidade dos eventos. Modelos disponíveis de falha de equipamentos foram incorporados para avaliar a probabilidade dos danos em equipamentos devido ao evento sísmico. Um procedimento analítico foi posteriormente desenvolvido para identificar, avaliar a credibilidade e, finalmente, avaliar o esperado, as consequências de todos os cenários possíveis que podem seguir os eventos sísmicos. O procedimento foi implementado em uma ferramenta baseada em GIS. A aplicação da metodologia de vários estudos de caso evidenciou que os cenários iniciados por eventos sísmicos podem ter uma influência relevante sobre riscos industriais, tanto elevando a frequência global esperada de cenários individuais, quanto causando cenários específicos graves que envolvem simultaneamente várias unidades fabris.

Ceudech et al. (2008) ressaltam que os riscos naturais e tecnológicos ainda são tratados como duas questões distintas, e até agora os métodos para avaliação de riscos *Natech* têm sido desenvolvidos principalmente para riscos naturais específicos, geralmente restritos a alguns tipos de plantas e para a área da própria usina. E baseado em uma revisão da literatura *Natech*, eles ilustraram um método de avaliação de risco como ferramenta de apoio para as estratégias de ordenamento de territórios destinado a reduzir riscos *Natech* em áreas urbanas.

Mais especificamente, um método de tomada de decisão multiatributo, combinado com técnicas *fuzzy*. O método permitiu que os planejadores levassem em conta, de acordo com diferentes unidades territoriais, todos os fatores individuais de risco *Natech*, medidos através de ambos os parâmetros quantitativos e qualitativos, proporcionando-lhes um índice de risco *Natech* útil para classificar as unidades territoriais e para destacar as áreas de intervenção prioritárias. O método foi concebido para processar informações geralmente disponíveis sobre plantas com altos riscos (relatórios de segurança), riscos naturais (mapas de risco) e características dos sistemas urbanos, principalmente, influenciada pela sua exposição e vulnerabilidade a eventos *Natech*.

Antonioni et al. (2009) focaram no desenvolvimento de ferramentas necessárias para construir um quadro geral que permitisse a avaliação quantitativa de riscos e que incluísse a análise dos acidentes industriais causados por eventos naturais. Métodos e modelos específicos foram desenvolvidos para permitir a avaliação quantitativa de riscos causados por duas categorias de acidentes *Natech*, os acidentes provocados por terremotos e os provocados por inundações. A abordagem permitiu a identificação dos diferentes modos de danos esperados nos equipamentos do processo e dos cenários acidentais que podem ser desencadeados. Os modelos de danos desenvolvidos permitiram o cálculo da probabilidade dos danos nos itens dos equipamentos devido aos acontecimentos naturais. A metodologia específica foi desenvolvida para considerar as consequências do eventual fracasso de várias unidades do processo, devido ao impacto do evento natural. O procedimento permitiu o cálculo dos índices globais de risco individuais e sociais, incluindo os cenários de múltiplas falhas causadas pelo impacto de eventos naturais.

Para Cozzani et al. (2010) vários elementos específicos que caracterizam eventos *Natech* ainda precisavam ser investigados. Em particular, o modo de dano dos equipamentos e os cenários finais específicos que podem ocorrer em acidentes *Natech* são elementos-chave para a avaliação dos perigos e riscos devido a estes eventos. Nesse estudo, os dados sobre 272 eventos *Natech* desencadeados por inundações foram recuperados a partir de alguns dos principais bancos de dados de acidentes industriais. Os dados sobre os cenários finais destacou a presença de eventos específicos, como os causados por substâncias que reagem com a água, e a importância de cenários que envolvem consequências para o ambiente, principalmente devido à contaminação da água da inundação com as substâncias perigosas liberadas. A análise dos modos de danos dos equipamentos do processo permitiu a

identificação da extensão da liberação dos materiais perigosos, devido a diferentes tipos de impacto da água durante as inundações. Os resultados obtidos foram usados para gerar uma árvore de evento de substâncias específicas para a avaliação quantitativa das consequências dos acidentes desencadeados por inundações.

Busini et al. (2011) destacaram que uma metodologia qualitativa para a avaliação inicial de risco *Natech* em terremoto tendo sido desenvolvida como uma ferramenta de triagem para identificar quais situações exigem uma análise quantitativa de risco (QRA). A metodologia proposta, através dos *Key Hazard Indicators* (KHIs), identifica o nível de risco *Natech* associado a uma determinada situação (ou seja, uma planta de processo situada em determinado território), utilizando *Analytical Hierarchy Process* (AHP) como ferramenta de decisão multicritério para a avaliação.

Girgin e Krausmann (2013) desenvolveram uma metodologia a fim de facilitar probabilisticamente o mapeamento de riscos *Natech*, com base na estimativa de parâmetros de riscos naturais, na determinação de probabilidades de danos de unidades fabris e na avaliação da probabilidade e gravidade dos eventos *Natech* possivelmente desencadeados. A metodologia foi implementada como uma estrutura *on-line* de avaliação de riscos e software de mapeamento extensivo chamado RAPID-N, que permite uma rápida avaliação e o mapeamento do risco *Natech* local e regional com uma entrada mínima de dados. Eles afirmam que o RAPID-N apresenta uma estrutura inovadora de estimativa de dados para completar os dados de entrada em falta, como parâmetros de riscos naturais do local e com as características da unidade da planta. A estrutura também pode ser utilizada para avaliação dos danos e análise de consequências *Natech*, permitindo uma fácil modificação dos parâmetros de entrada e gerando uma dinâmica de modelos de consequência de acordo com a disponibilidade de dados e possibilita uma extensão dos modelos adicionando novas equações ou substituindo as existentes com alternativas. Os resultados são apresentados como relatórios resumidos e mapas de riscos interativos, que podem ser utilizados para fins de uso da terra e planejamento de emergência usando os cenários de perigo, ou para avaliação de consequências *Natech* após desastres reais.

Necci et al. (2013) evidenciam que embora o perigo de raio seja bem conhecido, procedimentos quantitativos bem aceitos para avaliar a contribuição de acidentes provocados por um raio para o risco industrial ainda estão faltando. Em particular, as abordagens para a

avaliação da probabilidade de queda de raios e para os danos causados por eles são, principalmente, qualitativa ou semi-quantitativa e são na sua maioria baseados em pareceres de peritos. Dessa maneira, eles propuseram uma metodologia quantitativa para a avaliação da probabilidade de danos nos equipamentos devido a raios, por meio de funções de distribuição de probabilidade de dois parâmetros: intensidade de corrente de pico e carga do raio. Através da aplicação de uma simulação de Monte Carlo é determinada a frequência esperada de raios sobre o equipamento e a probabilidade de danos nos equipamentos.

Posthuma et al. (2014) apontam que o mecanismo de resposta das Nações Unidas para solicitação de emergências ambientais é uma ferramenta para apoiar ações de avaliação de desastres e de coordenação por parte da equipe *United Nations Disaster Assessment and Coordination* (UNDAC). A ferramenta deve apoiar a tomada de decisões quando as emissões de substâncias químicas afetarem a saúde humana diretamente ou através do ambiente e deve priorizar adequadamente as opções de gerenciamento de redução de impacto sob condições desafiadoras em todo o mundo. Para responder a esta necessidade, a Ferramenta de Avaliação Ambiental *Flash* (*Flash Environmental Assessment Tool* – FEAT) foi desenvolvida, e consiste em uma estrutura de decisão e de pesquisa em tabelas impressas, gerada pela combinação dos dados científicos sobre produtos químicos, vias de exposição e vulnerabilidade com as necessidades pragmáticas de equipes de campo de emergência. A aplicação da ferramenta fornece informações que podem ajudar a priorizar as medidas de redução de impacto. Algumas ferramentas foram implementadas posteriormente como melhorias, como *Hazard Identification Tool* (HIT), cujos resultados ajudam a tomada de decisões por parte das autoridades dos países afetados e preparam as equipes de campo para o local de implementação. A aplicação da ferramenta ajudou o ordenamento dos territórios seguros e melhorou a concepção técnica de instalações químicas

Já Cozzani et al. (2014) indicaram uma metodologia quantitativa para a avaliação da frequência esperada de captura de raios por equipamentos de processo. Um modelo específico, com base em simulações de Monte Carlo, foi desenvolvido para avaliar a frequência de captura de raios para equipamentos com uma determinada geometria. O modelo permite a avaliação dos efeitos *layout* e a redução da probabilidade de captura, devido à presença de outras estruturas ou componentes do equipamento. Os resultados das simulações de Monte Carlo também foram usados para desenvolver um método de célula simplificada que permite uma avaliação direta da probabilidade de impacto de raios em uma estrutura de

avaliação quantitativa de risco. A abordagem desenvolvida permite uma análise em profundidade do perigo devido ao impacto de raios, identificando itens de equipamentos com maior frequência esperada de impacto de raios em um determinado *layout*. O modelo fornece, assim, dados úteis para abordar a avaliação da contribuição quantitativa de acidentes ao risco industrial.

Em outro trabalho Cozzani et al. (2014) concentraram-se na identificação de sequências de eventos e cenários de acidentes seguidos por impactos de raios em tanques atmosféricos. Árvores de eventos de referência, validadas usando a análise de acidentes passados, foram fornecidas para descrever as cadeias de acidentes específicos identificados, sendo responsável pela referência de proteção e mitigação de barreiras de segurança usualmente adotadas na prática industrial. A metodologia foi delineada para permitir o cálculo das frequências esperadas de cenários finais seguindo os impactos de raios em tanques de armazenamento atmosféricos, tendo em conta o desempenho esperado das barreiras de segurança disponíveis e sendo aplicada a um estudo de caso, a fim de compreender melhor os dados que poderiam ser obtidos e sua importância na estrutura da avaliação quantitativa de risco (QRA), além do gerenciamento dos riscos de instalações industriais no que diz respeito aos riscos externos devido a eventos naturais.

Marzo et al. (2015) desenvolveram uma metodologia para a avaliação da vulnerabilidade de um território em torno de uma planta industrial, a fim de avaliar o risco natural-tecnológico (*Natech*). A combinação de um *Key Hazard Indicator* (KHI) global com um *Key Vulnerability Indicator* (KVI) em especial proposto neste trabalho permitiu a medição do risco *Natech* resultante da presença de uma planta em um território com determinadas características. A metodologia proposta foi validada comparando seus resultados com os resultados da análise quantitativa de risco (QRA), envolvendo terremotos relacionados com eventos *Natech*.

4.1 Conclusão do capítulo

Desde 1992 com o surgimento do termo *Natech* por Showalter e Myers até nos tempos atuais a comunidade científica vem ampliando seus esforços em compreender cada vez mais as dimensões que eventos dessa magnitude podem proporcionar. E para isso, tem desenvolvido metodologias e ferramentas que permitam avaliar qualitativamente e/ou

quantitativamente os riscos para a sociedade, ambiente e indústrias provenientes da combinação dos desastres tecnológicos desencadeados por eventos naturais.

