



AVALIAÇÃO DA CONFIANÇA DO PROCESSO DE DIVULGAÇÃO DE  
PLANOS DE EMERGÊNCIA COM ABORDAGEM DO APELL MODIFICADO E  
DEFINIDA POR REDE BAYESIANA

Renata Araujo de Almeida Franco

Tese de Doutorado apresentada ao Programa de Pós-graduação em Engenharia Nuclear, COPPE, da Universidade Federal do Rio de Janeiro, como partes dos requisitos necessários à obtenção do título de Doutor em Engenharia Nuclear.

Orientadores: Antonio Carlos Marques Alvim  
Maria de Lourdes Moreira

Rio de Janeiro  
Junho de 2016

AVALIAÇÃO DA CONFIANÇA DO PROCESSO DE DIVULGAÇÃO DE  
PLANOS DE EMERGÊNCIA COM ABORDAGEM DO APELL MODIFICADO E  
DEFINIDA POR REDE BAYESIANA

Renata Araujo de Almeida Franco

TESE SUBMETIDA AO CORPO DOCENTE DO INSTITUTO ALBERTO LUIZ  
COIMBRA DE PÓS-GRADUAÇÃO E PESQUISA DE ENGENHARIA (COPPE) DA  
UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO COMO PARTE DOS  
REQUISITOS NECESSÁRIOS PARA A OBTENÇÃO DO GRAU DE DOUTOR EM  
CIÊNCIAS EM ENGENHARIA NUCLEAR.

Examinada por:

---

Prof. Antonio Carlos Marques Alvim, Ph.D.

---

Prof. Maria de Lourdes Moreira, D.Sc.

---

Prof. Paulo Fernando Ferreira Frutuoso e Melo, D.Sc.

---

Prof. José Antonio Carlos Canedo Medeiros, D.Sc.

---

Prof. Celso Marcelo Franklin Lapa, D.Sc.

---

Prof. Pedro Luiz da Cruz Saldanha, D.Sc.

RIO DE JANEIRO, RJ - BRASIL

JUNHO DE 2016

Franco, Renata Araujo de Almeida

Avaliação da confiança do processo de divulgação de planos de emergência com abordagem do APELL modificado e definida por rede bayesiana / Renata Araujo de Almeida Franco. – Rio de Janeiro: UFRJ / COPPE, 2016.

XIV, 110p. :il.; 29,7 cm.

Orientadores: Antonio Carlos Marques Alvim

Maria de Lourdes Moreira

Tese (doutorado) – UFRJ/ COPPE/ Programa de Engenharia Nuclear, 2016.

Referências Bibliográficas: p.82-90.

1. Comunicação com o público. 2. Instalações do Ciclo do Combustível Nuclear. 3. APELL Modificada. 4. Redes Bayesianas I. Alvim, Antonio Carlos Marques *et al.* II. Universidade Federal do Rio de Janeiro, COPPE, Programa de Engenharia Nuclear. III. Título.

Para meu marido José Carlos Franco pela paciência.  
Para meus pais que sempre apoiaram e incentivaram meus estudos.  
Para minha querida irmã que me ajuda sempre que possível.

## **AGRADECIMENTOS**

Ao Professor Antonio Carlos Marques Alvim, pela orientação, apoio e confiança em mim depositada.

À Professora Maria de Lourdes Moreira pela orientação, paciência, apoio, motivação, ajuda e confiança no desenvolvimento do trabalho.

Ao Professor Antonio Cesar Ferreira Guimarães, pelo apoio, paciência e ajuda durante os últimos meses de trabalho.

Aos professores do Programa de Engenharia Nuclear pela ajuda e atenção durante todos esses anos de doutoramento.

À Liliane, Reginaldo e Washington pelo empenho em resolver prontamente meus problemas acadêmicos.

Ao meu marido, meus pais e minha irmã pelo apoio incondicional e a paciência que tiveram ao longo desses anos de estudo.

Resumo da Tese apresentada à COPPE/UFRJ como parte dos requisitos necessários para a obtenção do grau de Doutor em Ciências (D.Sc.)

AVALIAÇÃO DA CONFIANÇA DO PROCESSO DE DIVULGAÇÃO DE PLANOS DE EMERGÊNCIA COM ABORDAGEM DO APELL MODIFICADO E DEFINIDA POR REDE BAYESIANA

Renata Araujo de Almeida Franco

Junho/2016

Orientadores: Antonio Carlos Marques Alvim

Maria de Lourdes Moreira

Programa: Engenharia Nuclear

A questão do risco das atividades em instalações químicas e nucleares tem ocupado lugar de destaque nas discussões a respeito da segurança, não só dos seus trabalhadores, mas principalmente, da população que vive em seu entorno. A AIEA (International Atomic Energy Agency) possui normas de divulgação para o público e fornece recomendações sobre segurança para estas fábricas. O trabalho tem como objetivo realizar um estudo, baseado na percepção da população local (através de um questionário estruturado), para verificação da confiança do processo de divulgação do Plano de Emergência da INB-Resende (Indústrias Nucleares do Brasil) no sentido de analisar suas percepções sociais frente à instalação e sugerir aperfeiçoamento dos planos de emergência externos bem como incluir a população nesses planos. O questionário foi elaborado visando obter informações da população sobre a credibilidade das instalações e a metodologia APELL modificada (Awareness and Preparedness for Emergencies at Local Level) foi utilizada para aperfeiçoar os planos de emergência externos bem como a preparação de respostas da INB para a população aos acidentes que possam ser causados por escape de alguma substância produzida numa destas instalações. As definições dos cenários da eficiência do plano de emergência pela percepção do público foram realizadas através de rede bayesiana. Os resultados demonstraram que a metodologia APELL modificada é adequada pois aprimora a confiança nos planos de emergência, e a rede bayesiana facilita a geração de predições ou decisões.

Abstract of Thesis presented to COPPE/UFRJ as a partial fulfilment of the requirements for the degree of Doctor of Science (D.Sc.)

EVALUATION OF THE RELIABILITY OF THE DISCLOSURE PROCESS OF  
EMERGENCY PLANS AS APPROACHED BY APELL MODIFIED AND DEFINED  
BY BAYESIAN NETWORKS

Renata Araujo de Almeida Franco

June /2016

Advisors: Antonio Carlos Marques Alvim

Maria de Lourdes Moreira

Department: Nuclear Engineering

The question of risk of activities in chemical and nuclear facilities has occupied a prominent place in discussions about the security not only of its employees but mainly the population living in the surrounding area. The IAEA (International Atomic Energy Agency) has disclosure standards for public and provides recommendations on security for these plants. The study aims to conduct a study based on the perception of the local population (through a structured questionnaire) to verify the reliability of the process of disclosure of the Emergency Plan of INB-Resende (Nuclear Industries of Brazil) to analyze their social perceptions across the installation and suggest improvement of external emergency plans and to include the population in those plans. The questionnaire was designed to obtain information from the public about the credibility of the facilities and the modified APELL methodology (Awareness and Preparedness for Emergencies at Local Level) was used to improve the external emergency plans and the preparation of INB responses to the population to accidents that may be caused by leakage of some substance produced in these plants. The settings of the scenarios the emergency plan efficiency by the perception of the public were made using Bayesian network. The results showed that the modified APELL methodology is appropriate because it improves confidence in emergency plans, and Bayesian network facilitates the generation of predictions or decisions.

## SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS .....	xi
LISTA DE TABELAS .....	xiii
LISTA DE SÍMBOLOS E ABREVIACÕES .....	xiv
<b>1. INTRODUÇÃO E SEUS OBJETIVOS .....</b>	<b>1</b>
1.1 Contextualização .....	2
1.2 Contribuição e Originalidade.....	3
1.3 Objetivos .....	4
1.4 Relevância .....	6
1.5 Abrangências e limitações.....	6
1.6 Estrutura da tese .....	7
<b>2. A INB E UM BREVE HISTÓRICO DOS ACIDENTES OCORRIDOS EM PLANTAS DE CONVERSÃO.....</b>	<b>9</b>
2.1 Indústrias Nucleares do Brasil (INB).....	9
2.2 Identificação e avaliação dos principais efluentes contidos na Usicon (Resende/RJ).....	14
2.2.1 Tipos de perigos na Usicon .....	15
2.2.2 Efluentes gerados pela Usicon.....	17
2.3 Principais acidentes ocorridos em plantas de conversão .....	24
2.3.1 Evento ocorrido na Planta de Tricastin em Pierrelatte .....	24
2.3.2 Evento ocorrido na Planta de Sequoia em Oklahoma .....	25
2.4 Normas de Segurança de Plantas de Conversão.....	26
<b>3. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA .....</b>	<b>28</b>
3.1 Análise de Risco: Definição e Técnicas de identificação .....	28
3.2 Avaliação de Risco ( <i>Risk Assessment</i> ) .....	29
3.3 Gerenciamento de Risco ( <i>Risk Management</i> ) .....	33
3.4 Comunicação de Risco ( <i>Risk Communication</i> ).....	33
3.4.1 A mídia no processo da comunicação de risco .....	35
3.4.2 A Opinião Pública .....	35
3.4.3 A pesquisa de opinião pública .....	36
3.5 Aceitabilidade de Risco ( <i>Risk Acceptability</i> ) .....	36



3.6	A Percepção de Risco .....	37
3.7	Planos de Comunicação de Risco .....	38
3.7.1	Planos de Comunicação de Risco da INB e sua Participação Social .....	39
<b>4</b>	<b>REVISÃO METODOLÓGICA</b> .....	<b>40</b>
4.1	Surgimento do APELL.....	41
4.2	Metodologia APELL.....	41
4.3	Metodologia Científica (classificação e tipos de pesquisa).....	43
4.3.1	Classificação das pesquisas .....	44
4.3.2	Tipos de pesquisas .....	45
4.4	Softwares para pesquisas que utilizam Redes Bayesianas .....	49
<b>5.</b>	<b>METODOLOGIA PROPOSTA</b> .....	<b>52</b>
5.1	APELL Modificado .....	52
5.1.1	Metodologia do APELL modificado .....	50
5.1.2	Objetivos do APELL modificado .....	53
5.1.3	Bases para programas de Comunicação de Risco utilizando o APELL modificado .....	53
5.2	Metodologia Científica Utilizada .....	56
5.2.1	Tipos de Pesquisa .....	56
5.2.2	O problema.....	57
5.2.3	Método de Diagnóstico e Avaliação .....	57
5.3	Cenário: Engenheiro Passos, distrito de Resende, RJ .....	59
5.3.1	Características Geomorfológicas e Climáticas de Resende.....	59
5.4	Parte Experimental .....	63
5.4.1	O emprego do Netica™ .....	63
<b>6</b>	<b>RESULTADOS DESCRITIVOS E COMENTÁRIOS</b> .....	<b>64</b>
6.1	Dados demográficos.....	64
6.2	Análise das perguntas de temas gerais .....	66
6.3	Análise das perguntas de tema específico .....	68
6.4	Avaliação e resultados do Netica™ .....	72
6.4.1	Construção da Rede Bayesiana .....	72
<b>7</b>	<b>CONSIDERAÇÕES FINAIS</b> .....	<b>80</b>

<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>82</b>
<b>APÊNDICE A: REDES BAYESIANAS .....</b>	<b>91</b>
<b>APÊNDICE B: QUESTIONÁRIO ESTRUTURADO .....</b>	<b>94</b>

## LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1: Área geral da Fábrica de Combustível Nuclear .....	9
Figura 3.1: Árvore de decisão para planos de emergência .....	38
Figura 4.1: Diagrama implementação do APELL .....	43
Figura 5.1: Distribuição da população por sexo, segundo os grupos de idade de Resende, 2010 .....	62
Figura 5.2: Gráfico da distribuição da população local (Censo 2010) .....	62
Figura 6.1: Amostra – distribuição por sexo .....	64
Figura 6.2: Faixa etária dos respondentes .....	65
Figura 6.3: Amostra – distribuição por níveis de escolaridade .....	65
Figura 6.4: Riscos que os respondentes acreditam existir no local que residem .....	68
Figura 6.5: Riscos que mais preocupam os respondentes .....	67
Figura 6.6: Respondentes sobre o fato de viverem próximo a uma fábrica química diminua a qualidade de vida .....	68
Figura 6.7: Frequência de quem os respondentes gostariam que os avisassem sobre um provável acidente envolvendo a referida fábrica química .....	71
Figura 6.8: Rede Bayesiana Simplificada .....	73
Figura 6.9: Probabilidade de 100% do plano de emergência externo ser elaborado de maneira eficiente .....	74
Figura 6.10: Probabilidade de 100% de não haver treinamento baseado no APELL modificado.....	75
Figura 6.11: Probabilidade de 100% internet .....	76
Figura 6.12: Probabilidade de todos os residentes de Engenheiro Passos (100%) recebam treinamento oferecido pela fábrica .....	77

Figura 6.13: Probabilidade de todos os residentes de Engenheiro Passos (100%)  
recebam treinamento oferecido pela prefeitura.....78

Figura 6.14: Probabilidade de todos os residentes de Engenheiro Passos (100%)  
recebam treinamento oferecido pelo corpo de bombeiros.....79

## LISTA DE TABELAS

Tabela 2.1: Listagem dos processos com possíveis impactos (internos e/ou externos) gerados na Usicon .....	22
Tabela 6.1: Local de busca de informações sobre possíveis riscos da fábrica química .....	69
Tabela 6.2: Indivíduos e/ou lugar onde foi passada informações sobre a fábrica química .....	70
Tabela 6.3: Como os respondentes gostariam de ser avisados na ocorrência de acidente .....	71

## LISTA DE SÍMBOLOS E ABREVIACÕES

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
APELL	Awareness and Preparedness for Emergencies at Local Level
APS	Análises Probabilísticas de Segurança
AQR	Análises Quantitativas Riscos
CETESB	Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental
CIR	Complexo Industrial de Resende
CONAMA	Conselho Nacional do Meio Ambiente
CTMSP	Centro Tecnológico da Marinha em São Paulo
FCN	Fábrica de Combustível Nuclear
HF	Ácido Fluorídrico
IAEA	International Atomic Energy Agency
INB	Indústrias Nucleares do Brasil
NRC	United States National Research Council
OCDE	Organização de Cooperação e Desenvolvimento Econômico
ONU	Organizações das Nações Unidas
OMS	Organização Mundial de Saúde
PNE2030	Plano Nacional de Energia
PNUMA	Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente
RBs	Redes Bayesianas
USICON	Fábrica de Conversão

## 1 INTRODUÇÃO E SEUS OBJETIVOS

Nos últimos anos, o grande número de substâncias químicas somadas ao crescimento populacional, não somente nos centros urbanos, vem facilitando a disseminação da ideia de o quão fácil acidentes e contaminações por fábricas químicas e nucleares as populações modernas estão suscetíveis.

Partindo desta premissa, nas últimas décadas os governantes têm-se preocupado com a implantação de legislações para assegurar a segurança dos habitantes residentes próximo a esse tipo de fábricas, exigindo dessas relatórios que comprovem a segurança na operação.

Sendo assim, em 2008, quando a Indústrias Nucleares do Brasil (INB) avaliou a real necessidade de novos investimentos para a conclusão de suas instalações da Fábrica de Combustível Nuclear (FCN) e da futura usina de conversão (transformação do concentrado de urânio no gás hexafluoreto de urânio) a qual abriga a maior quantidade de produtos químicos que são perigosos e/ou letais, foram exigidas diversas análises que viabilizassem o licenciamento da referida instalação industrial.

A Fábrica de Combustível Nuclear, pertencente à INB, é um conjunto de fábricas onde se processam as etapas do ciclo do combustível nuclear brasileiro<sup>1</sup>. A FCN é munida de sistemas operacionais e barreiras físicas que são importantes não só para a segurança das operações e a saúde dos trabalhadores bem como para garantir que em qualquer condição anormal de operação esta não traga riscos inaceitáveis tanto ao meio ambiente quanto à população que reside próximo à fábrica.

Para que estes riscos sejam avaliados é necessário, primeiramente, analisar os riscos de cada fábrica, pertencente à FCN, para depois desenvolver uma gestão de risco (aplicação de políticas, procedimentos e práticas de gestão para proteger empregados, o público, o meio ambiente e os bens das empresas para evitar a interrupção das atividades industriais).

A gestão de risco, bem como as Análises Probabilísticas de Segurança (APS) e Análises Quantitativas e Qualitativas de Risco são políticas que combinam iniciativas de redução ou frequências de ocorrência de acidentes, com outras focadas na redução de

---

<sup>1</sup> Retirado do sítio: <http://www.inb.gov.br>

consequências. Sendo o risco mensurado por meio da multiplicação das frequências de um evento por suas consequências, a redução do índice de risco deve ser buscada por meio da diminuição de ambos os fatores (CUNHA, 2009). Um fator que agrega desafios especiais é a demanda por organizar as reações do público em geral. Esta demanda surge quando as hipóteses de acidentes num determinado cenário incluem a efetiva possibilidade de serem geradas consequências para o público das áreas próximas às instalações onde são manipuladas substâncias perigosas.

Neste contexto, é de suma importância a elaboração de novas metodologias que, em conjunto com as existentes, envolvam não só os trabalhadores (plano de emergência local) como também a população residente próximo à FCN, possibilitando, assim, o conhecimento de como agir caso haja algum tipo de acidente que ultrapasse os limites da fábrica.

### **1.1 Contextualização**

Para que a INB consiga fechar o ciclo de produção do combustível nuclear e aumentar a competitividade da fonte nuclear perante as outras fontes da matriz energética brasileira para produção de energia elétrica, a construção da fábrica de conversão se faz necessária, uma vez que, a implantação dessa unidade de conversão irá garantir a produção de combustível nuclear no Brasil para as usinas de Angra 1, Angra 2 e, futuramente, Angra 3.

Porém, tanto instalações químicas quanto nucleares, apresentam um processo produtivo, principalmente nuclear, que apresenta riscos e perigos e que possíveis falhas que venham a ocorrer sejam elas de origem humana ou de máquinas ocasionam eventos sobre os quais não se tem controle e que geram consequências, muitas vezes, desastrosas não só para os trabalhadores como também para uma possível população ou até mesmo para o meio ambiente.

Baseado nessa premissa as de Análises Quantitativas Riscos (AQR) começaram a ser utilizadas com o objetivo de minimizar a exposição ao risco bem como garantir que a tomada de decisão dos trabalhadores venha a ter mais confiabilidade. Pois o objetivo de qualquer indústria química/nuclear é proteger de forma adequada os indivíduos e a sociedade dos perigos que ela possa ter. Entretanto, apesar de todas as



precauções que se possam tomar em matéria de segurança, os riscos não podem ser eliminados.

Nesse contexto foi feito um levantamento das principais técnicas de identificação de risco utilizadas nas AQR (capítulo 3) e foi verificado que existe uma lacuna tanto técnica/metodológica quanto informativa entre as indústrias e a população. Sendo assim, desencadeou-se o interesse em desenvolver uma nova técnica/metodologia que junte uma AQR com os conhecimentos prévios da população sobre a área nuclear e dê origem a futuros planos de emergência externos.

**Diante do exposto acima, surge a seguinte questão:**

Quais são as melhorias necessárias para aperfeiçoar as estratégias adotadas pela INB no intuito de fornecer informações/conhecimento sobre a importância/segurança de seu complexo industrial, localizado em Resende, para a população do seu entorno?

## **1.2 Contribuição e Originalidade**

O risco relativamente baixo, mesmo para os acidentes mais graves, faz com que a segurança nas instalações do ciclo do combustível nuclear seja gerenciada com menos critério. (IAEA 2002)

Somente a partir dos anos cinquenta, o licenciamento de instalações do ciclo do combustível nuclear começou a ser baseado no conceito do “Máximo Acidente Postulado” e nos princípios estabelecidos no período entre 1957 a 1967 onde eventos externos como terremotos ou inundações, passaram a ser considerados na concepção e na análise do projeto (SOUSA, 2012). Porém, enquanto o foco das discussões era o projeto e sua qualidade durante a construção, esquecia-se da segurança dos funcionários e da população que residia próximo a estas instalações e que possivelmente seria atingida na ocorrência de acidentes.

O histórico de acidentes em instalações deste tipo (capítulo 2) tem demonstrado que a segurança não depende somente de fatores tecnológicos, mas também de fatores humanos e organizacionais, justificando a necessidade de palestras educativas e questionários estruturados com todos os funcionários e moradores do entorno, com o

objetivo de que todos saibam os principais perigos/riscos contidos em cada fábrica bem como saber lidar com estes caso um acidente ocorra.

Desse modo a percepção do risco também se tornaria alvo de um debate intenso, onde a contraposição entre enfoques tecnicistas e sociais se sobressaem. Essa diversidade de abordagens nos leva, então, a pensar que a definição de risco está associada à sociedade e do lugar que esta se encontra. Sendo assim “a definição do que vem a ser ‘risco’ passa a ser um entendimento coletivo, o risco é um fenômeno que possibilita também entender o modelo de pessoa que orienta estas definições e as práticas que são por elas sustentadas” (SPINK, 1998).

Com isso, a contribuição e a originalidade deste trabalho estariam no desenvolvimento de uma metodologia nova, baseada na APELL (sigla em inglês para *Awareness and Preparedness for Emergencies at Local Level*), que ajuda na criação e estruturação de planos de emergência externos para Instalações do Ciclo do Combustível Nuclear no Brasil. Pois “mostrar os ‘fatos’ ao público, ou seja, com os ‘cálculos sistêmicos de segurança minimizam os riscos’, espera-se conseguir o convencimento da população e a conseqüente aceitação social das atividades de risco” (DWYER, 1991).

E para justificar a importância da implantação de planos de emergência externos, utilizando o APELL modificado, neste tipo de instalações foi feita uma modelagem por redes bayesianas, possibilitando a criação de diagramas para a organização dos dados através de mapeamento de causa e efeito, bem como a geração automática de previsões ou decisões, ainda que com conhecimento incompleto.

As redes bayesianas são uma maneira sucinta para representar conjunções de probabilidade apresentando, de modo direto e estruturado, as dependências entre as variáveis de um domínio (MARTINS, 2013).

### **1.3 Objetivos**

O Plano APELL é uma metodologia elaborada em 1986 pelo Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente (PNUMA), que auxilia no gerenciamento de riscos e enfatiza a necessidade da participação conjunta da indústria, das autoridades locais e da comunidade em risco. Com o Plano APELL em execução, a premissa é que ciente de todas as informações sobre riscos que a indústria apresenta e os cuidados que

ela mantém, além das ações dos órgãos de governo, o cidadão estará mais seguro. (SANTOS & JUNIOR)

Assim, constituem objetivos deste trabalho: identificar os principais efluentes contidos na futura fábrica de conversão (Usicon) localizada em Resende (município do estado do Rio de Janeiro), realizar estudo de caso, baseado na percepção da população local, para verificar a existência de alguma comunicação de risco da INB com a população local (questionário estruturado) e se esta é feita de maneira eficiente, sugerir o uso do Plano APELL modificado para um possível aperfeiçoamento da preparação de respostas, para a população, a acidentes químicos e nucleares que possam ser causados por escape de alguma substância produzida na Usicon com base nos conceitos da Análise Quantitativa e Qualitativa de Riscos e por fim incluir a população em planos de emergência externos, pois como dito anteriormente, são essas pessoas que serão afetadas caso algum acidente ocorra.

Vale destacar que esta metodologia, APELL, já é utilizada em diversos países desde 1986, porém no Brasil esta só começou a ser utilizada nos anos 90, embora não esteja devidamente regulamentada, com exceção apenas para fenômenos meteorológicos (Santa Catarina, Friburgo, entre outros), Cubatão (São Paulo - SP) e algumas empresas, entre elas, as que compõem o Pólo Industrial de Campos Elíseos no município de Duque de Caxias<sup>2</sup>.

É importante resaltar que, em geral, a referência da opinião do público não está explicitada nas publicações da área química/nuclear. O que mostra, mais uma vez, a importância de um trabalho que tenha entre os seus objetivos o de passar esclarecimentos e oferecer treinamentos para a população, com o consequente convencimento da mesma, mostrando sua importância no processo da criação e desenvolvimento de planos de emergência externos da fábrica.

E foi neste contexto que o uso de rede bayesiana ocorreu, uma vez que, os sistemas baseados nessas redes são capazes de gerar automaticamente previsões ou decisões mesmo na situação de inexistência de algumas peças de informação.

Para a construção da rede bayesiana proposta neste trabalho foi utilizado o questionário elaborado pela autora em janeiro de 2015, sendo a rede calculada através

---

<sup>2</sup> [http://www.apellce.com.br/campos\\_eliseos.php](http://www.apellce.com.br/campos_eliseos.php)

do uso do *software* Netica<sup>TM</sup>, face a sua simplicidade no manuseio e disponibilidade pela instituição de ensino.

#### **1.4 Relevância**

Diante da dinâmica da sociedade nos dias atuais e das constantes ameaças que estão inerentes, as organizações (ou fábricas) tanto públicas quanto privadas se preocupam cada vez mais em manter sua integridade física e bem estar do seu público de interesse. Comunicar os riscos bem como evitar que estes se materializem são preocupações recorrentes destas organizações para garantir a preservação de sua imagem frente ao público possivelmente afetado.

Devido a esse fato, a gestão de riscos ocupará um importante papel na segurança destas fábricas, em especial as químicas/nucleares, pois esta sustentará tanto as operações reguladoras quanto as operações das instalações do ciclo do combustível nuclear mediante a identificação sistemática dos possíveis perigos/riscos e a avaliação das consequências e frequência dos mesmos. Sendo assim, é possível elaborar uma avaliação quantitativa dos riscos nas referidas instalações, e com isso conseguir medir os custos e riscos eficazmente.

Nesse contexto, a importância deste trabalho encontra-se, principalmente, em agregar novos conhecimentos para a indústria em questão, facilitando a elaboração de planos de emergência externos e proporcionando melhores tomadas de decisões frente ao público que desconhece sua importância no cenário energético brasileiro.

Pois adaptar-se às mudanças significa “aceitar que as tecnologias da informação e a comunicação representam instrumentos que favorecem a capacidade do ser humano de ampliar seus conhecimentos e produzir informações, armazená-las, organizá-las e difundi-las” de maneira correta. (PIMENTEL, 1996).

#### **1.5 Abrangências e limitações**

As limitações, inerente ao método utilizado, se referem à abrangência da pesquisa de campo, como essa utilizou um questionário estruturado, a principal limitação foi não haver espaço para captar contribuições dos próprios entrevistados, mas apenas sua percepção sobre o fato perguntado.

Existe também a limitação do tamanho e a seleção da amostra, pois mesmo as opiniões e as respostas serem as mais variadas possíveis elas começam a se repetir, o que demonstra que a amostra já está satisfatória.

Como a entrevista foi feita de maneira direta (frente a frente), já envolve uma relação com o fenômeno estudado e sua limitação consiste na incapacidade do observador (entrevistador) em determinar o quanto sua presença pode influenciar a situação estudada ou resposta dada pelos entrevistados.

