



IBP1113_06

Análise de Riscos em Empreendimentos : Um estudo de caso na indústria do petróleo.

Eduardo Calixto¹,

Copyright 2006, Instituto Brasileiro de Petróleo e Gás - IBP

Este Trabalho Técnico foi preparado para apresentação na *Rio Oil & Gas Expo and Conference 2006*, realizada no período de 11 a 14 de setembro de 2006, no Rio de Janeiro. Este Trabalho Técnico foi selecionado para apresentação pelo Comitê Técnico do evento, seguindo as informações contidas na sinopse submetida pelo(s) autor(es). O conteúdo do Trabalho Técnico, como apresentado, não foi revisado pelo IBP. Os organizadores não irão traduzir ou corrigir os textos recebidos. O material conforme, apresentado, não necessariamente reflete as opiniões do Instituto Brasileiro de Petróleo e Gás, seus Associados e Representantes. É de conhecimento e aprovação do(s) autor(es) que este Trabalho Técnico seja publicado nos Anais da *Rio Oil & Gas Expo and Conference 2006*

Resumo

O objetivo desse trabalho é avaliar a eficiência das técnicas de análise de riscos utilizadas em projetos na indústria de petróleo. O conceito de prevenção aos riscos consiste na antecipação dos possíveis impactos ambientais, danos à saúde dos trabalhadores e perdas econômicas causadas por acidentes, desvios de processos, que em muitos casos poderiam ser evitados se as condições inseguras fossem detectadas na concepção do projeto. Dessa forma, é necessário que haja o gerenciamento do risco durante todas as fases do projeto possibilitando processos produtivos mais seguros, ou seja, com maior controle sobre os riscos. A indústria de petróleo tem presenciado vários acidentes graves, com perdas de vida e irreversíveis impactos ambientais, sendo sempre questionado se a falha ocorreu no processo ou no projeto. Esse trabalho tem como objetivo avaliar as técnicas de análise de risco necessárias ao longo da vida do empreendimento como forma de um gerenciamento de risco preventivo, sendo avaliado a atual metodologia de gerenciamento de risco na indústria de petróleo e proposto uma nova metodologia de gerenciamento de riscos em empreendimentos.

Abstract

The main objective in this paper is to analyze the efficiency of the risk assessment methodology applied in Oil and Gas industries project. The prevention is the most important concept in terms of risk assessment and in this case it's essential to try anticipate accident with preventive actions avoiding environment impact, health injuries and equipment damaged caused to process or project non compliance that would be detected in project conceptions. By this way, it's extremely important risk management in all project time to assure more safety and controlled process. In oil and gas industry has been having so many accidents, with health injures and environment impact. The main question is why this accident having been happen. That's project, process failure or both of them cause this accident. Therefore, this paper will analyse the usual risk assessment methodology in Oil and Gas industries and indicate some improvement to comply all risk assessment analysis as a way to improve management risk in order to reduce accidents and environment impacts.

1. Introdução

O conceito de acidente, segundo a norma OHSAS 18001 é qualquer situação ou evento indesejado que causa danos a saúde do trabalhador, instalações e equipamentos. Essa definição pelo ministério do trabalho considera apenas os danos a saúde do trabalhador, porém em muitos casos um acidente pode causar além dos danos pessoais, danos ao meio ambiente, incluindo as populações vizinhas as instalações industriais. Podemos citar como exemplos vários acidentes que geraram danos ambientais e as populações vizinhas as instalações industriais e devemos considerar dois aspectos importantes. O primeiro é que muitos acidentes não foram relatados, seja por não ter tomado proporções catastróficas, ou por não ter tido impactos visíveis a curto prazo. Outro aspecto é a falta de informação dos quase acidentes, que são muito mais frequentes que os acidentes, porém não se tornaram acidentes por casualidade ou força do destino. Esses dois aspectos geram uma perda incrível em termos de aprendizado, uma vez que não se tem praticado efetivamente o

¹ Mestre, Engenheiro de Produção – PETROBRAS SA

² Doutorando – Programa de Planejamento energético

conceito de prevenção na antecipação aos riscos nos projetos, restando a possibilidade de se aprender com os erros do presente e do passado.

O século XX foi marcado por acidentes e desastres naturais, resultando em grandes prejuízos materiais e vítimas fatais. Segundo a OMS, Organização Mundial de Saúde, os desastres naturais entre 1970 e 2000 afetaram mais de 500 milhões de pessoas, sendo o número de óbitos superior a um milhão. A existência de programas de segurança e planos de emergência poderiam ter minimizado as consequências da maioria deles. A OMS estima a possibilidade de 200 mil mortes por ano, alertando que o local de trabalho pode ser um ambiente perigoso.

Os grandes acidentes industriais, como *Flixborough*, *Piper Alpha*, *Exxon Valdez* e *PETROBRAS-P36*, mostraram que estes incidentes podem ter consequências catastróficas. Após tantos acidentes, os grandes grupos corporativos aumentaram os investimentos durante a década de 90 na tentativa de minimizar os prejuízos e resgatar a credibilidade juntos aos órgãos de governo, acionistas e o público em geral.

Na tentativa de responder por que os acidentes ocorrem, concluímos, que em algum momento do processo a “*teoria foi diferente na prática*”, o que nos permite relacionar uma série de aspectos adversos envolvendo o fator humano e que devem ser trabalhados exaustivamente:

⇒ Os riscos não eram conhecidos ou foram subestimados no projeto, o que levou à decisão de não se estabelecer um procedimento formal para a operação;

⇒ Na mais complicada e arriscada operação os procedimentos foram ignorados;

⇒ As falhas foram detectadas e relatadas, porém foi subestimada a probabilidade de ocorrência do evento e a potencialidade do dano;

⇒ A possibilidade de falha não foi esperada para ocorrer no momento mais inoportuno, com o máximo dano e nas condições operacionais mais adversas;

⇒ Os recursos humanos e materiais não eram adequados para controlar a situação de emergência e minimizar as consequências do acidente;

⇒ Os sinais de fadiga, necessidade de manutenção e previsão de vida útil do equipamento, muitas vezes previsto pelo fabricante, foram ignorados por razões de custos ou condições operacionais ligados à pressão de produção;

⇒ Os supervisores não foram capazes de identificar o problema e fornecer uma solução rápida, acompanhada por um pequeno toque de bom senso.

As lições aprendidas com estes acidentes devem ser divulgadas a fim de evitar a recorrência de outros eventos semelhantes. Estudar o acidente é a melhor forma de se acumular experiência e conhecimento. Podemos verificar na tabela 1 abaixo os maiores acidentes do século XX.

