

Aplicação do SPAR-H na operação de britagem de minério de urânio

Ana C. A., Salvador A.F.
Universidade Federal da Bahia, Brasil

1. INTRODUÇÃO

As mudanças relacionadas à ciência e tecnologia vêm ocorrendo muito rapidamente a partir do início do século XX, estando relacionadas na sociedade, na economia, na política, no mundo e no Brasil impondo as empresa na necessidade de novas estratégias e sugerindo que os modelos de gestão tradicionais não são suficientes para responder aos novos desafios que surgem a cada dia.

A intensificação da atividade industrial tornou suas técnicas de produção cada vez mais sofisticadas, em todos os ramos industriais a gestão da segurança e saúde no trabalho busca na prevenção, realizando sempre intervenções para impedir ou corrigir os desvios e as não conformidades do processo que poderá acarretar em acidentes.

A tecnologia nuclear tem como uma das finalidades gerar eletricidade, correspondendo hoje um total de 17%. Apesar de não gerar os gases do efeito estufa, o perigo se encontra nos resíduos de alta radioatividade e na possibilidade de acidente nas usinas, que podem ser devastadores.

Na história já se contabiliza inúmeros desastres industriais relacionados à área nuclear, como por exemplo, o acidente em Chernobyl quando um reator da usina explodiu, liberando uma nuvem radioativa, com 70 toneladas de urânio e 900 de grafite, na atmosfera.

Documentários e relatórios oficiais dizem que houve falha humana ao realizar os testes em uma potência baixa, fato previsto como perigoso nos manuais de procedimentos. Após a consolidação da análise da confiabilidade de equipamentos é que se iniciaram os estudos sobre o componente humano, como o indivíduo pode cometer erros que levam às falhas dos sistemas mecânicos e o que leva a tais erros (os fatores existentes no contexto e aqueles inerentes a cada pessoa).

Desta forma o estudo da Confiabilidade Humana vem crescendo cada vez mais, para que assim possa evitar os riscos causados na má realização das tarefas impostas a seus operadores. Atualmente existem diversas técnicas para análise da confiabilidade humana, no entanto muitas delas apresentam certo grau de complexidade, tais como, SPAR-H, THERP, entre outros.

A técnica SPAR-H (*Simplified Plant Analysis Risk-Human Reliability Analysis*) tem como finalidade analisar o nível de confiabilidade humana no processo. Neste contexto, este trabalho visa realizar uma análise da confiabilidade e desempenho utilizando a técnica SPAR-H, em uma indústria de beneficiamento de minério de urânio, mais especificamente no processo de britagem da empresa.

2. OBJETIVOS DO TRABALHO

A produção de produtos químicos passou de 1 milhão de toneladas, em 1940, para 400 milhões de toneladas em 1990 (notas de aula de Sílvio Viera de Melo). Para acompanhar esse ritmo de produção, os processos tornaram-se cada vez mais complexos, porém investimentos em segurança não acompanharam o mesmo ritmo.

Como consequência direta disso, observamos que explosões, incêndios, vazamentos de resíduos tóxicos e ocorrências afins têm se tornado cada vez mais comuns – enquanto alguns deles não podem ser considerado graves, outros marcaram história pelo alto número de pessoas mortas, feridas ou indiretamente prejudicadas, ativos inteiro sem destruídos. Tudo isso impactando na imagem e credibilidade da empresa.

A história já contabiliza inúmeros desastres industriais, como em 1921 uma explosão em Oppau, na Alemanha que matou 561 pessoas. Em 1986, o desastre de Chernobil na então URSS foi considerado como o pior acidente nuclear da história em termos de custo e de mortes resultantes. A ONU atribuiu 56 mortes até aquela data e estimou que cerca de 4000 pessoas morrerão de doenças relacionadas com o acidente.

Um incêndio e explosões no Porto de Santos, Brasil, em 2015, não deixaram feridos. No entanto, 10 toneladas de peixe foram encontrados mortos boiando e estudos apontam contaminação do rio. Os reais impactos ainda não foram calculados.

Esses casos mostram apenas um resumo dos principais acidentes industriais que ocorreram ao longo dos anos, muitos outros foram registrados. A grande maioria desses acidentes teve como causa o erro humano.