Vale salientar que algumas informações obtidas a partir da pesquisa documental e entrevistas são tratadas de maneira sigilosa.

## **1.6 Estrutura da tese**

O segundo capítulo apresenta um breve histórico sobre as fábricas que compõem a Indústrias Nucleares do Brasil (INB), identifica e avalia os principais perigos e efluentes contidos na Fábrica de Conversão da INB, descreve os principais acidentes ocorridos nas instalações que realizam a conversão e ao final apresenta as normas, estabelecidas pela *International Atomic Energy Agency* (IAEA), de segurança para plantas desse tipo.

No terceiro é feita a fundamentação teórica baseada na Análise de Risco, sua definição e suas técnicas de identificação.

No quarto capítulo é apresentada uma revisão metodológica sobre o Alerta e Preparação de Comunidades para Emergências Locais (APELL), sobre a metodologia científica utilizada e sobre os *softwares* usados para pesquisas que utilizam redes bayesianas.

No quinto é apresentado a metodologia APELL modificada, seus objetivos, principais elementos e as recomendações para programas de comunicação de risco e evacuação, caso necessário, para todo polo industrial do combustível nuclear e para toda a população residente nas proximidades do sítio estudado e ao final foi realizada uma caracterização geomorfológica do município de Resende, bem como a descrição da parte experimental da metodologia apresentada.

No capítulo seis é aplicada a metodologia científica em conjunto ao uso de rede bayesiana utilizando o programa de computador Netica<sup>TM</sup>, bem como foram apresentados os resultados do questionário estruturado sobre o estudo sociológico e

demográfico da população residente no entorno do sítio onde se localiza a Fábrica de Combustível Nuclear e ao final foram apresentados seus resultados para diferentes cenários de treinamento.

No capítulo 7 são apresentadas as considerações finais do trabalho com base nos objetivos traçados e de acordo com os estudos apresentados nos capítulos anteriores.

## 2 A INB E UM BREVE HISTÓRICO DOS ACIDENTES OCORRIDOS EM PLANTAS DE CONVERSÃO

O processo industrial que transforma o mineral urânio, tal como encontrado na natureza até sua utilização como combustível, dentro de uma usina nuclear, é denominado ciclo do combustível nuclear, sendo o mesmo dividido nas etapas de: mineração, conversão, reconversão, fabricação das pastilhas; fabricação do elemento combustível e, por fim, a geração de energia elétrica. (INB, 2013)

### 2.1 Indústrias Nucleares do Brasil (INB)

A INB está localizada no distrito de Engenheiro Passos abrangendo uma área de 625 hectares (Figura 2.1), escolhida estrategicamente por ser limitada ao sul pela represa da usina hidroelétrica do Funil e ao norte com o ramal Rio - São Paulo da Rede Ferroviária Federal (RFFSA), paralelo à rodovia Presidente Dutra (BR-116) e devido a sua proximidade da Central Nuclear Almirante Álvaro Alberto (CNAAA).



Figura 2.1: Área geral da Fábrica de Combustível Nuclear  
(Fonte: [http://www.inb.gov.br/pt-br/WebForms/Galeria\\_fotos.aspx?secao\\_id=123](http://www.inb.gov.br/pt-br/WebForms/Galeria_fotos.aspx?secao_id=123) )

A implantação do Complexo Industrial de Resende (CIR), que teve início em 1977 com a NUCLEBRÁS S/A, foi de suma importância para o setor nuclear brasileiro, pois em um único sítio reunia várias unidades do ciclo do combustível nuclear, tais como: a conversão do concentrado de urânio (*yellowcake*) em hexafluoreto de urânio; de enriquecimento do hexafluoreto de urânio no seu isótopo de Urânio 235; de processamento do hexafluoreto de urânio em pó de dióxido de urânio (reconversão); de processamento do pó em pastilhas de dióxido de urânio e de fabricação propriamente dita dos elementos combustíveis (fabricação de componentes metálicos das estruturas, introdução das pastilhas de dióxido de urânio em varetas e montagem final dos elementos combustíveis).

Em agosto de 1988, com a reformulação do setor nuclear brasileiro, a NUCLEBRÁS S/A. foi extinta, tendo sido sucedida pelas Indústrias Nucleares do Brasil S/A - INB, como responsável pelo desenvolvimento das atividades industriais relacionadas ao ciclo do combustível nuclear.

### **Fábrica de Combustíveis Nucleares: Componentes e Montagens**

Foi a primeira unidade a ser implantada e tem a finalidade de fabricar e montar todas as partes metálicas da estrutura, assim como encapsular sob pressão as pastilhas cerâmicas cilíndricas de dióxido de urânio levemente enriquecido nos tubos das varetas de combustível, de forma a compor os elementos combustíveis do reator nuclear do tipo PWR - *Pressurized Water Reactor* (Reator a Água Pressurizada) de Angra dos Reis.

Hoje a FCN- Componentes e Montagem (também chamada de unidade I) possui capacidade nominal de produção de 250 t anuais de urânio (U) - cerca de 100 t /U que são suficientes para a primeira carga de um reator de 1.300 MWe - ou para recargas anuais de até três reatores desse porte.

### **Fábricas de Combustíveis Nucleares: Reconversão e de Fabricação de Pastilhas**

Em 1994, a INB deu início aos estudos para a implantação das internamente chamadas de segunda e terceira etapas no então CIR, relativas as etapas de reconversão - produção do pó de dióxido de urânio (UO<sub>2</sub>) a partir do hexafluoreto de urânio - e fabricação de pastilhas de (UO<sub>2</sub>).



As linhas de Produção de Pó e Pastilhas de  $UO_2$  ocupam 65% da área do prédio da antiga Unidade II (originalmente projetada para a instalação da usina de enriquecimento isotópico de urânio pelo processo do jato centrífugo), permitindo o compartilhamento de cerca de 50% dessa área com a instalação (em andamento) da futura unidade de enriquecimento isotópico pelo processo de ultracentrifugação.

As fábricas têm como objetivo a produção de pastilhas combustíveis de dióxido de urânio pelo processo de via úmida, com capacidade variável entre 70 e 120 toneladas anuais de dióxido de urânio, conforme a flutuação da demanda de pastilhas combustíveis. As capacidades máximas são, respectivamente, 160 toneladas anuais para a fábrica de pó e 120 toneladas anuais para a fábrica de pastilhas.

### **Fábricas de Combustíveis Nucleares: Enriquecimento**

Tendo em vista atender com economia de divisas à demanda do mercado nacional de combustível nuclear, a INB decidiu promover a implantação da etapa de enriquecimento isotópico para a produção do hexafluoreto de urânio enriquecido, junto à unidade FCN-Reconversão e Pastilhas.

A FCN-Enriquecimento manuseia material nuclear especial de urânio com baixo nível de enriquecimento, até 5% do isótopo do Urânio 235. O urânio processado está na forma de hexafluoreto de urânio ( $UF_6$ ). Anualmente, a FCN-Enriquecimento processa aproximadamente 45 t de  $UF_6$ .

### **Fábrica de Combustível Nuclear: Conversão**

A Indústrias Nucleares do Brasil (INB) pretende instalar em território nacional uma usina de conversão de urânio (Usicon), produzindo hexafluoreto de urânio ( $UF_6$ ), tendo como referências a tecnologia sob o domínio do Centro Tecnológico da Marinha em São Paulo (CTMSP) e o projeto francês Comurhex.

Com a implantação da unidade de conversão, essa deverá garantir a produção de combustível nuclear no Brasil para a geração termonuclear das usinas de Angra 1, Angra 2 e, futuramente, Angra 3, e até mais cinco reatores projetados.

A construção da Usicon trará, além de benefícios estratégicos, benefícios logísticos para o país, uma vez que evitará o transporte transoceânico de *yellowcake* e o

retorno ao Brasil de hexafluoreto de urânio ( $UF_6$ ). Dentre os benefícios estratégicos está o aumento da competitividade da fonte nuclear entre as fontes primárias para produção de energia elétrica e o domínio e a soberania nacional do ciclo do combustível nuclear.

A principal finalidade da unidade de conversão é converter o *yellowcake* em um material com formas químicas e físicas adequadas para uso na etapa de enriquecimento de urânio. Deve ser capaz, também, de converter  $UF_6$  em outros compostos desejáveis, como o tetrafluoreto de urânio,  $UF_4$ , e o dióxido de urânio,  $UO_2$ .

Vale destacar que, embora se trate de um processo com material nuclear, os maiores perigos estão associados a materiais tóxicos não-radioativos, como HF (ácido fluorídrico, que é um líquido - ou gás - incolor, fumegante com odor penetrante e irritante que acima de  $19^\circ C$  é um gás incolor extremamente corrosivo e tóxico que pode ocasionar a morte) e  $HNO_3$  (ácido nítrico, que é um ácido forte, e se comporta como agente oxidante devido à presença do óxido de nitrogênio, seus vapores são altamente tóxicos e capazes de produzir ferimentos graves ou morte), além dos compostos que são usados como insumos, que também deverão ser tratados com o máximo cuidado.

Outro ponto de suma importância é que a Usicon está prevista para ser instalada no sítio da FCN/INB, inserido no distrito de Engenheiro Passos (onde residem aproximadamente 3.990 habitantes), pertencente ao município de Resende, no estado do Rio de Janeiro.

Diante do pressuposto acima citado vem a pergunta: Quais são as estratégias necessárias para a inclusão da população do entorno da fábrica em planos de emergência externo para a referida fábrica?

## **O processo da conversão**

Na usina de conversão, o concentrado de urânio, depois de dissolvido e extraído, é submetido a transformações químicas para a obtenção de urânio na forma do composto hexafluoreto de urânio ( $UF_6$ ).

De maneira geral, o processo de conversão é dividido em cinco etapas básicas:

### **1. Purificação do concentrado de urânio e Produção do $UO_3$ ;**

Antes da produção do  $UO_3$  é necessária uma etapa de purificação do concentrado de urânio oriundo da extração mineral, que constitui-se das seguintes operações industriais:

- a) Dissolução do concentrado em ácido nítrico concentrado (obtenção do nitrato de uranila -  $\text{UO}_2(\text{NO}_3)_2$ );
- b) Extração de impurezas via tratamento com solventes orgânicos;
- c) Estocagem intermediária e preparação de alimentação do  $\text{UO}_3$ .

Para a obtenção do  $\text{UO}_3$ , o concentrado de urânio é dissolvido em ácido nítrico, de onde é obtida uma solução de nitrato de uranila. Esta solução é filtrada e posteriormente purificada por meio de extração por solventes. A solução já purificada passa então por reatores de desnitração para, finalmente, ser convertida em  $\text{UO}_3$ .

## 2. Produção do $\text{UO}_2$ /Redução;

Nesta etapa o trióxido de urânio ( $\text{UO}_3$ ) sofre uma redução para dióxido de urânio ( $\text{UO}_2$ ). Será aqui que ocorrerá a substituição da amônia, a qual por meio da reação do hidrogênio resultante de seu craqueamento a altas temperaturas gera o  $\text{UO}_2$ , por uma mistura de  $\text{H}_2$  e  $\text{N}_2$ , implicando na minimização de efluentes e de riscos operacionais.

## 3. Produção de $\text{UF}_4$ /Hidrofluoração;

O próximo passo será a conversão do dióxido de urânio ( $\text{UO}_2$ ) em tetrafluoreto de urânio ( $\text{UF}_4$ ) mediante reação com ácido fluorídrico anidro (HFA), em um processo via seco (processo assim denominado devido às reações de transformação para a obtenção do  $\text{UF}_4$  serem feitas com uso do insumo - ácido fluorídrico anidro - em fase gasosa, porém reagindo com o concentrado de urânio em fase sólida.).

A principal dificuldade nesta etapa está exatamente na obtenção de seu principal insumo, o HFA, devido à inexistência de fornecedores no Brasil. Este então será importado e chegará à unidade de Resende em isotanques (tipo de contêineres que transportam produtos líquidos, industriais e químicos podendo ser perigosos ou não).

## 4. Produção de $\text{UF}_6$

Nesta etapa, também conhecida por fluoração, o hexafluoreto de urânio ( $\text{UF}_6$ ) é produzido reagindo com o pó de  $\text{UF}_4$  advindo da hidrofluoração com o gás flúor ( $\text{F}_2$ ).

O flúor necessário será produzido na própria unidade em células eletrolíticas numa solução de ácido fluorídrico anidro (AHF) e bifluoreto de potássio ( $\text{KHF}_2$ ). A produção será realizada para uso imediato no processo, não havendo estoque de flúor na unidade (por motivos de segurança).

Após passar por uma etapa de filtração onde partículas residuais de  $UF_4$  e  $UO_2F_2$  são retiradas da corrente gasosa, o  $UF_6$  é então enviado para um conjunto de armadilhas frias (trocadores de calor).

Quando os gases passam pelas armadilhas frias o  $UF_6$  é aprisionado em sua forma sólida por dessublimação e os demais componentes presentes na corrente gasosa passam pela armadilha permanecendo no estado gasoso.

Depois de cheia, a armadilha é então aquecida de modo a permitir a fusão e o fluxo do  $UF_6$  em seu estado líquido até a etapa de destilação. (SANTOS, 2014)

Além das cinco etapas anteriores, a ampliação do grau de purificação do  $UF_6$  poder ser realizada através de processo de destilação fracionada, se constituindo numa opcional sexta etapa de processamento até a obtenção final do produto puro ( $UF_6$ ). (GONÇALVES, 2011)

O principal agravante em instalações de conversão, além do risco (combinação da probabilidade de ocorrência do dano e suas ocorrências – ABNT, 2009) de incêndio – uma vez que nestas plantas são estocadas, transferidas e manuseadas grandes quantidades de materiais inflamáveis e combustíveis – vem da manipulação de hexafluoreto de urânio, que é quimicamente tóxico, bem como radioativo. Além disso, ele reage prontamente com a umidade, libertando ácido fluorídrico altamente tóxico.

Atualmente, a tecnologia da conversão no Brasil, cujos processos químicos envolvidos já são de domínio laboratorial e em escala piloto no Centro Tecnológico da Marinha em São Paulo (CTMSP), ainda não faz parte das atividades nucleares em nível industrial. Porém, desde 2008, com o lançamento do Plano Nacional de Energia - PNE2030 – que prevê a implantação de mais 4 a 6 reatores de 1.000 MWe até 2030, a INB iniciou estudos para a construção de uma usina de conversão em Resende, município do Rio de Janeiro.

## **2.2 Identificação e avaliação dos principais efluentes contidos na Usicon (Resende/RJ)**

A avaliação dos perigos contidos em uma instalação químico-nuclear tem por objetivo identificar os problemas de segurança que possam comprometer não só a saúde dos trabalhadores e indivíduos do público como também os possíveis impactos ao meio ambiente e à própria planta. A avaliação de perigos é uma ferramenta de suma

importância na obtenção de licenças junto ao Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis (IBAMA) e à Comissão Nacional de Energia Nuclear (CNEN), podendo também ter outras aplicações como, por exemplo, a administração de seguros da planta.

A maior parte dos acidentes em indústrias químicas-nucleares está relacionada a atividades de estocagem, seguida dos erros durante operações de carga e descarga das substâncias, resultando em vazamentos seguidos, às vezes, de incêndios, o que pode comprometer a segurança da unidade de produção.

Na Usicon, a produção de UF<sub>6</sub>, a partir do urânio natural, utilizará diversos insumos, tais como: ácido fluorídrico, hidróxido de potássio, gás hidrogênio entre outros. Embora esses produtos possam ser manuseados seguramente, muitos apresentam riscos de explosão, corrosão e/ou toxicidade durante o processo de produção ou armazenagem, sejam por fatores operacionais, naturais ou externos.

Na avaliação dos perigos da Usicon devem ser consideradas as áreas de armazenamento das substâncias perigosas em função dos pontos de possível liberação das substâncias, conhecimento das propriedades físico-químicas e sua toxicidade, e da adoção de um modelo de dispersão atmosférica.

### **2.2.1. Tipos de perigos na Usicon**

Os principais perigos da fábrica de conversão do complexo da INB, em Resende/RJ, podem estar associados à ocorrência de incêndios, explosões, vazamentos de substâncias tóxicas, radiação nuclear e outros.

#### **Incêndio**

O incêndio é resultado de uma reação de combustão descontrolada podendo, ou não, haver a liberação de gases tóxicos. Os danos causados por um incêndio incluem perdas materiais, destruição ou comprometimento de estruturas por radiação térmica e prejuízos à saúde humana por intoxicação pela fumaça, queimaduras ou mesmo a morte.

## **Explosão**

A explosão pode ter as seguintes origens: química (resultado de uma reação química rápida); física (consequência de um processo físico como, por exemplo, a ruptura de um vaso pressurizado) e nuclear (consequência de reações de fusão ou fissão nuclear). Podem acontecer em áreas confinadas ou abertas.

## **Vazamentos**

Os vazamentos são liberações de substâncias tóxicas, oxidantes, radioativas, corrosivas, inflamáveis, explosivas ou atóxicas. As liberações de materiais atóxicos também podem ser perigosas, dependendo das suas condições de pressão e temperatura (CETESB, 2015).

## **Radiação Nuclear**

O perigo representado pela radiação nuclear se deve à incidência de radiação direta devido à incorporação de substâncias radioativas pelo organismo. Seus efeitos dependem da intensidade da radiação emitida, da meia vida do elemento e do tempo de exposição do indivíduo.

## **Criticalidade**

À criticalidade nuclear consiste em um conjunto de avaliações embasadas em critérios e normas de segurança, bem como cálculos de transporte de nêutrons, visando garantir que a instalação e equipamentos em questão não apresentem a possibilidade da ocorrência indesejada de uma reação em cadeia auto sustentada, isto é, garantir que as instalações, assim como os equipamentos, mantenham-se na condição de subcriticalidade em qualquer circunstância de operação normal ou não.

## **Periculosidade**

A periculosidade na energia nuclear está relacionada à quantidade de radiação recebida, a chamada dose. Nos casos em que essa quantidade exceda os limites de

segurança, isso pode trazer danos aos órgãos internos e ao sistema de regeneração de tecidos do corpo humano, com o comprometimento de funções vitais ou a ocorrência de neoplasias decorrentes da irradiação<sup>3</sup>.

## **Outros**

Referem-se a eventos externos à planta, tais como: incêndios na mata, inundações, quedas de aviões, etc (CETESB, 2015).

### **2.2.2 Efluentes gerados pela Usicon**

O controle da emissão de efluentes industriais no Brasil é estabelecido pelo Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA), na condição de órgão ambiental federal. Esse Conselho fixou os parâmetros para emissão de águas, pela Resolução no 357, datada de 17 de março de 2005, delegando aos órgãos estaduais de controle ambiental a responsabilidade pelo apoio técnico e fiscalização quanto ao cumprimento da legislação disponível e aplicável ao local (CONAMA, 2005).

Assim, para o controle das emissões das instalações nucleares, adota-se essa Resolução, que “Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências”<sup>4</sup>. Nessa Resolução também são estabelecidas as concentrações padrão para lançamento, direta ou indiretamente, de efluentes em corpos d’água, bem como de uma série de elementos e compostos permitidos no efluente, dependendo da classe na qual o corpo receptor foi enquadrado.

Com isso, podemos destacar os principais rejeitos gerados em todo processo e o tratamento/direcionamento sugerido a eles.

---

<sup>3</sup> [http://www.ihuonline.unisinos.br/index.php?option=com\\_content&view=article&id=3722&secao=355](http://www.ihuonline.unisinos.br/index.php?option=com_content&view=article&id=3722&secao=355)  
Acesso em 1 de agosto de 2016.

<sup>4</sup> <http://www.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=459> Acesso em 7 de setembro de 2015.

## Tratamento de Efluentes Gasosos

Os principais rejeitos gasosos do processo são constituídos pelos seguintes gases:

- Gases nítricos provenientes da dissolução nítrica, os quais serão tratados em um sistema de recuperação de ácido nítrico através de lavagem com água desmineralizada. O ácido nítrico recuperado voltará ao processo. Dependendo da etapa onde ele for utilizado, poderá passar por etapas de concentração, antes do reciclo. Caso a coluna de lavagem apresente alguma falha, haverá uma segunda coluna de lavagem com hidróxido de potássio, gerando nitrato de potássio como efluente.
- Gases provenientes dos fornos de redução e hidrofluoração, que contêm essencialmente excesso de hidrogênio que não participou da redução, excesso de ácido fluorídrico que não participou da hidrofluoração e vapor d'água. Esses gases são lavados em carbonato de potássio dentro de uma coluna de absorção antes de serem enviados à chaminé.
- Gases provenientes dos cristalizadores, contendo essencialmente flúor residual com pequenas quantidades de ácido fluorídrico e com eventuais resíduos de urânio ( $UF_4$  e  $UF_6$ ) que não cristalizaram. Esses gases são lavados com carbonato de potássio dentro de uma coluna de absorção antes de serem enviados à chaminé. O urânio é recuperado pela precipitação com hidróxido de potássio e recolhido por filtração, além de ser reutilizado na Unidade de Dissolução Nítrica. O efluente livre de urânio é então neutralizado e enviado para descarga.
- Gases provenientes dos compartimentos catódicos das células de eletrólise, que contêm essencialmente hidrogênio e ácido fluorídrico arrastado. Este gás é lavado com água dentro de uma coluna de absorção antes de ser enviado à chaminé. A solução é neutralizada com cal antes de ser enviada para a descarga. Na produção de flúor, pode haver a ocorrência do hexafluoreto de enxofre ( $SF_6$ ) quando há excesso de flúor nas células eletrolíticas.



## Tratamento de Efluentes Sólidos

Os rejeitos sólidos da dissolução nítrica do concentrado contêm praticamente sílica, são coletados em filtros e eliminados em uma bacia de retenção estanque.

Há também o UF<sub>4</sub> produzido no forno rotativo que estará fora de especificação, bem como os resíduos que não reagiram no reator de pratos. Estes rejeitos serão submetidos a um processo de digestão em hidróxido de potássio (KOH) e à separação por filtração a vácuo. O urânio recuperado será novamente dissolvido em HNO<sub>3</sub>.

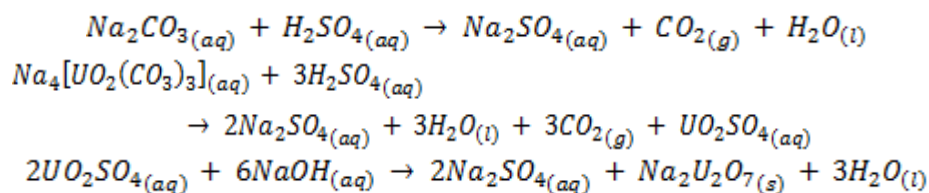
## Tratamento de Efluentes Líquidos

Em relação aos rejeitos líquidos, as principais correntes a serem consideradas na parte de purificação são:

- Solução de carbonato de sódio usada na lavagem (regeneração) do solvente;
- Solução nítrica resultante da neutralização do solvente, após a lavagem;
- Refinado da coluna de extração.

Em princípio, somente solução de carbonato de sódio contém urânio, razão pela qual, o tratamento desta corrente será separado das outras.

A solução de Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> será enviada a um tanque agitado onde é adicionado ácido sulfúrico. Depois, a solução passa a um segundo tanque agitado onde é adicionada solução de hidróxido de sódio. O diuranato de sódio é precipitado e recolhido em um filtro rotativo a vácuo, retornando, após repolpagem, para a unidade de dissolução do concentrado para redissolução. As reações do processo são:



As outras correntes de rejeito são constituídas basicamente por soluções aquosas de nitratos de metais e ácido nítrico. O tratamento consiste primeiramente em equipamentos evaporadores, onde praticamente toda a água e o ácido nítrico são

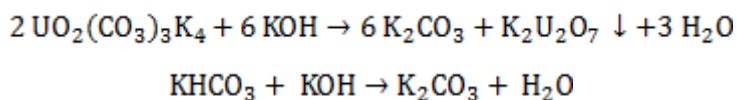
separados no topo, formando uma espécie de concentrado. Este passará então por um adensador, formando uma espécie de “lama” de nitratos na parte inferior. Essa lama é subsequentemente processada em fornos calcinadores, onde os nitratos de metais são decompostos em óxidos dos respectivos metais e gases nitrogenados. Os óxidos, contendo pequenas quantidades de urânio residual, são recuperados e enviados novamente para a usina de beneficiamento do urânio. Os gases são enviados para o sistema de recuperação de ácido nítrico. Os gases de topo dos evaporadores são condensados em trocadores de calor formando ácido nítrico diluído, o qual será reciclado para o processo.

O sistema de tratamento de efluente da planta de produção de UF<sub>6</sub> será dividido da seguinte maneira:

- Efluentes com concentração de urânio considerável, que necessitam de um tratamento extra para recuperação de urânio.
- Efluentes com concentrações de urânio relativamente baixa e que com uma simples neutralização já atendem à legislação vigente.

Os efluentes provenientes das colunas de lavagem dos gases provenientes dos cristalizadores são ricos em: bicarbonato de potássio (KHCO<sub>3</sub>), carbonato de potássio (K<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>), fluoreto de potássio (KF) e UO<sub>2</sub>(CO<sub>3</sub>)<sub>3</sub>K<sub>4</sub>.

De forma descontínua o efluente é bombeado para reatores. Nesse reator é adicionado hidróxido de potássio (KOH), a fim de precipitar o urânio que está na forma de UO<sub>2</sub>(CO<sub>3</sub>)<sub>3</sub>K<sub>4</sub> em uranato de potássio (K<sub>2</sub>U<sub>2</sub>O<sub>7</sub>) e recuperar o carbonato de potássio, conforme reações abaixo.



A solução de urânio em HNO<sub>3</sub> passará novamente pelos mesmos processos de recuperação de urânio, que consiste em um processo de mistura e filtração (com auxílio de agente de filtração). Agora, como o urânio está em solução, ele sai no efluente do filtro e será transferido para um sistema de separação gás-líquido, onde a solução de

urânio será direcionada para um tanque, que pode ser reutilizada no processo de produção de  $\text{UO}_3$ .

Os efluentes que não contêm urânio são direcionados para um tanque de armazenamento, onde serão neutralizados com hidróxido de cálcio -  $\text{Ca(OH)}_2$ , para posterior lançamento no corpo hídrico.

Cabe destacar que, embora se trate de um processo com material nuclear, os maiores perigos estão associados a materiais tóxicos não radioativos, como podemos notar na Tabela 2.1. Além dos compostos que são usados como insumos, também deverão ser tratados com o máximo cuidado os subprodutos/efluentes do processo de produção do  $\text{UF}_6$ .