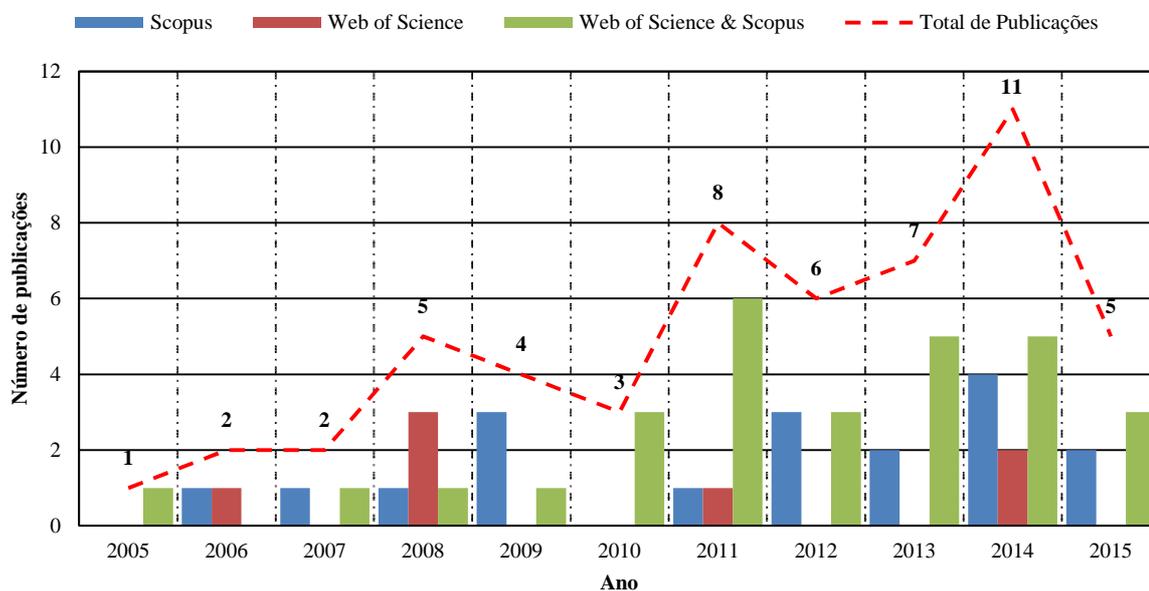
5. APRESENTAÇÃO DOS RESULTADOS E DISCUSSÕES

Esse trabalho consiste numa pesquisa apenas por artigos na língua inglesa contendo uma combinação de palavras como *Natech*, *Na-tech*, *Natural Disaster*, *Technological Disaster*, *Industrial Disaster*, *Industrial Accident*, *Industrial Safety* e *Industrial Risk* em duas bases de dados, *Web of Science*[®] e SCOPUS, que foram publicados entre o ano de 2000 e 2015. A investigação foi realizada entre 25 de maio de 2015 e 26 de setembro de 2015 possibilitando identificar 319 trabalhos dos quais 54 foram selecionados para uma análise mais detalhada. Com base nas especificações e critérios propostos nesse trabalho, algumas hipóteses foram elaboradas, sendo apresentadas ao longo desta seção.

5.1 Frequência de publicação por ano

Apesar da pesquisa ter sido realizada considerando o período de 2000 a 2015, o primeiro registro de uma publicação com os critérios definidos para o desenvolvimento deste trabalho deu-se no ano de 2005 com um mesmo artigo sendo publicado em ambas as bases e a partir daí o número de publicações foi crescendo ano a ano como pode ser visto na figura 5.1.

Figura 5.1 – Artigos publicados por ano e base de pesquisa entre 2000 e 2015



Fonte: Esta pesquisa (2016)

Nos dez primeiros anos analisados sobre o tema, entre 2000 e 2010, é possível constatar uma baixa quantidade de publicações, apenas 17, que corresponde a uma média de 1,7 artigo por ano até o período. Se for considerado a partir do ano da primeira publicação

essa média aumentaria para 3,4 artigos por ano, ainda um valor baixo comparado com os anos seguintes. Entretanto, no ano de 2008 o número de publicações duplicou, apresentando 10 artigos sobre o tema, com uma ressalva para a base *Web of Science*[®] que teve a sua maior quantidade de publicações para o intervalo estudado.

De acordo com os dados, observa-se que a maior contribuição sobre o tema se deu entre 2011 e 2015, correspondendo a 69% de todos os artigos publicados, apresentando assim uma média de publicação por ano de 7,4 que, se comparado com as médias dos últimos cinco e dez anos, é respectivamente duas e quatro vezes maior. Uma particularidade desse período está nos anos de 2011 e 2014 que apresentaram as maiores contribuições, 19 artigos juntos, número superior ao período entre 2000 e 2010. No ano de 2011 foi constatada a maior taxa de crescimento de publicações, que foi de aproximadamente 270% em relação ao ano anterior. Outra singularidade desse ano está na quantidade de artigos publicados em ambos periódicos, 6 artigos, a maior quantidade de publicações constatada para o período de pesquisa.

Com base nos dados analisados o crescimento de artigos nos últimos anos indica a relevância que o tema vem tendo no decorrer dos anos. Esse aumento no número de publicações é de extrema importância para uma melhor compreensão dos eventos *Natech* e, conseqüentemente, ajuda a minimizar ou evitar os danos para a sociedade, que segundo a figura 3.3 vem crescendo cada vez mais com os anos. Esse resultado encontrado após a análise permite levantar a hipótese a seguir:

- H_1 = Há um crescimento no interesse sobre o tema de eventos *Natech*.

5.2 Frequência de publicação por revista

Apesar da baixa probabilidade de ocorrência, os altos impactos causados por esse tipo de evento podem justificar o crescimento do interesse da comunidade acadêmica em aprofundar seus conhecimentos sobre o assunto, buscando assim, compartilhar soluções a fim de minimizar ou eliminar os possíveis danos causados para a população e a indústria. Essa busca pela compreensão dos eventos *Natech* é fundamental para o desenvolvimento e planejamento de novas plantas industriais, para o plano de diretriz das cidades, auxiliando no crescimento racional da infraestrutura municipal, e para segurança da civilização e do ambiente, visto que os efeitos de um desastre tecnológico são ampliados quando ocorridos devido a desastres naturais.

Todos os trabalhos estudados estão distribuídos em 20 periódicos, como pode ser visto na tabela 5.1, onde 12 deles apresentam apenas um trabalho publicado. Deste modo tem-se que a maioria dos artigos (42 artigos, 78%), concentra-se em oito revistas, a maior parte das quais dedica-se a análise de riscos.

Tabela 5.1 – Número de artigos publicados por revista.

Revista	Publicações	%	Fator de Impacto 2	Fator de Impacto 5	Referência
Reliability Engineering and System Safety	11	20,37%	2,693	2,410	Antonioni et al. (2009), Salzano et al. (2009), Landucci et al. (2012), Lanzano et al. (2013), Milazzo et al. (2013), Necci et al. (2013), Landucci et al. (2014), Necci et al. (2014), Necci et al. (2014), Antonioni et al. (2015), Marzo et al. (2015)
Natural Hazards	7	12,96%	1,953	1,719	Cruz e Okada (2008), Krausmann e Mushtaq (2008), Steinberg et al. (2008), Krausmann et al. (2011), Menoni et al. (2012), Krausmann e Cruz (2013), Milazzo et al. (2013)
Journal of Loss Prevention in the Process Industries	6	11,11%	1,626	1,406	Cruz e Krausmann (2009), Krausmann et al. (2010), Lenoble e Durand (2011), Girgin e Krausmann (2013), Cozzani et al. (2014), Hajj et al. (2015)
Journal of Hazardous Materials	5	9,26%	5,277	4,529	Fabbrocino et al. (2005), Antonioni et al. (2007), Cozzani et al. (2010), Renni et al. (2010), Busini et al. (2011)
Chemical Engineering Transactions	4	7,41%	-	-	Ancione et al. (2014), Gheorghiu et al. (2014), Landucci et al. (2014), Necci et al. (2014)
Natural Hazards and Earth System Sciences	4	7,41%	2,168	1,735	Girgin (2011), Krausmann et al. (2011), Ozunu et al. (2011), Marzo et al. (2012)
Journal of Risk Research	3	5,56%	-	-	Cruz et al. (2006), Krausmann e Baranzini (2012), Salzano et al. (2015)
Risk Analysis	2	3,70%	2,539	2,502	Campedel et al. (2008), Santella et al. (2011)
Environmental Engineering and Management Journal	1	1,85%	0,806	1,065	Gheorghiu et al. (2014)
Climatic Change	1	1,85%	4,610	3,430	Cruz e Krausmann (2013)
Disasters	1	1,85%	-	-	Sengul et al. (2012)
Environment International	1	1,85%	6,657	5,559	Posthuma et al. (2014)
Georisk: Assessment and Management of Risk for Engineered Systems and Geohazards	1	1,85%	-	-	Petrova (2008)
Homeland Security & Emergency Management	1	1,85%	-	-	Kadri et al. (2014)
Journal of Applied Social Science	1	1,85%	-	-	Picou (2009)
Journal of Homeland Security and Emergency Management	1	1,85%	-	-	Santella e Steinberd (2011)
Mine Water and the Environment	1	1,85%	1,124	1,206	Mara et al. (2007)
Proceedings of the Institution of Civil Engineers: Civil Engineering	1	1,85%	0,535	0,714	Hudson (2012)
Process Safety and Environmental Protection	1	1,85%	2,441	2,551	Meng et al. (2015)
Water Resources Management	1	1,85%	2,831	2,600	Hartmann et al. (2006)

Fonte: Esta pesquisa (2016)

Avaliando o escopo dos periódicos e confrontando com o campo de atuação desse trabalho foi possível identificar e categorizar as revistas em quatro grupos, direcionadas para

o meio ambiente, para um ambiente industrial, para o meio ambiente e ambiente indústria e para outras áreas distintas. Isso não exclui a possibilidade de que revistas que apresentam um escopo específico publique um trabalho com um escopo mais amplo, como por exemplo, uma revista voltada para o meio ambiental tenha trabalhos publicados considerando os efeitos de desastres naturais em setores industriais.

Três das quatro revistas mais publicadas, *Reliability Engineering and System Safety*, *Journal of Loss Prevention in the Process Industries* e *Journal of Hazardous Materials*, apresentam um escopo destinado ao ambiente industrial, representando um total de 22 artigos, mais de 40% dos trabalhos analisados. Apesar da maioria dos periódicos, 34 artigos (63%), serem direcionados para o ambiente industrial, é possível identificar uma participação significativa desses periódicos, 16 trabalhos (35%), que atuam no meio ambiental ou meio ambiente e ambiente indústria. Desta maneira essas informações remetem à seguinte hipótese:

- H_2 = Há uma atenção para publicação de trabalhos científicos em periódicos que contemplem ambos os setores, ambiental e industrial, dentro do seu escopo.

Das 20 revistas analisadas 13 apresentam fator de impacto, segundo o *Journal Citation Reports*[®] (JCR), *Reliability Engineering and System Safety*, *Natural Hazards*, *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*, *Journal of Hazardous Materials*, *Natural Hazards and Earth System Sciences*, *Risk Analysis*, *Environmental Engineering and Management Journal*, *Climatic Change*, *Environment International*, *Mine Water and the Environment*, *Proceedings of the Institution of Civil Engineers: Civil Engineering*, *Process Safety and Environmental Protection* e *Water Resources Management*. Com exceção da *Environmental Engineering and Management Journal* e *Proceedings of the Institution of Civil Engineers: Civil Engineering*, todas tiveram fator de impacto para os últimos dois e cinco anos, superior a um, o que significa que o número de citações dos artigos publicados nessas revistas superou o número de artigos nelas publicados.

5.3 Distribuição dos artigos por instituição de pesquisa

As instituições *Università di Bologna* e *Joint Research Centre* são as principais colaboradoras a respeito do assunto *Natech*, apresentando 13 e 10 artigos, respectivamente, totalizando juntas quase metade dos trabalhos estudados (43%) como pode ser visto na tabela 5.2. Em uma análise mais detalhada dessas informações, constatou-se que desses 23 trabalhos

publicados por essas instituições a sua maioria abordava três tipos de desastres naturais: terremoto (11 artigos), inundações (12 artigos) e raios (8 artigos) e principalmente no âmbito de indústria química (17 artigos, 73,91%).

Tabela 5.2 – Número de artigos publicados por instituição de pesquisa.