Ano	Local	Empresa	Vítimas	Produto	Evento	Mudanças
1974	Flixborough Inglaterra	Ind. Química	28 mortos 89 feridos US\$ 150 milhões de prejuízo	Ciclohexano	Incêndio Explosão	Exigências legais para licenciamento de instalações na Grã-Bretanha
1976	Seveso Itália	ICMESA CHEMICAL	250 lesões 600 pessoas retiradas	Tetracloreto de carbono paradoxina (Agente Laranja)	Vazamento	Aprimoramentos das ferramentas de análise de risco. Exigências legais para licenciamento de instalações
1982	Rio de Janeiro Brasil	Transportador	6 mortes	Penatclorofenato de sódio (Pó da China)	Intoxicação	Surge a primeira Lei regulamentando o transporte de produtos perigosos no Brasil (Decreto 88.821/83)
1984	San Juanico - México	PEMEX (Refinaria)	550 mortes 2.000 lesões 350.00 pessoas retiradas	Butano	Incêndio Explosão	Alteração nos projetos de combate à incêndio em tanques sujeitos a BLEVE
1984	Bhopal - Índia	UNION CARBIDE	2500 mortes 50.000 lesões	Isocianato de metila	Vazamento	Legislações mais rígidas. Acionistas pressionam sobre aspectos relacionado à segurança e meio ambiente. Elaboração de políticas de segurança. Pesadas indenizações por danos
1984	Cubatão - SP - Brasil	PETROBRAS (Gasoduto)	98 mortes	NAFTA	Incêndio Explosão	A ONU incentiva projetos envolvendo indústria, governo e comunidade visando reverter a degradação ambiental.
1986	Chernobil	Usina Nuclear Estatal	300 mortes 300.000 pessoas retiradas Impactos econômicos em outros países da Europa	Plutônio e outros materiais radioativos	Vazamento radioativo	Pressão mundial para regulamentar aspectos de segurança mais rigorosos. Aperfeiçoamento dos planos de emergência. Pesquisa em sistemas alternativos de energia
1988	Escócia	Empresa de petróleo (Plataforma Piper Alfa)	167 mortes US\$ 6 milhões em prejuízos	Petróleo	Incêndio Explosão	Reavaliação dos riscos envolvendo plataformas de petróleo.
1989	URSS	Empresa estatal de petróleo	600 mortes	Gás natural	Incêndio Explosão	Reavaliação dos riscos envolvendo a comunidade vizinha a gasodutos e instalações industriais.
1989	Alasca	Exxon (Petroleiro)	Impactos ambientais e econômicos	Petróleo	Incêndio Explosão	Alteração dos projetos dos petroleiros com a obrigatoriedade de casco duplo. Incentivo ao seguro ambiental
2001	Campos - RJ - Brasil	PETROBRAS (Plataforma P36)	11 mortes US\$ 45 milhões em prejuízos	Petróleo	Incêndio Explosão	Reavaliação dos riscos envolvendo plataformas de petróleo.

Tabela 1 – Acidentes catastróficos

Fonte : Moraes, 2004

2. A importância do gerenciamento dos riscos nos Empreendimentos

O processo de gerenciamento de riscos pode ser entendido como a utilização dos recursos humanos, materiais, financeiros e tecnológicos de forma preventiva com objetivo de evitar acidentes que possam causar danos a saúde dos trabalhadores e impactos ambientais, sendo necessária identificação dos riscos, planejamento de ações de bloqueio, ações preventivas, controle e monitoramento e análise crítica para melhoria contínua e aprendizado. Dessa forma, o gerenciamento de riscos se subdivide nas fases de antecipação e identificação dos riscos, planejamento, execução de ações, controle e análise crítica

Dessa forma, podemos entender que o gerenciamento dos riscos começam no projeto, através da identificação dos possíveis desvios de processos, condições inseguras, camadas de proteção falhas, falhas combinadas e possíveis efeitos dos danos causados por um acidente. Assim é justificada a utilização das diversas técnicas de análise de riscos nas diversas fases do empreendimento, que possui o seu ciclo de vida, que é o tempo considerado desde a geração da idéia do projeto até a sua entrada em operação e por fim sua desativação/descomissionamento. Como mostra a figura abaixo

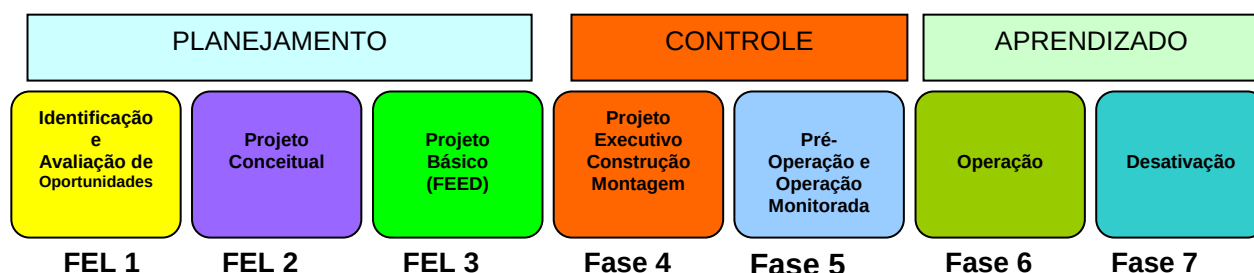


Figura 1 - Ciclo de Vida do Empreendimento

Fonte: Petrobrás, 2006

O empreendimento pode ser dividido em três grandes etapas: Planejamento, controle e Aprendizado. A etapa de planejamento engloba a fase 1 (FEL 1), a definição das necessidades do Projeto, ou seja, fase de discussão do escopo do projeto, a fase 2 (FEL 2) de Estudos Conceituais, onde ocorre a escolha da tecnologia e a fase 3 (FEL 3) de Aprovação da Demonstração e Validação de Conceito onde é verificada a viabilidade do projeto. A próxima etapa é o Controle, onde as especificações da fase anterior são verificadas nas fases 4 e 5. A fase 4, é a etapa de construção e montagem e a fase 5 é a pré- operação. A terceira e última etapa é o Aprendizado, essa etapa estão as fases 6 e 7. A fase 6 consiste na operação, e a fase 7 na desativação de uma unidade produtiva. Nessas duas últimas fases, ocorrem o grande aprendizado do empreendimento, pois as falhas das fases anteriores aparecem, sendo uma oportunidade de melhoria para novos empreendimentos. Em termos de gerenciamento de risco, essas falhas representam acidentes e impactos ambientais que devem ser evitados a todo custo, por isso a importância da utilização de diversas técnicas de análise de risco e avaliação de impacto ambiental para redução do risco do empreendimento.