Todos esses acidentes corroboram para a importância do estudo do homem no seu ambiente de trabalho e fez nascer um novo campo da ciência, a saber: confiabilidade humana.

3. DESCRIÇÃO DO TRABALHO REALIZADO

3.1 A Indústria Nuclear no Brasil

As questões ambientais ligadas ao aquecimento global têm levado alguns países a adotarem uma política energética que contribua para a redução de gases ligados ao efeito estufa, preservação de seus ecossistemas e suprir sua demanda por energia

Preocupações com o meio ambiente, principalmente relacionadas ao aquecimento global, além das exigências do protocolo de Kyoto, tem levado Governos a diminuir a fatia participativa de combustíveis fósseis em suas matrizes energéticas.

O urânio é um elemento amplamente distribuído na crosta terrestre. Seu uso principal é como combustível para reatores de energia nuclear. A Energia Nuclear é a forma de se obter e utilizar energia a partir da fissão do átomo. É por meio da fissão, que se entende a cisão do núcleo de um elemento químico provocada pelo bombardeio de um nêutron. Esta cisão libera outros nêutrons que vão dividir outros núcleos, na chamada reação em cadeia.

Para se ter idéia da potência deste isótopo, para gerar a mesma quantidade de energia contida em 10g de U-235, seriam necessários 700Kg de petróleo ou 1.200Kg de carvão. Assim, o emprego da radioatividade e da energia nuclear estão cada vez mais desenvolvidos em todo o mundo [1].

Atualmente existem cerca de 440 reatores nucleares em funcionamento no mundo e em torno de 30 reatores estão em processo de construção. Os Estados Unidos são responsáveis pela maior parte dessa produção, com um total de 104 usinas nucleares. Outros países que contribuem fortemente para este panorama são a França, Rússia, Japão e Alemanha, somando 38% da produção de energia elétrica mundial a partir de energia nuclear [2].

O Brasil possui uma das maiores reservas mundiais de urânio o que permite o suprimento das necessidades domésticas a longo prazo e a disponibilização do excedente para o mercado externo.

De acordo com a Eletrobras [3] o parque elétrico brasileiro tem mais de 65% da capacidade instalada de geração de origem hidráulica, com longas linhas de transmissão até os grandes centros consumidores, a importância de Angra 1 e Angra 2 para a estabilização do sistema elétrico no eixo Rio-São Paulo é muito grande. São 640 MW de Angra 1 e 1.350 MW de Angra 2, fundamentais para a melhoria da confiabilidade no fornecimento de energia elétrica para o sistema da Região Sudeste. A energia nuclear respondeu em 2014 por 2,87% da geração do Sistema Interligado Nacional e, particularmente, no que diz respeito ao Rio de Janeiro, corresponde a um terço do consumo cativo total de energia elétrica do estado.

Ainda segundo a Eletrobras [3], Angra 3 acrescentará outro bloco de energia similar ao de Angra 2. Com as três usinas em operação, o complexo nuclear de Angra dos Reis terá um potencial de geração total de aproximadamente 29.700.000 MWh por ano, sendo capaz de atender a cerca de 60% da demanda energética do Estado do Rio de Janeiro, se considerarmos os dados de 2014.

Em 2014, a produção de energia elétrica de Angra 1 e Angra 2, juntas, foi de 15.434.507,1 MWh – o que representa 2,87% da geração de energia elétrica do Sistema Interligado Nacional (SIN). Segundo dados do Operador Nacional do Sistema Elétrico (ONS), a nuclear foi a quinta maior fonte de geração elétrica, ficando atrás das hidroelétricas e das térmicas a gás, a óleo e carvão [3].