Instituição	Publicações	%	Referência
Università di Bologna	13	24,07%	Antonioni et al. (2007), Campedel et al. (2008), Antonioni et al. (2009), Cozzani et al. (2010), Renni et al. (2010), Landucci et al. (2012), Necci et al. (2013), Cozzani et al. (2014), Landucci et al. (2014), Necci et al. (2014), Necci et al. (2014), Necci et al. (2014), Antonioni et al. (2015),
Joint Research Centre	10	18,52%	Cruz e Okada (2008), Krausmann e Mushtaq (2008), Cruz e Krausmann (2009), Krausmann et al. (2010), Girgin (2011), Krausmann et al. (2011), Krausmann et al. (2011), Krausmann e Baranzini (2012), Girgin e Krausmann (2013), Krausmann e Cruz (2013)
Istituto di Ricerche sulla Combustione	4	7,41%	Fabrocino et al. (2005), Salzano et al. (2009), Lanzano et al. (2013), Salzano et al. (2015)
Politecnico di Milano	4	7,41%	Busini et al. (2011), Marzo et al. (2012), Menoni et al. (2012), Marzo et al. (2015)
Babes-Bolyai University	3	5,56%	Ozunu et al. (2011), Gheorghiu et al. (2014), Gheorghiu et al. (2014)
Syracuse University	3	5,56%	Santella e Steinberd (2011), Santella et al. (2011), Sengul et al. (2012)
Università di Messina	3	5,56%	Milazzo et al. (2013), Milazzo et al. (2013), Ancione et al. (2014)
Accident Risks Division	1	1,85%	Lenoble e Durand (2011)
Arup	1	1,85%	Hudson et al. (2012)
Beijing Normal University	1	1,85%	Meng et al. (2015)
Darmstadt University of Technology	1	1,85%	Hartmann et al. (2006)
Dutch National Institute for Public Health and the Environment	1	1,85%	Posthuma et al. (2014)
Ecole Nationale Sup erieure des Mines de Saint Etienne	1	1,85%	Haji et al. (2015)
Kyoto University	1	1,85%	Cruz e Krausmann (2013)
Lomonosov Moscow State University	1	1,85%	Petrova (2008)
Ministry of Environment and Sustainable Development	1	1,85%	Mara et al. (2007)
Southern Methodist University	1	1,85%	Steinberg et al. (2008)
Università di Pisa	1	1,85%	Landucci et al. (2014)
University of North Texas	1	1,85%	Cruz et al. (2006)
University of South Alabama	1	1,85%	Picou (2009)
University of Technology of Troyes	1	1,85%	Kadri et al. (2014)

Fonte: Esta pesquisa (2016)

Outra informação extraída das instituições publicadoras sobre o tema é a sua nacionalidade, fornecendo assim um viés das regiões de origem dos trabalhos. Desta maneira, identificou-se que apenas três continentes estiveram presentes, europeu (45 artigos, 83,34%), americano (7 artigos, 12,96%) e asiático (2 artigos, 3,70%). Dessa forma, é possível levantar a seguinte hipótese:

- H_3 = Há um avanço sobre os estudos de eventos *Natech* no continente Europeu.

A grande diferença do continente Europeu se dá na quantidade de artigos publicados por instituições italianas (35 artigos), como pode ser visto na tabela 5.3, representando mais da metade dos artigos analisados no presente trabalho. Grimaz et al. (2014) apontaram que existe uma alta vulnerabilidade das plantas industriais aos terremotos, em particular no território italiano, onde dos 35 artigos publicados por instituições italianas, 18 são dirigidos a terremotos (51,43%).

Tabela 5.3 – Número de artigos publicados por nacionalidade da instituição.

Nacionalidade	Publicações	%	Referência
Itália	35	65%	Fabbrocino et al. (2005), Antonioni et al. (2007), Campedel et al. (2008), Cruz e Okada (2008), Krausmann e Mushtaq (2008), Antonioni et al. (2009), Cruz e Krausmann (2009), Salzano et al. (2009), Cozzani et al. (2010), Krausmann et al. (2010), Renni et al. (2010), Busini et al. (2011), Girgin (2011), Krausmann et al. (2011), Krausmann et al. (2011), Krausmann e Baranzini (2012), Landucci et al. (2012), Marzo et al. (2012), Menoni et al. (2012), Girgin e Krausmann (2013), Krausmann e Cruz (2013), Lanzano et al. (2013), Milazzo et al. (2013), Milazzo et al. (2013), Necci et al. (2013), Ancione et al. (2014), Cozzani et al. (2014), Landucci et al. (2014), Landucci et al. (2014), Necci et al. (2014), Necci et al. (2014), Necci et al. (2014), Antonioni et al. (2015), Marzo et al. (2015), Salzano et al. (2015)
Estados Unidos	7	13%	Cruz et al. (2006), Hartmann et al. (2006), Steinberg et al. (2008), Picou (2009), Santella et al. (2011), Santella e Steinberd (2011), Sengul et al. (2012)
Romênia	4	7%	Mara et al. (2007), Ozunu et al. (2011), Gheorghiu et al. (2014), Gheorghiu et al. (2014)
França	3	6%	Lenoble e Durand (2011), Kadri et al. (2014), Hajj et al. (2015)
Reino Unido	1	2%	Hudson et al. (2012)
Holanda	1	2%	Posthuma et al. (2014)
China	1	2%	Meng et al. (2015)
Japão	1	2%	Cruz e Krausmann (2013)
Rússia	1	2%	Petrova (2008)

Fonte: Esta pesquisa (2016)

As informações demonstradas na tabela 5.3 em conjunto com a análise das informações contribuíram para o levantamento da hipótese:

- H_4 = Na Europa, a Itália destaca-se com relação ao número de estudos sobre eventos *Natech* devido a uma maior vulnerabilidade das suas plantas industriais com relação à ocorrência de eventos naturais.

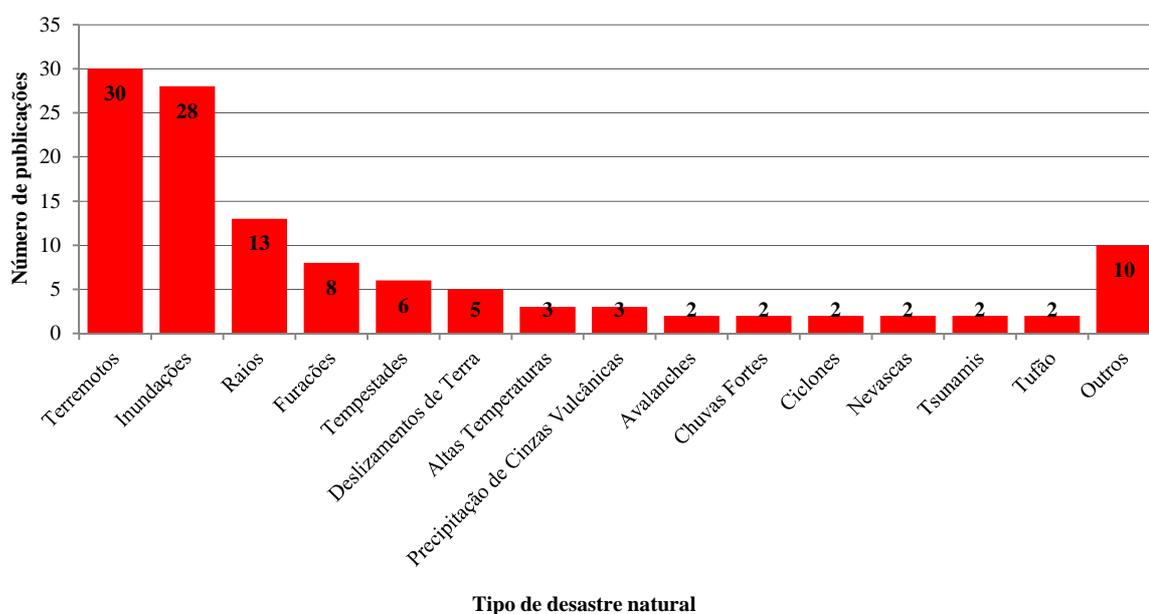
5.4 Distribuição de artigos por tipo de desastre natural

A pesquisa identificou inicialmente 22 tipos de desastres naturais, os quais posteriormente foram sintetizados em 14 tipos adicionado a categoria outros, que agrupou todos os trabalhos que apresentaram menos de duas publicações por tipos de desastres naturais.

Como demonstrado na figura 5.2, os tipos de desastres mais abordados nas publicações são terremoto, presente em 55,55% dos artigos, e inundações, com 51,85% de participação no total de publicações. Além disto, verificou-se que 15 artigos apresentaram simultaneamente os dois tipos de desastres, o que representa 27,78% dos artigos estudados. Desses artigos, sete ainda abordam desastres provenientes de raios, que é a terceira maior participação no estudo, ou seja, aproximadamente metade das publicações. Essas informações contribuíram para a seguinte hipótese:

- H_5 = Há uma maior contribuição na literatura sobre eventos *Natech* originados por terremotos, inundações e raios.

Figura 5.2 – Frequência de publicações por tipo de desastre natural entre 2000 e 2015



Fonte: Esta pesquisa (2016)

A análise dos trabalhos pôde identificar uma média de dois tipos de desastres naturais para cada artigo, porém esse valor variou significativamente, onde constatou-se trabalhos com abordagem para apenas um desastre natural, como também artigos abordando até 10 tipos de desastres. A maioria dos trabalhos (85,19%) são compostos por até três tipos de desastres naturais; o maior número de publicações é para aqueles direcionados exclusivamente para um desastre específico, 32 artigos, como pode ser visto na tabela 5.4, dos quais 13 abordam terremotos e 10 inundações. Entretanto, os trabalhos que abordam dois e três tipos de desastres apresentaram um valor significativo, sete artigos cada um.

Tabela 5.4 – Número de tipos de desastres naturais por artigos publicados.

Número de desastre natural por artigo	Publicações	%	Referência
1 Tipo	32	59,26%	Fabbrocino et al. (2005), Antonioni et al. (2007), Mara et al. (2007), Krausmann e Mushtaq (2008), Picou (2009), Salzano et al. (2009), Cozzani et al. (2010), Krausmann et al. (2010), Renni et al. (2010), Busini et al. (2011), Girgin (2011), Lenoble e Durand (2011), Landucci et al. (2012), Marzo et al. (2012), Menoni et al. (2012), Girgin e Krausmann (2013), Lanzano et al. (2013), Milazzo et al. (2013), Milazzo et al. (2013), Necci et al. (2013), Ancione et al. (2014), Gheorghiu et al. (2014), Gheorghiu et al. (2014), Landucci et al. (2014), Landucci et al. (2014), Necci et al. (2014), Necci et al. (2014), Antonioni et al. (2015), Hajj et al. (2015), Marzo et al. (2015), Meng et al. (2015)
2 Tipos	7	12,96%	Campedel et al. (2008), Cruz e Okada (2008), Antonioni et al. (2009), Cruz e Krausmann (2009), Sengul et al. (2012), Krausmann e Cruz (2013), Cozzani et al. (2014)
3 Tipos	7	12,96%	Hartmann et al. (2006), Krausmann et al. (2011), Krausmann et al. (2011), Ozunu et al. (2011), Santella et al. (2011), Kadri et al. (2014), Salzano et al. (2015)
4 Tipos	1	1,85%	Santella e Steinberd (2011)
6 Tipos	2	3,70%	Cruz et al. (2006), Cruz e Krausmann (2013).
7 Tipos	1	1,85%	Krausmann e Baranzini (2012)
8 Tipos	1	1,85%	Posthuma et al. (2014)
10 Tipos	1	1,85%	Petrova (2008)