Assim, cabe refletir sobre a utilização das diversas técnicas de análise de riscos nos casos dos acidentes citados na tabela 1 acima para identificar se as técnicas foram utilizadas de maneira correta e durante todas as fases do projeto, ou se o número de técnicas utilizadas foram suficientes, dado as limitações que cada técnica possui. Uma outra questão importante é o posicionamento diante da qualificação dos riscos que muitas vezes subestima seus efeitos, impossibilitando que se façam as ações preventivas necessárias. Podemos dizer que além dessas dificuldades, um dos grandes desafios do gerenciamento de risco no empreendimento é a continuidade das ações e recomendações e controle dos riscos nos processos produtivos, seja pela cultura organizacional, resistência a mudança, processo de aprendizado organizacional dentre outros fatores humanos que em muitos casos contribuem para o surgimento de condições inseguras que podem gerar acidentes. Na verdade os acidentes ocorrem por uma combinação de falhas desde a escolha de uma tecnologia pelos líderes até a falha de um equipamento. Podemos definir uma sequência de falhas como decisões falíveis, falhas latentes, pré-condições, atos inseguros e defesas do sistema. As decisões falíveis são as decisões de escopo de empreendimento tomadas pelos líderes organizacionais que adotam posturas negligentes frente aos riscos e optam por tecnologias que possibilitam a ocorrência de um acidente. As falhas latentes ocorrem no projeto, ou seja na fase do planejamento por decisões gerenciais a cerca de localização de instalações, número de camadas de proteção de sistemas, confiabilidade requerida dos sistemas de proteção dentre outras. Pré-condições são falhas na decisão dos gerentes em nível de processo que geram condições inseguras e esta relacionado por exemplo ao níveis de produção acima da capacidade do sistema, uso de materiais, insumos dentre outros. Os atos inseguros são as falhas

humanas que quando combinadas com as condições inseguras podem gerar acidentes. As defesas do sistema são as camadas de proteção que o sistema possui para impedir que as combinações das falhas humanas com as condições inseguras acarretem acidentes, assim quando as defesas do sistema são vencidas ocorre o acidente restando o acionamento do plano de emergência para tentar minimizar e controlar os efeitos do acidente. O plano de emergência é um conjunto de ações planejadas para deter, controlar ou minimizar o efeito de acidentes e emergências, sendo necessário identificação dos cenários de risco, ou seja as condições em que ocorrem as emergências, definição de procedimentos e treinamento de equipe para atuação nas emergências quando necessário. A grande dificuldade dos planos de emergência é o pequeno número de ocorrência de emergências que pela visão da segurança é benéfico, porém não dispõe situações reais para as equipes de emergência atuarem, sendo necessário que haja simulados de emergência para que as pessoas, tanto funcionários quanto a equipe de emergência hajam de forma correta

3. Gerenciamento de risco em empreendimentos

3.1. As técnicas de Análises de Riscos

As técnicas de análise de risco possibilitam a identificação dos perigos, aspectos e desvios de processo, que possam afetar a saúde e segurança dos trabalhadores, o meio ambiente e a qualidade dos produtos. Entendemos riscos como a combinação entre a frequência ou a probabilidade de um evento indesejado e a consequência do mesmo, podendo ser o risco moderado, crítico ou catastrófico, dependendo da severidade dos danos causados e da frequência. Existem várias classificações de risco, porém o importante é adotar uma política clara para gerenciar os riscos catastróficos e críticos e manter sobre controle os riscos moderados. Para realizar uma análise de risco é necessário que o processo seja mapeado para que se possa entender as interfaces internas e externas, o fluxo de produtos, tecnológico e humano.

Para identificar os perigos, aspectos ambientais e possíveis desvios de processo, qualificar e quantificá-los em termos de consequências se faz necessário a utilização das técnicas de análise de risco que podem ser caracterizadas como dedutivas ou indutivas. As técnicas dedutivas partem do perigo, aspecto ambiental ou desvio de processo para as causas e consequências com objetivo de propor ações mitigadoras. As técnicas indutivas são o contrario, investigam os possíveis efeitos de um evento desejado partindo de um desvio de processo ou evento indesejado para avaliar as causas e consequências para propor ações mitigadoras. As técnicas dedutivas e indutivas podem ser qualitativas e quantitativas.

As técnicas qualitativas, são assim denominadas porque grande parte de suas informações são baseadas na experiência e conhecimento dos envolvidos do processo analisado, apesar de algumas vezes serem utilizados bancos de dados para se definir a frequência ou probabilidade dos eventos indesejados, a severidade de tais eventos não é calculada, podendo o grupo de análise adotar uma postura conservadora ou pessimista em relação a essa classificação.

As técnicas quantitativas são avaliações de risco que buscam quantificar a vulnerabilidade da área analisada e a consequência em termos de danos físicos as pessoas dentro e fora da organização, danos materiais e ao meio ambiente. Para isso, existem modelos matemáticos e simuladores que utilizam dados de campo relativos a equipamentos, condições ambientais e variáveis que possibilitem representar o mais próximos da realidade os danos causados por eventos indesejados. Assim as técnicas de análise de risco podem ser definidas com mostra a tabela abaixo:

Técnicas de Análise de risco			
Qualitativa		Quantitativa	
Indutiva	Dedutiva	Indutiva	Dedutiva
FMEA FMECA HAZOP HAZID WHAT IF	APR	AQR SIL	FTA

Tabela 2 - Técnicas de Análise de risco
Fonte: Calixto, 2005.

3.2. As técnicas de Análises de Riscos Qualitativas

3.2.1 – What if

A técnica what if foi desenvolvida a partir dos check list, ferramenta de qualidade utilizada para controle de processo, porém a ferramenta não é utilizada para verificação de uma ação realizada ou de processo e sim para uma ação a ser realizada.

A principal idéia da técnica é desenvolver uma série de questionamento sobre uma ação operacional, mudança de processo ou no caso de projeto, sendo mais apropriada na fase de conceituação do projeto pela ausência de informações para qualificação dos riscos existentes. Apesar dessa limitação a técnica possibilita uma primeira avaliação das situações e riscos e inadequações de tecnologia que serão aprofundadas nas fases seguintes do projeto.