Tabela 2.1: Listagem dos processos com possíveis impactos (internos e/ou externos) gerados na Usicon (Fonte: INB)

Processo Impactante	Substância/Produto/Subproduto	
	Agente químico	Periculosidade
Derramamento da substância no piso com geração de resíduo sólido. Impacto no sistema de drenagem externa da Unidade.	KHF <sub>2</sub>	Em função do baixo volume a ser utilizado do agente químico, ele foi considerado de baixa periculosidade.
Formação de nuvem tóxica com difusão atmosférica	HF	Cenário complexo, considerado de alta periculosidade.
	UF <sub>6</sub>	Uso na Usicon e no enriquecimento, o acidente clássico é o rompimento de cilindro. Alta periculosidade.
	CO <sub>2</sub> e N <sub>2</sub>	Considerado irrelevante do ponto de vista externo, preocupação com ambientes confinados.
Incêndio e explosão, no caso de haver ignição, com emissão de efluentes atmosféricos tóxicos.	H <sub>2</sub>	Vazamentos de estoques em carretas podem levar à explosão no pátio externo.
	F <sub>2</sub>	Alta periculosidade em função da reatividade do F <sub>2</sub> . Explosão pode ocorrer em ambiente confinado.
Possibilidade de mortes externas, na ocorrência de contaminação, de pessoas nas nucleações humanas mais próximas (Engenheiro Passos e Itatiaia)	HF	Pode ocorrer vazamento para fora do prédio, no momento do engate. Considerado de alta periculosidade.
Queimaduras nos trabalhadores. Mortes de pessoas nas nucleações humanas mais próximas (Engenheiro Passos)	HF	Idem ao anterior

Processo Impactante	Substância/Produto/Subproduto	
	Agente químico	Periculosidade
Formação de aerossóis de Fluoreto de Uranila ( $UO_2F_2$ ), com impacto local radiológico.	$UF_6$	Na ocorrência de vazamento de $UF_6$ o maior comprometimento ambiental se dará na área externa.
Sistema de direcionamento para cisternas via canaletas de emergência e recuperação, eventualmente para regeneração de produtos. Efeito no sistema de drenagem externo da Unidade.	Vários produtos - KOH, Soda, $HNO_3$ , peróxido etc.	A diversidade dos produtos envolvidos, que contribui para a potencialização da periculosidade.
Problemas na coleta de derramamentos para reciclagem, tratamento e destinação final adequada.	São vários sistemas individualizados por processo. A mistura ocorre após o tratamento do efluente.	A corrente de efluentes resultante após a reciclagem é enviada para o tratamento de efluente final (será utilizada resina de troca iônica ou precipitação). Toda corrente contendo urânio será direcionada separadamente em função da possibilidade de reciclagem.
Possibilidade de percolação no solo, com possibilidade de contaminação do subsolo.	Vários efluentes e produto nas tubulações.	Os efluentes serão transportados via tubos de polietileno e sofrerão tratamento prévio ao transporte.
Produtos corrosivos, com possibilidade de impactos ambientais significativos, em especial se atingir corpos d'água.	Álcalis e Ácidos	Todos os álcalis e ácidos estão em bacias de contenção. O HF, mais complicado, ficará em prédio exclusivo.

Como é possível observar na tabela acima o processo de obtenção do  $UF_6$  e do  $UF_4$  demandam vários tipos de produtos químicos (insumos) perigosos, desta forma o método de obtenção do  $UF_6$  deve comandar o plano de emergência, tanto interno quanto externo, da instalação.

## 2.3 Principais acidentes ocorridos em plantas de conversão

As plantas de potência nuclear em função da ocorrência de acidentes com os ocorridos em *Three Mile Island* e *Chernobyl* estabeleceram sistemas de relatórios para acumular e disseminar a informação como o INES (*International Nuclear Event Scale*) e o IRS (*Incident Reporting System*). (SOUZA, 2012)

As instalações do ciclo do combustível nuclear não são muito documentadas mesmo apresentando, em seus processos, materiais inflamáveis e substâncias tóxicas que podem ocasionar explosões, incêndios e vazamento de substâncias radioativas.

### 2.3.1 Evento ocorrido na Planta de Tricastin em Pierrelatt, França

Este evento ocorreu no dia 1<sup>o</sup> de julho de 1977 na planta de conversão de UF<sub>6</sub> em Pierrelatte, França, envolvendo um cilindro de 8.827 kg que continha UF<sub>6</sub> líquido a uma temperatura de aproximadamente 95°C, após uma operação de amostragem líquida. O cilindro estava sobre um suporte próximo ao chão, sob o aquecedor, fora do prédio de amostragem, com a válvula na parte mais baixa. (GONÇALVES, 2011)

A válvula foi quebrada próximo à parede do cilindro, durante a remoção do aquecedor, quando ainda estava conectada ao prédio de amostragem através de um tubo flexível, criando uma abertura de 3,84 cm<sup>2</sup>. A liberação de UF<sub>6</sub> levou aproximadamente uma hora. Com a utilização de equipamentos de combate a incêndio, 13,5 m<sup>3</sup> de água foram borrifadas no ponto de liberação e ao seu redor por meia hora. Adicionalmente, 600 kg de dióxido de carbono líquido foram também borrifados durante 15 a 20 minutos após a ruptura.

Um total de 7.106 kg de UF<sub>6</sub> foi liberado para a atmosfera, estimado a partir da pesagem do cilindro após o evento, que indicou uma quantidade residual de 1.721 kg. A liberação de UF<sub>6</sub> líquido a 95°C pela ruptura teve duração de 11 minutos. Menos de 48% da quantidade liberada vaporizou. Desta última, menos de 6% do urânio vaporizado foi encontrado na atmosfera, podendo-se assumir que 94% ficou depositado nas vizinhanças do ponto de liberação. Entretanto, a quantidade de HF detectada foi um indício da significativa hidrólise do UF<sub>6</sub> liberado. Isto se deu devido à grande quantidade de água borrifada sobre o vazamento, pois somente pela quantidade liberada e pela umidade do ar não seria possível a formação de tanto HF. A análise da

quantidade de urânio no solo após o incidente também reforça esta hipótese. O HF pôde ser detectado numa área até 15 km na direção do vento, que estava a uma velocidade de 10 m/s.

A conclusão final foi que não houve consequências químicas nem radiológicas para indivíduos do público. Nos locais de maior concentração, os riscos químicos foram pequenos e as consequências radiológicas associadas à deposição de urânio no solo poderiam levar a uma dose de 1,50 mSv nos rins (o limite radiológico total para o público tem que ser inferior a 1 mSv/ano)<sup>5</sup>, recebida a 600 metros do ponto de liberação na direção do vento, ainda interna à área de exclusão da instalação. É importante lembrar que doses superiores a 1 Sievert adquiridas ao longo de um curto período de tempo são susceptíveis de causar envenenamento por radiação, possivelmente levando à morte em poucas semanas.

### **2.3.2 Evento Ocorrido na Planta de Sequoia em Oklahoma, Estados Unidos**

No dia 4 de janeiro de 1986, na planta de conversão da *Sequoyah Fuels Corporation* em Oklahoma (EUA), um cilindro de UF<sub>6</sub> rompeu-se durante o aquecimento em uma câmara a vapor, quando se tentava retirar o excesso de UF<sub>6</sub> colocado no seu interior. (GONÇALVES, 2011)

Através de investigações posteriores, concluiu-se que o cilindro rompeu-se devido à expansão do UF<sub>6</sub> durante a mudança de fase de sólido para líquido por ter sido carregado com uma quantidade de UF<sub>6</sub> muito acima da máxima permitida. A causa do sobre-enchimento foi o uso de um equipamento que comportava cilindros menores que os especificados, assim, ele ficou posicionado erroneamente e o suporte ficou com uma extremidade apoiada no chão. Isto levou à pesagem errônea do cilindro, com indicação abaixo da real. O operador que acompanhava o enchimento notou que não cabia mais UF<sub>6</sub> no cilindro e, quando foi verificar, notou que o cilindro não estava posicionado corretamente. Após corrigir a posição do cilindro, verificou que a balança acusava limite de escala de 13,4 t e não informava o peso real do cilindro. Estimativas posteriores determinaram que o seu peso estava bem acima da capacidade especificada de 12,5 t. O operador iniciou o processo de retirada do excesso de UF<sub>6</sub> por vácuo para

---

<sup>5</sup> [http://www.nucleonica.net/wiki/index.php/Radiological\\_limits](http://www.nucleonica.net/wiki/index.php/Radiological_limits), Acesso em 13 de março de 2015.

armadilhas criogênicas.

No turno seguinte, outro operador notou que nenhum material estava sendo retirado, provavelmente pelo resfriamento e solidificação do UF<sub>6</sub>. O cilindro foi então levado para uma câmara a vapor externa ao prédio de processo, com o propósito de aquecê-lo para liquefazer o seu conteúdo e facilitar a retirada do material excedente. Seu peso ainda estava acima do máximo especificado. Os procedimentos de operação da instalação proibiam o aquecimento de cilindros com excesso de peso, porém, estes procedimentos foram violados.

Aproximadamente após 2 horas de aquecimento, o cilindro rompeu-se, abrindo uma fenda de 1,2 m ao longo do comprimento, na sua parte superior. A força da explosão danificou a câmara de vapor. O UF<sub>6</sub> liberado reagiu rapidamente com o vapor d'água presente no ar, formando fluoreto de uranila (UO<sub>2</sub>F<sub>2</sub>) e ácido fluorídrico (HF). A nuvem de vapor resultante desses materiais foi carregada de sul para sudeste por um vento de 40 km/h. A nuvem envolveu o edifício de processo e o vapor ácido causou a morte de um operador que estava a 21 m do cilindro, por edema pulmonar devido à inalação de HF. O vapor entrou no prédio pelo sistema de ventilação da planta. Aproximadamente 40 trabalhadores foram removidos para um local a montante da liberação, alguns tendo que passar pela nuvem tóxica. Os feridos foram transportados para hospitais próximos para tratamento. A população residente na direção do vento, a jusante da liberação, foi avisada e removida, sendo enviada para hospitais para observação.

Todo o conteúdo do cilindro foi liberado em aproximadamente 40 minutos, totalizando 14 t de UF<sub>6</sub> líquido. Nem todo o UF<sub>6</sub> reagiu imediatamente com o vapor e pedaços de UF<sub>6</sub> foram encontrados espalhados no local. Aproximadamente 6.700 kg de UF<sub>6</sub> formaram a nuvem tóxica, resultando em 5.900 kg de UO<sub>2</sub>F<sub>2</sub> e 1.500 kg de HF.

## **2.4 Normas de Segurança de Plantas de Conversão**

As fábricas do ciclo do combustível nuclear exigem atenção especial para alcançarem um alto nível de segurança, em todos os níveis, em virtude de seu tamanho e do número de pessoas envolvidas na distribuição e no movimento de material radioativo e/ou perigosos em toda a instalação.

Para as fábricas de conversão, a *International Atomic Energy Agency* – IAEA –



(IAEA, 2006) fornece recomendações sobre segurança aplicáveis e expõe algumas características distintas destas fábricas, tais como:

- O material radioativo utilizado na fábrica possui radiotoxicidade relativamente baixa, mas com potencial de gerar impactos químicos e toxicológicos aos trabalhadores, a população e ao meio ambiente, devido: à grande quantidade de UF<sub>6</sub>, aos produtos de reação (UO<sub>2</sub>F<sub>2</sub>, HF) associados com a operação de UF<sub>6</sub> líquido e a estocagem e manuseio de grande quantidade de compostos de urânio sólido.
- As condições para incêndio e explosões que resultem em liberação radiológica são potenciais, como aquelas decorrentes da explosão de H<sub>2</sub>.
- Os riscos químicos são significativos devido à grande quantidade de HF anidro líquido e amônia (NH<sub>3</sub>) que estão presentes no processo.

Como consequência, a norma (IAEA, 2006) recomenda focar atenção nas seguintes situações de risco: a liberação de HF e UF<sub>6</sub>; incêndio de grandes proporções devido ao H<sub>2</sub> ou solventes e explosão no processo de redução (H<sub>2</sub>).

A norma ainda ressalta que as fábricas de conversão processam produtos químicos perigosos, os quais podem ser tóxicos, corrosivos, combustíveis e explosivos. Um perigo significativo é a perda dos meios de confinamento resultando em liberação de UF<sub>6</sub>. Vale lembrar, que quando o UF<sub>6</sub> é liberado, ele reage com a umidade do ar formando HF, o qual produz um perigo adicional à segurança.

Com isso é verificado que neste tipo de fábrica os perigos maiores estão associados a substâncias químicas convencionais (HF, F<sub>2</sub>) e não ao UF<sub>6</sub> produzido, pois para a situação mais provável de liberação de UF<sub>6</sub>, as consequências atingem distâncias de 1600 metros, enquanto que para outras situações (isto é, para o HF) as distâncias de impacto podem superar 40.000 metros. (MARIN, 1999)

Sendo assim, ainda de acordo com a IAEA (IAEA, 2010), um plano de emergência deve ser elaborado e focado no aspecto da toxicidade química do UF<sub>6</sub> e seus produtos de reação (HF e UO<sub>2</sub>F<sub>2</sub>), mostrando mais uma vez a importância da comunicação com a população do distrito onde a fábrica está inserida.

### 3 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

#### 3.1 Análise de Risco: Definição e Técnicas de identificação

A ideia de risco, nos dias atuais, já faz parte do nosso cotidiano. Porém para Spink (1998), o risco é “uma noção essencialmente moderna e implica uma reorientação sobre as relações das pessoas com os eventos futuros, tornando-os passíveis de gerenciamento.” Essa associação do conceito de risco e a modernidade tem sido bastante utilizada nos meios de comunicação, porém, o que esses meios desconhecem é que o risco é definido como sendo o produto da frequência de ocorrência de um evento, dentro de um período de tempo, pela magnitude dos danos que este evento possa causar a um indivíduo, aos trabalhadores, ao público, à propriedade privada ou pública ou ao meio ambiente (PORTO, 1998).

Sendo assim, a análise de risco pode ser definida como um processo sistemático de avaliação cujo objetivo é responder às seguintes questões quanto aos perigos (potencial de ocorrência de consequências indesejadas decorrentes da realização da atividade ou tecnologia considerada) em potencial (KAPLAN & GARRICK, 1981):

- O que pode acontecer?
- O que pode dar errado?
- Quão provável o evento acontecerá?
- Se o evento acontecer, quais as consequências?

Em outras palavras a análise de risco visa identificar, discutir e avaliar as possibilidades de ocorrência de acidentes, na tentativa de se evitar que estes eventos aconteçam e, caso ocorram, identificar as alternativas que tomam mínimos os danos subsequentes a estes acontecimentos. Com a aplicação desse tipo de metodologia é possível fortalecer a segurança de qualquer processo, inclusive o industrial, a um nível de risco aceitável para a sociedade.

Neste contexto o processo da análise de risco passa pela aplicação de técnicas que permitem identificar, analisar e quantificar o risco. Funcionalmente, este processo, pode ser compreendido em três áreas denominadas de Avaliação de Risco,

Gerenciamento de Risco e Comunicação de Risco. (AYYUB *et al* 1999). Porém, áreas como a Aceitabilidade do Risco e a Percepção do Risco também podem compor o processo da análise de risco.

### 3.2 Avaliação de Risco (*Risk Assessment*)

A avaliação de risco é um processo técnico e científico pelo qual o risco previsto em um sistema é modelado e quantificado. Estes processos permitem fornecer dados qualitativos e quantitativos para posterior tomada de decisão durante a fase do gerenciamento de risco. Durante a execução da avaliação de risco podem ser utilizados dois métodos para a identificação/quantificação dos perigos, são eles: os métodos qualitativos e quantitativos. A seguir, são apresentadas breves descrições de algumas das técnicas de avaliação de riscos mais utilizadas atualmente. (SOUZA, 1995)

- Série de Riscos

Série de Riscos é uma técnica qualitativa básica da análise de riscos, que permite a determinação da sequencia de riscos associados a um evento catastrófico, que é considerado o risco principal. A partir dos riscos iniciais ou básicos, são sequenciados todos os riscos subsequentes capazes de contribuir na série, resultando no risco principal.

- Análise Preliminar de Perigos (APP)

A Análise Preliminar de Perigos, também conhecida como Análise Preliminar de Riscos (APR) - *Preliminary Hazard Analysis (pHA)*, é uma técnica de avaliação qualitativa. Normalmente é a primeira técnica aplicada durante a análise de riscos de sistemas em fase de concepção ou projeto, principalmente quando do uso de novas tecnologias ou processos que carecem de maiores informações sobre seus riscos. Através desta técnica, uma análise superficial dos riscos é realizada ainda na fase de projeto do processo, de modo que as mudanças necessárias, devido aos riscos identificados, não implicam em gastos expressivos, sendo mais fácil a sua execução.

- *What-if*

*What-if* é uma técnica de avaliação qualitativa que examina ordenadamente as respostas do sistema frente a falhas de equipamentos, erros humanos e condições

anormais do processo. Para aplicação desta técnica, é necessária a constituição de uma equipe com conhecimentos básicos sobre o processo analisado e sobre sua operação. Esta equipe deverá responder a questões do tipo "O que... se... ?" (por exemplo, "O que ocorreria se a válvula de alívio não abrisse na pressão especificada?") na tentativa de identificar os riscos potenciais presentes. Este tipo de análise pode ser aplicado a qualquer processo industrial em qualquer estágio de seu projeto ou desenvolvimento. No entanto, por não ser tão sistemática quanto outras técnicas de análise de riscos, e por seus resultados serem extremamente dependentes da experiência e do conhecimento do grupo de análise, a técnica *What If* é normalmente utilizada como complemento ou parte auxiliar de outras técnicas como *Checklist*, *HazOp* e *AMFE*.

- Lista de Verificação (*Checklist*)

O *Checklist*, técnica de avaliação qualitativa, é comumente utilizado para identificar os riscos associados a um processo e para assegurar a concordância entre as atividades desenvolvidas e procedimentos operacionais padronizados. Através desta técnica, diversos aspectos do sistema são analisados por comparação com uma lista de itens preestabelecidos, criada com base em processos similares, na tentativa de descobrir e documentar as possíveis deficiências do sistema. Normalmente, o *Checklist* é utilizado para embasar ou fortalecer os resultados obtidos por outras técnicas de análise de riscos. São comuns *checklists* de partes de equipamentos ou processos operacionais de unidades industriais e de procedimentos de segurança padronizados.

- "*What-if / Checklist*"

Como o nome indica, esta técnica de avaliação qualitativa une as características das técnicas *What-if* e *Checklist*, combinando o *brainstorming* gerado pela primeira com a característica sistemática apresentada pela segunda, resultando, desta forma, em uma análise mais detalhada e completa do sistema.

- Técnica de Incidentes Críticos

A Técnica de Incidentes Críticos é um procedimento qualitativo relativamente novo dentro da análise de riscos. Esta técnica busca identificar os riscos de um sistema através da análise do histórico de incidentes críticos ocorridos, os quais são levantados por intermédio de entrevistas com as pessoas que possuem uma boa experiência sobre o processo em análise.

- Análise de Modos de Falha e Efeitos (AMFE) - *Failure Modes and Effects Analysis (FMEA)*

A Análise de Modos de Falha e Efeitos envolve um estudo detalhado e sistemático das falhas de componentes ou sistemas. Nesta análise, que pode ser tanto qualitativa quanto quantitativa, os modos de falhas de cada componente do sistema são identificados, e os efeitos destas falhas no sistema são avaliados. São, então, propostas medidas de eliminação, mitigação ou controle das causas e consequências destas falhas. Como este tipo de análise se preocupa essencialmente com componentes mecânicos de um sistema, problemas relacionados a processos químicos, os quais envolvem substâncias químicas reativas, podem ser negligenciados e, portanto, não devem ser analisados apenas pela AMFE.

- Análise de Árvore de Falhas (AAF) - *Fault Tree Analysis (FTA)*

A Análise de Árvore de Falhas é uma técnica que pode ser aplicada para obtenção de resultados tanto qualitativos quanto quantitativos. É uma metodologia de raciocínio dedutivo que parte de um evento, uma falha específica de um sistema, denominado *evento topo*, e busca determinar as relações lógicas de falhas de componentes e erros humanos que possam gerar este evento. A análise é realizada por meio de construção de uma árvore lógica, partindo do evento topo para as falhas básicas. Esta técnica é muito utilizada para quantificar a frequência ou a probabilidade de falha de um sistema, ou seja, é bastante útil na determinação da sua confiabilidade. A Análise de Árvore de Falha é utilizada intensamente nas avaliações probabilísticas de risco de centrais nucleares.

- Análise de Árvore de Eventos (AAE) - *Event Tree Analysis (ETA)*

Nesta análise, que pode ser tanto qualitativa quanto quantitativa, parte-se de um evento básico, resultante de uma falha específica de um equipamento ou erro humano, denominado *evento iniciador*, para determinar um ou mais estados subsequentes de falha possíveis. Desta forma, a AAE considera a ação a ser tomada pelo operador ou a resposta do processo para o evento iniciador. A exemplo da técnica AAF, aqui também é desenvolvida uma árvore, partindo-se do evento iniciador, com a finalidade de quantificar as probabilidades de falha do sistema e identificar as sequências de acidentes. Assim como a AAF a Análise de Árvore de Eventos também é utilizada intensamente nas avaliações probabilísticas de risco de centrais nucleares.

- Estudo de Operabilidade e Riscos - *Hazard and Operability Studie* (HazOp)

O Estudo de Operabilidade e Riscos, técnica de avaliação qualitativa, foi desenvolvido para um exame eficiente e detalhado das variáveis de um processo, possuindo uma forte semelhança com a técnica AMFE. Através do HazOp, sistematicamente se identificam os caminhos pelos quais os equipamentos do processo podem falhar ou serem inadequadamente operados. A técnica deve ser implantada por uma equipe multidisciplinar. É guiada pela aplicação de palavras específicas - *palavras-guia* - a cada variável do processo, gerando os desvios dos padrões operacionais, os quais são analisados em relação às suas causas e consequências. Por ser completa, sistemática e relativamente fácil de ser aplicada, o HazOp é uma das técnicas de análise de riscos mais populares.

Além das técnicas de avaliação de riscos apresentadas acima existem diversos *softwares* que facilitam o uso das técnicas através de ferramentas lógicas em ambientes computacionais. Entretanto, é necessário conhecer as bases e conceitos usados pelos *softwares* para realizar a interpretação correta dos resultados.

Com a necessidade de incluir o julgamento de especialistas, os métodos que utilizam softwares tais como lógica nebulosa (*fuzzy*), rede bayesiana ou diagrama de influência, podem ser usados para reunir informação de risco quantitativo e qualitativo, permitindo a consideração explícita e gráfica de informação subjetiva como auxiliar para tomada de decisão onde exista incerteza na informação.

O diagrama de influência é um grafo acíclico dirigido que pode ser visto como uma rede bayesiana incrementada para tomada de decisão. Graficamente o diagrama de influência é composto por figuras geométricas (nós) interligadas por flechas.

São muitas as aplicações de redes bayesianas e diagramas de influência, por exemplo, nas áreas bancárias (ALEXANDER, 2000) e na gestão ambiental (CARRIGER, 2009). Tchangani (2011) propõe um modelo baseado em diagramas de influência para apoiar a gestão de risco e tomada de decisão para ações proativas e reativas e exemplifica com um caso de catástrofe natural.

Na área nuclear, o seu uso já está sendo bastante difundido. Em 2006, Lee e Lee propuseram uma estrutura para análise quantitativa integrando o processo de inferência da rede bayesiana à análise probabilística de risco convencional, no caso de deposição de rejeitos radioativos.

Várias ferramentas *online* estão disponíveis para usuários, por exemplo, Hugin (<http://www.hugin.com>) e o Netica (<http://www.norsys.com>). O uso da Netica foi testado pela autora com um exemplo fictício simplificado de uma possível liberação de HF (Ácido Fluorídrico) para a atmosfera e como treinamentos oferecidos por diferentes órgãos ajudariam na comunicação prévia com o público ajudando assim os planos de emergência externo.

Vale ressaltar que a pesquisa deste trabalho na área de análise de risco está inserida no contexto da Avaliação de Risco, especificamente na avaliação do risco de vazamento do gás HF (Ácido Fluorídrico) para a atmosfera e sua comunicação com o público, pois este pode ocasionar a ocorrência de contaminação e possível morte de pessoas tanto na fábrica quanto nas nucleações humanas mais próximas (Engenheiro Passos).

### **3.3 Gerenciamento de Risco (*Risk Management*)**

Processo onde operadores, gerentes e o órgão regulador responsável tomam decisões com respeito à segurança e ao modo de operação do sistema, no sentido de minimizar os efeitos dos riscos sobre a fábrica ou organização ao mínimo possível. É o conjunto de técnicas que visa reduzir ao mínimo os efeitos das perdas acidentais, enfocando o tratamento dos riscos que possam causar danos pessoais, ao meio ambiente e à imagem da empresa e/ou fábrica.

### **3.4 Comunicação de Risco (*Risk Communication*)**

Um elemento essencial para a compreensão do conceito de risco e da sua percepção, principalmente no caso de fábricas e/ou plantas nucleares, é a comunicação, pois o público dependerá dessa para obter informações precisas sobre os benefícios e aplicações que a construção destas fábricas possam trazer ao sítio em que residem.

Entretanto, foi somente a partir dos anos 1980, após os acidentes de Seveso (Itália - 1976), Three Mile Island (EUA - 1979) e Bhopal (Índia - 1984), que as fábricas/instalações químicas e nucleares começaram a se interessar em informar, comunicar possíveis riscos e em ser transparentes acerca dos riscos de suas atividades, pois os vazamentos de substâncias altamente tóxicas de suas fábricas/instalações

ocasionaram impactos em pessoas e no meio ambiente. Foi, também, a partir destes acidentes que surgiram a avaliação dos riscos (estimativa do risco em si) e a análise de percepção de risco (avaliação do nível em que pessoas, grupos ou sociedades ‘percebem’ os riscos). (SPINK, 1998)

A comunicação de risco é definida pela *United States National Research Council* (NRC) um processo de interação e intercâmbio de informações entre indivíduos, grupos ou instituições sobre ameaças à saúde, à segurança ou ao ambiente, com o propósito de que a comunidade conheça os riscos aos quais está exposta e participe de sua solução. Porém, a comunicação de risco só começou a ganhar força, principalmente, após os acidentes ocorridos nos anos 70 e 80. Foram estes acidentes que chamaram a atenção para os problemas e a dificuldade que os pesquisadores tinham em comunicar informação técnica sobre riscos ou sobre falhas nas estimativas de riscos ao público leigo (WYNNE, 1989).

Se, há cerca de três décadas, a preocupação com a comunicação dos riscos começava a ganhar força, nos últimos anos ela obteve seu espaço, já que as populações da maioria dos países industrializados estão cada vez mais preocupadas com o risco presente em suas rotinas diárias. Por isso, mais do que o ato de informar, a comunicação de risco é um processo interativo de troca de opinião entre indivíduos, grupos e instituições, que envolve múltiplas mensagens sobre a natureza do risco, as preocupações e opiniões das pessoas e suas reações às mensagens sobre o risco ou às medidas legais e institucionais relacionadas ao gerenciamento do risco. Entre alguns exemplos de situações que envolvem a comunicação de risco estão as catástrofes naturais (Friburgo, 2011), os desastres ambientais, os casos de doenças infecciosas (como a gripe aviária), a construção de usinas nucleares e epidemias de doenças crônicas (como o câncer).