Fonte: Esta pesquisa (2016)

Desta maneira foi possível alcançar a seguinte hipótese:

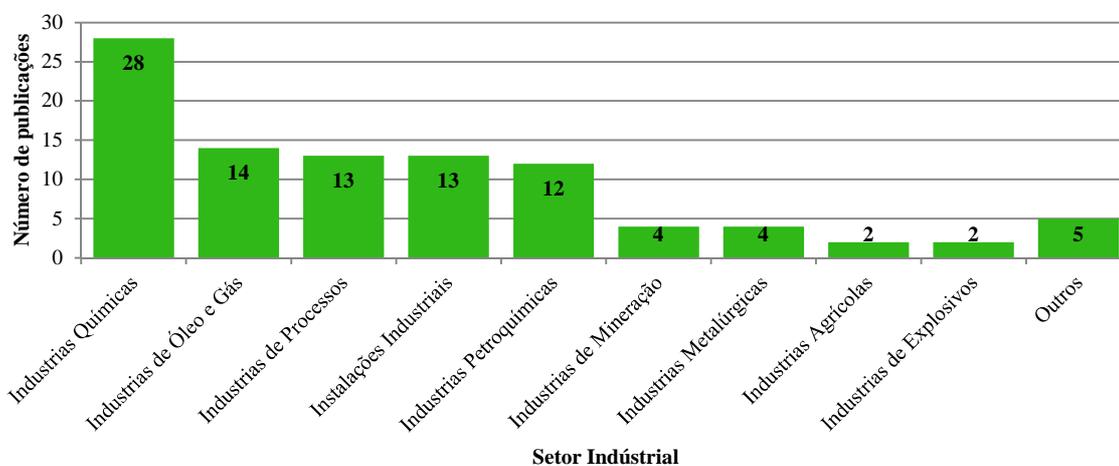
- $H_6 =$ Há um foco de estudos para trabalhos com um único tipo de desastre natural, mais especificamente terremotos ou inundações.

5.5 Distribuição de artigos por setor industrial

Em princípio existiam 14 setores industriais que foram reduzidos para nove setores mais a categoria outros, que reuniu todos os artigos que contribuíram apenas uma vez no trabalho todo. A pesquisa conseguiu identificar uma grande participação de trabalhos no setor das indústrias químicas (51,85%), como observado na figura 5.3, seguido do setor de indústrias de óleo e gás (25,93%), indústrias de processos (24,07%), instalações industriais (24,07%) e indústria petroquímica (22,22%). Desta maneira levantou-se a seguinte hipótese:

- H_7 = Há uma maior atenção para eventos *Natech* nas indústrias químicas.

Figura 5.3 – Frequência de publicações por setor entre 2000 e 2015



Fonte: Esta pesquisa (2016)

Os setores industriais foram confrontados com os tipos de desastres naturais para identificar a interação entre essas duas características, resultando na figura 5.4, demonstrando uma preocupação significativa para desastres *Natech* oriundos de terremotos sobre as indústrias químicas.

Contudo, é visível que algumas outras interações apresentam uma atenção relativa nos trabalhos e com isso possibilitou a proposição da seguinte hipótese:

- H_8 = Há uma maior atenção a desastres *Natech* com origem em terremotos, inundações e raios sobre as indústrias químicas.

Figura 5.4 – Número de publicações entre desastres naturais e setores industriais

		Setores Industriais									
		Indústrias Químicas	Indústrias de Óleo e Gás	Indústrias de Processos	Instalações Industriais	Indústrias Petroquímicas	Indústrias de Mineração	Indústrias Metalúrgicas	Indústrias Agrícolas	Indústrias de Explosivos	Outros
Desastres Naturais	Terremotos	16	7	5	7	7	1	1	-	-	1
	Inundações	15	3	7	9	5	2	1	2	1	2
	Raios	9	3	5	2	1	-	1	-	-	-
	Furacões	4	3	-	2	2	1	1	-	-	-
	Tempestades	3	2	1	2	-	-	-	-	-	-
	Deslizamentos de Terra	3	-	-	2	1	-	-	-	-	1
	Altas Temperaturas	1	1	-	1	-	-	-	-	-	-
	Precipitação de Cinzas Vulcânicas	1	1	1	1	-	-	-	-	-	1
	Avalanches	-	-	-	2	-	-	-	-	-	-
	Chuvas Fortes	1	1	-	-	-	-	-	-	-	-
	Ciclones	1	-	-	1	-	-	-	-	-	-
	Nevascas	-	-	-	2	-	-	-	-	-	-
	Tsunamis	2	1	-	-	1	1	1	-	-	-
	Tufão	1	-	-	1	-	-	-	-	-	-
	Outros	3	-	1	3	1	-	-	-	-	-

Fonte: Esta pesquisa (2016)

Outra característica encontrada nos trabalhos está relacionada à quantidade de setores industriais abordados em um mesmo artigo. A maioria deles foram direcionados para apenas um tipo de indústria, porém houve trabalho que apresentou sua abordagem para oito tipos, de acordo com a classificação proposta nesse trabalho, como pode ser verificado na tabela 5.5. Em geral, a maior parte dos artigos estudados (85,19%) relatam desastres *Natech* em até dois tipos de indústrias.

Dos artigos direcionados para um tipo, destacou-se a participação das Instalações Industriais, que apresentou 13 artigos (40,62%) dos quais nove (69,23%) estão relacionados

com o desastre natural proveniente de inundações. Logo, com base nas informações colhidas, propomos a seguinte hipótese:

- H_9 = Há uma preocupação por desastres *Natech* originários de inundações sobre instalações industriais.

Tabela 5.5 – Número de tipos de desastres tecnológico por artigos publicados.

Número de indústrias por artigo	Publicações	%	Referência
1 Tipo	32	59,26%	Fabbrocino et al. (2005), Cruz et al. (2006), Hartmann et al. (2006), Mara et al. (2007), Cruz e Okada (2008), Petrova (2008), Steinberg et al. (2008), Cruz e Krausmann (2009), Salzano et al. (2009), Krausmann et al. (2010), Busini et al. (2011), Girgin (2011), Lenoble e Durand (2011), Santella e Steinberd (2011), Krausmann e Baranzini (2012), Marzo et al. (2012), Menoni et al. (2012), Sengul et al. (2012), Cruz e Krausmann (2013), Girgin e Krausmann (2013), Lanzano et al. (2013), Ancione et al. (2014), Gheorghiu et al. (2014), Gheorghiu et al. (2014), Kadri et al. (2014), Landucci et al. (2014), Necci et al. (2014), Posthuma et al. (2014), Antonioni et al. (2015), Hajj et al. (2015), Meng et al. (2015), Salzano et al. (2015)
2 Tipos	14	25,93%	Antonioni et al. (2007), Antonioni et al. (2009), Krausmann et al. (2011), Krausmann et al. (2011), Ozunu et al. (2011), Santella et al. (2011), Hudson et al. (2012), Landucci et al. (2012), Necci et al. (2013), Cozzani et al. (2014), Landucci et al. (2014), Necci et al. (2014), Necci et al. (2014), Marzo et al. (2015)
3 Tipos	3	5,56%	Campedel et al. (2008), Cozzani et al. (2010), Milazzo et al. (2013)
4 Tipos	1	1,85%	Renni et al. (2010)
5 Tipos	2	3,70%	Krausmann e Cruz (2013), Picou (2009)
8 Tipos	1	1,85%	Krausmann e Mushtaq (2008)

Fonte: Esta pesquisa (2016)

5.6 Distribuição de artigos por ferramentas/metodologias

Esse trabalho preocupou-se em identificar as principais ferramentas/metodologias que estão sendo utilizadas para o gerenciamento dos riscos dos eventos *Natech*. Inicialmente verificou-se a existência de 37 tipos, contudo foi constatada a ausência da descrição das ferramentas/metodologias utilizadas em 14 artigos, reduzindo assim o tamanho da amostra. Após definir as principais ferramentas/metodologias empregadas para o gerenciamento do risco, chegando a oito tipos mais uma categoria outras, que representam todas as ferramentas significativas que apareceram apenas uma vez em toda a pesquisa, resultando na tabela 5.6.

Tabela 5.6 – Número de ferramentas/metodologia utilizadas por artigos.

Instituição	Publicações	%	Referência
Sistema de Informação Geográfica (GIS)	11	20,37%	Antonioni et al. (2007), Campedel et al. (2008), Cruz e Okada (2008), Antonioni et al. (2009), Santella et al. (2011), Ancione et al. (2014), Cozzani et al. (2014), Gheorghiu et al. (2014), Gheorghiu et al. (2014), Marzo et al. (2015), Meng et al. (2015)
Análise da Árvore de Evento (ETA)	10	18,52%	Antonioni et al. (2009), Cozzani et al. (2010), Renni et al. (2010), Krausmann et al. (2011), Lenoble e Durand (2011), Hudson et al. (2012), Milazzo et al. (2013), Necci et al. (2014), Hajj et al. (2015), Salzano et al. (2015)
Análise Quantitativa de Risco (QRA)	8	14,81%	Antonioni et al. (2007), Landucci et al. (2012), Lanzano et al. (2013), Milazzo et al. (2013), Landucci et al. (2014), Landucci et al. (2014), Antonioni et al. (2015), Salzano et al. (2015)
Curvas F-N	8	14,81%	Fabbrocino et al. (2005), Campedel et al. (2008), Antonioni et al. (2009), Krausmann et al. (2011), Cozzani et al. (2014), Gheorghiu et al. (2014), Gheorghiu et al. (2014), Antonioni et al. (2015)
Simulação de Monte Carlo	4	7,41%	Necci et al. (2013), Ancione et al. (2014), Necci et al. (2014), Necci et al. (2014)
Análise da Árvore de Falhas (FTA)	4	7,41%	Lenoble e Durand (2011), Hudson et al. (2012), Necci et al. (2014), Hajj et al. (2015)
Matriz de Risco	2	3,70%	Krausmann et al. (2011), Lenoble e Durand (2011)
Diagramas Bow-Tie	2	3,70%	Lenoble e Durand (2011), Hajj et al. (2015)
Outras	8	14,81%	Cruz e Okada (2008), Salzano et al. (2009), Kadri et al. (2014), Posthuma et al. (2014), Hajj et al. (2015), Salzano et al. (2015)

Fonte: Esta pesquisa (2016)

Analisando exclusivamente os tipos de ferramentas/metodologias é possível constatar uma participação de 69% das publicações em apenas quatro tipos, entretanto, é a categoria outras que acumulou um total de oito artigos (15%) demonstrando uma quantidade significativa dos artigos. Assim, chegou a seguinte hipótese:

- H_{10} = Há uma preocupação dos pesquisadores com a aplicação de ferramentas para suporte ao gerenciamento de riscos como é o caso do GIS e ETA nos artigos publicados sobre desastres *Natech*.

Outra interpretação que o trabalho tentou identificar é a aplicação conjunta de ferramentas em um mesmo artigo, como pode ser visto na tabela 5.7. Para a seleção adotada no presente trabalho constatou-se artigos que fizeram uso de até quatro tipos de ferramentas para auxiliar de alguma forma na avaliação dos riscos *Natech* estudado. Como já informado anteriormente, alguns artigos não descreveram as ferramentas/metodologias, tornando possível que certos artigos classificados com uma dada quantidade de ferramentas tenham

utilizado uma quantidade superior, porém devido a não distinção da mesma não foi possível identificar. Desta maneira uma hipótese levantada foi:

- H_{11} = Há uma participação significativa de até duas ferramentas ou metodologias por artigo para avaliar os riscos de eventos *Natech*.

Tabela 5.7 – Número de tipos de desastres por artigos publicados.