A técnica consiste em enumerar vários questionamentos a respeito do projeto, sendo feito questionamentos direcionados, sendo necessário profissionais de várias áreas para responder os questionamentos, pois haverá reuniões de perguntas e reuniões de respostas. Muitos questionamentos não serão respondidos inicialmente, necessitando a utilização de técnicas de análise de riscos mais específicas em outras fases do projeto. Para realização do What if é necessário um líder que conheça a técnica e possa coordenar a equipe, um auxiliar para anotar as perguntas e respostas e diversos profissionais de áreas afins de interesse do empreendimento analisado. O número de participantes é essencial para o sucesso da técnica, não havendo um número exato, porém excesso de participantes dificultarão a coordenação, podendo estender a análise e um número pequeno pode comprometer as respostas ao questionamento. Dessa forma, é necessário que haja um número de participantes suficientes para responder as perguntas das diversas disciplinas relacionadas com o empreendimento analisado, sendo a escolha dos participantes um fator crítico de sucessos.

As vantagens da técnica estão na facilidade da aplicação, possibilidade de identificação de riscos na fase de planejamento e a participação multidisciplinar que agrega muito na fase de planejamento de um projeto, porém os maiores desafios são conter os participantes em não responder as perguntas nas reuniões de pergunta, convencer os participantes que leiam os descritivos do projeto antes da reunião, fazer com que os participantes direcionem as perguntas para o auxiliar do coordenador que anota as perguntas e o comprometimento com a entrega das respostas no prazo certo.

3.2.2 – Análise Preliminar de Riscos

A análise preliminar de risco foi utilizada inicialmente na área militar para identificação em sistemas de mísseis que utilizavam combustível líquido, envolvendo perigo de explosão e incêndio, sendo uma forma de prevenção e garantia da aplicação dos procedimentos. Na indústria a APR é utilizada em processos antes da realização de atividades que envolvam perigos que possam causar acidentes graves e em projetos para identificação dos perigos nos diversos sistemas e subsistemas. Existe a diferença entre Análise Preliminar de Risco (APR) e Análise Preliminar de Perigo (APP) que no primeiro caso além de avaliar os perigos existentes é feito uma qualificação dos riscos através da qualificação das frequências ou probabilidade de exposição aos perigos e da gravidade das consequências dos acidentes ao meio ambiente e à saúde dos trabalhadores. Podemos verificar em alguns casos a análise preliminar de tarefa, podendo haver qualificação do risco ou não, sendo utilizada para tarefas específicas com objetivo de prevenção aos riscos envolvidos nas tarefas. A análise preliminar de riscos é um técnica qualitativa de risco dedutiva, ou seja, ela inicia na identificação dos perigos, sendo avaliada as causas consequências, qualificação dos riscos e propostas para bloqueio e controle dos perigos.

A APR pode ser aplicada em qualquer fase do projeto, sendo mais adequada a partir do projeto básico, sendo necessário atualizações e revisões da análise a cada mudança e detalhamento do projeto. Para realizar a APR é necessário um coordenador que conheça além da técnica, os conceitos de perigo e danos, pois é comum haver confusão desses conceito que podem comprometer as recomendações sugeridas na análise. Além do coordenador é necessário especialistas de áreas operacionais relacionadas ao empreendimento para avaliar a operacionalidade das ações propostas. A análise preliminar de perigo pode ser feita com focos em segurança ou meio ambiente. A melhor opção é ser feita integrada considerando os dois aspectos, porém é necessário uma visão integrada dos participantes o que não ocorre em muitos casos. A APR tem com principais vantagens a possibilidade de participação de um grupo multidisciplinar, a utilização de pouco tempo para análise na maioria dos casos e simplicidade da aplicação da técnica podendo ser utilizada em áreas operacionais de forma preventiva antes da realização das tarefas. As desvantagens são a dependência da percepção dos perigos no processo ou projeto por parte dos envolvidos, que no caso de esquecimento de um perigo pode ocorrer um acidente por não haver ação de controle ou bloqueio. Outra desvantagem é a utilização de uma análise feita para um processo, atividade, projeto ou tarefa em outro parecido ou no mesmo caso em outro período não havendo nesse caso discussão sobre os perigos e conseqüentemente conscientização da importância das ações e bloqueio, sendo apenas o cumprimento de uma exigência gerencial.

3.2.3 – Análise de Modos e Falhas (FMEA)

A análise de modos e falhas é uma técnica de análise de risco qualitativa e indutiva, ou seja, qualifica os riscos e defini os efeitos indesejados a partir da identificação dos equipamentos, seus modos de falhas e efeitos em outros componentes e no sistema. A FMEA tem a vantagem de relacionar a falha de um equipamento específico com outros equipamentos e sistema, possibilita a identificação dos diversos modos de falha de um equipamento permitindo que a prevenção seja mais específica. Pode ser usada para identificação dos modos de falha e monitoramento de falhas de equipamentos, sendo fundamental no estudo de confiabilidade de sistema voltado para os sistema de proteção contra acidentes ou para definição de configuração de projetos de plantas industriais, equipamentos ou produtos. A limitação da técnica esta relacionado a não haver a análise de falhas combinadas que pode causar uma certa vulnerabilidade ao sistema. Para aplicação da técnica é necessário um coordenador que conheça bem as técnicas, representantes da operação, manutenção e processo que conheçam o equipamentos e os processos analisados e uma base de dados que permita identificar os modos de falha as probabilidades e efeitos indesejados.

Uma variação do FMEA é a FMECA, conhecida como Análise de modos, falhas e criticidade que qualifica os modos de falha dos equipamentos pela probabilidade de falhas, severidades e criticidade da falha para o sistema.

A maior dificuldade da FMEA é o entendimento e definição dos modos de falha

3.2.4 – Análise de Riscos e Operabilidade (Hazop)

O método HAZOP foi introduzido inicialmente pelos engenheiros da empresa inglesa ICI Chemicals na metade dos anos 70. Uma vez verificadas as causas e as conseqüências de cada tipo de desvios, esta técnica procura propor medidas para eliminar, mitigar ou controlar em níveis aceitáveis o risco ou quem sabe até sanar o problema de operabilidade da instalação. É uma técnica estruturada em palavras guias, desvios, causas, conseqüências e recomendações sendo a técnica mais formalizada em termos de metodologia sendo necessário experiência e conhecimento na aplicação da técnica para uma análise de processo de projetos. Isso exige um coordenador que conheça a técnica, além de representantes da operação, processo, manutenção, instrumentação e projeto. Recomenda-se que a técnica não seja feita por um tempo muito prolongado, havendo várias reuniões de meio período de trabalho o que dificulta a aplicação da técnica devido as diversas conciliações de tempo dos integrantes da equipe de Hazop. Na pratica as análises são feitas em dias seguidos e em um período de trabalho diário com alguns intervalos definidos para não atrasar o andamento do projeto e facilitar na reunião de profissionais de diferentes áreas e locais. As vantagens do Hazop é a metodologia rígida que obriga avaliar todo o processo através da definição dos nós, ou seja limites a serem avaliados nos processos estabelecidos nos desenhos de engenharia dependendo do entendimento do grupo a respeito dos possíveis efeitos, causas e tipos de produtos. É interessante que a definição dos nós seja feito junto com a equipe de Hazop, devido ao conhecimento dos representantes de processo, operação e projeto. As desvantagens do Hazop são a monotonia da técnica que segue desvio a desvio os diversos equipamentos que pertence aos nós definidos, a desconsideração de falhas combinadas e o excesso de foco dado ao processo que pode deixar passar questões importantes relativo a saúde e ao meio ambiente. O principal desafio do Hazop é manter as discussões da equipe voltadas para identificações das conseqüências dos desvios e recomendações. Existe uma tendência natural das equipes discutirem processo sem muitas vezes agregar valor para análise do Hazop, porém essas discussões são necessárias para garantir a qualidade das recomendações. Podemos ver nas tabelas 8 e 9 abaixo as palavras guias e os desvios padronizados do Hazop.