Sendo assim, os principais objetivos da comunicação de risco são: educação e informação; aprimoramento do conhecimento público; mudança de comportamento e ações preventivas; metas organizacionais; metas de cunho legal; resolução de problemas e conflitos. Para que estes objetivos sejam alcançados, os pesquisadores têm de aliar os conhecimentos sobre avaliação e gestão de risco às modernas teorias e práticas da comunicação. Se bem feita, a comunicação de risco ajuda a diminuir as tensões entre comunidade, pesquisadores e autoridades porque melhora a qualidade do diálogo sobre o risco e promove, através da negociação, um alto grau de consenso social sobre os



diversos aspectos controversos que envolvem a fábrica e a população (AQUINO *et al*, 2012).

Com isso, podemos notar que a comunicação de risco torna-se um importante instrumento que deve ser incorporado à gestão organizacional de fábricas e instalações químico-nucleares, pois melhora a capacidade de diálogo destas com a população que reside próxima a essas fábricas e/ou instalações.

Neste contexto, a comunicação de risco deve ser incluída no conjunto de ações e decisões que devem ser tomadas durante o projeto da fábrica/instalação, uma vez que esta busca uma maior interação com as partes interessadas (fábrica-população) a fim de evitar que divergências entre elas.

### **3.4.1 A mídia no processo da comunicação de risco**

A mídia desempenha um papel fundamental no processo de comunicação de riscos, auxiliando na formação da percepção da opinião pública, pois quando se trata de divulgar informações sobre riscos, a mídia pode exemplificar o conteúdo das informações com desdobramentos sérios sobre a percepção que as partes interessadas formam a respeito dos riscos existentes. (BARREIROS, 2007).

Embora na maioria das situações exista um exagero por parte da mídia ao divulgar informações de risco que possam vir a comprometer a saúde e/ou a integridade física das pessoas e do meio ambiente, é importante destacar que a comunicação feita pela imprensa é um elemento crucial no efetivo gerenciamento de emergência e deve assumir um papel central desde o início, pois suas coberturas jornalísticas e textos cada vez mais fundamentados em evidências podem levar informações sem comprometimentos.

### **3.4.2 A Opinião Pública**

A opinião pública é caracterizada como a opinião da maioria da população de um determinado local avaliado. Este local pode ser um município, um estado, uma região ou um país. Mas, mesmo sendo a mais adotada, uma determinada corrente de opinião pode não reunir em torno de si a maioria dos indivíduos, fato que ocorrerá quando o universo de ideias for muito fragmentado. Em casos extremos, até a expressão

“opinião pública” poderá ser empregada de forma errônea uma vez que não existe uma tendência que supere as demais opiniões.

Por outro lado, mesmo existindo uma corrente de opinião claramente majoritária, pode ocorrer que outra se torne predominante pela ação persistente dos seus seguidores. Assim, existiria, então, uma diferença entre “opinião majoritária”, da maioria, e “opinião predominante”, a que predomina. A primeira reúne um número maior de indivíduos, sendo por isso superior em quantidade, porém a segunda surte maiores efeitos, pois tem seguidores mais atuantes. Mas, vale lembrar que esses casos são os extremos pois o mais provável, em uma democracia, como é o caso do Brasil, a opinião majoritária também seja a predominante.

Devido a todos esses problemas descritos torna-se complicado identificar com segurança a verdadeira opinião pública, a não ser por meio do voto ou de métodos de amostragem estatística (que mostram uma resposta mais quantitativa do que qualitativa do problema apresentado).

### **3.4.3 A pesquisa de opinião pública**

As pesquisas de opinião pública são as melhores fontes de informação a respeito do pensamento geral de uma população sobre os mais diversos temas tanto sociais quanto políticos de um determinado país. (MARTIN, 1984)

Para que a pesquisa seja realizada de maneira não tendenciosa é necessário que a coleta de seus dados seja feita com a maior precisão possível, evitando erros ou induzindo as pessoas a responderem o que não querem ou não sabem, por exemplo.

Para evitar esses e outros erros que tornam a pesquisa viciada, comprometendo assim sua credibilidade, que existem diversos tipos e métodos de pesquisa, cada um com suas regras e objetivos específicos.

### **3.5 Aceitabilidade de Risco (*Risk Acceptability*)**

Assim que o risco previsto em um sistema é quantificado, inicia-se o processo para saber se ele pode ser tolerado ou não, de acordo com o dano que poderá causar.

Ou seja, racionalmente, o “risco aceitável” só pode ser definido por alguma análise custo-benefício, envolvendo avaliação probabilística e subjetividade sobre o

significado de “aceitável” (WIELAND, 2012). Contudo, pode-se tolerar e assumir riscos nos seguintes casos:

- Aqueles com consequências graves, desde que a probabilidade de ocorrência do risco seja muito baixa, embora o fato em si seja indesejável;
- Aquelas onde as consequências possam ser desprezadas, desde que a relação custo-benefício do programa em análise seja adequada para a eliminação ou minimização dos perigos no processo ou no desenvolvimento do sistema.

Neste contexto, a aceitabilidade do risco é uma consequência de tomada de decisão, isto é, requer que uma escolha seja feita entre diversas alternativas apresentadas. Dessa forma, a escolha por uma melhor alternativa depende de um conjunto de alternativas inerentes a uma situação específica, das consequências, dos valores e fatos examinados durante o processo de tomada de decisão. (FISCHHOFF et al, 1999)

### **3.6 A Percepção de Risco**

Diferentemente do que a maioria acredita quanto mais o público é informado, mais ele assume uma posição contrária às atividades que envolvem riscos (SLOVIC, 1987). A conclusão desta afirmação é que o público utiliza diferentes critérios quando comparados aos usados pelos analistas durante a avaliação dos riscos. Enquanto os técnicos baseiam-se em cálculos, a população leiga utiliza-se de conhecimentos que são disponibilizados por outras pessoas ou por meios de comunicação que não visam o custo-benefício.

Isso mostra que para uma empresa ou fábrica, de qualquer natureza, conseguir a aceitação dos residentes do local onde será construída a instalação, se faz necessário, antes de qualquer ação educativa, compreender os critérios utilizados por esses residentes sobre o que é e qual a sua avaliação do risco, ou melhor, compreender como estes ‘percebem’ o risco. Pensando sobre essa percepção surge, dentro da Análise de Risco, um novo campo denominado Análise de Percepção de Risco.

Sendo assim, a Análise de Percepção de Risco pode ser entendida como os julgamentos intuitivos do risco, utilizados pela maioria das pessoas leigas em oposição

aos métodos utilizados por especialistas (SLOVIC, 1987). Sendo esta um subtema da Análise de Risco, a percepção de risco, também utiliza uma metodologia quantitativa.

Com isso, podemos notar que, a noção da percepção de risco, para o público leigo, é influenciada por alguns aspectos e características do próprio risco. Pesquisas de opinião podem ser úteis como indicativo de tendência das expectativas da população. Para isso, a metodologia empregada deve ser adaptada à realidade regional.

### 3.7 Planos de Comunicação de Risco ou Planos de Emergência Externos

Um pré-requisito básico para a elaboração de um plano de comunicação de risco externo (Plano de Emergência) adequado é conhecer a situação e as preocupações da comunidade possivelmente afetada, pois ao determinar cuidadosamente o problema logo no início, este será reduzido e a necessidade de correções posteriores será evitada.

A Figura 3.1 possibilita uma melhor visão de como um plano de emergência deve ser pensado para ter seus objetivos atingidos.

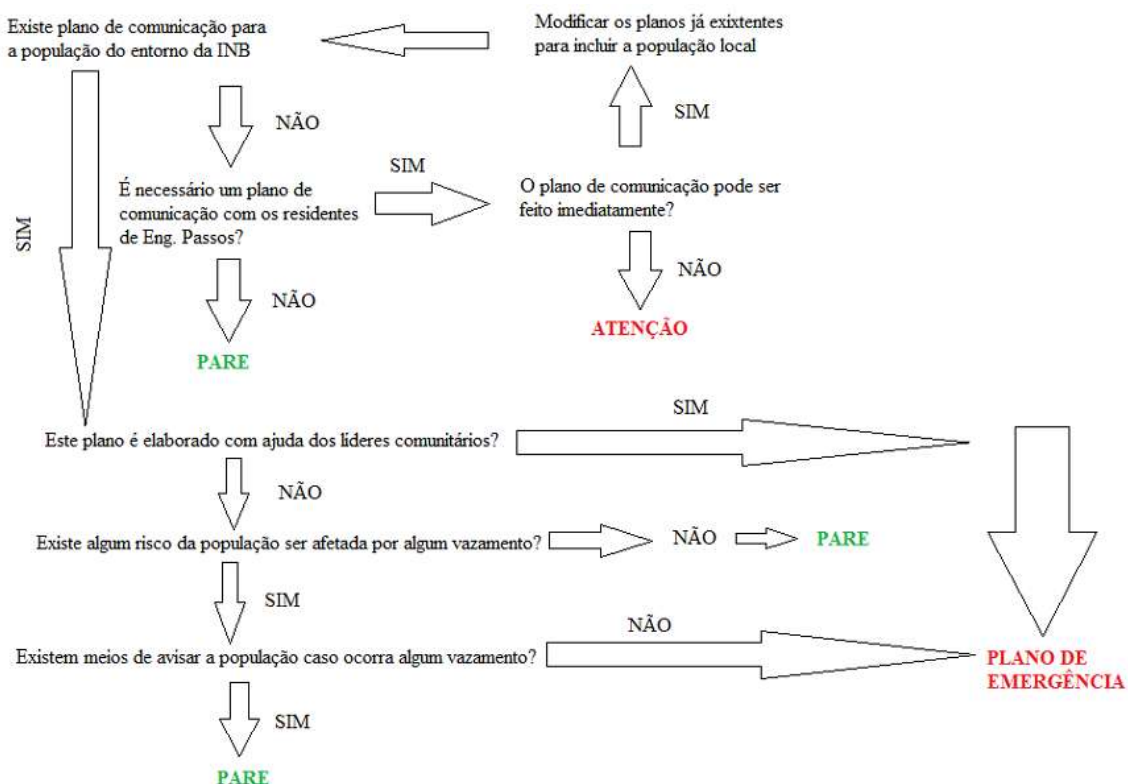


Figura 3.1: Árvore de decisão para planos de emergência (Fonte: a autora)

### **3.7.1 Planos de Emergência da INB e sua Participação Social**

O Plano de Comunicação e Participação Social (PCPS), assim chamada a comunicação de risco ou plano de emergência externo elaborada pela INB, a princípio, tem como objetivo estabelecer um processo contínuo e permanente de informação e interação com a sociedade envolvida, de modo que seus potenciais impactos sejam conhecidos de forma transparente.

No sentido de atingir seu objetivo a empresa promove:

- Visitação à fábrica: Além de receber escolas, empresas e jornalistas, a fábrica também recebe a visita de quaisquer pessoas interessadas em conhecer a unidade e suas áreas de produção;
- Promoção de eventos internos: Essa ação tem como meta enriquecer e aproximar os empregados da empresa aos assuntos que estão ligados ao tema “energia nuclear”, como saúde, segurança e meio ambiente;
- Promoção de eventos externos: Essa ação tem como objetivo organizar eventos de cunho social junto às comunidades próximas das unidades da empresa;
- Publicação de informativos internos: Através desses informativos foi divulgado informações da empresa e assuntos que estão relacionados às atividades da INB, além de curiosidades sobre saúde, educação, meio ambiente e cultura em geral. A divulgação é complementada através de quadros de avisos e da intranet local;
- INB na mídia: Matérias produzidas, estimuladas ou subsidiadas pela Assessoria de Imprensa da empresa e encaminhadas para a imprensa local para serem divulgadas em jornais impressos e online de todo o país.

## 4 REVISÃO METODOLÓGICA

### 4.1 Surgimento do APELL

Os grandes acidentes industriais ampliados (eventos de maior gravidade e de frequência significativamente menor, cujas consequências se estendem a um maior número de pessoas), com vítimas fatais e feridos entre a população, em diversos países desenvolvidos ou em desenvolvimento, durante as décadas de 1970 e 1980 (Seveso, Bhopal, Chernobyl,...), foram à razão pela qual várias instituições se uniram para criar programas de apoio aos países visando diminuir o número de acidentes ambientais tecnológicos e suas consequências para a saúde humana e para o meio ambiente (SERPA, 2000).

Uma característica comum a esses diversos acidentes foi a falta de informação por parte da população sobre o que estava acontecendo e sobre como proceder em situações como aquelas, além da desinformação sobre os riscos que corriam por viverem próximos àquelas instalações perigosas (FREITAS, 2000).

Percebia-se que planos de emergência em que apenas os efetivos das instituições estavam previamente preparados para as emergências tinham eficácia muito limitada. Desinformada, a população entrava em pânico e tinha atitudes caóticas, dificultando a própria ação dos serviços de emergência.

Somente a partir da década de 1980, principalmente por causa da pressão pública, que as indústrias química e petroquímica começaram a sentir necessidade de elaborar um plano de resposta à emergência que alcançasse, não só seus funcionários, como também a comunidade onde está instalada. (CUNHA & TRUFEM, 2009)

Em 1986, o Departamento de Meio Ambiente e Indústria do Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente (PNUMA)<sup>6</sup> elabora o APELL, que consiste justamente numa metodologia que tem no centro de sua definição a meta de incluir o público afetado entre os contingentes adequadamente preparados para enfrentar

---

<sup>6</sup> O PNUMA é uma agência da ONU, responsável por estimular a proteção do meio ambiente no contexto do desenvolvimento sustentável através de incentivo e apoio a povos e nações na busca pela melhoria de sua qualidade de vida, sem comprometer as futuras gerações.

ocorrências potencialmente catastróficas, em função de desdobramentos de acidentes ambientais. Seu surgimento foi consequência da percepção da falência dos planos de emergência que só envolviam instituições públicas e organizações privadas, pois em eventos de grande porte, como o de Bhopal, na Índia, tais esquemas de resposta entraram em colapso, diante do caos que se instalou pela reação desordenada do público impactado. .<sup>7</sup>

O APELL reforça a necessidade da participação do governo local, da comunidade e da indústria de modo a minimizar as consequências para a saúde da população e para o meio ambiente em casos de acidentes industriais ampliados. As instruções foram elaboradas com o intuito de tornar público à população que vive próxima a instalações químicas as possíveis consequências de um acidente industrial ampliado quando ele ultrapassa os muros da referida instalação.

Os danos causados por um acidente que se estende para além dos muros podem ser maiores ou menores, de acordo com a rapidez e a eficácia das medidas tomadas e do conhecimento adquirido pela população que vive no entorno dessa instalação, sobre os procedimentos a serem adotados.

Para que o APELL funcione todos, tanto os responsáveis por explicar a situação de emergência quanto a população afetada, devem ter consciência sobre os riscos e sobre como agir durante a ocorrência antes que ela aconteça, ou seja, o sucesso do plano está diretamente ligado à participação integrada de todos os envolvidos no processo.

## **4.2 Metodologia APELL**

Nos dias atuais, os planos de ação de emergência fazem parte de políticas de gerenciamento dos riscos, uma vez que tais políticas combinam iniciativas de redução das frequências de ocorrência com as de redução de consequências geradas por um acidente. (CUNHA & TRUFEM, 2009)

Tais iniciativas, muitas vezes consideradas complexas, remetem à necessidade de estabelecer cooperação e coordenação de todos os envolvidos, fugindo, assim, da tradição de comando único. Um fator que requer cuidados especiais é a demanda por organizar as reações do público em geral. Esta demanda surge quando as hipóteses de

---

<sup>7</sup> [http://pesquisaemdebate.net/docs/pesquisaEmDebate\\_especial1/artigo\\_1.pdf](http://pesquisaemdebate.net/docs/pesquisaEmDebate_especial1/artigo_1.pdf) Acesso em 12 abril 2015

acidentes em um determinado cenário incluem a efetiva possibilidade de serem geradas consequências para a população das áreas no entorno ("área geográfica, suficientemente grande para conter todas as características associadas a um fenômeno ou aos efeitos de um dado evento")<sup>8</sup> das instalações onde são manipuladas substâncias perigosas.

Nesses casos, a existência de uma resposta estruturada a um acidente de grande porte inclui necessariamente a preparação do público. Esta preparação tem como um de seus objetivos centrais o combate ao fenômeno do pânico, pois quando grupos de pessoas são tomados pelo medo e, conseqüentemente, se gera o pânico, a probabilidade de ocorrerem vítimas desse desdobramento é grande.

O APELL é um processo que se baseia na cooperação entre instituições públicas, privadas e comunitárias, esperando promover uma maior conscientização e desenvolver uma melhor capacidade de mobilização da comunidade local. Também visa preparar os serviços de atendimento em situações de emergência, com adequados sistemas de informação e de coordenação, minimizando a situação de pânico e otimizando o atendimento às pessoas<sup>9</sup>.

Com isso, é possível observar que o objetivo geral do APELL é evitar as perdas humanas e materiais, como também proteger o meio ambiente e a comunidade que o cerca. Seus enfoques básicos são: aumentar a consciência da comunidade sobre possíveis riscos (combinação da probabilidade de ocorrência e da consequência de um determinado evento perigoso) e perigos (fonte ou situação com potencial para provocar danos) que existam em sua localidade e desenvolver planos coordenados de resposta ante uma emergência (UNEP, 1988).

Após o exposto, nota-se a importância ímpar do APELL, sendo esta corroborada ao navegarmos no sítio do Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente (*United Nations Environmental Programme* – PNUMA/UNEP), posto que neste são disponibilizadas, em diversos idiomas, inúmeras informações sobre diversos tipos de APELL, bem como seu funcionamento e aplicação (Figura 4.1).

---

<sup>8</sup>Norma CNEN-NE-1. 11 retirado do sítio: <http://appasp.cnen.gov.br/seguranca/normas/pdf/Nrm111.pdf>. Acesso em 17 de setembro de 2015.

<sup>9</sup> [http://www.bvsde.paho.org/cursode/p/modulos/modulo\\_3.6.pdf](http://www.bvsde.paho.org/cursode/p/modulos/modulo_3.6.pdf)





Figura 4.1: Diagrama de implementação do APELL. (Fonte: <http://www.unep.org/resourceefficiency/Portals/24147/scp/sp/publications/brochures/pdf/ExplainingPO.pdf>)

### 4.3 Metodologia Científica (classificação e tipos de pesquisa)

No início, os modelos de pesquisa eram muito simples, e cada indivíduo que executava ou observava um experimento produzia o seu próprio modelo. Com o passar do tempo houve a necessidade de uniformizar os modelos envolvidos com o mesmo tipo de experimento. Com isso, a pesquisa, passou a ser definida como o processo formal e sistemático de desenvolvimento do método científico sendo seu objetivo fundamental descobrir respostas para problemas mediante o emprego de procedimentos científicos. (GIL, 1987)

Sua classificação fixa-se no procedimento geral que é utilizado. Segundo este critério, obtém-se, no mínimo, três importantes níveis de pesquisa: a descritiva, a explicativa e a exploratória.

### **4.3.1 Classificação das Pesquisas**

#### **Pesquisa Descritiva**

A pesquisa descritiva tem como objetivo primordial a descrição das características de determinada população ou fenômenos (variáveis) sem manipulá-los. Procura descobrir, com precisão possível, a frequência com que um fenômeno ocorre, sua relação e conexão com outros, sua natureza e características. Busca conhecer as diversas situações e relações que ocorrem na vida social, política, econômica e demais aspectos do comportamento humano, tanto do indivíduo tomado isoladamente como de grupos e comunidades mais complexas, e cujo registro não consta de documentos. Os dados por ocorrerem em seu hábitat natural, precisam ser coletados e registrados ordenadamente para seu estudo propriamente dito.

A pesquisa descritiva pode assumir diversas formas, entre as quais se destacam: os estudos descritivos (trata-se do estudo e da descrição das características), pesquisas de opinião (procura saber atitudes, pontos de vista e preferências que as pessoas têm a respeito de algum assunto, com o objetivo de tomar decisões), pesquisa de motivação (busca saber as razões inconscientes e ocultas que levam, por exemplo, o consumidor a utilizar determinado produto ou que determinam certos comportamentos ou atitudes), estudo de caso (pesquisa sobre um determinado indivíduo, família, grupo ou comunidade que seja representativo do seu universo, para examinar aspectos variados de sua vida) e a pesquisa documental (estuda a realidade presente, e não o passado, como ocorre com a pesquisa histórica).

Em síntese, a pesquisa descritiva, em suas diversas formas, trabalha sobre dados ou fatos colhidos da própria realidade. Para viabilizar essa importante operação da coleta de dado é utilizado, como principais instrumentos, a observação, a entrevista, o questionário e o formulário (GIL, 1987)

#### **Pesquisa Explicativa**

São aquelas pesquisas que têm como preocupação central identificar os fatores que determinam ou que contribuem para a ocorrência dos fenômenos. Este é o tipo de pesquisa que mais aprofunda o conhecimento da realidade, porque explica a razão,

motivo das coisas. Por isso mesmo é o tipo mais complexo e delicado, já que o risco de cometer erros aumenta consideravelmente. (GIL, 1987)

### **Pesquisa Exploratória**

O estudo exploratório é, normalmente, o passo inicial no processo de pesquisa. Têm como principal finalidade desenvolver, esclarecer e modificar conceitos e ideias, com vistas na formulação de problemas mais precisos ou hipóteses pesquisáveis para estudos posteriores. (GIL, 1987). Recomenda-se o estudo exploratório quando há poucos conhecimentos sobre o problema a ser estudado.

Seu objetivo é familiarizar-se com um assunto ainda pouco conhecido, pouco explorado. Ao final de uma pesquisa exploratória, você conhecerá mais sobre aquele assunto, e estará apto a construir hipóteses. Como qualquer exploração, a pesquisa exploratória depende da intuição do explorador (neste caso, da intuição do pesquisador). Por ser um tipo de pesquisa muito específica, quase sempre ela assume a forma de um estudo de caso (GIL, 2008).

#### **4.3.2 Tipos de Pesquisas**

Existem dois tipos distintos de pesquisas, que muitas vezes se complementam. A diferença está na abordagem de cada um dos métodos, no objetivo e na amostra. São eles: a pesquisa quantitativa e a pesquisa qualitativa.

#### **Pesquisas Quantitativas**

Segundo Richardson (1989), este método caracteriza-se pelo emprego da quantificação, tanto nas modalidades de coleta de informações, quanto no tratamento dessas através de técnicas estatísticas, desde as mais simples até as mais complexas.

Conforme supramencionado, ele possui como diferencial a intenção de garantir a precisão dos trabalhos realizados, conduzindo a um resultando com poucas chances de distorções. De uma forma geral, o estudo de campo quantitativo guia-se por um modelo de pesquisa onde o pesquisador parte de quadros conceituais de referência estruturados a partir dos quais formula hipóteses sobre os fenômenos e situações que quer estudar.

Uma lista de consequências é então deduzida das hipóteses. A coleta de dados enfatizará números (ou informações conversíveis em números) que permitam verificar a ocorrência ou não das consequências, e daí então a aceitação (ainda que provisória) ou não das hipóteses. Também, os tradicionais levantamentos de dados são o exemplo clássico do estudo de campo quantitativo (POPPER, 1972). Richardson (1989) expõe que este método é frequentemente aplicado nos estudos descritivos (aqueles que procuram descobrir e classificar a relação entre variáveis), os quais propõem investigar “o que é”, ou seja, a descobrir as características de um fenômeno como tal.

Também, entre os tipos de estudos quantitativos, segundo Diehl (2004) podem-se citar os de correlação de variáveis ou descritivos (os quais por meio de técnicas estatísticas procuram explicar seu grau de relação e o modo como estão operando), os estudos comparativos causais (onde o pesquisador parte dos efeitos observados para descobrir seus antecedentes), e os estudos experimentais (que proporcionam meios para testar hipóteses).

### **Pesquisas Qualitativas**

A pesquisa qualitativa pode ser vista como uma metodologia de pesquisa não estruturada e exploratória baseada em pequenas amostras que proporcionam percepções e compreensão do contexto do problema (MALHOTRA, 2006). Nesse tipo de pesquisa os entrevistados constituem ideias livres a respeito e um determinado tema (DANTAS; CALVACANTE, 2006). Como as amostras podem ser pequenas, as ideias são livres, isso dota a pesquisa qualitativa de uma seriedade necessária quanto à construção dos argumentos.

Este tipo de pesquisa busca, simultaneamente, explicar vários tipos de fenômenos com base na interpretação do fenômeno observado (CHIZZOTII, 2003). Em outras palavras, o pesquisador busca entender a importância dos fenômenos estudados, segundo a perspectiva dos participantes da situação estudada, em seguida é feita a interpretação dos fenômenos estudados (NEVES, 1996).

Para a análise do material obtido por meio da pesquisa qualitativa é necessário por parte do pesquisador uma capacidade integrativa e analítica que depende do desenvolvimento de uma aptidão de criação e intuição (MARTINS, 2004). O vínculo entre conhecimento e fenômeno, sempre depende do arcabouço de interpretação

empregado pelo pesquisador, que lhe serve de visão de mundo e de referencial. Esse arcabouço pode servir ou não como base para outros estudos quantitativos, de forma que os estudos qualitativos e quantitativos possam se complementar (NEVES, 1996).

### **Pesquisas que utilizam Redes Bayesianas (Pesquisas qualitativo-quantitativa)**

O termo Rede Bayesiana (RBs) surgiu na década de 80, originalmente nas áreas de inteligência artificial e pesquisa operacional, sendo usado para denominar um tipo específico de modelo probabilístico que representa relações de dependência entre um conjunto de variáveis aleatórias (JENSEN, 1996; PEARL, 1988). Ao longo dos últimos anos a importância deste tipo de modelo transcendeu suas áreas de origem, adquirindo importância em várias outras áreas como, por exemplo, estatística Bayesiana (GILKS; RICHARDSON; SPIEGELHALTER, 1996) e bioinformática (BALDI; BRUNAK, 2001).

De acordo com Heckerman (1995) as RBs se destacam porque podem prontamente manipular conjuntos de dados incompletos; permitem aprender a partir de relações causais; em conjunto com técnicas estatísticas facilitam a combinação do conhecimento do domínio e de dados; em conjunto com métodos Bayesianos e outros tipos de modelos oferecem uma abordagem eficiente para evitar o *overfitting* ou sobreajuste (redução da taxa de acerto) de dados.

A RB, segundo Russel e Norvig (1995), é um modelo de representação do conhecimento que trabalha com o conhecimento incerto e incompleto por meio da Teoria de Probabilidade Bayesiana. Essa utiliza o conhecimento do especialista para simulá-lo de forma computacional e representa a incerteza no conhecimento com grafos acíclicos e direcionados que representam as dependências probabilísticas entre diversas variáveis.