3.2 Acidentes envolvendo a Indústria Nuclear

A energia nuclear corresponde hoje a 17% da geração de energia elétrica mundial. Apesar de não gerar os gases do efeito estufa, o perigo se encontra nos resíduos de alta radioatividade e na possibilidade de acidente nas usinas, que podem ser devastadores. O maior desastre nuclear da história ocorreu em Chernobyl, na região da Ucrânia, em 26 de abril de 1986, quando um reator da usina apresentou problemas técnicos, liberando uma nuvem radioativa, com 70 toneladas de urânio e 900 de grafite, na atmosfera. O acidente é responsável pela morte de mais de 2,4 milhões de pessoas nas proximidades e atingiu o nível 7, o mais grave da Escala Internacional de Acidentes Nucleares (INES). [4]

As lições que puderam ser aprendidas com o acidente foram numerosas e em várias áreas, incluindo a segurança do reator e administração em caso de acidentes severos, critérios de intervenção, procedimentos de emergência, comunicação, tratamento médico das pessoas irradiadas, métodos de monitoramento, processos radioecológicos, supervisão da região e da agricultura, informação pública, etc. [5]

3.3 Confiabilidade Humana

Todos esses estudos corroboram para a importância do estudo do homem no seu ambiente de trabalho e fez nascer um novo campo da ciência, a saber: confiabilidade humana. Para Pallerosi [6] a definição da confiabilidade humana se dá de forma que a probabilidade de que uma pessoa não falhe no cumprimento de uma tarefa (ação) requerida, quando exigida, em um determinado período de tempo em condições ambientais apropriadas com recursos disponíveis para executá-la.

Por essa definição, se as falhas podem ser medidas elas também podem ser previstas, quantificadas e, conseqüentemente, minimizadas [6]. No entanto, apesar do termo confiabilidade humana ser introduzido nos meados do século passado por Williams [7] e dada a sua extrema importância, ainda hoje a análise de confiabilidade humana não está completamente difundida no meio industrial brasileiro, mesmo aqueles que apresentam grandes riscos em função de sua atividade como é o caso da indústria de petróleo [8].

Atualmente existem diversas técnicas para análise da confiabilidade humana, no entanto muitas delas apresentam certo grau de complexidade. A quantificação das falhas humanas [6], pode ser obtida por duas vias como demonstrado na figura 1.

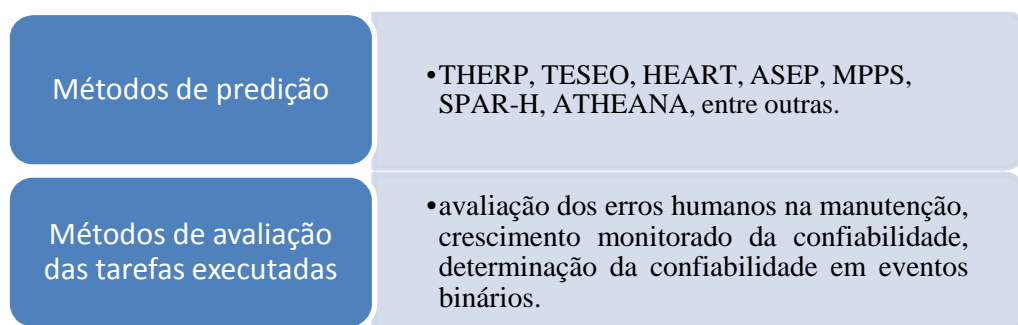


Figura 1 – Vias de quantificação das falhas humanas.

Como discutido anteriormente, erros humanos têm sido apontados como principal causa de acidentes nas indústrias de processo, assim é necessário identificar os fatores que podem influenciar o desempenho humano em seu ambiente de trabalho [9]. O AMERICAN PETROLEUM INSTITUTE, em 2001, por meio da norma API 770, identificou 64 fatores de desempenho humano na análise da confiabilidade humana em atividades de gerenciamento de segurança. Algumas das técnicas baseiam-se nesses fatores de desempenho humano, como é o caso da THERP, ATHEANA, SPAR-H, entre outras.

3.4 O método SPAR-H

O método SPAR-H (*Simplified Plant Analysis Risk-Human Reliability Analysis*) é um método simplificado utilizado para analisar o nível de confiabilidade humana no processo [9]. Este método foi desenvolvido pela Comissão Reguladora Nuclear (NRC, acrônimo em inglês), em conjunto com o laboratório nacional de Idaho, em 1994. Seu nome atual, SPAR-H, foi dado em 1999. O principal objetivo dessa técnica é definir probabilidade de falha humana em relação à influência do fator de desempenho humano (PSF, acrônimo em inglês). Tal metodologia requer opinião de especialistas, a fim de definir a influência desses fatores que segue valores padrão [7].