3.3 - As técnicas de Análises de Riscos Quantitativas

As técnicas quantitativas de riscos tem como objetivo quantificar a probabilidade e os efeitos dos eventos indesejados que podem gerar acidentes e seus efeitos no meio ambiente, saúde dos trabalhadores e equipamentos baseado em dados através de aplicação de modelos matemáticos. Dessa forma é essencial que se tenha uma base de dados confiáveis e informações que possam viabilizar a aplicação das técnicas quantitativas. Assim veremos a seguir algumas técnicas quantitativas de risco como a AQR, Árvore de falhas e SIL.

3.3.1 – Análise de Efeitos e Conseqüências (AQR)

A análise de efeitos e conseqüências tem como objetivo estimar os danos gerados pelos acidentes através de cálculos baseado nos diversos tipos de cenários como liberação de nuvem tóxica, incêndio, explosão dentre outros e seus efeitos ao meio ambiente, instalações e saúde dos trabalhadores. Para a realização da AQR é necessário a identificação dos perigos pelas diversas técnicas de análise de risco e análise dos cenários para quantificação das conseqüências.

Assim é sempre recomendável que esforços sejam feitos para redução dos riscos, porém é necessário critérios para possibilitar a comparação com parâmetros de aceitabilidade. Para isso é necessário a comparação do risco de acidente

do cenário em questão com os critérios de riscos sociais adotados, que podem ser definidos pela probabilidade da morte de um número de indivíduo expostos em um acidente. A avaliação do risco social é feita pela frequência de acidente relacionado ao número de mortes através da conhecida curva F-N (F- frequência, N- número de mortes). Essa frequência deve ser comparada com o risco tolerável , que é conhecido como região ALARP (as low as reasonable possible).

Além dos riscos sociais a tolerabilidade ao risco pode ser avaliada pelo risco individual , sendo definido como a probabilidade de mortes de um indivíduo . O risco individual pode ser entendido como o numero de indivíduos exposto ao risco social ($R_i = R_s / N^\circ$ indivíduos expostos). O risco individual leva em consideração a probabilidade de exposição ao evento. Assim é de vital importância a avaliação das áreas vulneráveis e os efeitos ocasionados por acidentes catastróficos ao meio ambiente , trabalhadores e população.

A metodologia de Análise de Vulnerabilidade é um conjunto de modelos usados para estimativa das áreas vulneráveis sujeitas aos efeitos danosos de acidentes catastróficos. Estes acidentes catastróficos geram efeitos físicos que podem gerar danos aos trabalhadores, comunidade e meio ambiente.

A avaliação dos efeitos físicos de acidentes catastróficos como de vazamentos de produtos perigosos, incêndios e explosões, dependendo do tipo de material e das condições em que este se encontra, pode requerer o uso de modelos, os quais possibilitam o cálculo de:

- Descarga: Quantidades vazadas ou taxas de descarga de material (líquido, gasoso e bifásico);
- Evaporação súbita ("flasheamento") de líquidos superaquecidos;
- Espalhamento das poças de líquidos ou gases liquefeitos e evaporação;
- Dispersão de gases leves ou pesados na atmosfera;
- Determinação dos Efeitos Tóxicos e Inflamáveis;

Para os cenários de acidente identificados, são feitas análises matemáticas dos efeitos dos acidentes, visando determinar a magnitude dos mesmos. Para a avaliação da área vulnerável, a primeira etapa é a "caracterização do cenário de acidente", que consiste na apresentação de todas as condições físicas e das hipóteses necessárias para *Análise de riscos*. A determinação dos efeitos físicos do acidente, tais como, a localização do vazamento (ponto de liberação), o produto envolvido e as suas condições termodinâmicas no momento do vazamento.

3.2.2 – Avaliação do Nível de Integridade e Segurança (SIL)

A técnica de nível de integridade e segurança iniciou nos EUA na Indústria mecânica através do Gestão de Segurança de Processo, sendo um padrão da OSHA solicitado pela indústria para assegurar integridade nos sistemas de emergência e controles, o mesmo ocorrendo na União européia . Nos EUA, a ISA (Instrumentation, System and Automation Society) publicou a ANSI/ISA-84.01-1996. A IEC (International Electrotechnical Commission) criou um documento similar, IEC 61508 cobrindo várias indústrias.

Essa norma tem como principal objetivo definir níveis de integridade de malhas para servir como base para especificações de malhas de controle.

O nível de integridade de segurança (SIL) esta relacionado com a probabilidade de falha na demanda de uma dada função (SIF). Na verdade cada perigo esta relacionado a uma função (SIF) que esta dentro de um sistema de proteção (SIS), sendo composto por uma ou mais funções de integridade (SIF).

Assim, cada SIL corresponde a uma função (SIF), sendo necessário avaliar a probabilidade de falha na demanda, ou seja, a seleção do SIL para comparar com o nível de integridade definido por norma. Em seguida é feito a definição do SIL, sendo necessário a configuração da função de integridade e segurança (SIF) para atingir o nível de integridade requerido. Para seleção do SIL é necessário identificação dos perigos e das SIF associadas assim com a probabilidades de falhas na demanda como mostra a tabela 3 abaixo.