Número de indústrias por artigo	Publicações	%	Referência
1 Ferramenta	18	54,55%	Fabbrocino et al. (2005), Salzano et al. (2009), Cozzani et al. (2010), Renni et al. (2010), Santella et al. (2011), Landucci et al. (2012), Lanzano et al. (2013), Milazzo et al. (2013), Milazzo et al. (2013), Necci et al. (2013), Kadri et al. (2014), Landucci et al. (2014), Landucci et al. (2014), Necci et al. (2014), Necci et al. (2014), Posthuma et al. (2014), Marzo et al. (2015), Meng et al. (2015)
2 Ferramentas	10	30,30%	Antonioni et al. (2007), Campedel et al. (2008), Cruz e Okada (2008), Hudson et al. (2012), Ancione et al. (2014), Cozzani et al. (2014), Gheorghiu et al. (2014), Gheorghiu et al. (2014), Necci et al. (2014), Antonioni et al. (2015)
3 Ferramentas	3	9,09%	Antonioni et al. (2009), Krausmann et al. (2011), Salzano et al. (2015).
4 Ferramentas	2	6,06%	Lenoble e Durand (2011), Hajj et al. (2015).

Fonte: Esta pesquisa (2016)

Um dos objetivos específicos do trabalho é identificar a relação entre os setores industriais, desastres naturais e as ferramentas/metodologias utilizadas para análise dos riscos *Natech*. Com isso foi produzida a figura 5.5.a e 5.5.b; a primeira traz a interação com o setor industrial e a seguinte a interação com os desastres naturais, ambas como relação aos tipos de ferramenta. Os cruzamentos das informações forneceram algumas relações que não apresentaram nenhum tipo de menção, que visando uma melhor representação gráfica não foram expostas nas figuras.

Na figura 5.5.a, tem-se em destaque a participação de Sistema de Informação Geográfico (*Geographic Information System – GIS*) em Indústrias Químicas que apresentou a maior participação da análise com sete menções. O GIS é bastante difundido entre as indústrias químicas e petroquímicas, é a ferramenta que apresentou o maior número de aparições nos artigos estudados, como demonstrado na tabela 5.6. Outras duas ferramentas que apresentaram um comportamento curioso foram a Análise de Árvore de Evento (*Event Tree Analysis – ETA*) e o Diagrama *Bow-Tie*. A ETA é a única ferramenta que esteve presente em todas essas indústrias da figura 5.6.a, já o Diagrama *Bow-Tie* apresentou apenas

uma participação nas Indústrias de Óleo e Gás e nas Instalações Industriais. Com isso, chegou-se à seguinte hipótese:

- H_{12} = Há uma aplicação da ferramenta ETA para análise dos riscos *Natech* em todos os setores industriais considerados.

Com relação aos tipos de ferramentas/metodologias confrontadas com os tipos de desastres naturais, pôde-se observar algumas peculiaridades interessantes na figura 5.5.b. Uma dessas é o relato da relação da ferramenta GIS com o desastre natural terremoto, que apresentou a maior contribuição com 10 citações. Uma ferramenta bastante utilizada foi a Curva F-N que das sete vezes citadas nos artigos sobre terremoto, cinco estavam sendo utilizadas em conjunto com a ferramenta GIS. Fica claro que a maior parte dos artigos analisados foram destinados a três tipos de desastres naturais, terremoto, inundação e raios, e uma ferramenta difundida nesses eventos foi a ETA, aparecendo quatro vezes em terremotos e raios e cinco vezes em eventos de inundação. Outras ferramentas/metodologias fortemente utilizadas em inundações foram a Análise Quantitativa de Risco (*Quantitative Risk Assessment* – QRA) e as Curvas F-N, demonstrando assim que é um dos eventos mais estudados atualmente, segundo os artigos. Algumas hipóteses com base nessas informações são:

- H_{13} = Há uma grande aplicação da ferramenta GIS para análise dos riscos *Natech* em desastres originados por terremotos;
- H_{14} = Há uma tendência para o uso conjunto das ferramentas/metodologias GIS e Curva F-N para análise dos riscos *Natech* em desastres originados por terremotos.

Figura 5.5 – Relação de publicações entre setor industrial, desastre natural e ferramentas/metodologias

		Setor Industrial						
		Indústrias Químicas	Indústrias de Óleo e Gás	Indústrias de Processos	Instalações industriais	Indústrias Petroquímicas	Indústrias Metalúrgicas	Indústrias Agrícolas
Ferramentas / Metodologias	Análise Quantitativa de Risco (QRA)	4	3	3	3	-	-	-
	Sistema de Informação Geográfica (GIS)	7	2	3	2	4	-	-
	Simulação de Monte Carlo	3	1	2	1	-	-	-
	Curvas F-N	4	2	4	1	2	-	-
	Matriz de Risco	1	1	1	-	-	-	-
	Diagramas <i>Bow-Tie</i>	-	1	-	1	-	-	-
	Análise da Árvore de Evento (ETA)	5	2	4	2	2	1	1
	Análise da Árvore de Falhas (FTA)	1	1	2	1	-	-	-

(a) Setor Industrial x Ferramentas/Metodologias

		Desastre Natural					
		Terremotos	Inundações	Raios	Furacões	Tempestades	Precipitação de Cinzas Vulcânicas
Ferramentas / Metodologias	Análise Quantitativa de Risco (QRA)	3	5	1	-	-	1
	Sistema de Informação Geográfica (GIS)	10	4	-	1	1	1
	Simulação de Monte Carlo	-	-	3	-	-	1
	Curvas F-N	7	4	1	-	1	-
	Matriz de Risco	2	1	1	-	-	-
	Diagramas <i>Bow-Tie</i>	1	1	-	-	-	-
	Análise da Árvore de Evento (ETA)	4	5	4	-	-	1
	Análise da Árvore de Falhas (FTA)	1	1	1	-	-	-

(b) Desastre Natural x Ferramentas/Metodologias

Fonte: Esta pesquisa (2016)

Uma perspectiva também analisada nesse trabalho é o ano em que as ferramentas foram mencionadas, dando assim um viés da maturidade das ferramentas/metodologias acerca desse tema. As ferramentas que apresentam publicações mais frequentes são as Curvas F-N, citadas desde 2005, e o GIS mencionado a partir de 2007, como pode ser visto na figura 5.6. E em relação às ferramentas/metodologias que vêm sendo utilizadas nos últimos cinco anos o trabalho conseguiu identificar cinco delas, Simulação de Monte Carlos, Diagrama *Bow-Tie*, Matriz de Risco, Análise da Árvore de Falha (*Fault Tree Analysis – FTA*) e QRA. Uma particularidade constatada na figura 5.6 é a participação da ETA que, mesmo não sendo uma ferramenta enquadrada nas mais antigas, a mesma começou a ser mencionada em 2009 e desde então vem sendo citada a cada ano, mostrando ser uma das ferramentas mais participativas no estudo. Em posse dessas informações algumas hipóteses foram propostas:

- H_{15} = Há uma contribuição frequente das ferramentas GIS e Curvas F-N para a análise dos riscos *Natech*;

Figura 5.6 – Relação entre as publicações por ano e as ferramentas/metodologias

Ferramentas / Metodologias	Análise Quantitativa de Risco (QRA)	-	-	1	-	-	-	-	1	2	2	2
	Sistema de Informação Geográfica (GIS)	-	-	1	2	1	-	1	-	-	4	2
	Simulação de Monte Carlo	-	-	-	-	-	-	-	-	1	3	-
	Curvas F-N	1	-	-	1	1	-	1	-	-	3	1
	Matriz de Risco	-	-	-	-	-	-	2	-	-	-	-
	Diagramas <i>Bow-Tie</i>	-	-	-	-	-	-	1	-	-	-	1
	Análise da Árvore de Evento (ETA)	-	-	-	-	1	2	2	1	1	1	2
	Análise da Árvore de Falhas (FTA)	-	-	-	-	-	-	1	1	-	1	1
		2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015
		Anos										

Fonte: Esta pesquisa (2016)

5.7 Conclusão do capítulo

Esse trabalho elencou 15 hipóteses que foram agrupadas na tabela 5.8 com suas respectivas descrições.

Tabela 5.8 – Resumo das hipóteses levantadas.

Hipóteses	Descrição
H ₁	Há um crescimento no interesse sobre o tema de eventos <i>Natech</i>
H ₂	Há uma atenção para publicação de trabalhos científicos em periódicos que contemplem ambos os setores, ambiental e industrial, dentro do seu escopo
H ₃	Há um avanço sobre os estudos de eventos <i>Natech</i> no continente Europeu
H ₄	Na Europa, a Itália destaca-se com relação ao número de estudos sobre eventos <i>Natech</i> devido a uma maior vulnerabilidade das suas plantas industriais com relação à ocorrência de eventos naturais
H ₅	Há uma maior contribuição na literatura sobre eventos <i>Natech</i> originados por terremotos, inundações e raios
H ₆	Há um foco de estudos para trabalhos com um único tipo de desastre natural, mais especificamente terremotos ou inundações
H ₇	Há uma maior atenção para eventos <i>Natech</i> nas indústrias químicas
H ₈	Há uma maior atenção a desastres <i>Natech</i> com origem em terremotos, inundações e raios sobre as indústrias químicas
H ₉	Há uma preocupação por desastres <i>Natech</i> originários de inundações sobre instalações industriais
H ₁₀	Há uma preocupação dos pesquisadores com a aplicação de ferramentas para suporte ao gerenciamento de riscos como é o caso do GIS e ETA nos artigos publicados sobre desastres <i>Natech</i>
H ₁₁	Há uma participação significativa de até duas ferramentas ou metodologias por artigo para avaliar os riscos de eventos <i>Natech</i>
H ₁₂	Há uma aplicação efetiva da ferramenta ETA para análise dos riscos <i>Natech</i> em todos os setores industriais considerados
H ₁₃	Há uma grande aplicação da ferramenta GIS para análise dos riscos <i>Natech</i> em desastres originados por terremotos
H ₁₄	Há uma tendência para o uso conjunto das ferramentas/metodologias GIS e Curva F-N para análise dos riscos <i>Natech</i> em desastres originados por terremotos
H ₁₅	Há uma contribuição frequente das ferramentas GIS e Curvas F-N para a análise dos riscos <i>Natech</i>

Fonte: Esta pesquisa (2016)

Essas hipóteses podem fornecer uma perspectiva de todos os dados analisados no presente estudo, servindo para possíveis *insights* para trabalhos futuros.

6. CONCLUSÕES E SUGESTÕES PARA FUTUROS TRABALHOS

O aumento da ocorrência de desastres naturais e, conseqüentemente, o desencadeamento de um desastre tecnológico tem se tornado uma realidade mais frequente. Desta forma, a necessidade de entender os eventos *Natech* é crucial no processo de mitigação e prevenção dos riscos. Alguns pesquisadores vêm desenvolvendo trabalhos com o intuito de identificar os principais fatores desses eventos e propor metodologias para combater esses riscos que requerem uma gestão mais complexa do que os riscos isolados de desastres naturais e tecnológicos, que auxiliam na formulação de estratégias de controle e prevenção de acidentes além de contribuir para políticas públicas de planejamento do uso do solo.

Apesar do crescimento do número de publicações sobre eventos *Natech* nos últimos anos, o trabalho enfrentou uma limitação no tamanho da amostra de artigos analisados, mesmo para aqueles trabalhos em que o evento *Natech* não foi identificado diretamente, visto que alguns autores ainda abordam os desastres tecnológicos desencadeados por desastres naturais de forma isolada. Outra questão levantada por Krausmann & Mushtaq (2008) e observada durante o desenvolvimento deste estudo foi que o número de artigos avaliados não é superior devido à ausência de relatos das características de eventos *Natech* que impedem pesquisadores de desenvolverem estudos mais aprofundados a respeito do tema. Segundo Krausmann & Baranzini (2012) e Hajj et al. (2015), a falta de conhecimento das dinâmicas dos acidentes *Natechs* é uma das principais causas da ausência de metodologias e ferramentas para a avaliação dos riscos *Natech*.