As Redes Bayesianas estão fundamentadas no Teorema de Bayes (detalhes vide apêndice A), que calcula a probabilidade de um evento acontecer, dado que outro já ocorreu. Trata-se de uma partição do espaço amostral em diversos subconjuntos, os quais apresentam probabilidades conhecidas. As probabilidades previamente conhecidas para um evento específico podem ser ajustadas por meio do Teorema de Bayes cada vez que se apresentem novas evidências envolvendo um determinado evento que seja dependente do primeiro. É um formalismo que mistura a teoria de grafos e a teoria da

probabilidade e é composta de uma parte qualitativa e outra quantitativa (IATROS 2010).

A parte qualitativa da RB representa com nós as dependências que correspondem às variáveis do sistema e seus valores. Estes nós (variáveis) estão ligados por setas direcionadas. Assim, uma seta ligando as variáveis A e B indica que a variável B é consequência e a variável A é a causa, numa relação de dependência. A parte quantitativa da RB representa os coeficientes das probabilidades condicionais estimadas de cada valor, *a priori*, das hipóteses e pode ser obtida pela inserção direta das probabilidades nas Tabelas de Probabilidades Condicionais pelos especialistas, ou pela inserção dos casos diretamente de uma base de dados (BEN-GAL 2007).

A modelagem feita através de redes bayesianas (RB) permite a organização do conhecimento de uma dada área, ou mapear causas e efeitos gerando assim, automaticamente, previsões ou decisões, mesmo que os dados sejam escassos. A inferência bayesiana também possibilita a produção de novos resultados, de acordo com a demanda das informações, admitindo a adição de novas variáveis, atualização de dados e agregação da opinião de especialistas, quando necessário (DIONIZIO, 2014).

### **Vantagens e Desvantagens das Redes Bayesianas**

Dentre os motivos e as vantagens de se utilizar redes bayesianas, podemos citar, exaltando algumas das suas principais características (LUNA ,2004):

- permite expressar as assertivas de independência de forma visual e fácil de perceber;
- representa e armazena uma distribuição conjunta de forma econômica, explorando a esparsidade do relacionamento entre as variáveis;
- torna o processo de inferência eficiente computacionalmente;
- permitem analisar grandes quantidades de dados;
- pode ser utilizada em vários domínios, tais como: saúde, indústria, gestão (tomada de decisão), computação e rede entre outros.

Já as desvantagens das redes bayesianas podem ser descritas da seguinte forma: *“os métodos bayesianos requerem uma significativa quantidade de dados probabilísticos para construir uma base de conhecimento; frequentemente o tipo de relacionamento entre a hipótese e a evidência é importante na determinação de como a*

*incerteza será gerenciada; a redução das associações para números também elimina o uso desse conhecimento dentro do limite de outras tarefas” (GONZALES & DOUGLAS, 1993).*

#### **4.4 Softwares para pesquisas que utilizam redes bayesianas**

##### **Hugin**

O Software Hugin (<http://www.hugin.com>) foi construído pela empresa Hugin Expert S/A fundada em 1989 e localizada em Aalborg, Dinamarca. Assim, foi implementado como instrumento de análise para metodologias voltadas à área da saúde, mais especificamente para a diagnose muscular. Hoje em dia, tornou-se um sistema comercial altamente conhecido e direcionado a soluções utilizando a tecnologia de Redes Bayesianas. De uma forma geral, existem vários tipos de versões e licenças para este software, cada uma direcionada a uma finalidade diferente. Por exemplo, as versões Hugin Developer, Explorer e OTM são voltadas apenas para o uso comercial, as versões Hugin Researcher, Classroom e Educational são voltadas apenas uso acadêmico.

Mesmo assim, a empresa fornece uma versão demonstrativa e para uso pessoal do software, tal versão é conhecida como Hugin Lite, sendo uma edição limitada das licenças Hugin Developer e Researcher.

O download desta versão pode ser realizado gratuitamente no site da empresa e está disponível para os sistemas operacionais Windows (95/98/NT4/2000/XP), Solaris Sparc, Solaris x86, Linux e Mac OS X 10.4, 10.5.

##### **Netica<sup>TM</sup>**

Netica é um poderoso código computacional, fácil de usar e completo para trabalhar com redes bayesianas. Ele tem uma interface de usuário intuitiva e suave para desenhar as redes, e as relações entre variáveis podem ser introduzidas como probabilidades individuais, sob a forma de equações, ou a partir de arquivos de dados (que pode ser delimitado por tabulação comum e ter "dados ausentes").

Uma vez que uma rede é criada, o conhecimento que ele contém pode ser transferido para outras redes recortando e colando, ou salvo em formato modular,

criando uma biblioteca de nós com ligações desconectadas. As redes e bibliotecas podem ser salvas em arquivos ou impressas.

O código computacional pode usar as redes para realizar vários tipos de inferência usando os algoritmos mais rápidos e modernos. Dado um novo caso de que temos conhecimento limitado, Netica vai encontrar os valores ou probabilidades apropriadas para todas as variáveis desconhecidas. Estes valores ou probabilidades podem ser exibidos em vários modos diferentes, incluindo gráficos de barras e medidores. O caso pode ser convenientemente salvo em um arquivo, e depois trazido de volta para a rede (ou uma rede diferente) para mais consultas, ou para levar em conta novas informações sobre o caso. Netica pode usar diagramas de influência para encontrar as melhores decisões que maximizem os valores esperados de variáveis 40 especificadas. Também constrói planos condicionais, já que as decisões no futuro podem depender de observações ainda a ser feitas.

Netica pode ser utilizado para transformar uma rede em um número de maneiras. Variáveis que não são mais de interesse podem ser removidas sem alterar as relações globais entre as variáveis remanescentes (tecnicamente, as probabilidades são "somadas" quando não sabemos o valor da variável, e uma operação mais complexa é usada quando o fazemos). Modelos probabilísticos podem ser explorados por operações, como reverter links individuais da rede, removendo ou adicionando influências causais, otimizando uma decisão no momento, etc. Essas operações podem ser feitas com apenas um clique do mouse, o que torna o Netica muito fácil de ser explorado, e ótimo para o ensino de conceitos de redes bayesianas.

O software Netica<sup>TM</sup> foi selecionado para ser utilizado neste trabalho por apresentar as seguintes vantagens frente ao Hugin:

- possui uma interface de usuário intuitiva e suave para desenhar as redes;
- as relações entre as variáveis podem ser inseridas como probabilidades individuais;
- dado um caso de que temos conhecimento limitado, o programa encontrará as probabilidades apropriadas para todas as variáveis desconhecidas, que podem ser exibidas de vários modos, incluindo gráficos de barras e medidores;



- pode usar diagramas de influência para a tomada de melhores decisões que maximizem os valores esperados das variáveis especificadas;
- pode construir planos condicionais, já que as decisões no futuro podem depender de observações ainda serem feitas.

## **5 METODOLOGIA PROPOSTA**

### **5.1 APELL Modificado**

Como já foi dito anteriormente, o APELL é um processo que se baseia na cooperação entre instituições públicas, privadas e comunitárias onde se espera promover uma maior conscientização e desenvolver uma melhor capacidade de mobilização da comunidade local preparando os serviços de atendimento para situações de emergência, com adequados sistemas de informação e de coordenação, minimizando a situação de pânico e otimizando o atendimento às pessoas.

A modificação dessa metodologia, proposta neste trabalho, será no sentido da inclusão do método APELL modificado na Análise Quantitativa de Risco (AQR) das fábricas pertencentes ao ciclo do combustível nuclear, em especial as localizadas no distrito de Engenheiro Passos, – no que se refere aos planos de emergência externos, para um possível aperfeiçoamento da preparação de respostas, para a população, a acidentes químicos e nucleares que possam ser causados por escape de alguma substância produzida na Usicon - incluindo um questionário previamente feito com a população do entorno do distrito em questão (para entender a percepção social do risco dos residentes), uma vez que o APELL, no Brasil, vem sendo usado, em sua maioria, em desastres naturais como nos casos de Santa Catarina e Nova Friburgo e algumas empresas, entre elas, as que compõem o Pólo Industrial de Campos Elíseos no município de Duque de Caxias<sup>10</sup>.

#### **5.1.1 Metodologia do APELL modificado**

A metodologia do APELL modificado tem como base não só na cooperação entre as instituições públicas, privadas e comunitárias para promover a conscientização da comunidade local, mas também na integração e participação dessa comunidade local nos planos de emergência externos das fábricas (neste caso específico, as que compõem a INB) pois esta comunidade que será afetada se um possível acidente ocorrer.

---

<sup>10</sup> [http://www.apellce.com.br/campos\\_eliseos.php](http://www.apellce.com.br/campos_eliseos.php) Acesso em 20 junho 2015

### **5.1.2 Objetivos da metodologia APELL modificado**

Os objetivos do APELL modificado são, a princípio, os mesmos objetivos do APELL (já citados no capítulo anterior), porém antes de serem aplicados entrevistas seriam realizadas, não só com os residentes do entorno das Indústrias Nucleares do Brasil, mas também com os funcionários dessas bem como realizar reuniões com líderes comunitários, pois assim a metodologia proposta se mostraria tanto eficiente como eficaz no sentido de tranquilizar e informar a população sobre os possíveis riscos que a atividade das fábricas em questão possa gerar.

Sendo assim, por meio do conhecimento prévio do local onde se encontram as fábricas e com a percepção do risco dos residentes, o grau de aceitação e a confiança não só nas fábricas como também nos sistemas operacionais destas se tornam maiores, não esquecendo também do preparo da população para que esta saiba agir em momentos de acidentes, mesmo que as frequências destes sejam relativamente baixas.

### **5.1.3 Bases para programas de Comunicação de Risco utilizando o APELL modificado**

Os acidentes que ocorreram durante os anos de 1970 e 1980 serviram para mostrar que acidentes em fábricas químicas e/ou nucleares, apesar de terem baixa frequência de ocorrer, acontecem e podem resultar tanto em danos ao meio ambiente quanto provocar morte e/ou riscos para a população que reside próximo a essas fábricas.

Diante destes fatos, passar informações (oferecendo cursos, palestras, distribuindo panfletos, etc) e possuir um setor especializado nas fábricas que seja diretamente ligado à comunicação destas pessoas torna-se de suma importância na prevenção e no combate a situações de emergência, uma vez que se estas informações forem de fácil entendimento minimizariam a sensação de medo que as pessoas possuem por morarem perto de fábricas químicas e/ou nucleares.

Sendo assim, é fundamental a cooperação entre a fábrica e as instituições públicas, privadas e comunitárias no incentivo e na maior conscientização da comunidade, mostrando a importância desta no desenvolvimento do distrito.

Deste modo, para se obter uma maior eficiência e eficácia nos programas de comunicação do APELL modificado esses devem estar de acordo com o *Disaster*

*Recovery Institute International*<sup>11</sup>, organização americana que oferece treinamento para profissionais sobre o tema, que diz que um programa de comunicação preventivo de risco deve ser dividido em três fases: a de pré-planejamento; a de desenvolvimento e implantação e por último a de pós-implantação, cada uma delas em etapas distintas.

### **Fase de pré-planejamento**

Nesta fase, as pessoas encarregadas de analisar o risco fazem um levantamento minucioso não só dos possíveis impactos de um provável acidente na instalação químico/nuclear e quais seriam as possíveis rotas de fuga das pessoas da fábrica e de seu entorno (estudar a localização da fábrica, sistema rodoviário, cursos de rios, áreas de proteção ambiental), como também realizam entrevistas formais e informais não só com seu quadro de funcionários como também com os residentes do distrito onde se localiza a fábrica em questão, para saber o que eles consideram risco, perigo e quais suas principais dúvidas sobre o assunto, eliminando, assim, a desinformação destes sobre o que é produzido na fábrica.

### **Fase de desenvolvimento e implantação**

Na fase de desenvolvimento e implantação os principais objetivos são: o estudo de estratégias e controle dos riscos, o desenvolvimento de programas com respostas para cada risco, previamente analisado, e a criação de um manual de administração de crises.

Com relação aos programas de respostas, é importante destacar que esses são a espinha dorsal do programa, pois eles irão abranger todas as atividades e comportamentos dos funcionários recomendados para as situações de emergência.

Nessa fase, as atividades de comunicação contam com campanhas informativas para todo o quadro funcional da empresa e para a comunidade com o objetivo de oferecer informações sobre a fábrica em questão conquistando a participação de todos. A recomendação é que todos acreditem não só na segurança dos sistemas operacionais,

---

<sup>11</sup> Retirado do sítio: [https://www.drii.org/certification/professionalprac\\_portuguese.php](https://www.drii.org/certification/professionalprac_portuguese.php) Acesso em 15 março 2015.

como também nos órgãos que irão passar a informação sobre a planta nuclear que será construída.

As principais ferramentas da área de comunicação são a distribuição de panfletos, cartilhas e propagandas informativas sobre a importância das fábricas para o desenvolvimento do distrito na geração de empregos e a criação de centros de resposta a emergências químicas e nucleares (seriam centros que funcionariam todos os dias do ano, com pessoas de diferentes profissões que teriam os objetivos de preparar, organizar e disseminar informações sobre as fábricas através de palestras informativas e reuniões com a população residente para a troca de informações, sempre tendo em mente os conceitos de segurança e de gerenciamento de crise).

### **Fase de pós-implantação**

Na fase de pós-implantação estão às atividades de treinamento e simulações tanto com os funcionários da fábrica e as autoridades locais e/ou federais quanto com o público externo. A complexidade dessa fase está no fato de que todos devem estar envolvidos e comprometidos, desde os representantes da fábrica e seus funcionários passando pelas das autoridades locais e/ou federais que possivelmente possam auxiliar na evacuação e na prestação de serviços até a comunidade do entorno e seus representantes.

A comunicação nessa fase alcança o grau mais alto, pois será responsável pela transmissão de confiança no projeto e em seus organizadores para mudar a percepção de risco da população e desenvolver mecanismos que garantam a sua participação efetiva em simulados de evacuação, caso haja acidentes relacionados com substâncias perigosas. Os exercícios de simulação ou os treinamentos criarão oportunidades para o envolvimento do público e servirão para testar se o plano de comunicação externo está surtindo o efeito esperado.

Nesta fase, para se alcançar o sucesso, deve-se ter organização, envolvimento de todos os participantes (empresa e autoridades locais e federais) e, principalmente, a motivação da população do entorno, pois esses precisam se conscientizar dos possíveis perigos de residirem próximo a fábricas do ciclo do combustível nuclear e saber agir caso surja uma situação de emergência.

Como é notado, a comunicação é estratégica em todas as fases da implantação de um programa preventivo de acidentes, principalmente, quando se trata do envolvimento da população e de órgãos externos públicos e privados. Sendo assim, o programa APELL modificado irá definir não só o comportamento dos representantes da INB como também irá propor uma comunicação direta da população com este, fazendo com que a população se interesse sobre o que é produzido na fábrica, respeitando seu direito de saber, bem como prepará-los para agir em caso de emergência.

## **5.2 Metodologia Científica utilizada**

### **5.2.1 Tipo de Pesquisa**

#### **Pesquisa exploratória com delineamento de levantamento**

Com base nos objetivos, a presente pesquisa é do tipo exploratória, pois busca proporcionar maior familiaridade com o problema, com vistas a torná-lo mais explícito ou a construir hipóteses (GIL, 1996). De acordo com o referido autor, “*Na maioria dos casos, essas pesquisas envolvem: (a) levantamento bibliográfico; (b) entrevistas com pessoas e (c) análise de exemplos que estimulem a compreensão*”.

#### **Delineamento da pesquisa.**

Segundo GIL (1996) o elemento mais importante para a identificação do delineamento é o procedimento adotado para a coleta de dados. Existem dois grandes grupos de delineamentos:

- a) aqueles que se valem das fontes de “papel”, e
- b) aqueles cujos dados são fornecidos por pessoas, o que englobam a pesquisa experimental, a pesquisa *ex-post facto*, o levantamento e o estudo de caso.

Para YIN (2005, p. 24) a pesquisa exploratória é empregada quando as questões de pesquisa são principalmente do tipo “o que”, como no seguinte exemplo: “O que pode ser feito para tornar as escolas mais eficazes?”. Segundo o autor “*Esse tipo de questão é um fundamento lógico justificável para conduzir um estudo exploratório, tendo como objetivo o desenvolvimento de hipóteses e proposições pertinentes a inquirições adicionais*”.

### **5.2.2 O Problema**

Um problema é uma questão que mostra uma situação necessitada de discussão, investigação, decisão ou solução (KERLINGER, 1980 apud SOUSA, 2001).

Este trabalho foi definido com o seguinte problema de pesquisa:

“Quais são as melhorias necessárias para aperfeiçoar as estratégias adotadas pela INB no intuito de fornecer informações/conhecimento sobre a importância/segurança de seu complexo industrial, localizado em Resende, para a população do seu entorno?”

É importante destacar que a eficiência de um plano de emergência deve estar inserida no contexto da população local, residente no distrito, pois esta só se torna efetiva quando se concretiza no grupo social em que deve ser aplicada (SOUSA, 2007).

### **5.2.3 Método de Diagnóstico e Avaliação**

O método de diagnóstico e avaliação proposto neste trabalho é formado por dois instrumentos de levantamento de dados: uma entrevista e um questionário.

As entrevistas foram realizadas com os representantes da área de comunicação institucional, que, por ética e respeito às pessoas, não foram transcritos seus nomes, com o objetivo de entender como é feita a comunicação da empresa com a população do entorno de seu complexo localizado em Engenheiro Passos (distrito de Resende, RJ) e dar suporte a futuras conclusões sobre a eficácia de seus planos.

Já o questionário (vide Apêndice B), realizado com os residentes do distrito de Engenheiro Passos, teve como base questões sobre a percepção dos riscos da população bem como questões que pretendiam esclarecer se a INB informa à população sobre o que é produzido nas suas fábricas e sobre o comportamento a ser adotado em caso de acidente envolvendo substâncias perigosas, ou em outras palavras, verificar a eficiência dos seus planos de comunicação externos.

O questionário estruturado (aquele em que o entrevistador segue um roteiro previamente estabelecido) seguiu o modelo de entrevista direta (frente a frente) e as respostas foram preenchidas pela entrevistadora a partir das respostas fornecidas pelos entrevistados. A escolha por este método de entrevista foi feita para evitar más interpretações das questões. A abordagem (feita em praças, ponto de ônibus ou em outros locais públicos de passagem) mostrou-se muito bem receptiva pelos moradores,

uma vez que estes aparentavam estar dispostos a colaborar com a pesquisa e interessados em saber como e quando seriam divulgados os resultados.

O questionário supracitado, continha 14 perguntas variando de múltipla escolha a dicotômicas. O número de questões foi considerado suficiente, pela autora, pois de acordo com Gil (1987) um questionário com mais de 30 perguntas torna-se desestimulante para o entrevistado.

As perguntas foram divididas em 3 grupos: as de características social, as de temas gerais e as de temas específicos. Em nenhum momento foi citado o nome da INB para não influenciar as pessoas e suas respostas.

A caracterização social tem como objetivo uma análise nas diferentes variáveis sociais, essenciais como indicadores de eventual condicionamento das respostas. Destas perguntas, destacam-se como mais relevantes as questões relativas à idade, à escolaridade dos entrevistados e quantas pessoas moravam no mesmo local que este residia.

As perguntas de temas gerais visam fazer uma abordagem genérica dos riscos que a população acredita existirem no local onde reside, bem como avaliar a forma com que se preocupam com esses mesmos riscos. É importante lembrar que, além do risco de acidentes em fábricas químicas, são incluídos outros tipos de riscos suscetíveis de existirem, ou não, no local em análise: inundações, secas, terremotos, acidentes rodoviários e incêndios florestais.

Já as perguntas de temas específicos possuem o foco exclusivo no risco de acidente na referida fábrica envolvendo substâncias perigosas. A sequência das questões foi feita de maneira gradativa, sempre abordando o assunto em análise para que as respostas fossem de maneira espontânea. Assim, os entrevistados são inicialmente questionados sobre o fato de se residirem no entorno da fábrica química em questão diminui a sua qualidade de vida. A pergunta seguinte foi sobre o interesse do entrevistado em relação à referida fábrica, querendo saber se este alguma vez procurou informações sobre um possível risco relacionado com a fábrica química e em caso afirmativo em que locais ou por quem foi informado. Dando continuidade ao questionário, foi perguntado se alguma vez o entrevistado havia sido informado sobre eventuais riscos relacionados com a fábrica química e, também, se a resposta fosse afirmativa, foi perguntado por quem ou em que local. A importância desta pergunta esta



no fato de saber se a referida fábrica possui um programa que atinja os habitantes do distrito em questão.

As últimas perguntas eram relacionadas a um hipotético acidente na fábrica e à possibilidade dos entrevistados serem avisados, então foi perguntado qual meio eles considerariam o mais adequado e por quem gostariam de ser avisados. Esta pergunta tinha como objetivo saber em quais instituições os entrevistados teriam mais confiança na divulgação de informações perante um eventual acidente na INB.

### **5.3 Cenário: Engenheiro Passos, distrito de Resende, RJ**

Resende localiza-se na região do Vale do Médio Paraíba Sul Fluminense, a meio caminho do principal eixo-econômico do país, entre a capital do estado do Rio de Janeiro (distante 143 km), a cidade de São Paulo (distante 250 km) e a cidade de Belo Horizonte (distante 350 km).<sup>12</sup>

O município ocupa uma área de 1.095,253 km<sup>2</sup> com uma população de 124.316 habitantes (IBGE, 2014). É constituído por 7 distritos: Centro; Agulhas Negras; Bulhões; Visconde de Mauá; Pedra Selada; Fumaça; Engenheiro Passos.

#### **5.3.1 Características Geomorfológicas e Climáticas de Resende**

##### **Relevo**

O relevo é caracterizado por duas regiões distintas: uma região de planície e uma região bastante acentuada.

Na primeira região, na área urbana principal do município, nota-se uma planície bastante plana na margem do rio Paraíba do Sul. Já na segunda, na parte sul do território e porções ao norte que contêm a Serra da Mantiqueira, ao contrário da primeira, é caracterizada por um relevo bastante ondulado com áreas de declive bastante acentuadas.

---

<sup>12</sup> [http://www.resende.rj.gov.br/info\\_geofisicas.asp](http://www.resende.rj.gov.br/info_geofisicas.asp)

## **Vegetação**

Os principais tipos de vegetação do município dizem respeito aos remanescentes de Mata Atlântica. Originalmente, quase toda região hoje ocupada pelo município de Resende era densamente coberta por uma vegetação tropical compreendida pela Mata Atlântica.

Nas partes mais altas, os chamados campos de altitude, onde os afloramentos rochosos não permitem o desenvolvimento de solos profundos, árvores e arbustos cedem espaço à vegetação rasteira.

## **Clima**

O clima da região em estudo é do tipo tropical de altitude, o que faz a temperatura variar de dias mais amenos a quentes durante todo o ano, dados da Estação Meteorológica de Resende (Resende A609) no ano de 2014<sup>13</sup>.

A estação meteorológica do INMET, Instituto Nacional de Meteorologia, encontra-se situada no município de Resende (RJ) aos -22.4511° de latitude e uma altitude de 452 metros. A análise procedeu-se com dados meteorológicos do ano de 2014. Essa foi realizada no período supracitado e possibilitou a caracterização do clima na região e os principais registros são apresentados abaixo:

- A temperatura média anual foi de aproximadamente 20°C;
- A temperatura máxima absoluta registrada no período foi de 28°C em novembro;
- A temperatura mínima absoluta registrada foi de 12°C em julho;
- A média anual de precipitação foi de 1.023mm e a média mensal foi de 29,2mm;
- O trimestre de maior índice pluviométrico foi o de novembro, dezembro e janeiro. O trimestre de menor índice pluviométrico foi o de abril, maio e junho;
- A umidade relativa do ar média anual foi de aproximadamente 80%.

---

<sup>13</sup> [http://www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=home/page&page=rede\\_estacoes\\_auto\\_graf](http://www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=home/page&page=rede_estacoes_auto_graf) (Acesso em 18 janeiro 2016).

## **Hidrologia**

O município está inserido na bacia hidrográfica do Médio do Paraíba do Sul. Esta é de grande importância econômica por drenar uma das regiões mais desenvolvidas do país envolvendo o Vale do Paraíba, no estado de São Paulo, a Zona da Mata, em Minas Gerais, e parte do Rio de Janeiro.

O rio mais importante da região, o Paraíba do Sul, é formado pela confluência de dois rios: o Paraitinga e o Paraibuna. O rio Paraíba do Sul nasce na Serra da Bocaina, no estado de São Paulo, com o nome de Paraitinga, cerca de 1.800 metros acima do nível do mar, recebendo o nome de Paraíba do Sul na sua junção com o Paraibuna, na Represa de Paraibuna. Este percorre um percurso total de 1.137Km, desde a sua nascente até sua foz no Norte Fluminense.

No município ainda existe produção de energia elétrica, na Usina Hidrelétrica do Funil, importante para o sistema Furnas, com potência instalada igual a 216 MW. É considerada de grande importância para o Sistema por estar localizada próxima aos grandes centros consumidores, garantindo confiabilidade do suprimento de energia elétrica aos Estados do Rio de Janeiro, São Paulo e Espírito Santo.