Classe de Malha de Segurança	PFD	SIL	Classe AK
I	$\geq 10^{-1}$	0	-
II	$\geq 10^{-1}$	0	1
III	$\geq 10^{-2} - < 10^{-1}$	1	2-3
IV	$\geq 10^{-3} - < 10^{-2}$	2	4
V	$\geq 10^{-4} - < 10^{-3}$	3	5
VI	$\geq 10^{-4} - < 10^{-3}$	3	6
X	$\geq 10^{-5} - < 10^{-4}$	4	7-8

Tabela 3 - SIL (Criticidade de malhas)
Fonte: Scharztz, 2002

Quanto maior o SIL maior o nível de segurança da função de integridade e segurança.. O estudo do nível de integridade e segurança é feita em três fases, análise, realização e operação. Na análise são identificados os perigos e riscos através de várias técnicas de análise de riscos como Hazop, AQR dentre outras e definido o nível de integridade das funções de integridade de segurança. Na fase de realização são configurados os sistemas de proteção adequados para atingir o nível de integridade desejado através da escolha da melhor tecnologia baseado na confiabilidade dos equipamentos de forma a atingir o nível de integridade desejado tendo como parâmetro as normas IEC 61508, IEC 61511, ISA84.01-2004 dentre outras. Na fase de operação as funções de integridade e segurança

3.2.3 – Árvore de Falhas

A árvore de falhas é uma técnica de análise de risco baseada na Lógica Boleana, que considera a probabilidade de ocorrência de eventos indesejados que podem gerar um evento topo, ou seja, um evento indesejado como explosão, incêndio dentre outros, sendo uma técnica dedutiva, pois a análise se inicia do evento topo para os demais eventos causadores sendo eventos independentes porém podem desencadear o evento topo seja pela combinação de vários eventos ou por eventos isolados. O objetivo da técnica é considerar a combinação de vários eventos para a geração do evento topo indesejado, sendo possível identificar os eventos geradores principais para gerenciamento e controle de forma a evitar a ocorrência do evento topo. A árvore de falhas ou FTA (fault tree analyse) tem a vantagem de considerar eventos combinados que outras técnicas de análise de risco não possuem, porém é totalmente dependente das probabilidades definidas para cada evento, exigindo banco de dados confiáveis, caso contrário a análise pode ficar comprometida, indicando probabilidades que não representam a realidade. Quando dizemos combinação de eventos estamos interessados nas probabilidades resultantes assim a combinação dos eventos A e B pode ser representado como:

$$P(A) \cup P(B) = P(A) + P(B) - P(A) * P(B)$$

$$P(A) \cap P(B) = P(A) * P(B)$$

As probabilidades estão relacionadas as combinações dos eventos havendo uma codificação que representa e/ou, sendo representado pelo exemplo abaixo na figura 2, no caso de uma explosão de um tanque simulado no software Blocksim, considerando as probabilidades como funções de probabilidades exponenciais.

$$P(\text{Topo}) = \{P(P(E0)*P(E1))\} * \{P(P(E2)*P(E3)) + (P(P(E4)+P(E5)))\}$$

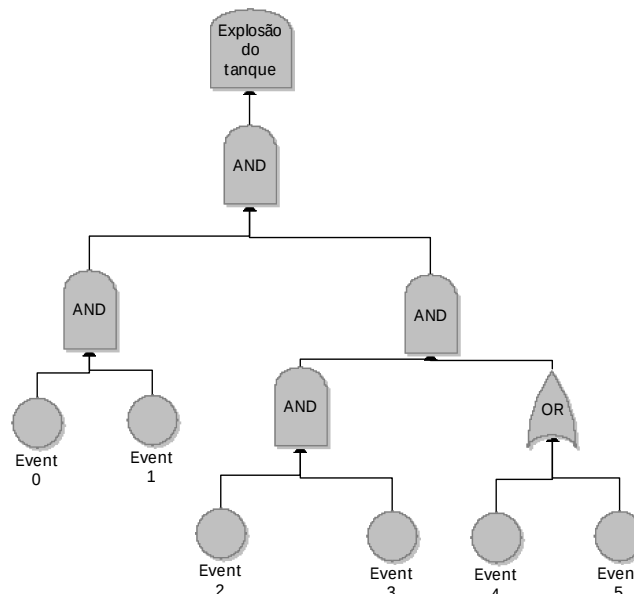


Figura 2 - Árvore de falhas

Fonte: Calixto, 2005

Os eventos podem ser assim descritos :

E0 = Falha no sistema de intertravamento automático

E1 = Falha humana no bloqueio manual
 E2 = Aumento de vazão de produto
 E3 = Falha na válvula de retenção na entrada do tanque
 E4 = Falha na linha de bypass
 E5 = Falha na válvula de alívio

4. Gerenciamento de Riscos em Empreendimentos : Um estudo de caso na Indústria do petróleo.

4.1– Metodologia de Gerenciamento de Riscos na Indústria do Petróleo.

O gerenciamento de riscos em empreendimentos é uma atividade vital para a prevenção de acidentes futuros na operação das plantas projetadas, sendo possível evitar possíveis danos ambientais e a saúde dos trabalhadores através da aplicação das técnicas de análise de riscos ao longo do projeto.

Como observamos acima as técnicas de análise de risco, tanto qualitativa quanto quantitativas possuem limitações , dessa forma devem ser empregadas para se completarem possibilitando uma visão completa dos perigos dos processos projetados, seus produtos e subprodutos possibilitando que ações de bloqueio, recomendações e salvaguardas sejam inseridas ao longo do processo. Isso requer uma disciplina no gerenciamento das informações, assim como uma política definida para prevenção aos riscos de forma a evitar que fatores como o custo e o tempo sejam prioritários em relação ao meio ambiente a saúde e segurança dos trabalhadores. Podemos verificar na figura 3 abaixo a metodologia de gerenciamento de riscos aplicados atualmente na Petrobrás.

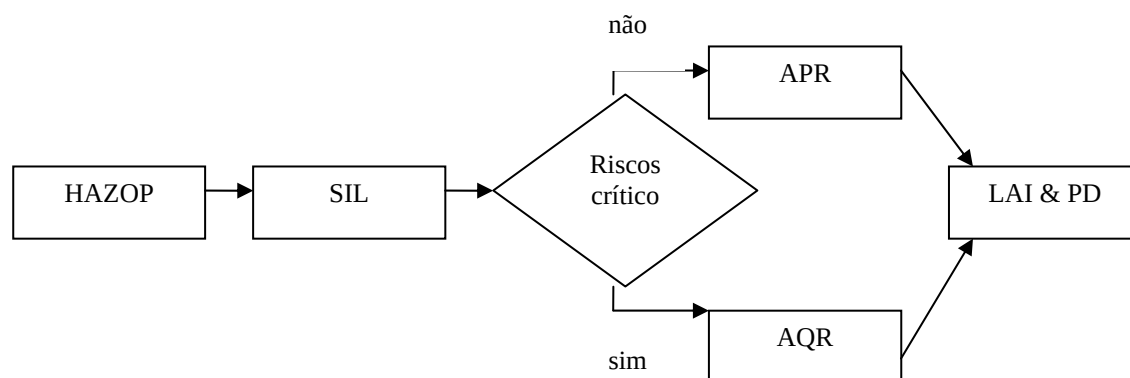


Figura 3- Metodologia de gerenciamento de Riscos em Empreendimentos na Indústria do petróleo.
 Fonte: Petrobrás, 2005