A importância da compreensão dos eventos *Natech* pôde ser evidenciada durante o trabalho, no qual através da revisão sistemática da literatura foi possível identificar os horizontes no qual a comunidade científica vem desenvolvendo seus estudos e para o norteamento de novas pesquisas na área que são fundamentais para o gerenciamento dos riscos. A revisão conseguiu alcançar o objetivo geral do trabalho ao identificar os aspectos relevantes tratados nos artigos científicos analisados durante o tempo de estudo e fornecer um diagnóstico da situação sobre o tema.

A respeito dos objetivos específicos, o trabalho identificou um baixo número de publicações entre 2000 e 2010, apesar de 2008 o número de publicações terem sido o dobro em relação ao total até aquele período, como destaque para a base *Web of Science*[®] que apresentou a maior quantidade de trabalhos publicados nesse ano para todo o período

analisado. Entre 2011 e 2015 ocorreram as maiores contribuições, em termos numéricos para o tema, no qual a média de publicação por ano foi de 7,4. O ano de 2011 foi atípico visto que apresentou a maior taxa de crescimento de publicações, aproximadamente 270% em relação ao ano anterior e o maior número de trabalhos publicados em ambas as bases, *Web of Science*[®] e SCOPUS. O aumento do número de trabalhos publicados é fundamental para a melhor compreensão dos eventos *Natech* e dessa maneira proporcionar a toda sociedade condições de minimizar os impactos provenientes desses fenômenos.

Com relação aos periódicos, a pesquisa identificou que os trabalhos foram publicados em 20 revistas das quais 12 apresentaram um único trabalho, concentrando cerca de 80% dos artigos nas demais revistas. Três das quatro revistas que mais ocorreram publicações dentro dessa pesquisa, *Reliability Engineering and System Safety*, *Journal of Loss Prevention in the Process Industries* e *Journal of Hazardous Materials*, apresentam 40% dos trabalhos analisados, no qual após a interpretação do escopo dos periódicos constatou-se que eram direcionadas ao ambiente industrial. Mas apesar da maioria das publicações nos periódicos, 34 artigos (63%), serem destinadas ao ambiente industrial, foi possível identificar uma participação significativa de artigos publicados em periódicos que contemplam ambos os setores em seu escopo, ambiental e industrial.

A pesquisa identificou que os artigos foram publicados em instituições de três continentes, europeu (83,34%), americano (12,96%) e asiático (3,70%). As maiores contribuições na Europa foram das instituições *Università di Bologna* e *Joint Research Centre*, compondo juntas aproximadamente 43% dos trabalhos estudados. As instituições italianas se destacaram na pesquisa com 18 artigos publicados sobre terremotos que segundo Grimaz et al. (2014), pode estar relacionado com alta vulnerabilidade das plantas industriais daquele país. Apesar da maior parte dos trabalhos serem publicados por instituições europeias isso não afirma que os maiores números de casos de eventos *Natech* se encontram nessa região. Tanto que alguns artigos publicados foram referentes a eventos *Natech* em ocorridos em continentes diferentes da instituição publicadora.

Entre os desastres naturais que mais se destacaram durante a pesquisa, terremoto e inundação foram os que mais estiveram presente com uma participação de 55,55% e 51,85% respectivamente. Outra peculiaridade foi que em sete artigos esses dois tipos de desastres naturais estiveram juntos e contemplaram outro tipo de desastre natural, raios, que apresentou a

terceira maior participação nos artigos estudados. Ainda a pesquisa identificou que os artigos apresentaram uma média de dois tipos de desastres para cada artigo, contudo teve trabalho chegou a apresentar 10 tipos de desastres naturais. Contudo a maioria dos artigos é direcionada para um único tipo de desastre natural como pode ser constatado em 32 trabalhos (59,26%) publicados.

Para o setor industrial a grande participação nos artigos foram as indústrias químicas com 51,85% dos trabalhos estudados. E quando confrontado os setores industriais com os tipos de desastres naturais foi possível constatar uma preocupação de eventos *Natech* originados por terremotos, inundações e raios sobre as indústrias químicas. Mais uma participação significativa identificada no estudo foi o número de artigos que abordaram eventos *Natech* oriundos de inundações sobre instalações industriais.

A pesquisa encontrou dificuldades em identificar algumas ferramentas/metodologias utilizadas pelos artigos, visto que muitos dos trabalhos mencionaram o uso de uma ferramenta, entretanto não especificaram a qual. Das ferramentas/metodologias que mais se destacaram estão GIS e ETA, que estiveram presentes em 20,37% e 18,52% dos artigos, respectivamente. Com relação ao número de ferramentas/metodologias utilizadas por artigo, o trabalho identificou que a grande parte dos artigos apresentava até dois tipos (84,85%), porém houve artigos que contemplaram até quatro tipos.

Confrontando as ferramentas/metodologias com os setores indústrias estudados, constatou-se que a ETA é a única que esteve presente em todos os setores, evidenciando assim a sua importância para o gerenciamento dos riscos em eventos *Natech*. Já a ferramenta GIS foi bastante utilizada por eventos *Natech* oriundos de terremotos, estando presente em 10 artigos, dos quais sete apresentaram a utilização conjunta da ferramenta Curva F-N.

Quanto ao ano de publicação dos artigos e as ferramentas/metodologias constatou-se que as ferramentas GIS e Curva F-N são que há mais tempo estão sendo citadas e apresentam uma frequência considerada com relação às demais nos trabalhos analisados.

Como recomendações para trabalhos futuros, seria a padronização de ferramentas/metodologias no monitoramento e controle dos eventos *Natech* auxiliariam no gerenciamento dos riscos fornecendo instrumentos de análise que identificariam as principais causas desses desastres possibilitando um estudo mais aprofundado sobre o tema. A publicação de metodologias/ferramentas para análise dos riscos *Natech* nos campos em que o

trabalho identificou a ausência de artigos. E a realização de uma análise estatística das hipóteses levantadas que requereriam a ampliação do número da amostrada de artigos analisados.

REFERÊNCIAS

- ADGER, W. N. Vulnerability. *Global Environmental Change*, 16, p. 268–281, 2006.
- ALCÁNTARA-AYALA, I. Geomorphology, natural hazards, vulnerability and prevention of natural disasters in developing countries. *Geomorphology*, p. 107-124, 2002.
- ANCIONE, G. S. Vulnerability of Wastewater Treatment Plants to Volcanic Na-Tech Events. *Chemical Engineering Transactions*, 36, p. 433-438, 2014.
- ANDREWS, J. D., & DUNNETT, S. J. Event-Tree Analysis Using Binary Decision Diagrams. *IEEE Transactions on Reliability*, 49(2), p. 230-238, 2000.
- ANEZIRIS, O. N., PAPAZOGLU, I. A., KONSTANTINIDOU, M., & NIVOLIANITOU, Z. Integrated risk assessment for LNG terminals. *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*, 28, p. 23-35, 2014.
- ANTONIONI, C. V., GIACOMO, & SPADONI, G. A methodology for the quantitative risk assessment of major accidents triggered by seismic events. *Journal of Hazardous Materials*, 147, p. 48-59, 2007.
- ANTONIONI, G., BONVICINI, S., SPADONI, G., & COZZANI, V. Development of a framework for the risk assessment of Na-Tech accidental events. *Reliability Engineering and System Safety*, 94, p. 1442-1450, 2009.
- ANTONIONI, G., COZZANI, G., LANDUCCI, G., NECCI, A., & GHEORGHIU, D. Quantitative assessment of risk due to NaTech scenarios caused by floods. *Reliability Engineering and System Safety*, 142, p. 334-345, 2015.
- AVEN, T. On how to define, understand and describe risk. *Reliability Engineering and System Safety*, v. 95, p. 623-631, 2010.
- AVEN, T., & RETTEDAL, W. Bayesian frameworks for integrating QRA and SRA methods. *Structural Safety*, 20, p. 155-165, 1998.
- BAUD, I., LINNEKAMP, F., & KOEDAM, A. Household vulnerability to climate change: Examining perceptions of households of flood risks in Georgetown and Paramaribo. *Habitat International*, 35, p. 447-456, 2011.
- BERKES, F. Understanding uncertainty and reducing vulnerability: lessons from resilience thinking. *Natural Hazards*, 41, p. 283-295, 2007.
- BERREN, M. R., BEIGEL, A., & GHERTNER, S. A Typology for the Classification of Disasters. *Community Mental Health Journal*, 16(2), p. 103-111, 1980.
- BIRKMANN, J., BUCKLE, P., JAEGER, J., PELLING, M., SETIADI, N., GARSCHAGEN, M., et al. Extreme events and disasters: a window of opportunity for change? Analysis

- of organizational, institutional and political changes, formal and informal responses after mega-disasters. *Natural Hazards*, p. 637-655, 2010.
- BUSINI, V., ROTA, R., MARZO, E., & CALLIONI, A. Definition of a short-cut methodology for assessing earthquake-related Na-Tech risk. *Journal of Hazardous Materials*, 192, p. 329-339, 2011.
- CAMPEDEL, M., COZZANI, V., AGREDA, A. G., & SALZANO, E. Extending the Quantitative Assessment of Industrial Risks to Earthquake Effects. *Risk Analysis*, 28(5), p. 1231-1246, 2008.
- CEUDECH, A., GALDERISI, A., & PISTUCCI, M. A method for na-tech risk assessment as supporting tool for land use planning mitigation strategies. *Natural Hazards*, 46, p. 221-241, 2008.
- CHANDIO, I. A., MATORI, A. N., WANYUSOF, K. B., TALPUR, M. A., BALOGUN, A.-L., & LAHAL, D. U. GIS-based analytic hierarchy process as a multicriteria decision analysis instrument: a review. *Arabian Journal of Geosciences*, 6(8), p. 3059-3066, 2013.
- CHANG, J.-R., SHU, M.-H., & CHENG, C.-H. Using intuitionistic fuzzy sets for fault-tree analysis on printed circuit board assembly. *Microelectronics Reliability*, 46, p. 2139-2148, 2006.
- CHEN, C.-W., & TSAI, C.-H. An earthquake disaster management mechanism based on risk assessment information for the tourism industry-a case study from the island of Taiwan. *Tourism Management*, 31, p. 470-481, 2010.
- CLINE, R. J., OROM, H., BERRY-BOBOVSKI, L., HERNANDEZ, T., BLACK, C. B., SCHWARTZ, A. G., et al. Community-Level Social Support Responses in a Slow-Motion Technological Disaster: The Case of Libby, Montana. *Am J Community Psychol*, 46, p. 1-18, 2010.
- COVELLO, V. T., & MERKHOFFER, M. W. *Risk Assessment Methods: Approaches for Assessing Health and Environmental Risks*. New York: Plenum Press, 1993.
- COX, L. A. What's Wrong with Risk Matrices? *Risk Analysis*, 28(2), p. 497-512, 2008.
- COZZANI, V., CAMPEDEL, M., RENNI, E., & KRAUSMANN, E. Industrial accidents triggered by flood events: Analysis of past accidents. *Journal of Hazardous Materials*, 175, p. 501-509, 2010.
- COZZANI, V., SPADONI, G., ANTONIONI, G., LANDUCCI, G., TUGNOLI, A., & BONVICINI, S. Quantitative assessment of domino and NaTech scenarios in complex industrial areas. *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*, 28, p. 10-22, 2014.