## **Distribuição da População**

O município de Resende, de acordo com o Censo demográfico 2010 realizado pelo IBGE, tem uma população de 119.769 habitantes correspondentes a 14% do total da população da Região do Médio Paraíba, com uma proporção de 94,7 homens para cada 100 mulheres. Na pirâmide etária representada na figura 5.1, ainda segundo o Censo 2010, é possível ver que a maioria desta população encontra-se na faixa etária entre 30 e 49 anos, seguida pela faixa de 50 ou mais anos.<sup>14</sup>

---

<sup>14</sup> <http://www.ibge.gov.br/home/>

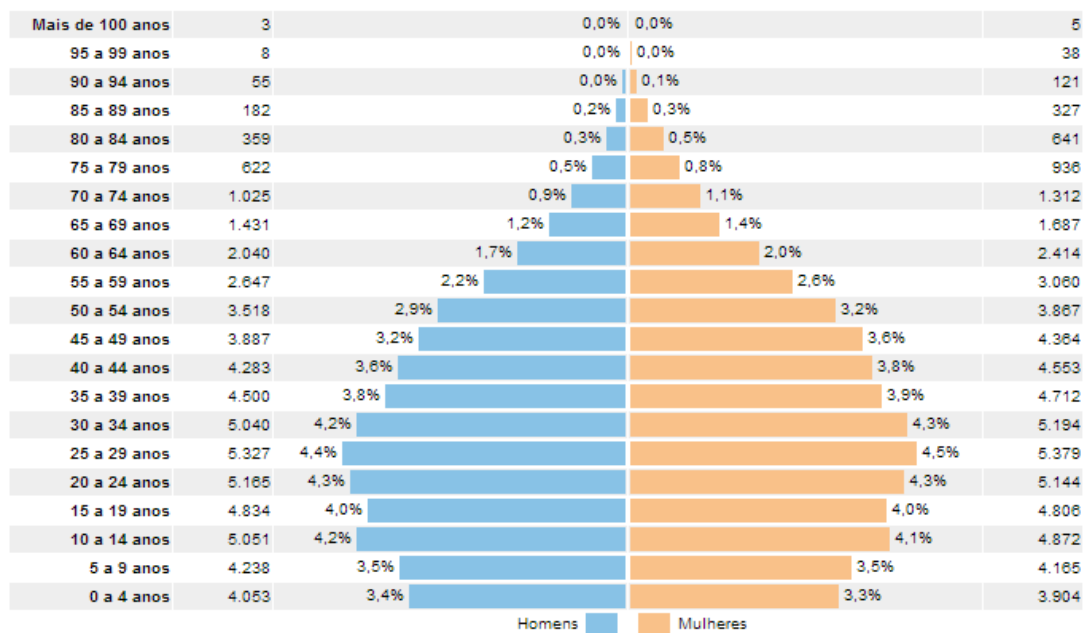


Figura 5.1: Distribuição da população por sexo, segundo os grupos de idade de Resende, 2010. (Fonte: <http://www.ibge.gov.br/home/>)

A população local distribuía-se pelos seus distritos no território municipal conforme a figura 5.2 a seguir:

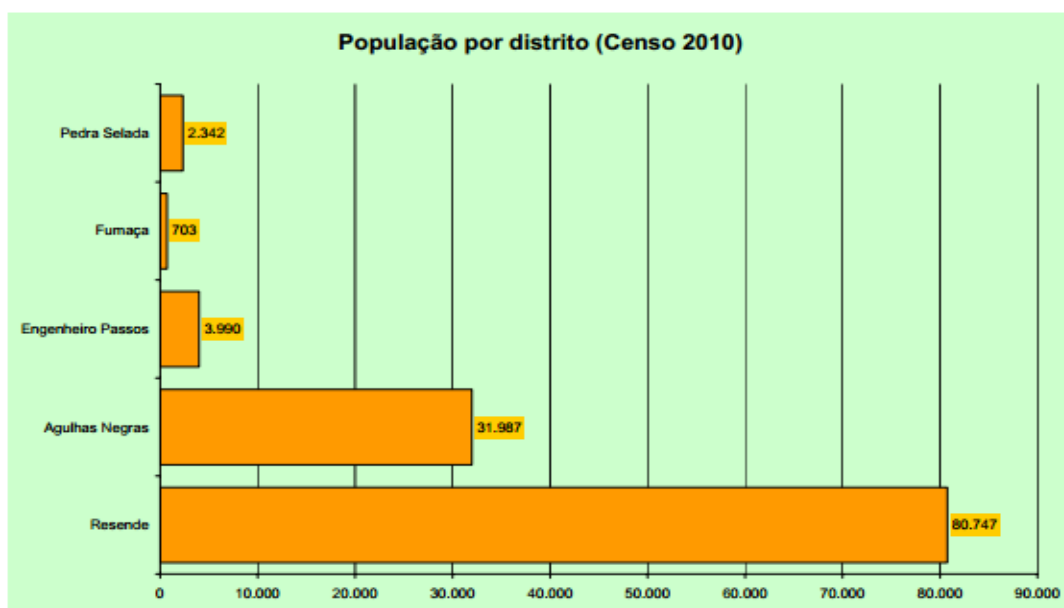


Figura 5.2: Gráfico da distribuição da população local (Censo 2010, Fonte: <http://www.ibge.gov.br/home/>)<sup>15</sup>

<sup>15</sup> Nota: Os dados do IBGE não mencionam os distritos de Centro, Bulhões e Visconde de Mauá. No entanto, o somatório das populações acima confere com o total do Censo 2010.

## **5.4 Parte Experimental**

Este trabalho foi elaborado com base numa pesquisa exploratória, que buscou verificar as percepções de risco dos residentes de Engenheiro Passos, com referência aos planos de comunicação de risco da Indústrias Nucleares do Brasil - INB.

Foram utilizados dois instrumentos de coleta de dados (vide subseção 5.2.3. Método de Diagnóstico e Avaliação). A coleta de dados se dividiu em duas etapas: a primeira, com 3 pessoas da área de comunicação institucional da INB, aconteceu no período de março a maio de 2014, e a segunda, realizada em janeiro de 2015, foi feita com 142 residentes de Engenheiro Passos.

A análise estatística dos dados coletados, na aplicação do questionário, foi feita utilizando-se tabelas dinâmicas do *software* SPSS 17.0 (Statistical Package for Social Science for Windows), pois possui um ambiente amigável e que permite realizar cálculos e visualizar seus resultados de forma simples e autoexplicativa

A análise qualitativa dos discursos das entrevistas foi realizada de maneira informal sendo algumas vezes transcritas para o “Word” (Microsoft Office profissional, edição 2003).

Esse trabalho também utilizou os fundamentos da técnica de Redes Bayesianas para apresentar os resultados de um estudo de simulação que demonstra a eficiência de um plano de emergência (elaborado nos moldes sugeridos pela autora e difundido pela INB) para avisar a população quando o incidente, vazamento do HF, já ocorreu.

### **5.4.1 O emprego de Netica**

O Netica foi escolhido por ser uma ferramenta de fácil uso e compreensão, interface intuitiva para o desenho da rede e seus relacionamentos, simplicidade para importação de dados para construção e aprendizado da rede. Para a demonstração do resultado da rede é possível escolher várias formas de visualizações, desde várias formas de gráficos a relatórios em textos.

## 6 RESULTADOS DESCRITIVOS E COMENTÁRIOS

Para o presente estudo foram entrevistados, aleatoriamente, moradores do distrito de Engenheiro Passos (constituído por 3.990 habitantes)<sup>16</sup> e a estratificação da pesquisa foi feita pela idade, gênero e escolaridade e as variáveis foram o conhecimento das pessoas sobre os possíveis riscos de viver próximo de fábricas químicas e a comunicação dos representantes das referidas fábricas com a população do entorno sobre seus eventuais riscos. A pesquisa foi realizada durante o período de 9 a 12 de janeiro de 2015.

### 6.1 Dados demográficos

Os dados demográficos mostram que 142 residentes, o que corresponde a 3,6% da população, foram entrevistados. Vale destacar que de acordo com Gil (1987), em estudos exploratórios entrevistar 3% a 5% da população já representa de alguma forma, o universo.

Os gráficos mostrados nas Figuras 6.1 a 6.3 representam o perfil dos respondentes da amostra pesquisada relativo à aplicação do questionário, caracterizada por sexo, faixa etária e grau de instrução. Na Figura 6.1 é mostrado que do total de 142 residentes que responderam o questionário, 75, ou seja, 52,8% deles eram homens e 67 (47,2%) eram mulheres.



Figura 6.1: Amostra – distribuição por sexo

<sup>16</sup> <http://www.ibge.gov.br/home/>

Quanto à faixa etária (Fig.6.2), os participantes deste instrumento de coleta de dados estavam assim distribuídos: 27,5% tinham 50 ou mais anos; 35,3% tinham idade inferior a 30 anos, e 37,3% estavam entre 30 e 49 anos.



Figura 6.2: Faixa etária dos respondentes

De acordo com a Figura 6.3, a amostra pesquisada foi constituída por 51,59% de mestre ou doutores, 19,75% de usuários com nível superior completo, 5,73% de especialistas e 22,93% outros graus de instrução indicados no questionário (superior incompleto, ensino médio e fundamental).



Figura 6.3: Amostra – Distribuição por níveis de escolaridade

O último registro de estratificação foi a pergunta de quantas pessoas moram, incluindo o respondente, na casa onde ele (a) reside e dos 142 aproximadamente 88% (126 pessoas) responderam que moram com duas ou mais pessoas.

## 6.2 Análise das perguntas de temas gerais

A possível existência de vários tipos de riscos no entorno da fábrica em questão permitiu que fossem destacados os que mais preocupam a população. Sendo assim, a primeira pergunta de enquadramento temático geral feita foi a percepção dos respondentes em relação aos riscos que estes acreditavam existir no local em que residiam (Figura 6.4), lembrando que os respondentes podiam responder mais de uma alternativa.

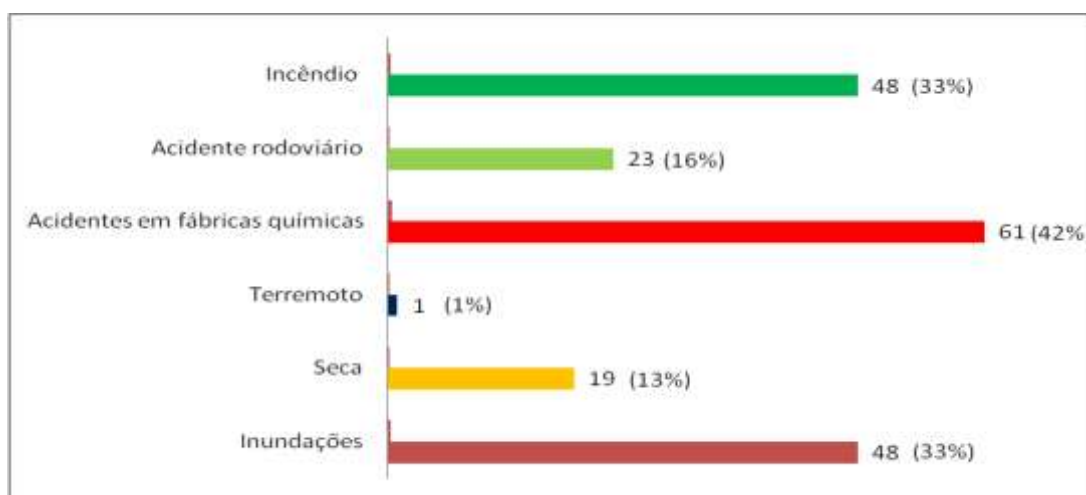


Figura 6.4: Riscos que os respondentes acreditam existir no local que residem

A maioria das respostas, ou seja, aquela que foi considerada por muitos respondentes o maior risco que acreditam existir no local onde residem foi o acidente em fábricas químicas, com 42% das respostas. Vale lembrar que em nenhum momento foi citado o nome das Indústrias Nucleares do Brasil, porém quando eram mencionados acidentes em fábricas químicas todos faziam a associação com a referida fábrica.

Tanto a percepção de incêndios e inundações obtiveram um valor de 33% das respostas, credita-se ao fato de perto do distrito de Engenheiro Passos existir o Parque Nacional de Itatiaia e a Usina Hidrelétrica do Funil.

A existência de riscos relacionados a acidentes rodoviários também apresentou uma preocupação para 16% respondentes, uma vez que, a Rodovia Nova Dutra, que liga os estados do Rio de Janeiro e São Paulo, passa pelo distrito em questão.

A seca, outro risco presente para os moradores no entorno da fábrica, obteve 13% dos respondentes. Um risco que, até bem pouco tempo atrás, não faria sentido para alguns dos entrevistados, porém com a falta de chuva (no período de novembro de 2014



- fevereiro de 2015) a Represa do Funil encontra-se em um nível muito baixo fazendo com que muitos respondentes acreditem ser um risco iminente.

A última pergunta sobre temas gerais tinha como objetivo saber com que riscos os residentes de Engenheiro Passos mais se preocupavam e, para efeito de comparação com a pergunta anterior, foram citados os mesmos riscos. Os resultados podem ser vistos na Figura 6.7 abaixo.

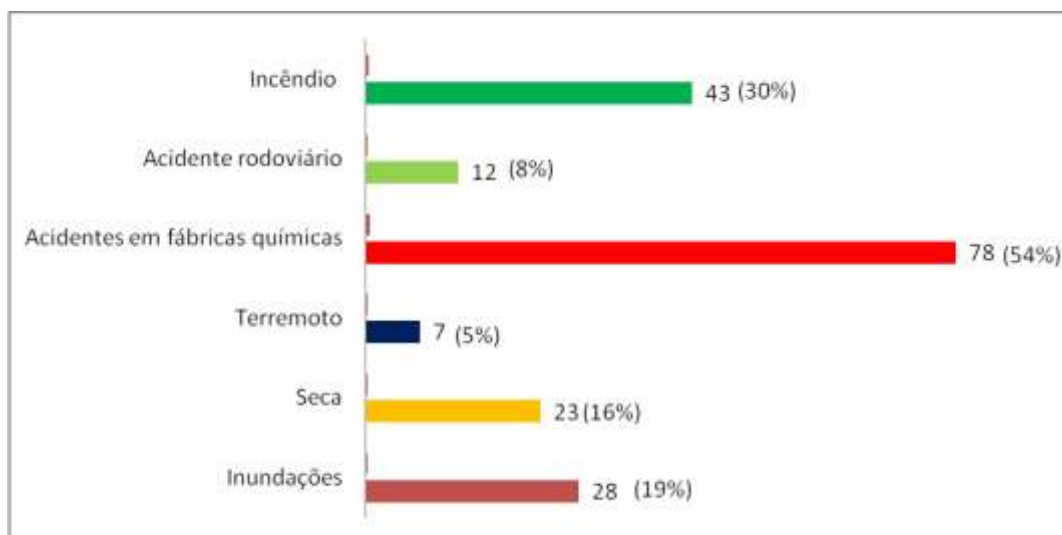


Figura 6.5: Riscos que mais preocupam os respondentes

Como é observado na Figura 6.5, no que se refere à preocupação dos respondentes, a resposta mais votada, novamente, foi a de acidentes em fábricas químicas com 54% dos respondentes. Os residentes acreditam que a fábrica produz diversos tipos de rejeitos que prejudicam a saúde dos moradores fazendo-os ficar muito preocupados (fato que será tratado mais adiante).

Outra preocupação bastante notada foi o risco de incêndios afligindo cerca de 30% dos residentes, o que mostra um alto nível de preocupação.

Já os riscos de acidentes rodoviários (8%) e terremoto (5%) preocupam muito pouco os respondentes sendo muito pouco citados.

O risco de seca, com cerca de 16%, também merece um pouco de atenção, pois, como dito anteriormente, o distrito encontra-se em um período de estiagem fazendo com que a população fique preocupada.

A preocupação com inundações, com 19%, juntamente com o risco de seca, também merece atenção. Apesar de a Represa do Funil não apresentar risco para o distrito, os respondentes citaram que, quando chove forte e/ou torrencialmente, as ruas

ficam alagadas e, como consequência, entra água em suas residências, queimando e destruindo vários eletrodomésticos e móveis.

Fazendo um paralelo entre as duas perguntas de temas gerais, é possível destacar que a preocupação com acidentes em fábricas químicas foi a alternativa que teve a maior frequência em ambas as perguntas, seguida por incêndio e, em contrapartida, os que menos preocupam os residentes são as ocorrências de terremotos e de acidentes rodoviários.

### 6.3 Análise das perguntas de tema específico

Dando continuidade ao questionário, as próximas perguntas tinham caráter específico. Sendo assim, a primeira pergunta era sobre se o fato de viverem próximo a uma fábrica química diminuía a qualidade de vida.

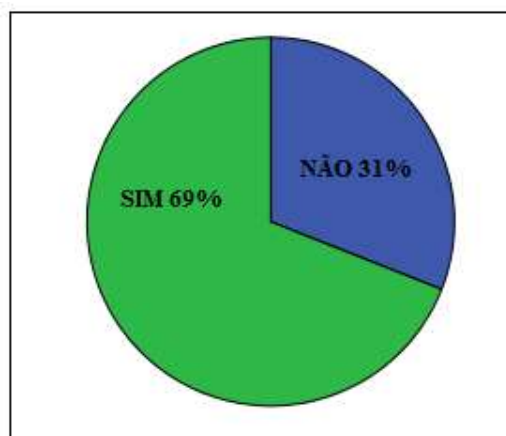


Figura 6.6: Respondentes sobre o fato de viverem próximo a uma fábrica química diminua a qualidade de vida

Como é observado na Figura 6.6, a maioria 69%, ou seja, 98 dos respondentes acreditam que viver próximo a uma fábrica química diminui a sua qualidade de vida. Um ponto que deve ser levado em conta é que grande parte destes respondentes que afirmaram que a qualidade de vida estava sendo prejudicada devido à fábrica também afirmaram que esta “provocava câncer na população” dizendo que “o alto índice de câncer do distrito era ocasionado pelos gases que saiam da fábrica”, ou ainda, algumas poucas pessoas relataram que trabalharam na INB porém saíram da empresa pois “estavam começando a sentir dores de cabeça muito fortes quando trabalhava lá”.

Outro ponto também levantado pelos respondentes é que eles não se sentem seguros morando nas proximidades da INB, pois acreditam que “se a fábrica explodir

todos os moradores vão morrer igual ao que aconteceu em Chernobyl ou Fukushima”, o que mostra a falta de informações corretas sobre o que é produzido na fábrica.

Analisando o interesse dos respondentes pela fábrica foi perguntado se eles procuravam saber sobre os possíveis riscos relacionados com a fábrica química e a grande maioria, ou 69% dos respondentes, respondeu negativamente. Em caso de resposta afirmativa foi perguntado, logo em seguida, onde eles buscavam essas informações e o resultado encontra-se na tabela 6.1, lembrando que o respondente poderia marcar mais de uma opção.

Tabela 6.1: Local de busca de informações sobre possíveis riscos da fábrica química

Câmara Municipal	1
Na internet	17
Na própria fábrica química	16
Não sei responder	4
Prefeitura	4
Corpo de Bombeiros	2

Os resultados acima demonstram que mesmo estando preocupados com a INB e acreditarem que a fábrica esteja aumentando os casos de câncer na região, poucos são os que procuram informações que julguem relevantes sobre a fábrica e/ou sobre o assunto.

Após a análise do interesse dos respondentes, lhes foi perguntado se alguma vez alguém os procurou para avisá-los sobre eventuais riscos relacionados com a referida fábrica e a grande maioria, 81,7% (ou seja, 116 entrevistados), respondeu que não. Em caso afirmativo, foi perguntado em seguida quem lhes havia passado essa informação, lembrando, como no caso acima, o respondente poderia marcar mais de uma opção. O resultado encontra-se na Tabela 6.2.

Tabela 6.2: Indivíduos e/ou lugar onde foram passadas informações sobre a fábrica química

Indivíduos e/ou lugar onde foram passadas informações	Frequência
Ambientalistas	6
Escola	8
Prefeitura	4
Líderes Comunitários	3
Responsáveis da fábrica	6
Familiares, amigos e/ou vizinhos	4
Outros	2

Como é notado, a escola é o lugar onde as pessoas obtêm mais informações da fábrica, sendo seguida pelos ambientalistas e pelos representantes da INB. Algumas pessoas responderam que foram os próprios representantes da INB que foram à escola informar sobre as vantagens e desvantagens de morar perto daquela e que os ambientalistas fazem um trabalho muito bom juntamente com os líderes comunitários, promovendo reuniões, para informarem, como os próprios ambientalistas falam, “sobre os perigos que os residentes podem “sofrer” caso a fábrica exploda ou deixe vazar algum líquido radioativo”.

Na pergunta seguinte foi inquirido se o respondente gostaria de ser avisado se ocorresse um acidente na fábrica química e 139 pessoas (97,9%.) responderam que sim, que gostariam de ser avisados. Em caso de resposta afirmativa, foi perguntado em seguida qual o meio que eles considerariam mais adequado para ser avisados caso ocorresse um acidente; o resultado encontra-se na Tabela 6.3. Vale lembrar que o respondente poderia marcar mais de uma opção.

Tabela 6.3: Como os respondentes gostariam de ser avisados na ocorrência de acidente.

Meio mais adequado	Frequência
Rádio Local	42
Sinal sonoro	46
Megafones	16
Mensagem no celular (SMS)	45
Outro meio (Qual?)	39
Não sei	7

De acordo com a Tabela 6.3 os meios que os respondentes acreditam ser os mais eficientes para serem avisados na ocorrência de um acidente são, respectivamente: sinal sonoro, mensagem no celular (SMS) e a rádio local. O item *outro meio (qual?)*, que também apresentou uma frequência muito alta, o meio mais citado foi um plantão na televisão (37 respondentes) interrompendo a programação do dia em todas as emissoras.

Na última pergunta do questionário foi inquirido quem os respondentes gostariam que desse a notícia sobre um provável acidente envolvendo a referida fábrica química. Os resultados estão demonstrados na Figura 6.7. Também nesta pergunta poderia ser marcada mais de uma opção.

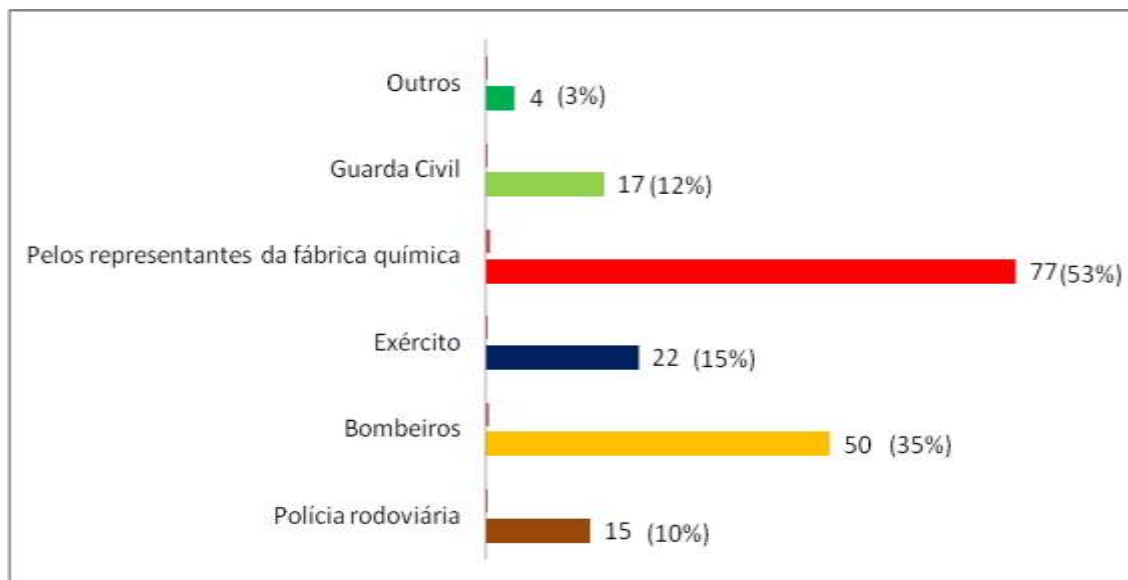


Figura 6.7: Frequência de quem os respondentes gostariam que os avisassem sobre um provável acidente envolvendo a referida fábrica química

Os resultados da Figura 6.7 nos permitem demonstrar o quanto a população acredita nos representantes da INB, porém muitos dos respondentes acreditam que os

mesmos deveriam promover reuniões anuais, mensais e/ou semanais sobre o que é produzido e qual a importância da fábrica não só no distrito de Resende, mas no contexto brasileiro. Também reclamam da falta de incentivos no distrito, que na fábrica poderia haver um projeto com os jovens do entorno, pois eles ajudariam a passar “um pouco mais de segurança” nas informações que eles alegam não receber dos representantes da INB. Também acreditam que os bombeiros seriam uma grande fonte de segurança no quesito de passarem as informações, pois como eles dizem “os bombeiros sabem lidar com substâncias perigosas e radioativas”.

Pela análise deste questionário foi possível perceber que os habitantes de Engenheiro Passos, independente da idade e/ou do nível de escolaridade, acreditam, em quase a sua maioria, que a fábrica INB prejudica sua qualidade de vida e gostariam de ser avisados sobre possíveis programas de emergência, caso seja necessário, e consideram de suma importância os representantes da fábrica mantê-los sempre informados, através de reuniões, do que ocorre tanto dentro quanto fora da INB porque eles confiam nos seus representantes e também acreditam que a instalação de sinais sonoros na cidade seria um ótimo método para a fábrica avisar aos habitantes de possíveis acidentes.

#### **6.4 Avaliação e Resultados do Netica**

Como previsto na metodologia científica apresentada no capítulo 5 à utilização e aplicação da Rede Bayesiana visa aprimorar a confiabilidade e a organizar o conhecimento de uma dada área gerando assim, automaticamente, predições ou decisões.

##### **6.4.1 Construção da Rede Bayesiana**

A construção da RB, utilizado o software Netica e tendo como entrada os dados obtidos pela pesquisa exploratória feita pela autora, foi composta de cinco variáveis, denominadas de nós de entrada (riscos que as pessoas acreditam ter, sexo, faixa etária e escolaridade) e nó de saída (eficiência do plano). Os nós de entrada são os valores que serão modificados durante a inclusão de cada novo caso e o nó de saída refere-se aos

valores da estimativa que serão apresentados pela RB, de acordo com os valores de entrada.

A seguir, na Fig. 6.8, está a Rede Bayesiana Simplificada, construída no código computacional Netica.

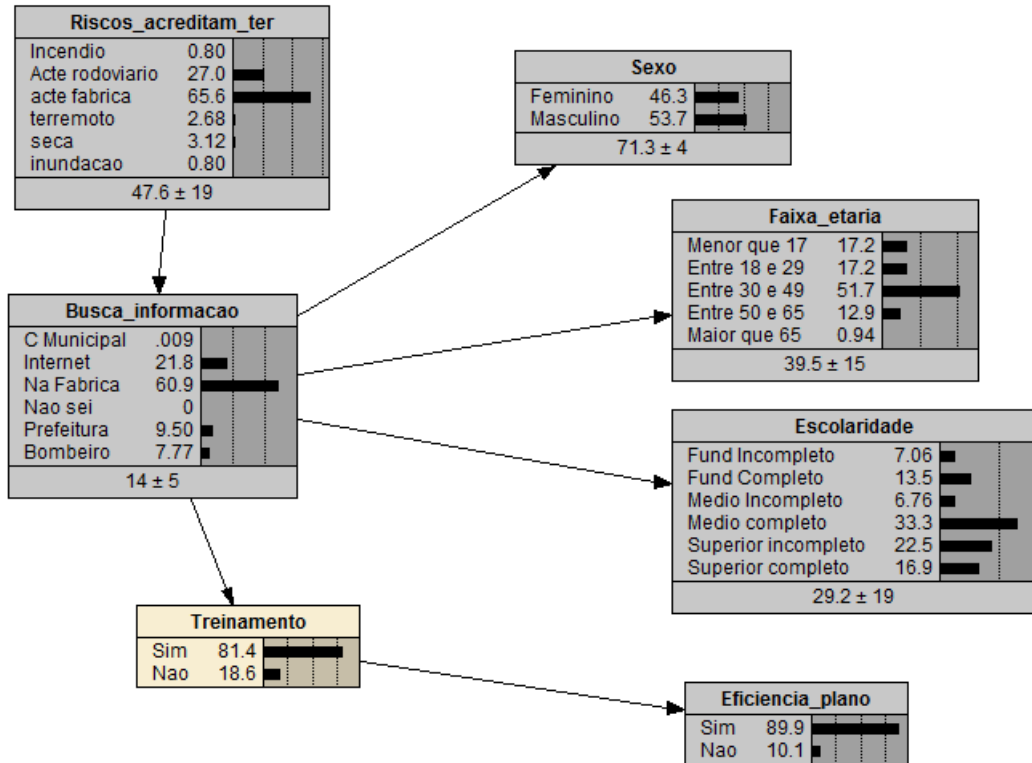


Figura 6.8: Rede Bayesiana Simplificada

A partir da Rede Bayesiana foram realizados experimentos e alguns cenários (que serão apresentados a seguir) foram selecionados e a partir desses foram feitas análises de diferentes cenários, assim chamados, pois permitem o estudo da propagação de evidência (estudo que permite o aprofundamento de áreas problemáticas que necessitam de mais atenção).