Inicialmente a primeira técnica de análise de risco empregada nos empreendimentos, principalmente na Indústria de Petróleo ocorre na fase de desenvolvimento de projeto básico com aplicação do Hazop. Dessa forma, são levantados os possíveis desvios e feitas recomendações, que podem ser contestadas pelos projetistas das unidades e não implementadas. Em seguida é feita a análise de malhas ocorrendo a seleção e definição do SIL. Essa análise é desenvolvida a partir das recomendações do Hazop e plantas de engenharia definindo os SIF e seus perigos associados. Em seguida, na fase de detalhamento, caso seja identificado algum risco catastrófico, seja pela natureza da Unidade ou pelo histórico de acidentes é feito a AQR. Após o detalhamento é realizada uma APR para licenciamentos ambientais de operação e posteriormente uma avaliação de aspectos e impactos dos processos, sendo identificados os perigos e aspectos ambientais dos processos sendo proposto ações de bloqueio, objetivos, metas e projetos de melhoria.

As técnicas empregadas acima são eficientes na detecção dos perigos e possíveis impactos ambientais, porém podem e devem ser complementadas por outras técnicas para maior eficiência na detecção e propostas de mitigação e eliminação dos perigos.

4.2 – Proposta de metodologia de gerenciamento de Riscos em Empreendimentos

Como podemos observar, o HAZOP, a AQR, o SIL e a APR não são suficientes para o levantamento dos perigos e aspectos ambientais críticos devido suas limitações, sendo necessário o emprego de outras técnicas para melhor identificação e quantificação dos possíveis danos a saúde do trabalhador e ao meio ambiente. Apesar de serem feitas técnicas que ajudam na identificação e mitigação dos riscos, o HAZOP, a AQR, o SIL e a APR não são suficientes. No primeiro caso, o HAZOP não considera falhas combinadas, no segundo caso, a AQR contempla um cenário fixo e as

simulações tem limitações teóricas além dos impactos ambientais serem pontuais. A seleção e definição de SIL, muitas vezes é feita de forma qualitativa e dependendo do julgamento dos integrantes da análise os níveis de proteção podem ser subestimados. No caso da APR, algum perigo crítico pode não ser levado em consideração.

Uma das maiores vulnerabilidades da metodologia da análise de risco feita em projetos é não considerar a possibilidade de falhas simultâneas, pois nenhuma das técnicas mostradas na metodologia acima quantifica essa possibilidade.

Podemos observar que a metodologia é altamente voltada para identificação dos perigos mas não leva em consideração os possíveis impactos ambientais, principalmente os causados a longo prazo como a queima de H₂S no flaire. Assim, é necessário que sejam implementadas as técnicas de análise de risco desde a concepção do projeto através de técnicas como checklist ambiental e what if, possibilitando a verificação da viabilidade em termos de riscos, ajudando na definição da tecnologia mais adequada e posteriormente a aplicação de técnicas quantitativas como a árvore de falhas, nos casos de possibilidade de eventos combinados, resultando em danos catastróficos, FMEA para identificação de falhas e modos de falhas dos equipamentos e seus efeitos nos sistemas, análise RAM para possibilitar a avaliação da confiabilidade dos equipamentos e disponibilidade da planta, sendo necessário a avaliação antes e depois de recomendações para avaliar o impacto de salvaguardas como intertravamentos nos sistemas, análise de impacto ambiental como matriz de Leopold dentre outros métodos para possibilitar a quantificação e efeitos no meio ambiente, sendo completada com Valoração dos recursos ambientais e finalmente as APR para licença ambientais e levantamento de aspectos/ impactos e perigos e danos de processo.

A avaliação dos recursos ambientais é de vital importância para identificação dos custos de oportunidades da não operação das Unidades em caso de poluição deixando de obter lucro para a preservação do meio ambiente. Segundo Seroa (1997), o valor econômico dos recursos ambientais geralmente não é observável no mercado através de preços que reflitam seu custo de oportunidade. Então, devemos perceber que o valor econômico dos recursos ambientais é derivado de todos os seus atributos e, segundo, que estes atributos podem estar ou não associados a um uso. Ou seja, o consumo de um recurso ambiental se realiza via uso e não-uso. Vamos explorar com mais detalhes estas considerações. Um bem é homogêneo quando os seus atributos ou características que geram satisfação de consumo não se alteram. Outros bens são, na verdade, parte de classes de bens ou serviços compostos. Nestes casos, cada membro da classe apresenta atributos diferenciados, como, por exemplo, automóveis, casas, viagens de lazer e também recursos ambientais.

No caso de um recurso ambiental, os fluxos de bens e serviços ambientais, que são derivados do seu consumo, definem seus atributos. Entretanto, existem também atributos de consumo associados à própria existência do recurso ambiental, independentemente do fluxo atual e futuro de bens e serviços apropriados na forma do seu uso. Assim, é comum na literatura desagregar o valor econômico do recurso ambiental (VERA) em valor de uso (VU) e valor de não-uso VNU como mostra a figura 26. Valores de uso podem ser, por sua vez, desagregados em:

➤ Valor de Uso Direto (VUD) - quando o indivíduo se utiliza atualmente de um recurso, por exemplo, na forma de extração, visitação ou outra atividade de produção ou consumo direto;

➤ Valor de Uso Indireto (VUI) - quando o benefício atual do recurso deriva-se das funções ecossistêmicas, como, por exemplo, a proteção do solo e a estabilidade climática decorrente da preservação das florestas;

➤ Valor de Opção (VO) - quando o indivíduo atribui valor em usos direto e indireto que poderão ser optados em futuro próximo e cuja preservação pode ser ameaçada. Por exemplo, o benefício advindo de fármacos desenvolvidos com base em propriedades medicinais ainda não descobertas de plantas em florestas tropicais.

➤ O valor de não-uso (ou valor passivo) representa o valor de existência (VE) que está dissociado do uso (embora represente consumo ambiental) e deriva-se de uma posição moral, cultural, ética ou altruística em relação aos direitos de existência de espécies não-humanas ou preservação de outras riquezas naturais, mesmo que estas não representem uso atual ou futuro para o indivíduo.