Nessa técnica são avaliados apenas oito (8) PSFs conforme descrito na Tabela 1. Cada fator possui valores (multiplicador) segundo a adequação da atividade e somados segundo a Equação 1.

$$HEP = \frac{NHEP * PSF_{composite}}{NHEP * (PSF_{composite} - 1) + 1} \quad (1)$$

Onde,

NHEP é Probabilidade Nominal de Falha Humana.

PSF_{composite} representa o produtório dos fatores de desempenho.

Nesse método, as tarefas do operador são classificadas em tarefas de ação (operar um equipamento, realizar alinhamentos, calibrar instrumentos, etc.) e de diagnóstico que consiste no conhecimento ou experiência do operador para analisar as condições de operação, planejar e priorizar atividades [9].

Tabela 1 – Fatores de desempenho humano.

PSFs	PSF NÍVEL	Multiplicador por ação
Disponibilidade de tempo	Tempo inadequado	$P(f) = 1$
	Tempo disp. \approx tempo req.	$P(f) = 10$
	Tempo Nominal	$P(f) = 1$
	Tempo disp. $\geq 5x$ tempo req.	$P(f) = 0,1$
	Tempo disp. $\geq 50x$ tempo req.	$P(f) = 0,01$
Stress	Informação Insuficiente	$P(f) = 1$
	Estremo	$P(f) = 5$
	Alto	$P(f) = 2$
	Nominal	$P(f) = 1$
	Informação Insuficiente	$P(f) = 1$
Complexidade	Altamente complexo	$P(f) = 5$
	Moderadamente complexo	$P(f) = 2$
	Adequada	$P(f) = 1$
	Informação Insuficiente	$P(f) = 1$
	Baixa	$P(f) = 3$
Experiência /Treinamento	Adequada	$P(f) = 1$
	Alta	$P(f) = 0,5$
	Informação Insuficiente	$P(f) = 1$
	Não disponível	$P(f) = 50$
	Incompleto	$P(f) = 20$
Procedimentos	Disponível, mas de baixa qualidade	$P(f) = 5$
	Adequado	$P(f) = 1$
	Informação Insuficiente	$P(f) = 1$
	Muito ruim	$P(f) = 50$
	Ruim	$P(f) = 10$
Ergonomia	Adequada	$P(f) = 1$
	Bom	$P(f) = 0,5$
	Informação Insuficiente	$P(f) = 1$
	Totalmente despreparado	$P(f) = 1$
	Pouco preparo	$P(f) = 5$
Prepara físico para a atividade	Adequado	$P(f) = 1$
	Informação Insuficiente	$P(f) = 1$

Processo de trabalho	Ruim	$P(f) = 5$
	Adequado	$P(f) = 1$
	Bom	$P(f) = 0,5$
	Informação Insuficiente	$P(f) = 1$

Fonte: Calixto *et al.* 2011.

Ao analisar os fatores e seus respectivos valores, observa-se que os fatores de desempenho que mais influenciam no erro do homem na realização da tarefa são o procedimento e a ergonomia.

4. ESTUDO DE CASO

4.1 Descrição da empresa

A empresa em estudo atua na cadeia produtiva do urânio, desde a mineração, até a fabricação do combustível que gera energia elétrica nas usinas nucleares. Está vinculada ao Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação, tendo sua sede na cidade do Rio de Janeiro e presente também nos estados da Bahia, Ceará, Minas Gerais, Rio de Janeiro e São Paulo.

A sua missão visa garantir o fornecimento do combustível nuclear para geração de energia elétrica, com segurança, qualidade, transparência e responsabilidade social e ambiental, através de uma gestão integrada, diversificação da linha de produtos e autonomia tecnológica na fabricação do combustível.

A empresa em estudo exerce, em nome da União, o monopólio do urânio no País. De acordo com a empresa, a produção do combustível nuclear, desenvolve as seguintes atividades: prospecção e pesquisa; lavra e beneficiamento; enriquecimento de urânio; produção de pó e pastilhas; montagem dos elementos combustíveis.