- CROZIER, M. J., & GLADE, T. Landslide hazard and risk: issues, concepts and approach. *Landslide Hazard and Risk*, 2005.
- CRUZ, A. M. Vulnerability of the oil and Gás sector to climate change and extreme weather events. *Climatic Change*, 121, p. 41-53, 2013.
- CRUZ, A. M., & KRAUSMANN, E. Hazardous-materials releases from offshore oil and gas facilities and emergency response following Hurricanes Katrina and Rita. *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*, 22, p. 59-65, 2009.
- CRUZ, A. M., & OKADA, N. Methodology for preliminary assessment of Natech risk. *Natural Hazards*, v.46, p. 199-220, 2008.
- CRUZ, A. M., SENGUL, H., SANTELLA, N., & STEINBERG, L. J. Analysis of hazardous material releases due to natural hazards in the United States. *Disasters*, 36(4), p. 723-743, 2012.
- CRUZ, A. M., STEINBERG, L. J., & ARELLANO, A. L. Emerging Issues for Natech Disaster Risk Management in Europe. *Journal of Risk Research*, 9(5), p. 483-501, 2006.
- CUTTER, S. L. Vulnerability to environmental hazards. *Progress in Human Geography*, 20(4), p. 529–539, 1996.
- CUTTER, S. L., BARNES, L., BERRY, M., BURTON, C., EVANS, E., TATE, E., et al. A place-based model for understanding community resilience to natural disasters. *Global Environmental Change*, 18, p. 598–606, 2008.
- de ALMEIDA, A., CAVALCANTE, C., ALENCAR, M. H., FERREIRA, R. J., ALMEIDA-FILHO, A., & T.V., G. *Multicriteria and Multiobjective Models for Risk, Reliability and Maintenance Decision Analysis* (Vol. 231). New York: Springer, 2015.
- DELIGNETTE-MULLER, M. L., & POUILLOT, R. Evaluating variability and uncertainty separately in microbial quantitative risk assessment using two R packages. *International Journal of Food Microbiology*, 142, p. 330-340, 2010.
- EISER, J. R., BOSTROM, A., JOHNSTON, D. M., MCCLURE, J., PATON, D., PLIGT, J. V., et al. Risk interpretation and action: A conceptual framework for responses to natural hazards. *International Journal of Disaster Risk Reduction*, v. 1, p. 5-16, 2012.
- EM-DAT. *EM-DAT: International Disaster Database*. (Université Catholique de Louvain – Brussels – Belgium) Acesso em 23 de nov. de 2015, disponível em <<http://www.emdat.be>>, 2015.
- ERICSON, C. A. *Hazard Analysis Techniques for System Safety*. Fredericksburg: John Wiley & Sons, 2005.

- ETKIN, D., HAQUE, C., & BROOKS, G. R. *An Assessment of Natural Hazards and Disasters in Canada*. (Vol. 1). Springer Netherlands, 2003.
- FABBROCINO, G., IERVOLINO, I., ORLANDO, F., & SALZANO, E. Quantitative risk analysis of oil storage facilities in seismic areas. *Journal of Hazardous Materials*, 123, p. 61-69, 2005.
- FEDRA, K. Integrated risk assessment and management: overview and state of the art. *Journal of Hazardous Materials*, p. 5-22, 1998.
- FUCHS, S., BIRKMANN, J., & GLADE, T. Vulnerability assessment in natural hazard and risk analysis: current approaches and future challenges. *Natural Hazards*, 64, p. 1969–1975, 2012.
- GHEORGHIU, A. D., TOROK, Z., OZUNU, A., ANTONIONI, G., & COZZANI, V. Comparative analysis of technological and natech risk for two petroleum product tanks located in seismic area. *Environmental Engineering and Management Journal*, 13(8), p. 1887-1892, 2014.
- GHEORGHIU, A. D., TOROK, Z., OZUNU, A., ANTONIONI, G., & COZZANI, V. NaTech Risk Analysis in the Context of Land Use Planning. Case Study: Petroleum Products Storage Tank Farm Next to a Residential Area. *Chemical Engineering Transactions*, 36, p. 439-444, 2014.
- GIRGIN, S. The natech events during the 17 August 1999 Kocaeli earthquake: aftermath and lessons learned. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 11, p. 1129-1140, 2011.
- GIRGIN, S., & KRAUSMANN, E. RAPID-N: Rapid natech risk assessment and mapping framework. *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*, 26, p. 949-960, 2013.
- GRIMAZ, S., BARAZZA, F., & MALISAN, P. Seismic Safety Design of Sprinkler Systems: Comparison Between NFPA 13 and Italian NTC 2008. *Chemical Engineering Transactions*, p. 307-312, 2014.
- HAJJ, C. E., PIATYSZEK, E., TARDY, A., & LAFOREST, V. Development of generic bow-tie diagrams of accidental scenarios triggered by flooding of industrial facilities (Natech). *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*, 36, 71-83, 2015.
- HAM, K., MARANGON, A., MIDDHA, P., VERSLOOT, N., ROSMULLER, N., CARCASSI, M., et al. Benchmark exercise on risk assessment methods applied to a virtual hydrogen refuelling station. *International Journal of Hydrogen Energy*, 36, p. 2666-2677, 2011.

- HARTMANN, J., LEVY, J. K., & OKADA, N. Managing Surface Water Contamination in Nagoya, Japan: An Integrated Water Basin Management Decision Framework. *Water Resources Management*, 20, p. 411-430, 2006.
- HUANG, H.-Z., TONG, X., & ZUO, M. J. Posbist fault tree analysis of coherent systems. *Reliability Engineering and System Safety*, 84, p. 141-148, 2004.
- HUDSON, S., DAVID, C., EDWARD, T., & STUART, I. Engineering resilient infrastructure. *Proceedings of the Institution of Civil Engineers: Civil Engineering*, 165, p. 5-12, 2012.
- HUPPERT, H. E., & SPARKS, R. S. Extreme natural hazards: population growth, globalization and environmental change. *Philosophical Transactions of the royal society A*, 364, p. 1875-1888, 2006.
- ICSU. *A science plan for integrated research on disaster risk: addressing the challenge of natural and human-induced environmental hazards*. Paris, 2008.
- IPCC. *Climate change 2001: impacts, adaptation and vulnerability. Contribution of Working Group II to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge, UK: Cambridge University Press, 2001.
- IPCC. *Managing the Risks of Extreme Events and Disasters to Advance Climate. A Special Report of Working Groups I and II of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge, UK: Cambridge University Press, 2012.
- ISDR. *Living with Risk: A global review of disaster reduction initiatives*. Genebra, Suíça: United Nations, 2004.
- ISDR. *Terminology on Disaster Risk*. Genebra, Suíça: United Nations, 2009.
- KADRI, F., BIRREGAH, B., & CHÂTELET, E. The Impact of Natural Disasters on Critical Infrastructures: A Domino Effect-based Study. *Homeland Security & Emergency Management*, 11(2), p. 217-241, 2014.
- KHAN, F., FERDOUS, R., SADIQ, R., AMYOTTE, P., & VEITCH, B. Fault and Event Tree Analyses for Process Systems Risk Analysis: Uncertainty Handling Formulations. *Risk Analysis*, 31(1), p. 86-107, 2011.
- KHOLE, M., & DANDEKAR, M. M. Natural Hazards Associated with Meteorological Extreme Events. *Natural Hazards*, 31, p. 487-497, 2004.
- KITCHENHAM, B. *Procedures for Performing Systematic Reviews. Joint Technical Report*, 2004.
- KITCHENHAM, B. *Guidelines for performing Systematic Literature Reviews in Software Engineering. EBSE Technical Report*, 2007.

- KRAUSMANN, E., & BARANZINI, D. Natech risk reduction in the European Union. *Journal of Risk Research*, 15(8), 1027-1047, 2012.
- KRAUSMANN, E., & CRUZ, A. M. Natech disasters: When natural hazards trigger technological accidents - Preface. *Natural Hazards*, p. 139-141, 2008.
- KRAUSMANN, E., & CRUZ, A. M. Impact of the 11 March 2011, Great East Japan earthquake and tsunami on the chemical industry. *Natural Hazards*, 67, p. 811-828, 2013.
- KRAUSMANN, E., & MUSHTAQ, F. A qualitative Natech damage scale for the impact of floods on selected industrial facilities. *Natural Hazards*, p. 179-197, 2008.
- KRAUSMANN, E., C. V., SALZANO, E., & RENNI, E. Industrial accidents triggered by natural hazards: an emerging risk issue. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 11, p. 921-929, 2011.
- KRAUSMANN, E., CRUZ, A. M., & AFFELTRANGER, B. The impact of the 12 May 2008 Wenchuan earthquake on industrial facilities. *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*, 23, p. 242-248, 2010.
- KRAUSMANN, E., R. E., CAMPEDEL, M., & COZZANI, V. Industrial accidents triggered by earthquakes, floods and lightning: lessons learned from a database analysis. *Joint Research Centre*, 59, p. 285-300, 2011.
- KUMPULAINEN, S. Vulnerability concepts in hazard and Risk assessment. *Geological Survey of Finland*, 42, p. 65-74, 2006.
- LANDUCCI, G., COZZANI, V., ANTONIONI, G., & TUGNOLI, A. Release of hazardous substances in floodevents: Damage model for atmospheric storage tanks. *Reliability Engineering and System Safety*, 106, p. 200-216, 2012.
- LANDUCCI, G., NECCI, A., ANTONIONI, G., TUGNOLI, A., & COZZANI, V. NaTech Scenarios Caused by Flooding: Evaluation of Accident Frequency by the Use of Fragility Models. *Chemical Engineering Transactions*, 36, p. 427-432, 2014.
- LANDUCCI, G., NECCI, A., ANTONIONI, G., TUGNOLI, A., & COZZANI, V. Release of hazardous substances in flood events: Damage model for horizontal cylindrical vessels. *Reliability Engineering and System Safety*, 132, p. 125-145, 2014.
- LANZANO, G., SALZANO, E., MAGISTRIS, F. S., & FABBROCINO, G. Seismic vulnerability of natural Gas pipelines. *Reliability Engineering and System Safety*, 117, p. 73-80, 2013.
- LEE, C. F., DAI, F. C., & ZHANG, X. H. GIS-based geo-environmental evaluation for urban land-use planning: a case study. *Engineering Geology*, p. 257-271, 2001.

- LENOBLE, C., & DURAND, C. Introduction of frequency in France following the AZF accident. *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*, 24, p. 227-236, 2011.
- LUIZ, R. A. Análise da vulnerabilidade aos acidentes tecnológicos no entorno do distrito industrial do município de Paulínia. São Paulo, 2013.
- MALCZEWSKI, J. GIS-based land-use suitability analysis: a critical overview. *Progress in Planning*, 62, p. 3-65, 2004.
- MARA, S., TANASESCU, M., OZUNU, A., & VLAD, S. N. Criteria for Identifying the Major Risks Associated with Tailings Ponds in Romania. *Mine Water Environ*, 26, p. 256-263, 2007.
- MARKOWSKI, A. S., & MANNAN, M. S. Fuzzy risk matrix. *Journal of Hazardous Materials*, 159, p. 152-157, 2008.
- MARZO, E., BUSINI, V., & ROTA, R. Definition of a shortcut methodology for assessing flood-related Na-Tech risk. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 12, p. 3241-3253, 2012.
- MARZO, E., BUSINI, V., & ROTA, R. Definition of a short-cut methodology for assessing the vulnerability of a territory in natural–technological risk estimation. *Reliability Engineering and System Safety*, 134, p. 92-97, 2015.
- MENG, Q., WENG, J., & QU, X. A probabilistic quantitative risk assessment model for the long-term work zone crashes. *Accident Analysis and Prevention*, 42, p. 1866-1877, 2010.
- MENG, Y., LU, C., YAN, Y., SHI, L., & LIU, J. Method to analyze the regional life loss risk by airborne chemicals released after devastating earthquakes: A simulation approach. *Process Safety and Environmental Protection*, 94, p. 366-379, 2015.
- MENONI, S., MOLINARI, D., PARKER, D., BALLIO, F., & TAPSELL, S. Assessing multifaceted vulnerability and resilience in order to design risk-mitigation strategies. *Natural Hazards*, 64, p. 2057-2082, 2012.
- MIGUEL, P. A., FLEURY, A., MELLO, C. H., NAKANO, D. N., TURRIONI, J. B., HO, L. L., et al. *Metodologia de pesquisa em engenharia de produção e gestão de operações*. Rio de Janeiro: Elsevier, 2010.
- MILAZZO, M. F., ANCIONE, G., BASCO, A., LISTER, D. G., SALZANO, E., & MASCHIO, G. Potential loading damage to industrial storage tanks due to volcanic ash fallout. *Natural Hazards*, 66, p. 939-953, 2013.