Uma expressão simples deste valor é a grande atração da opinião pública para salvamento de baleias ou sua preservação em regiões remotas do planeta, onde a maioria das pessoas nunca visitarão ou terão qualquer benefício de uso. Há também uma controvérsia na literatura a respeito do valor de existência representar o desejo do indivíduo de manter certos recursos ambientais para que seus herdeiros, isto é, gerações futuras, usufruam de usos diretos e indiretos ("bequest value"). É uma questão conceitual considerar até que ponto um valor assim definido está mais associado ao valor de opção ou de existência. O que importa para o desafio da valoração, é admitir que indivíduos podem assinalar valores independentemente do uso que eles fazem hoje ou pretendem fazer amanhã. Assim, uma expressão para VERA seria a seguinte:

$$\text{VERA} = (\text{VUD} + \text{VUI} + \text{VO}) + \text{VE} \quad (2)$$

QUADRO 1 TAXONOMIA GERAL DO VALOR ECONÔMICO DO RECURSO AMBIENTAL			
Valor Econômico do Recurso Ambiental			
Valor de Uso			Valor de Não-Uso
Valor de Uso Direto	Valor de Uso Indireto	Valor de Opção	Valor de Existência
bens e serviços ambientais apropriados diretamente da exploração do recurso e consumidos hoje	bens e serviços ambientais que são gerados de funções ecossistêmicas e apropriados e consumidos indiretamente hoje	bens e serviços ambientais de usos diretos e indiretos a serem apropriados e consumidos no futuro	valor não associado ao uso atual ou futuro e que reflete questões morais, culturais, éticas ou altruísticas

Tabela 4 - Valor Econômico dos recursos ambientais

Fonte: Seroa, 2005

Alem da identificação dos perigos e aspectos ambientais, é necessário o gerenciamento das informações de forma que as recomendações sejam avaliadas e implementadas ao longo do projeto possibilitando a melhoria continua, assim a proposta de metodologia de técnicas de avaliação de impacto ambiental e análise de risco pode ser verificada na figura 4 abaixo.

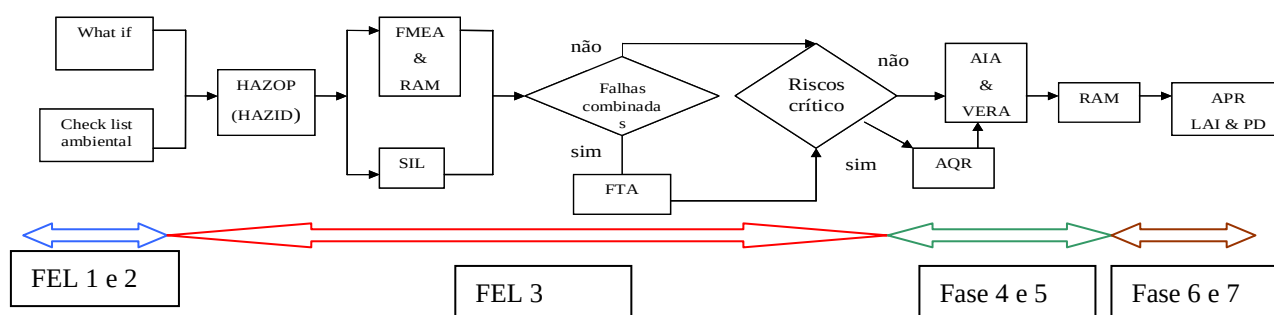


Figura 4 - Metodologia de gerenciamento de risco em empreendimentos

Fonte: Petrobras, 2005

5. CONCLUSÃO

A aplicação de diversas técnicas de análise de riscos tem o potencial de redução dos acidentes catastróficos, porém é necessário que as recomendações sejam avaliadas e implementadas a tempo de evitar os danos catastróficos. A coordenação do gerenciamento de risco requer não só conhecimento das técnicas de análise de risco, análise de impactos ambientais e valoração econômica dos recursos econômico como conhecimento da equipe e grande capacidade de gerenciamento de recursos humanos devido a necessidade de coordenação de diversas equipes ao longo das diversas fases do empreendimento.

O custo da implantação de gerenciamento de riscos em empreendimentos pode impactar significativamente nos fluxos de caixa do empreendimentos, que no caso de grandes projetos pode se diluir nos períodos futuros, porém em pequenos projetos podem inviabilizar o projeto em termos de custo, sendo um desafio a ser superado, ou seja, como viabilizar o gerenciamento de risco em projetos de pequeno porte devido ao seu alto custo, porém de vital importância. Nesse caso se faz necessário o treinamento da força de trabalho na aplicação das diversas técnicas mencionadas.

A mudança cultural, o aprendizado organizacional, a resistência a mudança e a relação de poder dentro das equipes são fatores críticos de sucesso, pois o comprometimento com a segurança e com o meio ambiente é o fator principal para garantir a sustentabilidade dos empreendimentos. Dessa forma, as mudanças metodológicas devem ser feitas a longo prazo para que todas as partes interessadas percebam valor no gerenciamento de riscos nos empreendimentos.

A vida humana e o meio ambiente valem mais que qualquer empreendimento, sendo o principal valor que os integrantes das equipes de projetos, operação e partes interessadas devem ter para a execução de um empreendimento.

6. Referências

Calixto, Eduardo; Schmitt, William. Análise Ram do projeto Cenpes II. Petrobrás. Rio de janeiro 2005.

DNV, Apostila de Análise de riscos, 2003

Dupon, Apostila de Análise de riscos em processos, 2004

Duarte, Moacir. Riscos industriais: Etapas para investigação e a prevenção de acidentes. Funenseg. Rio de janeiro, 2002.

Lara, Eduardo Silva. Prevenção e Controle da poluição nos setores energético, industrial e de transporte. Rio de janeiro , 2000

La Rovre, Emilio Lélbre . Notas de aula. Poluição ambiental. PPE, Rio de janeiro 2005

Marzal, Edward M; Scharpf, Eric. Safety integration Level selection. Systematics methods including layer of protection Analysis. The Instrumentation , systems and Automation Society. 2002

Moraes, Giovanni de Araujo. Elementos do Sistema de Gestão de segurança meio ambiente e saúde ocupacional. Gerenciamento Verde Consultoria Rio de Janeiro: 2004

OHSAS 18001 .Especificação do Sistema de Gestão e Saúde Ocupacional. Healthand Safety Assessment Series.BSI,1999.

SEROA DA MOTTA, R. Manual de Valoração Econômica de Recursos Ambientais, IPEA/MMA/PNUD/CNPq, Rio de Janeiro, 1997.