4.2 Breve descrição do processo

O minério de urânio é lavrado pela técnica de cava a céu aberto, no desenvolvimento da cava da mina lavrado, possui também, um material estéril, ou seja, material com baixas concentrações de urânio, cuja recuperação é economicamente inviável. Esse material é armazenado em locais de encosta, denominados bota-fora ou depósito de rejeitos sólidos da mina e da usina, localizados próximo a cava da mina.

O minério, transportado da mina através de caminhões basculante, é descarregado em um silo (ou moega) e um alimentador vibratório. O minério passará por quatro fases de britagem, onde sua granulometria será reduzida até 13mm, para a formação de pilhas, nele será extraído o licor de urânio, esse processo é chamado de lixiviação.

A separação/concentração do urânio é realizada pelo processo de extração por solventes orgânicos. Inicialmente o urânio é “extraído” do licor, separando-o das outras substâncias químicas que foram também solubilizadas (lixiviadas) do minério na etapa de lixiviação com solução de ácido sulfúrico.

Nesta etapa todo o urânio contido no licor é transferido para o solvente orgânico, separando-o das impurezas. O licor, agora sem urânio, passa a ser um rejeito líquido, chamado de “refinado”, sendo transferido para a área de tratamento de efluentes líquidos para ser tratado.

O produto final do processo de produção da empresa, denominado Diuranato de Amônio (ou DUA, ou yellowcake) é colocando em tambores metálicos de 200 litros, com amostragem simultânea, gerando um lote do produto e um conjunto de amostras representativas do lote. As amostras são analisadas nos laboratórios da empresa, para emissão do correspondente Certificado de Análise.

4.3 Descrição do posto de trabalho

A sala de controle é localizada estrategicamente na planta de beneficiamento do minério, de onde é possível visualizar toda a área da britagem e o pátio da lixiviação, exceto o túnel de retomada do minério da pilha pulmão e a moega, onde estão instaladas as câmeras de filmagem para acompanhamento de todas as atividades da operação.

Nessa sala, encontra-se uma estação de operação baseadas em microcomputador que controlam todo o processo de britagem primária, secundária, terciária e quaternária. Além disso, também está instalado os bastidores de controle lógico programável (CLP) e de distribuição de alimentação, dotados de um sistema ininterrupto de energia (*no-break*).

O controle é feito por um software, que opera num ambiente operacional Windows NT 4.0 de onde é possível ligar e desligar todos os equipamentos eletromecânicos existentes na área da britagem e do pátio da lixiviação.

O sistema é composto de 8 telas com representação do fluxograma da área para operação remota do processo através de gráficos ou curvas de tendências, registros históricos, sumário de alarmes, relatórios e outros.

A operação da britagem primária funciona independente da rebitagem. Em outras palavras, a operação da rebitagem é intertravada e a paralisação de qualquer equipamento ou máquina provoca interrupção da produção. A rebitagem opera continuamente, enquanto que a britagem primária opera somente quando há transporte do minério lavrado ou minério depositado no pátio de pré-estocagem de minério de urânio.

4.4 Aplicação do SPAR-H

O resultado do questionário para a tarefa em estudo está representado nas Tabelas 2 e 3. O questionário pode ser visualizado no Anexo.

Tabela 2 – Resultado dos PSFs para o diagnóstico na realização da tarefa.

Tabela 2 – Resultado dos PSFs para o diagnóstico na realização da tarefa.

PSFs	PSF Nível	Multiplicador por Ação
Disponibilidade de tempo	Tempo nominal	1
Stress	Nominal	1
Complexidade	Moderadamente complexo	2
Experiência /Treinamento	Adequado	1

Procedimentos	Adequado	1
Ergonomia	Informação insuficiente	1
Preparo físico para a atividade	Informação insuficiente	1
Processo de Trabalho	Bom	0,5

Tabela 3 – Resultado dos PSFs para o caso da ação na realização da tarefa.