- MILAZZO, M. F., ANCIONE, G., SALZANO, E., & MASCHIO, G. Risks associated with volcanic ash fallout from Mt.Etna with reference to industrial filtration systems. *Reliability Engineering and System Safety*, 120, p. 106-110, 2013.
- NECCI, A. A., & NUCCI, C. A. Quantification of Risk Reduction Due to the Installation of Different Lightning Protection Solutions for Large Atmospheric Storage Tanks. *Chemical Engineering Transactions*, 36, p. 481-486, 2014.
- NECCI, A., ARGENTI, F., LANDUCCI, G., & COZZANI, V. Accident scenarios triggered by lightning strike on atmospheric storage tanks. *Reliability Engineering and System Safety*, 127, p. 30-46, 2014.
- NECCI, A., COZZANI, V., ANTONIONI, G., KRAUSMANN, E., BORGHETTI, A., & NUCCI, C. A. A model for process equipment damage probability assessment due to lightning. *Reliability Engineering and System Safety*, 115, p. 91-99, 2013.
- NECCI, A., COZZANI, V., ANTONIONI, G., KRAUSMANN, E., BORGHETTI, A., & NUCCI, C. A. Assessment of lightning impact frequency for process equipment. *Reliability Engineering and System Safety*, 130, p. 95-105, 2014.
- OKABE, M., & OHTANI, H. Risk estimation for industrial safety in raw materials manufacturing. *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*, 22, p. 176-181, 2009.
- OKOLI, C., & SCHABRAM, K. A Guide to Conducting a Systematic Literature Review of Information Systems Research, 2010.
- OZUNU, A., SENZACONI, F., BOTEZAN, C., STEFANESCU, L., NOUR, E., & BALCU, C. Investigations on natural hazards which trigger technological disasters in Romania. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 11, p. 1319-1325, 2011.
- PETROVA, E. Georisk: Assessment and Management of Risk for Engineered Systems and Geohazards. *Lomonosov Moscow State University*, 2(4), p. 250-258, 2008.
- PETTICREW, M., & ROBERTS, H. *Systematic Reviews in the Social Sciences: A practical guide*. Malden: Blackwell, 2006.
- PICOU, J. S. Katrina as a Natech Disaster - Toxic Contamination and Long - Term Risks for Residents of New Orleans. *Journal of Applied Social Science*, 3, p. 39-55, 2009.
- PITBLADO, R. Quality and offshore quantitative risk assessment. *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*, 7(4), p. 360-369, 1994.
- POSTHUMA, L., WAHLSTROM, E., NIJENHUIS, R., DIJKENS, C., ZWART, D. D., MEENT, D. V., et al. The Flash Environmental Assessment Tool: Worldwide first aid

- for chemical accidents response, pro action, prevention and preparedness. *Environment International*, 72, p. 140-156, 2014.
- RENNI, E., KRAUSMANN, E., & COZZANI, V. Industrial accidents triggered by lightning. *Journal of Hazardous Materials*, 184, p. 42-48, 2010.
- SALZANO, E., AGREDA, A. G., CARLUCCIO, A. D., & FABBROCINO, G. Risk assessment and early warning systems for industrial facilities in seismic zones. *Reliability Engineering and System Safety*, 94, p. 1577-1584, 2009.
- SALZANO, E., BASCO, A., BUSINI, V., COZZANI, V., MARZO, E., ROTA, R., et al. Public awareness promoting new or emerging risks: Industrial accidents triggered by natural hazards (NaTech). *Journal of Risk Research*, 16(3-4), p. 469-485, 2015.
- SANTELLA, N., & STEINBERD, L. J. Accidental Releases of Hazardous Materials and Relevance to Terrorist Threats at Industrial Facilities. *Journal of Homeland Security and Emergency Management*, 8, a. 53, 2011.
- SANTELLA, N., STEINBERD, L. J., & AGUIRRA, G. A. Empirical Estimation of the Conditional Probability of Natech Events Within the United States. *Risk Analysis*, 31(6), p. 951-968, 2011.
- SHALUF, I. M., AHMADUN, F. L.-R., & SHARIFF, A. R. Technological disaster factors. *Journal of Loss Prevention in the process industries*, 16, p. 513-521, 2003.
- STEINBERG, L. J., SENGUL, H., & CRUZ, A. M. Natech risk and management: an assessment of the state of the art. *Natural Hazards*, 46, p. 143-152, 2008.
- TURNER, B. L., KASPERSON, R. E., MATSON, P. A., MCCARTHY, J. J., CORELL, R. W., CHRISTENSEN, L., et al. A framework for vulnerability analysis in sustainability science. *PNAS*, 100 (14), p. 8074–8079, 2003.
- TURRIONI, J. B., & MELLO, C. H. Metodologia de pesquisa em engenharia de produção: Estratégias, métodos e técnicas para condução de pesquisas quantitativas e qualitativas. Itajubá: UNIFEI, 2012.
- WALKER, B., HOLLING, C., CARPENTER, S., & KINZIG, A. Resilience, adaptability and transformability in social–ecological systems. *Ecology and society*, 9 (2), 2004.
- WANG, M.-J. J., HUANG, D., & CHEN, T. A fuzzy set approach for event tree analysis. *Fuzzy Sets and Systems*, 118, p. 153-165, 2001.
- WEISÆTH, L., JR, O. K., & TONNESSEN, A. Technological disasters, crisis management and leadership stress. *Journal of Hazardous Materials*, 93, p. 33-45, 2002.
- WHO. Environmental health in emergencies and disasters: a practical. Geneva, Suíça: World Health Organization, 2002.

- WISNER, B., GAILLARD, J., & KELMAN, I. *Handbook of Hazards and Disaster Risk Reduction*. New York, NY, USA: Routledge, 2012.
- WISNER, B., O'BRIEN, G., O'KEEFE, P., & ROSE, J. Climate change and disaster management. *Disasters*, 30, p. 64-80, 2006.
- YOUNG, S., BALLUZ, L., & MALILAY, J. Natural and technologic hazardous material releases during and after natural disasters: a review. *Science of the Total Environment*, 322, p. 3-20, 2004.
- ZANG, Y.-B., WANG, R.-H., SHANG, R., BU, Y.-H., & LI, H.-Z. Drillstring failure analysis and its prevention in northeast Sichuan, China. *Engineering Failure Analysis*, 18, p. 1233-1241, 2011.
- ZHOU, Y., LI, N., WU, W., LIU, H., WANG, L., LIU, G., et al. Socioeconomic development and the impact of natural disasters: some empirical evidences from China. *Natural Hazards*, 74(2), p. 541-554, 2014.

APÊNDICE 1

PROTOCOLO PARA REVISÃO SISTEMÁTICA DA LITERATURA

Razões para a revisão sistemática da literatura

1. Tentar analisar o progresso dos artigos sobre a análise de riscos em desastres *Natech* e identificar a evolução das várias áreas que o tema aborda;
2. Propor um direcionamento para novas pesquisas sobre o tema, tendo em vista possíveis ausências de publicações em algumas áreas do tema;
3. Responder algumas questões específicas, como por exemplo, “Quais as ferramentas/metodologias, mais empregadas na análise de desastres *Natech*? ” .

Identificar as pesquisas

O processo de pesquisa é uma busca manual de artigos de jornal nas bases *Web of Science*[®] (ISI) e SCOPUS desde 2000 até 2015 por meio de plataforma digital (Internet). O critério para interromper as buscas de artigos foi a data limite de pesquisa, 26 de setembro de 2015.

Critérios de Inclusão

Estudos sobre os seguintes temas, publicados entre 25 de maio de 2015 e 26 de setembro de 2015, serão incluídos:

- *Natech*;
- *Na-tech*;
- *Natural Disaster*;
- *Natural Hazard*;
- *Technological Disaster*;
- *Industrial Disaster*;
- *Industrial Accident*;
- *Industrial Safety*;
- *Industrial Risk*;
- *Major Accident Hazard*.

Crêterios de Exclusão

Os seguintes tipos de artigos serão excluídos:

- C1: Qualquer outro idioma que não seja na língua inglesa;
- C2: Qualquer estudo que não seja de artigos publicados em periódicos;
- C3: Artigos que não apresentem uma análise do risco envolvendo desastre Natech (fora do escopo).

Processo de Sele o dos Estudos Primários

Os resultados serão tabulados como se segue:

- Número de publica es por ano e por base de pesquisa;
- Número de publica es por revistas;
- Número de publica es por nacionalidade;
- Número de publica o por institui o;
- Número de publica o por tipo de desastre natural;
- Número de publica es por setor industrial;
- Número de publica es por tipo de ferramentas/metodologias.

Os artigos candidatos relevantes e selecionados serão eleitos por um único pesquisador. Os estudos rejeitados serão verificados pelo orientador do trabalho. Será mantida uma lista dos artigos que forem rejeitados com os motivos da rejei o.

Coletando os Dados

Os dados extraídos de cada artigo serão:

- Nome do Artigo;
- Base de Pesquisa;
- Revista;
- Ano de Publica o;

- Nacionalidade;
- Instituição;
- Autores;
- Ferramentas/Metodologias;
- Tipo de Desastre Natural;
- Setor Industrial do Desastre Tecnológico.

Os dados serão extraídos por um pesquisador e verificados pelo orientador.

Análise de Dados

Os dados serão tabulados e ordenados de acordo com seus ID para mostrar as informações básicas sobre cada estudo. O número de estudos em cada categoria principal será contabilizado.

Os dados serão analisados para responder às questões de investigação e identificar quaisquer tendências ou limitações interessantes na investigação, relacionada ao tema, como por exemplo, as seguintes questões:

- Questão 1 – Como tem sido o comportamento do número de artigos publicados sobre *Natech* desde 2000? Esta questão será abordada pela contagem simples do número de artigos publicados por ano e por base de pesquisa;
- Questão 2 – Quais as revistas que estão mais contribuindo para o tema *Natech*? Esta questão será abordada pela contagem simples do número de artigos publicados por revista;
- Questão 3 – Quais as nacionalidades que estão desenvolvendo mais trabalhos sobre o tema? Esta questão será abordada pela contagem simples do número de artigos publicados por nacionalidade;
- Questão 4 – Quais as instituições que estão desenvolvendo trabalhos sobre *Natech*? Esta questão será abordada pela contagem simples do número de artigos publicados por instituição.

Disseminação

Os resultados da revisão devem ser de interesse para a comunidade, da indústria, bem como de pesquisadores interessados no tema. Por essa razão os resultados serão documentados em uma dissertação de mestrado do programa de pós-graduação em Engenharia de Produção do Centro Acadêmico do Agreste (PPGEP-CAA) pela Universidade Federal de Pernambuco.