Vale lembrar que a chave do modelo proposto pela autora é o treinamento pois este item que será responsável pela criação e manutenção (eficiência e eficácia) de um plano de emergência externo, baseado no APELL modificado, que contemplará ações de treinamento e conscientização não só da população como também de outros órgãos que auxiliam na divulgação de informações sobre a INB. Para se conscientizar um maior número de pessoas é necessário manter um sistema de treinamento contínuo, para que as práticas de segurança sejam internalizadas e produzam os efeitos esperados.

**Cenário 1:** Com o cenário da figura 6.9 (probabilidade de 100% do plano de emergência externo ser elaborado de maneira eficiente) é possível verificar que tanto a fábrica, o corpo de bombeiros quanto a internet podem ser utilizados para oferecerem treinamento (de como agir caso haja algum acidente na INB) ou busca de informações sobre a fábrica de conversão.

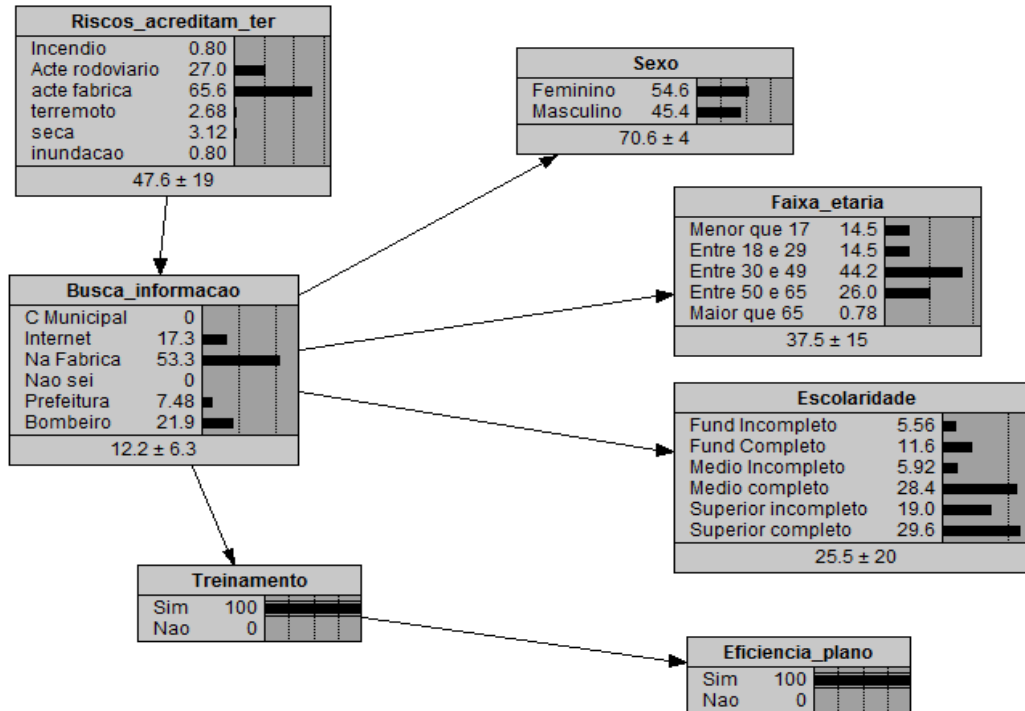


Figura 6.9: Probabilidade de 100% do plano de emergência externo ser elaborado de maneira eficiente

**Cenário 2:** Com o cenário da figura 6.10 é possível verificar que sem um treinamento eficiente (probabilidade de 100% de não haver treinamento) o local menos indicado para a busca de informações e realizar treinamento sem conhecimento prévio sobre o que é produzido na fábrica de conversão e como agir caso haja algum acidente ocorra é a prefeitura, seguida pela internet e a câmara municipal.



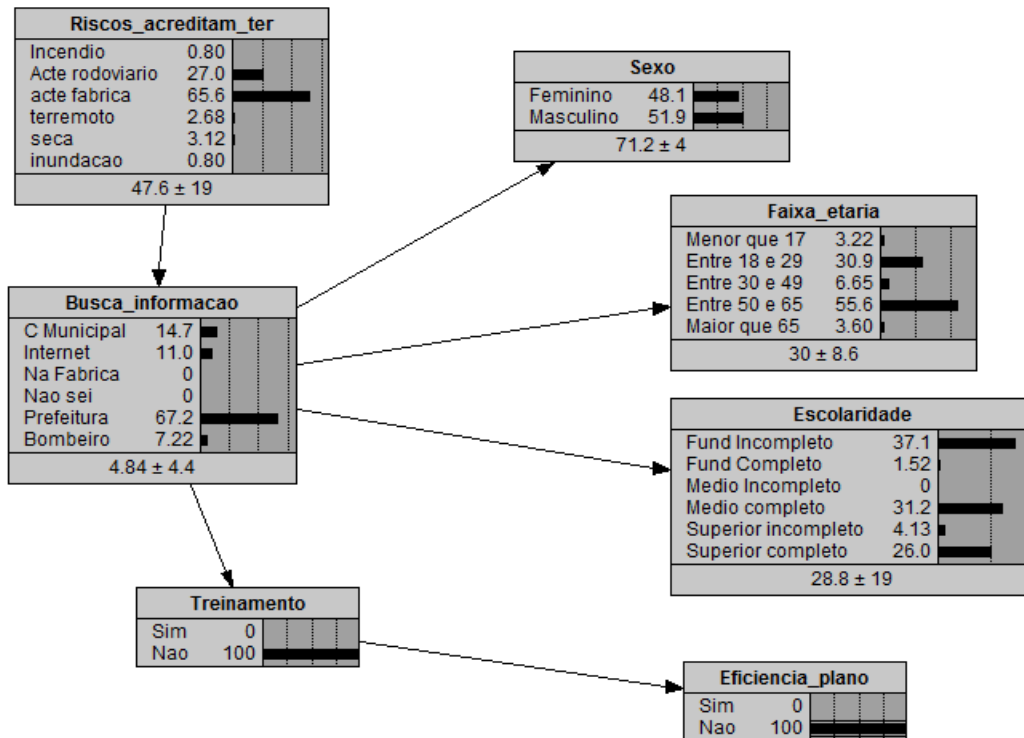


Figura 6.10: Probabilidade de 100% de não haver treinamento baseado no APELL modificado

**Cenário 3:** Este cenário (apresentado na Fig. 6.11) apresenta a probabilidade de que todos os residentes de Engenheiro Passos, que possuem acesso a rede, (100%) recebam treinamento pela internet, ou seja, as informações de como agir, quais os melhores procedimentos e como proceder caso o vazamento do gás HF ocorra seja explicado e detalhado pela internet. Neste caso a RB estimou que a eficiência deste meio foi de aproximadamente de 86%, o que representa uma boa eficiência na comunicação do plano. Vale lembrar que essas informações devem estar contidas no sítio da INB.

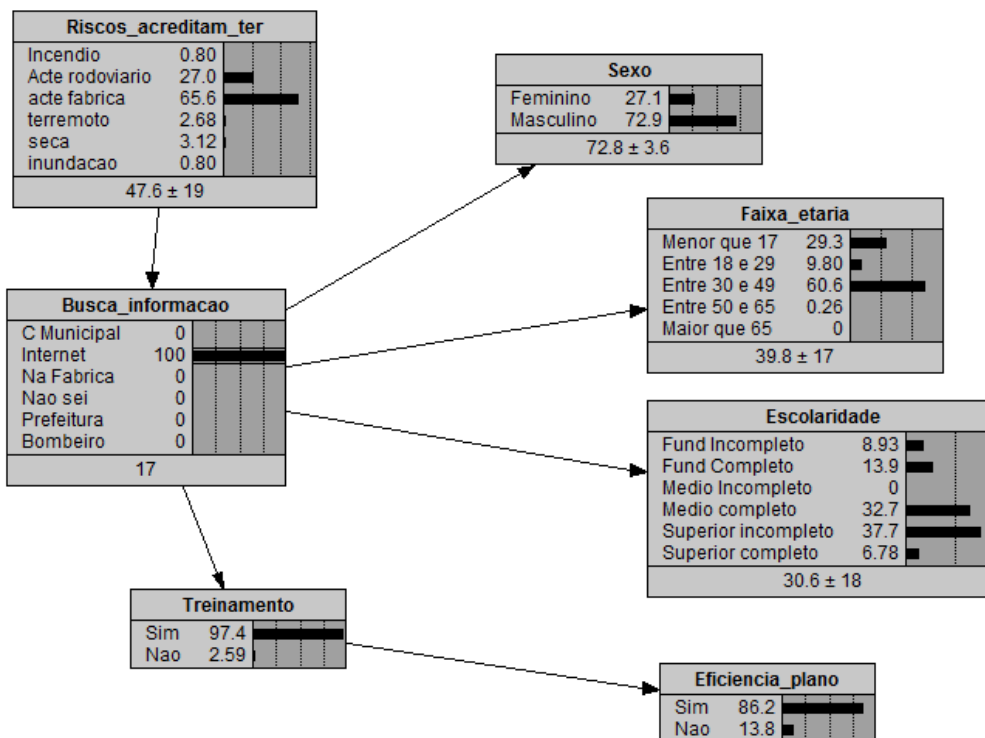


Figura 6.11: Probabilidade de 100% de internet

**Cenário 4:** Este cenário (apresentado na Fig. 6.12) apresenta a probabilidade de que todos os residentes de Engenheiro Passos (100%) recebam treinamento oferecido pela fábrica (neste caso a fábrica representa a INB), ou seja, as informações de como agir, quais os melhores procedimentos e como proceder caso o vazamento do gás HF ocorra, seja explicado e detalhado em reuniões periódicas com líderes comunitários, diretores e professores, representantes do comércio, curiosos, entre outros para que os representantes da fábrica possam tirar quaisquer dúvidas e distribuam material explicativo sobre sua segurança e importância não só no distrito como também no âmbito nacional. Neste caso a RB estimou que a eficiência deste meio é de aproximadamente de 90%, o que representa uma ótima eficiência na comunicação do plano, sendo este cenário o mais favorável para a utilização da metodologia APELL modificado.

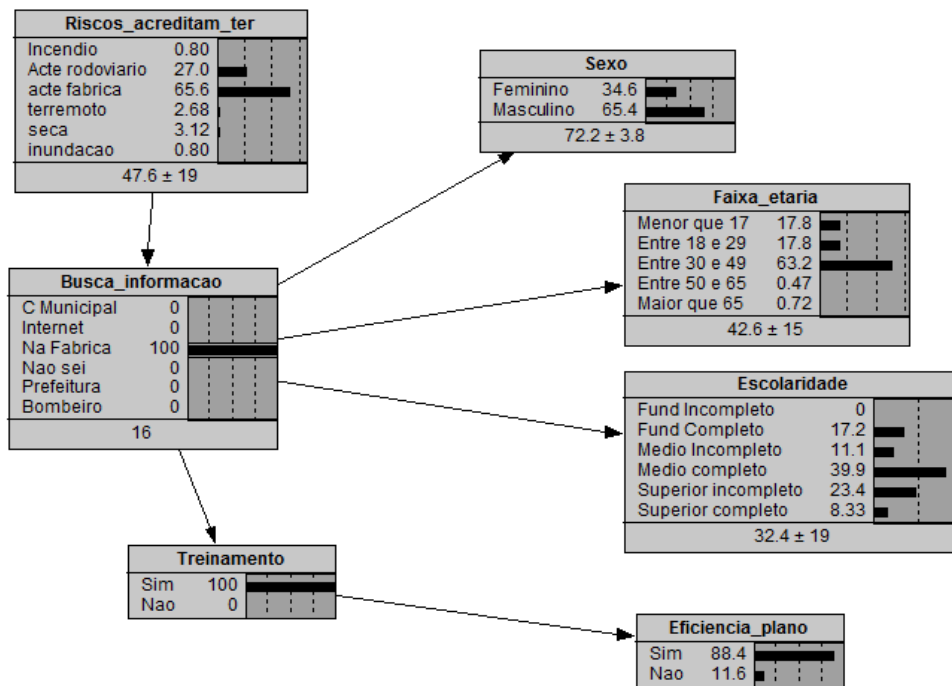


Figura 6.12: Probabilidade de que todos os residentes de Engenheiro Passos (100%) recebam treinamento oferecido pela fábrica

**Cenário 5:** Este cenário (apresentado na Fig. 6.13) apresenta a probabilidade de que todos os residentes de Engenheiro Passos (100%) recebam treinamento oferecido pela prefeitura, ou seja, as informações de como agir, quais os melhores procedimentos e como proceder caso o vazamento do gás HF ocorra seja explicado e detalhado em reuniões periódicas com um representante da prefeitura (que tenha recebido de antemão treinamento da fábrica) e com líderes comunitários, para que esses últimos transmitam as informações para os demais residentes do distrito. Neste caso a RB estimou que a eficiência deste meio é de aproximadamente de 60%, o que representa uma razoável eficiência na comunicação do plano.

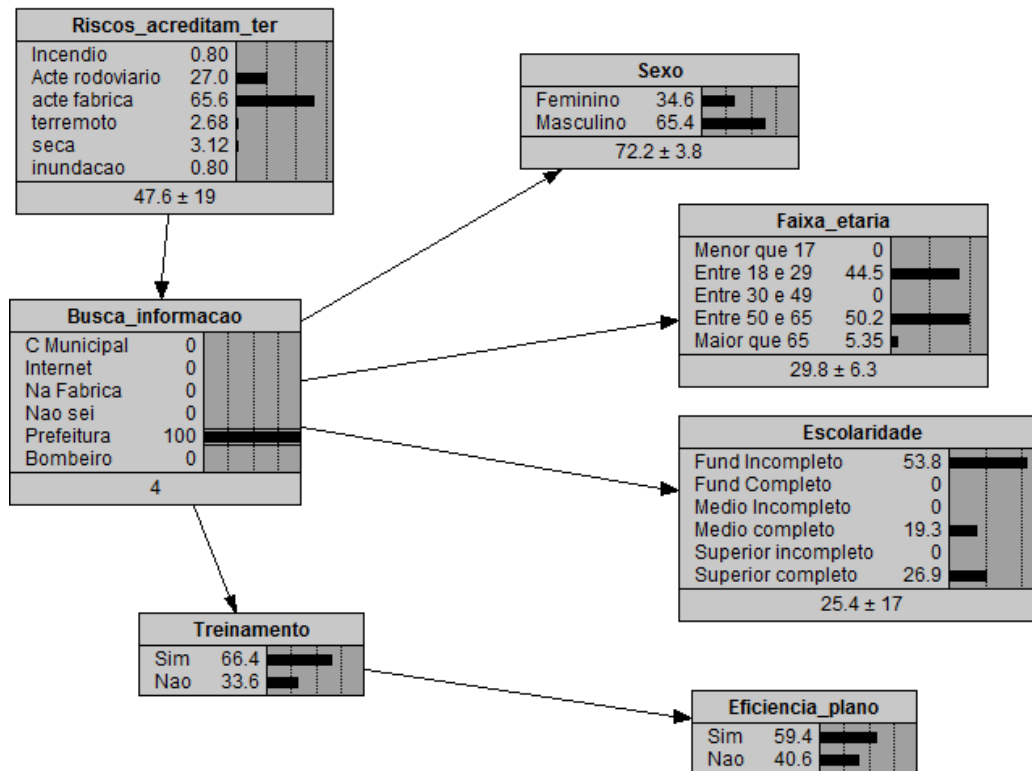


Figura 6.13: Probabilidade de que todos os residentes de Engenheiro Passos (100%) recebam treinamento oferecido pela prefeitura

**Cenário 6:** Este cenário (apresentado na Fig. 6.14) apresenta a probabilidade de que todos os residentes de Engenheiro Passos (100%) recebam treinamento oferecido pelo corpo de bombeiros, ou seja, as informações de como agir, quais os melhores procedimentos e como proceder caso o vazamento do gás HF ocorra seja explicado e detalhado em cursos oferecidos por esta instituição. Esses cursos seriam de grande valia uma vez que o corpo de bombeiros é a instituição, depois dos representantes da fábrica, em que os moradores do distrito mais confiam. Neste caso a RB estimou que a eficiência deste meio é de aproximadamente de 80%, o que representa uma boa eficiência na comunicação do plano.

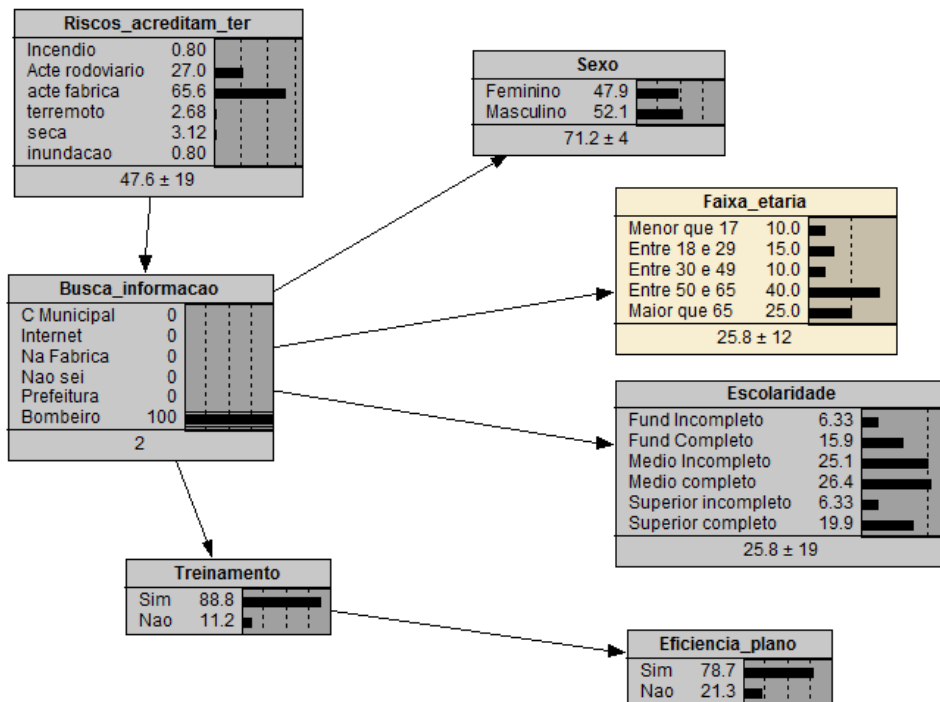


Figura 6.14: Probabilidade dos residentes de Engenheiro Passos (100%) recebam treinamento oferecido pelo corpo de bombeiros

Como é visto nos cenários acima, uma pesquisa exploratória com o uso de Redes Bayesianas, pode ser de extrema importância para a fábrica uma vez que ela auxilia na identificação dos principais locais de busca de informações e a eficiência do treinamento nesses locais. E ainda através da inclusão de mais dados, às estimativas ficam mais realistas, melhorando o índice de sucesso do plano de comunicação externo sugerido.

Mesmo que os resultados apresentados neste trabalho, em função do baixo número de entrevistados, possam apresentar distorções, a utilização destas redes como instrumento de apoio nas estimativas de credibilidade mostra-se promissor.

## 7 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Pelo fato do plano APELL acoplado ao uso de Redes Bayesianas, no cenário nuclear, ser uma nova metodologia, as fábricas que compõem a INB ainda não possuem normas de como ou quando devem ser utilizados, porém os resultados aqui apresentados mostram sua eficácia.

A responsabilidade de divulgar informações pertinentes à produção e construção de novas e/ou já existentes fábricas que compõem o complexo supracitado compete à área de comunicação social da empresa em questão. Serão estes, através do conhecimento adquirido na empresa e pela prática de trabalharem em uma área onde se sabe que o conceito de risco e as crenças/mitos que envolvem a área nuclear podem ser interpretados diferentemente para cada pessoa, que irão dar credibilidade às informações passadas por outros órgãos, instituições e/ou meios de comunicação.

Com o resultado da pesquisa, apresentada em detalhes no capítulo anterior, após o tratamento de dados com o auxílio do SPSS e do Netica<sup>TM</sup> foi possível chegar a algumas conclusões acerca de como a área de comunicação social da empresa precisa trabalhar para obter melhores resultados na aceitação da área nuclear no distrito em questão.

A principal delas é que a utilização da metodologia APELL modificada juntamente com o uso de Redes Bayesianas nos residentes da localidade de Engenheiro Passos, distrito de Resende é uma ferramenta muito eficiente e eficaz na identificação de falhas de comunicação empresa-população, uma vez que, através dessa nova metodologia foi possível verificar diversos pontos de interesse, entre eles, que o plano é mais eficiente quando o treinamento é elaborado e desenvolvido pela fábrica e menos eficiente quando o mesmo é elaborado pela prefeitura.

Outro ponto que merece destaque é que, existe, entre os residentes, uma total falta de interesse em pesquisar sobre a referida fábrica (eles acreditam que seria papel da empresa procurá-los). Então, aproveitando esse ensejo, a empresa deveria promover reuniões com os líderes comunitários para esses incentivarem e conscientizarem a comunidade mostrando a importância e as vantagens da empresa no desenvolvimento do distrito.

Por fim, também foi possível perceber que existe certo mito e/ou crença de que acidentes como os que ocorreram em Chernobyl e Fukushima podem acontecer a

qualquer momento, ocasionando contaminação e mutação nas espécies de animais que vivem próximos à fábrica ou prejudicar a saúde dos habitantes fazendo com que esses possam desenvolver câncer, pois eles acreditam que os gases que são lançados frequentemente na atmosfera proveniente das fábricas são altamente radioativos e provocam fortes dores de cabeça, fazendo com que a qualidade de vida dos habitantes diminua.

Sendo assim, seria recomendável que os órgãos públicos vinculados com o tema se comuniquem com o público para sua conscientização e preparação sobre possíveis acidentes em fábricas químicas/nucleares, juntem-se com a empresa, INB, e realizem parcerias, dividam responsabilidades de modo que cada um saiba a atribuição do outro para que todos ajam de forma organizada e em total cooperação e integração.

Vale lembrar que para o sucesso da metodologia utilizada em conjunto com Redes Bayesianas deve-se haver a cooperação e integração de todas as partes envolvidas e a empresa deve oferecer treinamento à comunidade e compartilhar os resultados de sua análise de risco com os órgãos públicos envolvidos em oferecer alguma ajuda e no caso de risco esses órgãos devem coordenar e preparar os serviços de emergência e devem possuir treinamento com pessoas especializadas no assunto para poderem sanar qualquer dúvida da população envolvida e por fim a comunidade deve estar informada sobre os planos de emergência externo da fábrica, conhecer os possíveis sinais de alarme no caso de evacuação e saber como agir quando necessário.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABIQUIM, Associação Brasileira da Indústria Química, “Seminário de Análise de Riscos de processos Industriais – Um Enfoque Gerencial”, 1991.
- ABNT, Gestão de Riscos – Princípios e diretrizes. NBR ISSO 31000. Associação Brasileira de Normas Técnicas, 2009.
- AQUINO, A. R.; BUENO, L. de O.; VIEIRA, M. M. F.; ALMEIDA, I. P. S. de; Percepção e gestão de risco em instalação de repositório de rejeitos nucleares.
- ALEXANDER, C., Measuring operational risks with Bayesian belief networks. *Derivative Use, Trading & regulation*. V.6, n. 2, p. 166 – 186. 2000.
- ALMEIDA, R. I. M. de, Redes Bayesianas e sua Aplicação em um Modelo de Interface Adaptativa para uma loja virtual. Trabalho de conclusão de curso de Sistemas de Informação apresentado ao Centro Universitário Luterano de Palmas – ULBRA. Palmas, 2006.
- AYYUB, B. M.; BENDER, W. J.; Assessment of Construction Feasibility of the Mobile Offshore Base, Part I – Risk Informed Assessment Methodology, Technical Report N° CTSM – 98 – RBA – MOB – 1. February 1999.
- BALDI, P.; BRUNAK, S.; *Bioinformatics: The Machine Learning Approach* (2ª edição), MIT Press, 2001.
- BARREIROS, D.; RINALDI, A.; “A importância da Comunicação de Riscos para as Organizações”; *Revista Brasileira de Comunicação Organizacional e Relações Públicas - Organicom*, Ano 4, Nº6 – 1º semestre de 2007. Disponível em: <http://revistaorganicom.org.br/sistema/index.php/organicom/article/view/96> Acesso em 20 de novembro de 2015.
- BEN – GAL, I. , “Bayesian Networks”, In: RUGGERI F. , FALTIN F. ,e KENETT R. , Ed. *Encyclopedia of Statistics in Quality and Reliability*, John Wiley & Sons. Disponível em: <http://www.eng.tau.ac.il/~bengal/BN.pdf>, Acesso em 12 de abril de 2016.
- BERNARDO, H. M.; “*Riscos na Usina Química: Os Acidentes e a Contaminação nas Representações dos Trabalhadores*”; São Paulo, SP, 2001.
- BEZDEK, R. H., WENDLING R. M., 2006, “The impacts of nuclear facilities on property values and other factors in the surrounding communities”; *Int. J. Nuclear*



- Governance, Economy and Ecology, vol. 1 N° 1, pp.122-144. Disponível em <http://www.misi-net.com/publications/IJNGEE-V1N1-06.pdf>. Acesso em 25 abril 2015.
- CARRIGER, J. F. Jr. “Bayesian belief networks for decision analysis in environmental management. EUA, 2009, 373p. Tese de doutorado – The college of William and Mary
- CARVALHO, E. do N.; “Uma Revisão Crítica do Emprego de Bancos de Dados e Falhas em Análises Probabilísticas de Segurança de Plantas Industriais”; Rio de Janeiro, RJ, 2007.
- CELEUX, G., CORSET, F.; LANNNOY, A.; B. RICARD, B.; “Designing a Bayesian Network for preventive maintenance from expert opinions in a rapid and reliable way”, *Reliability Engineering and System Safety*, vol. 91, pp 849 – 856, 2006.
- CETESB, Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental; “Análise e Avaliação de Riscos – Conceitos Básicos”, 1991. Disponível em <http://emergenciasquimicas.cetesb.sp.gov.br>. Acesso em 15 de abril de 2015.
- CHIZZOTTI, A. A pesquisa qualitativa em ciências humanas e sociais: evolução e desafios. Revista portuguesa de educação. Portugal, v. 16, n. 2, p. 221-236, 2003. Disponível em [http://www.unisc.br/portal/upload/com\\_arquivo/1350495029.pdf](http://www.unisc.br/portal/upload/com_arquivo/1350495029.pdf) Acesso em 25 de abril de 2015.
- CNEN 2010; COMISSÃO NACIONAL DE ENERGIA NUCLEAR; Disponível em <http://www.cnen.gov.br/acnen/pnb/rel-parcial-ciclocombustivel.pdf> Acesso em 17 março de 2015.
- CNEN-NE-1.11, NORMA DA COMISSÃO NACIONAL DE ENERGIA NUCLEAR – 1.11,<http://appasp.cnen.gov.br/seguranca/normas/pdf/Nrm111.pdf>. Acesso em 17 de setembro de 2015.
- CNEN-NE 1.04, NORMA DA COMISSÃO NACIONAL DE ENERGIA NUCLEAR – 1.04 Licenciamento de Instalações Nucleares. Disponível em: <http://www.camara.gov.br/sileg/integras/396388.pdf> Acesso em 25 agosto 2015.
- CONAMA, CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE; RESOLUÇÃO No 357, de 17 de março de 2005, Publicada no DOU nº 053, de 18/03/2005, pp. 58-63 Disponível em: <http://www.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=459> Acesso em 7 de setembro de 2015.