PSFs	PSF Nível	Multiplicador por Ação
Disponibilidade de tempo	Tempo disponível \geq 50x o tempo requerido	0,01
Stress	Nominal	1
Complexidade	Altamente Complexo	5
Experiência/Treinamento	Alto	0,5
Procedimentos	Adequado	1
Ergonomia	Informação insuficiente	1
Preparo físico para a atividade	Adequado	1
Processo de Trabalho	Bom	0,5

Os valores de HEP são tabelados e correspondem a 0,01 e 0,001 para as tarefas de diagnóstico e ação, respectivamente.

$$HEP_{Diag.} = \frac{0.01 \times (1 \times 1 \times 2 \times 1 \times 1 \times 1 \times 1 \times 0,5)}{0.01 \times (1 \times 1 \times 2 \times 1 \times 1 \times 1 \times 1 \times 0,5 - 1) + 1} = 0,01$$

$$HEP_{ação} = \frac{0.001 \times (1 \times 1 \times 2 \times 1 \times 1 \times 1 \times 1 \times 0,5)}{0.001 \times (0,01 \times 1 \times 5 \times 0,5 \times 1 \times 1 \times 1 \times 0,5 - 1) + 1} = 0,01$$

Sendo que HEP_{total} é,

$$HEP_{total} = HEP_{Diag.} + HEP_{Ação} = 0,02$$

Ou seja, 2% das tarefas executadas não serão realizadas de maneira correta.

5. CONCLUSÕES

Como podemos perceber, a cada dia é descoberto novos fatores influenciadores para execução correta das atividades. Para uma melhor análise desses fatores que afetam o desempenho, foi proposto novos métodos, que ainda estão em discussão em sua aplicação, devido a variedades de processos e ramos industriais existentes, cada um com suas particularidades. O estudo nesta indústria de extração de minério de urânio, conseguiu mostra claramente como as condições do ambiente, a importância da atividade e sua complexidade pode influenciar no desempenho da mesma. Com esses dados podem-se ressaltar a construção de um plano de ação para aplicação de melhorias, e, então conquistar uma maior confiabilidade do sistema em geral.

6. REFERÊNCIAS

- [1] OLIVEIRA, M.A. Prospecção, pesquisa e produção de urânio no Brasil: planejamento, busca e resultados. Escola Superior de Guerra. Rio de Janeiro, 2011.
- [2] PEREIRA, L.A. Ensino de Física: usinas Nucleares e sua Utilização no Mundo. UNICENTRO-CEDETEG. Departamento de Física. Guarapuava, 2011.
- [3] Energia Nuclear no Brasil. Disponível em:
<<http://www.eletronuclear.gov.br/Saibamais/Perguntasfrequentes/EnergiaNuclearnoBrasil.aspx>> Acessado em 17 de setembro de 2015.
- [4] Maiores acidentes nucleares da história. Disponível em:
<<http://educacao.globo.com/artigo/maiores-acidentes-nucleares-da-historia.html>> Acessado em 03 de agosto de 2015.
- [5] OLIVEIRA, A.P.S., et. al. Acidente Radioativo de Goiânia e Acidente Nuclear de Chernobyl. Curso de Radiologia das Faculdades Integradas de Três Lagoas.
- [6] PALLEROSI, C. A.; MAZZOLINI, B. P. M; MAZZOLINI, L. R. Confiabilidade humana: conceitos, análises, avaliação e desafios. São Paulo: All Print Editora, 2011.
- [7] CALIXTO, E.; LIMA, G. B. A.; FIRMINO, P. R. A. Comparing SLIM, SPAR-H and Bayesian Network Methodologies. Journal of Safety Science and Technology, vol. 3, pp. 31-41, 2013.
- [8] CALIXTO, E.; PAULO, D.; FAERTE, D.; WILSON JUNIOR. Comparação entre diferentes métodos de análise de confiabilidade humana: estudo de caso da análise de confiabilidade humana da partida do turbogerador. VII Congresso Nacional de Excelência em Gestão, Ago. 2011.
- [9] SANTOS, D. R. dos; *Análise de confiabilidade humana no processo de bombeio de propeno em uma refinaria utilizando o método SPAR-H*. 2014. f. 62. Trabalho de conclusão de curso – Escola Politécnica. Universidade Federal da Bahia, Salvador.