- CUNHA, R. D. S. da, TRUFEM, S. F. B., “Avaliação da Estratégia da Comunicação de Riscos Ambientais na Preparação do Público para Acidentes de Grande Porte: Estudo de caso do Plano APELL em São Sebastião-SP”, São Paulo, SP, 2009, Disponível em [http://pesquisaemdebate.net/docs/pesquisaEmDebate\\_especial1/artigo\\_1.pdf](http://pesquisaemdebate.net/docs/pesquisaEmDebate_especial1/artigo_1.pdf) Acesso em 12 abril 2015.
- DALFOVO, M. S.; LANA, R. A.; SILVEIRA, Amélia. “Métodos quantitativos e qualitativos: um resgate teórico”. Revista Interdisciplinar Científica Aplicada, Blumenau, v.2, n.4, p.01- 13, Sem II. 2008, Disponível em [http://www.unisc.br/portal/upload/com\\_arquivo/metodos\\_quantitativos\\_e\\_qualitativos\\_um\\_resgate\\_teorico.pdf](http://www.unisc.br/portal/upload/com_arquivo/metodos_quantitativos_e_qualitativos_um_resgate_teorico.pdf), Acesso em 21 de março de 2016.
- DANTAS, M.; CAVALCANTE, V. Pesquisa qualitativa e Pesquisa quantitativa. Recife, PE: Universidade Federal de Pernambuco, 2006. (Trabalho de graduação da Disciplina Métodos e Técnicas de Pesquisa). Disponível em: <http://pt.scribd.com/doc/14344653/Pesquisa-qualitativa-e-quantitativa>. Acesso em: 21 de março de 2016.
- DIEHL, A. A., Pesquisa em ciências sociais aplicadas: métodos e técnicas. São Paulo: Prentice Hall, 2004. Disponível em: [http://www.unisc.br/portal/upload/com\\_arquivo/metodos\\_quantitativos\\_e\\_qualitativos\\_um\\_resgate\\_teorico.pdf](http://www.unisc.br/portal/upload/com_arquivo/metodos_quantitativos_e_qualitativos_um_resgate_teorico.pdf) Acesso em: 21 de março de 2016.
- DIONIZIO, D. P.; “Tomada de Decisão na Manutenção de Geradores Diesel de Emergência de Centrais Nucleares por Redes Bayesianas”; Dissertação de Mestrado; Rio de Janeiro: UFRJ/COPPE, 2014.
- DRI, Disaster Recovery Institute, Disponível em [https://www.drii.org/certification/professionalprac\\_portuguese.php](https://www.drii.org/certification/professionalprac_portuguese.php) Acesso em 15 março 2015.
- DWYER, T; “Life and Death at Work. Industrial Accidents as a Case of Socially Produced Error”, New York and London Plenum Press, 1991.
- FISCHHOFF, Baruch; LICHTENSTEIN, Sarah; SLOVIC, Paul; et al: “Acceptable Risk”. Cambridge University Press, 1999.
- FORTES, W. G., 2003. “Relações Públicas: processos, funções, tecnologia e estratégias”, São Paulo; SP: Summus.

- FREITAS, C. M.; PORTO, M. F.S.; MACHADO, J. M.H.; 2000, “Acidentes Industriais Ampliados. Desafios e Perspectivas para o Controle e a Prevenção”, 1 ed, Editora Fiocruz, Rio de Janeiro, RJ, Brasil.
- GIL, A. C., *Métodos e Técnicas de Pesquisa Social*, Atlas (1987).
- GILKS, W. R.; RICHARDSON, S.; SPIEGELHALTER, D. J.; “*Markov Chain Monte Carlo in Practice*”. London, England: Chapman and Hall, 1996
- GONÇALVES, J. da S.; “*Tendências de Projeto de Processos para Plantas de Produção de Hexafluoreto de Urânio*”; Rio de Janeiro, RJ, 2011.
- GONZALES, A.; DOUGLAS, D.; *The Engineering of Knowledge Based System*. New Jersey: Prentice Hall, 1993. Repot
- HECKERMAN, D., “ A Tutorial on Learning with Bayesian Networks”, TechReport. MSR – TR-95-06, Disponível em <https://research.microsoft.com/pubs/69588/tr-95.pdf>, Acesso em 12 de abril de 2016.
- IAEA 1996, INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, “*Significant Incidents in Nuclear Fuel Cycle Facilities*”, TECDOC-867, Vienna.
- IAEA 2002, INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, Procedure for conducting probabilistic safety assessment for non-reactor nuclear facilities, TECDOC – 1267, Vienna.
- IAEA 2006, INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY. Safety of conversion and enrichment facilities. Vienna: IAEA, ago. 2006. (DS344).
- IAEA 2007, INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, Edition, “*Terminology Used in Nuclear Safety and Radiation Protection*”, Disponível em <http://www.nucleonica.net/wiki/images/6/65/IAEApub1290.pdf> Acesso em 19 março 2015.
- IAEA 2010, INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, “*Safety of Conversion Facilities and Uranium Enrichment Facilities*”, IAEA Safety Standards Series No. SSG-5, IAEA. Vienna (2010).
- IATROS (2010), “Estatística e Pesquisa Científica para Profissionais da Saúde (Software)”, Disponível em <http://www.vadmecum.com.br/iatros/index.htm>. Acesso em 15 julho de 2016.
- IBGE; INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA; Disponível em <http://www.ibge.gov.br/home/> Acesso em 25 março de 2015.

- INB; INDÚSTRIAS NUCLEARES DO BRASIL; Disponível em <http://www.inb.gov.br>; Acesso em 19 março de 2015.
- INB; INDÚSTRIAS NUCLEARES DO BRASIL; Imagem FCN, Disponível em [http://www.inb.gov.br/pt-br/WebForms/Galeria\\_fotos.aspx?secao\\_id=123](http://www.inb.gov.br/pt-br/WebForms/Galeria_fotos.aspx?secao_id=123); Acesso em 15 de março 2015.
- INMET; INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA; [http://www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=home/page&page=rede\\_estacoes\\_autograf](http://www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=home/page&page=rede_estacoes_autograf); Acesso em 18 janeiro 2016
- JENSEN, F. V.; *An Introduction to Bayesian Networks*. New York: Springer Verlag, 1996.
- JOHNSON, B.B. e CHESS, C. “Communicating Worst-Case Scenarios: Neighbors' Views of Industrial Accident Management”. In *Risk Analysis*, Vol. 23, Nº 4; pp. 829-840. 2003.
- KAPLAN, S.; GARRICK, B. J.; “On the Quantitative Definition of Risk. *Risk Analysis*. Vol. 1. Nº 1, 1981.
- LEE, C. J.; LEE, K. J., Application of Bayesian network to the probabilistic risk assessment of nuclear waste disposal, *Reliability Engineering & System Safety*, v. 91, n. 5, p. 515-532, 2006.
- LANGSETH, H., NIELSEN, T., RUMÍ, R., SALMERÓN, A., “Inference in Hybrid Bayesian Networks”, *Reliability Engineering and System Safety*, Vol. 94, pp.1499-1509, 2009.
- LUNA, J. E. O.; *Algoritmos EM para Aprendizagem de Redes Bayesianas a partir de Dados Incompletos*; Campo Grande, MS. Disponível em [http://facom.sites.ufms.br/files/2015/12/2004\\_jose\\_eduardo.pdf](http://facom.sites.ufms.br/files/2015/12/2004_jose_eduardo.pdf) Acesso em 12 maio 2016.
- MALHOTRA, N. K.; *Pesquisa de Marketing: uma orientação aplicada*. Tradução Laura Bocco. 4. ed. Porto Alegre, RS: Bookman, 2006.
- MARIN, M. P. A. Análise de perigos em uma instalação de produção de hexafluoreto de urânio. 1999. Dissertação (Mestrado) ± Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares. São Paulo.
- MARTINS, H. H. T. de S.; Metodologia qualitativa de pesquisa. *Revista educação e pesquisa*, Vol. 30, Nº. 2, 2004.

- MARTINS, M.; Considerações sobre Análise de Confiabilidade e Risco, Tese de Livre Docência, Departamento de Engenharia Naval, Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, SP, 2013.
- MATTOS, C. L. G. de; “A abordagem etnográfica na investigação científica”. Rio de Janeiro, RJ: UERJ, 2001.
- McCORMICK, Norman, J.; Reliability and Risk Analysis. Methods and Nuclear Power Applications. Academic Press Inc, 1981.
- Metodologias de Análise de Riscos, Disponível em [http://paginas.fe.up.pt/~mapfre/mapfre\\_2encontro/apresentacoes/dia\\_1\\_26Out06/tarde/Analise%20de%20Riscos%20-%20RCaldeira.pdf](http://paginas.fe.up.pt/~mapfre/mapfre_2encontro/apresentacoes/dia_1_26Out06/tarde/Analise%20de%20Riscos%20-%20RCaldeira.pdf) Acesso em 19 março 2015.
- NASSAR, S. M. “Sistemas Especialistas Probabilísticos”. Dissertação de pós-graduação, Departamento de Informática e de Estatística, Universidade Federal de Santa Catarina, Santa Catarina, SC, 2012.
- NEVES, J. L. Pesquisa qualitativa – características, usos e possibilidades. São Paulo: FEA-USP, v. 1, n. 3, 1996. (Caderno de Pesquisas em Administração). Acesso em: 21 de março de 2016.
- ORGANIZAÇÃO PAN-AMERICANA DE SAÚDE, Curso de autoaprendizagem em Prevenção, preparação e resposta à emergências e desastres químicos. Disponível em: <http://www.bvsde.paho.org/cursode/p/modulo3-6.php> Acesso em 21 junho 2015.
- PEARL, J.; Probabilistic Reasoning in Intelligent Systems. California, Morgan Kaufmann, 1998.
- PEARL, J., RUSSEL, S., “Bayesian networks”, Report (R-277), In: Handbook of Brain Theory and Neural Network, Ed. Arbib M., MIT Press, Cambridge, 157-160, Novembro de 2000.
- PERUZZO, J., *Fundamentos da Energia Nuclear*, Irani (SC); 2012, Disponível em <https://books.google.com.br/books?id=5YtJBQAAQBAJ&printsec=frontcover#v=onepage&q&f=false> Acesso em 19 março 2015.
- PIMENTEL, C. E.; A Biblioteca Universitária e o Sistema Educacional. In: SEMINÁRIO NACIONAL DE BIBLIOTECAS UNIVERSITÁRIAS, 9, UFPR, Biblioteca Central, Curitiba, 1996.
- PNUMA, OIT, OMS. Programa Internacional de Seguridad sobre Sustancias Químicas (PISSQ). Accidentes químicos: aspectos relativos a la salud. guía para la

- preparación y respuesta. IPCS/OCDE/UNEP/WHO. Trad. OPS. Whashington, DC: OPS; 1998.
- POFFO, Iris R. F., *Informação e Comunicação de Riscos em Emergências Químicas*; Disponível em: <http://www.bvsde.paho.org/cursode/p/modulo3-6.php> Acesso em 19 março de 2015.
- POPPER, Karl. A lógica da pesquisa científica. 2. ed. São Paulo: Cultrix, 1972. Acesso em: 21 de março de 2016.
- PORTO, M. F. S.; FREITAS, C. M.; MACHADO, J. M. H. Grandes e graves. Revista Proteção, 1998. (edição 94, 10 anos).
- PRÄSS, A. R.; *A Energia Nuclear Hoje: Uma Análise Exploratória*, Porto Alegre, RS, 2007.
- Prefeitura de Resende, Disponível em [http://www.resende.rj.gov.br/info\\_geofisicas.asp](http://www.resende.rj.gov.br/info_geofisicas.asp) Acesso em 10 março de 2015.
- Processo APELL Campos Elísios, Disponível em [http://www.apellce.com.br/campos\\_eliseos.php](http://www.apellce.com.br/campos_eliseos.php) Acesso em 20 junho 2015.
- PROFIT, Richard; “Systematic Safety Management in the Air Traffic Services”, Euromoney Publications PLC, 1995.
- RICHARDSON, R. J., Pesquisa social: métodos e técnicas. São Paulo: Atlas, 1989
- RUSSELL, S., NORVIG, P., Inteligência Artificial, 2ª edição, Ed. Campus, Rio de Janeiro, 2004.
- SANTOS, F. C., “*Elaboração de um conjunto de funções críticas de segurança para uma unidade de conversão de hexafluoreto de urânio*”, Tese de Dissertação., COPPE/UFRJ; Rio de Janeiro, RJ, 2014. Disponível em: [http://www.con.ufrj.br/MSc%20Dissertacoes/2014/Dissertacao\\_Felipe\\_da\\_Cruz.pdf](http://www.con.ufrj.br/MSc%20Dissertacoes/2014/Dissertacao_Felipe_da_Cruz.pdf) Acesso em 26 março 2015.
- SANTOS, F. M. dos, MARANDOLA JR, E., “Risco ambiental e vulnerabilidade do lugar: um estudo sobre o entorno do Tebar em São Sebastião, litoral de São Paulo”, Trabalho apresentado no XVIII Encontro Nacional de Estudos Populacionais, ABEP, realizado em Águas de Lindóia/SP – Brasil, de 19 a 23 de novembro de 2012. Disponível em [http://www.abep.nepo.unicamp.br/xviii/anais/files/ST12\[491\]ABEP2012.pdf](http://www.abep.nepo.unicamp.br/xviii/anais/files/ST12[491]ABEP2012.pdf) Acesso em 21 de julho de 2016.

- SCHLEDER, A. M., “*Aplicação de Redes Bayesianas para a análise de confiabilidade do sistema de regaseificação de uma unidade tipo FSRU*”, Tese de Dissertação., Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, SP, 2012.
- SJÖBERG, L.; “Policy Implications of Risk Perception Research: A Case of the Emperor’s New Clothes?” paper presented at Risk Analysis: Opening the Process, organized by Society for Risk Analysis, Paris, October pp. 11-14, 1998.
- SLOVIC, P.; Perception of risk. Science, Estados Unidos, v. 236, n. 1, p. 280-285, 1987. Disponível em: <http://www.scielo.br/pdf/rbso/v37n125/a13v37n125.pdf> Acesso em 21 de março de 2016.
- SOBRINHO, A. D. O.; “*A Importância da Inclusão de Fatores Humanos na Análise de Riscos em Plantas Industriais*”, Rio de Janeiro, RJ, 2013.
- SOUSA, A. L., “*Estabelecimento e priorização de fatores relevantes para a segurança de instalações do ciclo do combustível nuclear exceto o reator através da avaliação da dinâmica de arquétipos*”, Tese de D.Sc., COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro, RJ, 2012. Disponível em: [http://www.nuclear.ufrj.br/DScTeses/teses2012/Tese%20Anna%20Leticia%20Souza\\_final.pdf](http://www.nuclear.ufrj.br/DScTeses/teses2012/Tese%20Anna%20Leticia%20Souza_final.pdf) Acesso em 2 fevereiro 2015.
- SOUZA, E. A. “O treinamento industrial e a gerência de riscos: uma proposta de instrução programada”. 1995. 126 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção). Escola de Engenharia de Produção e Sistemas, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis.
- SPINK, M. J. P.; Os Contornos do Risco na Modernidade Reflexiva: Reflexões a partir da Psicologia Social. Paper apresentado no VII Encontro Regional da ABRASCO-SP, Bauru, 15-18 de outubro de 1998.
- TCHANGANI, A. P., “A model to support risk management decision making”, Studies in Informatics and control, v. 20, n. 3, p. 209-220, 2011.
- UNEP, UNITED NATIONS ENVIRONMENTAL PROGRAMME; Disponível em (<http://www.unep.org/resourceefficiency/Portals/24147/scp/sp/publications/brochures/pdf/ExplainingPO.pdf>) Acesso em 20 abril de 2015.
- USAEC, UNITED STATES NUCLEAR REGULATORY COMMISSION; An Assessment of Accident Risks in US Commercial Nuclear Power Plants. WASH 1400 (NUREG-75/014) October. Disponível em:



[http://www.barringer1.com/mil\\_files/NUREG-75-014-Report-&-Executive-Summary.pdf](http://www.barringer1.com/mil_files/NUREG-75-014-Report-&-Executive-Summary.pdf) Acesso em 20 de abril de 2015.

- U. S. NUCLEAR REGULATORY COMMISSION. “*Report to Congress on Abnormal Occurrences*”. March 86 - June 95. (NUREG-0090).
- U. S. NUCLEAR REGULATORY COMMISSION. “*NRC Response to Events - Fuel Cycle Facilities: 1991-1996*”. NRC Emergency Response, NRC Home Page, USA. 2000.
- U.S.NRC; UNITED STATES NUCLEAR REGULATORY COMMISSION; “*A Short History of Nuclear Regulation, 1946-2009*”; by Samuel Walker & Thomas R. Wellock; Outubro 2010; Disponível em <http://pbadupws.nrc.gov/docs/ML1029/ML102980443.pdf> Acesso em 26 março 2015.
- U.S.NRC; UNITED STATES NUCLEAR REGULATORY COMMISSION; “*Nuclear Fuel Cycle Facility Accident Analysis Handbook*”, NUREG/CR-6410; Disponível em <http://pbadupws.nrc.gov/docs/ML0720/ML072000468.pdf> Acesso em 26 março 2015.
- U.S.NRC; UNITED STATES NUCLEAR REGULATORY COMMISSION; “*A Regulatory Analysis on Emergency Preparedness for Fuel Cycle and Other Radioactive Material Licensees*”, NUREG-1140; Disponível em <http://pbadupws.nrc.gov/docs/ML0620/ML062020791.pdf> Acesso em 26 março 2015.
- VILARAGUT, L. J.J.; FERRO Fernandez, R.; TRANCOSO Fleitas, M.; LOZANO Lima, B.; DE LA FUENTE Puch, A.; PÉREZ Reyes, Y.; DUMÉNIGO Gonzalez, C.; “*Metodología Para La Aplicación de Las Técnicas de Análisis Probabilista de Seguridad (APS) A Las Unidades de Cobalterapia em Cuba*”; Centro Nacional de Seguridad Nuclear (CNSN), La Habana, Cuba, 2001.
- WNA 2015, WORLD NUCLEAR ASSOCIATION, Information Library, Disponível em <http://www.world-nuclear.org/info> Acesso em 19 março 2015.
- WYNNE, B. Sheepfarming after Chernobyl – A Case Study in Communicating Scientific Information. *Environment*, V. 31, Nº 2, 1989



## APÊNDICE A

### Redes Bayesianas

A medida que a quantidade de variáveis aumenta, torna-se mais difícil responder questões sobre a distribuição de probabilidade conjunta de um domínio de dados.

Na utilização do teorema de Bayes, a ocorrência de independência condicional entre variáveis aleatórias que descrevem os dados pode simplificar os cálculos para responder perguntas e também reduzir consideravelmente o número de probabilidades condicionais que precisam ser especificadas. A estrutura de dados chamada redes bayesianas representa a dependência entre as variáveis e dá uma especificação concisa da distribuição de probabilidade conjunta. (LUNA, 2004, p.21)

Segundo Russell e Norvig (1995, p.436-437) uma rede bayesiana é um grafo com as seguintes características:

1. Um conjunto de variáveis aleatórias são os nós da rede;
2. Um conjunto de setas ou arcos orientados conecta pares de nós. O significado intuitivo de uma seta a partir de um nó X para um nó Y é que X tem influência direta sobre Y;
3. Cada nó tem uma tabela de probabilidade condicional que quantifica os efeitos que os pais têm sobre o nó. Os pais de um nó são todos aqueles nós que possuem setas apontando para ele;
4. O gráfico não tem ciclos dirigidos, ou seja, é um gráfico dirigido, porém acíclico.

Resumidamente, redes bayesianas são grafos acíclicos dirigidos que representam dependências entre variáveis em um modelo probabilístico. Por ser fundamentado na teoria da probabilidade, o raciocínio probabilístico é uma das grandes vantagens das redes bayesianas, ou seja, é possível tomar decisões racionais mesmo quando não há informações suficientes para se provar que aquela ação funcionará.

Conforme consta em Nassar (2012, p.40):

A base de conhecimento de um sistema especialista probabilístico é chamada de Rede Bayesiana, nela o conhecimento é representado esquematicamente na forma de um

grafo acíclico direcionado. Os nodos representam dois tipos de variáveis: as variáveis de entrada (sinais ou evidências) e a variável de saída (conjunto de hipóteses diagnósticas). A força da ligação entre as variáveis é expressa no valor das probabilidades condicionais, que representam uma relação causal para a regra "Se A então B". A arquitetura da rede bayesiana é chamada de parte qualitativa da base de conhecimento. E os valores das probabilidades constituem a parte quantitativa da base de conhecimento.

A autora coloca que uma rede bayesiana é composta de duas partes que se complementam, a parte qualitativa e a parte quantitativa. Na parte qualitativa, a arquitetura da rede, a relação causal para a regra "Se A então B" indica que 'B' depende de 'A', ou seja, para que 'B' ocorra, 'A' deve ocorrer primeiro, então 'A' e 'B' estão ligados por uma seta direcionada de 'A' para 'B' ( $A \rightarrow B$ ). Já a parte quantitativa de uma rede bayesiana é probabilística, e composta por três classes de probabilidade:

- o conjunto de probabilidades condicionais associadas aos arcos existentes no modelo gráfico da parte qualitativa;
- as probabilidades estimadas *a priori* das hipóteses diagnósticas (nó de saída);
- as probabilidades de cada nó de entrada.

Como consta em Almeida (2006, p.17), as probabilidades condicionais e as probabilidades do nó de saída devem ser fornecidas. Já as probabilidades de cada nó de entrada são calculadas utilizando a teoria da probabilidade a partir dos valores já explicitados. Em uma rede bayesiana pode-se observar a propagação de um dado de entrada em toda a rede, permitindo constatar a quantidade de informação daquele dado específico.

Segundo Luna (2004), a propagação de evidências sobre uma rede bayesiana permite obter estimativas de probabilidades quando são acrescentadas informações à essa rede. A propagação de evidência consiste no cálculo das probabilidades *a posteriori* para cada variável. A função da probabilidade *a posteriori* mede a influência da evidência sobre cada variável.

## Teorema de Bayes

Considere o evento  $F$  e  $E_1 \dots E_n$  eventos exclusivos e exaustivos, ou seja, que não possuem intersecção e que a união deles forma o espaço amostral. Assim, o Teorema de Bayes é definido em como:

$$P(E_j | F) = \frac{P(E_j)P(F | E_j)}{\sum_{i=1}^n P(E_i)P(F | E_i)} \quad (1)$$

O teorema de Bayes é uma junção do teorema de probabilidade condicional e da fórmula de probabilidades totais. Assim,  $P(E_j)$  pode ser denominada como probabilidade a priori,  $P(F | E_j)$  como verossimilhança e  $P(E_j | F)$  como probabilidade a posteriori, ou seja, a probabilidade posterior à observação do evento  $F$ . Além disso, o denominador é a decomposição de  $P(F)$ , ou seja, pode se considerado como constante normalizadora; desta forma, (1) pode ser reescrito na forma (2).

$$P(E_j | F) \propto P(E_j)P(F | E_j) \quad (2)$$

sendo  $\propto$  indicador de proporcionalidade. Em outros termos, podemos dizer que a probabilidade a posteriori é proporcional à probabilidade a priori multiplicada pela verossimilhança.

## **APÊNDICE B**

### Questionário Estruturado

#### **1. Em qual destas faixas etárias está a sua idade?**

- Menor que 17 anos
- 18 anos a 29 anos
- 30 anos a 49 anos
- 50 anos a 65 anos
- Maior que 65 anos

#### **2. Sexo**

- Feminino
- Masculino

#### **3. Escolaridade**

- Ensino Fundamental Incompleto
- Ensino Fundamental Completo
- Ensino Médio Incompleto
- Ensino Médio Completo
- Superior Incompleto
- Superior Completo

#### **4. Contando com você, quantas pessoas moram na sua casa?**

#### **5. Dos riscos abaixo, quais os que você acredita existir no local em que reside**

- Inundações
- Seca
- Terremoto
- Acidentes em fábricas químicas
- Acidente rodoviário
- Incêndio

#### **6. Dos riscos abaixo, quais os que mais o preocupam.**

- Inundações
- Seca
- Terremoto
- Acidentes em fábricas químicas

- Acidente rodoviário
- Incêndio

**7. Considera que o fato de viver próximo de uma fábrica química diminui a sua qualidade de vida?**

- Sim
- Não

**8. Alguma vez VOCÊ procurou saber sobre possíveis riscos relacionados com a fábrica química de Engenheiro Passos?**

- Sim
- Não

**9. Se a resposta foi SIM, onde?**

- Prefeitura
- Câmara Municipal
- Corpo de Bombeiros
- Na própria fábrica química
- Na internet
- Não sei responder

**10. Alguma vez você foi informado dos eventuais riscos relacionados com a fábrica química de Engenheiro Passos?**

- Sim
- Não

**11. Se a resposta foi SIM, por quem?**

- Em reuniões com ambientalistas
- Escola
- Prefeitura
- Líderes comunitários
- Pelos responsáveis da fábrica química
- Por familiares, amigos e/ou vizinhos
- Outros

**12. Se ocorrer um acidente na fábrica química você gostaria de ser avisado?**

- Sim
- Não

**13. Se a resposta foi SIM, qual o meio você considera mais adequado?**

- Rádio local
- Sinal sonoro que todos escutem
- Através de megafones pelas ruas
- Por mensagem no celular (sms)
- Outro meio, qual?
- Não sei

**14. Quem você gostaria que lhe avisasse sobre um possível acidente envolvendo a fábrica química?**

- Polícia rodoviária
- Bombeiros
- Exército
- Pelos representantes da fábrica química
- Guarda Civil
- Outros, qual?