

Congresso ABRISCO 2017

Estudo e Viabilidade de Metodologias de Análise de Confiabilidade Humana (HRA)

Aplicadas a Operação de Sistemas

1º Eugênio Anselmo Pessoa do Prado, 1º André Ricardo Mendonça Pinheiro, 1º Marcelo Ramos Martins;

1 Departamento de Engenharia Naval e Oceânica da Escola Politécnica da Universidade São Paulo, mrmartin@usp.br

RESUMO

Nos últimos anos, o número de acidentes devido a falhas técnicas tem diminuído principalmente devido aos desenvolvimentos tecnológicos de redundância e proteção, que tornaram os sistemas mais confiáveis. Uma componente importante para a avaliação de sistemas complexos é a confiabilidade humana durante a sua operação. Confiabilidade humana se refere à probabilidade do elemento humano realizar as tarefas programadas durante o período definido para a operação do sistema quando submetido às condições ambientais especificadas, e, adicionalmente, de não realizar nenhuma ação prejudicial à operação do sistema.

Embora os valores válidos sejam difíceis de obter, as estimativas sugerem que os erros cometidos pelo homem são responsáveis por 60-90% dos acidentes. O erro humano tem participação direta ou indireta em 80% dos acidentes ocorridos na indústria. Somente os demais acidentes são atribuíveis a deficiências técnicas. Os incidentes são, naturalmente, os erros humanos mais óbvios nos sistemas industriais, mas pequenas falhas podem reduzir seriamente o desempenho das operações em termos de produtividade e eficiência. De fato, o erro humano tem um impacto direto na produtividade porque afetam as taxas de falhas dos seus componentes e a disponibilidade do sistema.[7]

Considerando o alto impacto do erro humano, é recomendado uma análise de confiabilidade humana (Human Reliability Analysis - HRA¹) ainda durante a fase de concepção dos sistemas fornecendo subsídios, qualitativos e/ou quantitativos, para a avaliação de diferentes alternativas e para o processo de seleção da mais indicada. Porém, caso o sistema já esteja em operação, a realização da análise de confiabilidade humana também pode contribuir para a identificação de potenciais erros ou cenários acidentais bem como na proposição de medidas mitigadoras, ações de contingência ou mesmo de alterações no sistema de modo a reduzir o risco potencial.

Os métodos de HRA são na sua essência uma tentativa simplificada de modelar algo com várias variáveis e complexidades, que os modelos até então existentes não conseguem captar em sua plenitude. A crítica aos modelos, e entender suas limitações é combustível que alimenta novas pesquisas e tentativas de melhorias desses modelos. Em engenharia, um campo da ciência com modelos científicos baseados na sua maioria em formulações matemáticas, as técnicas de primeira geração suprem essa necessidade. A crítica mais contundente às técnicas de primeira geração é a ausência de consideração de fatores organizacionais e outros fatores relevantes, o tratamento de erros de comissão e métodos de julgamento. Em muitos métodos de primeira geração, erros de comissão não são explicitamente identificados. A inclusão de erros de comissão é, em essência, entender por que as pessoas cometem erros e em que circunstâncias.[5]

O estudo neurocientífico sobre comportamento humano avançou muito nas últimas décadas. Hoje representa uma ferramenta de grande valor, quando o objetivo é estudar o comportamento humano diante de várias situações. Isso permite o tratamento de limitações das metodologias disponíveis para a análise da contribuição do fator humano na operação de sistemas híbridos complexos através da identificação e avaliação de fatores envolvidos nos processos decisórios, como a influência de fatores emocionais, atencionais e estressores. Esses métodos têm, de fato, o propósito de avaliar a probabilidade de erro humano

em sistemas complexos. Para isso é delimitado uma determinada operação, em um determinado intervalo de tempo e em um contexto particular com base em modelos que descrevem, de uma forma mais ou menos simplista, o mecanismo complexo que está por trás da ação humana potencialmente sujeita a erros. Para discutir estas deficiências, este trabalho tem por objetivo o estudo das metodologias voltadas para a análise e quantificação da probabilidade de erro humano na operação de sistemas híbridos complexos que considere, além dos fatores propostos nas diversas metodologias disponíveis na literatura, levando-se em conta suas simplificações e restrições, aspectos da neuropsicofisiologia e aprendizado supervisionado e sua aplicabilidade em operação de sistemas.

OBJETIVOS DO TRABALHO

Em geral, técnicas para identificação de erro humano (HRA) de primeira e segunda geração, estão voltadas para a criação de questionários e índices comportamentais. Nestes casos, a contribuição do fator humano na operação do sistema é avaliada a partir das respostas dadas a estes questionários por especialista no problema ou sistema analisado. Ao ser aplicado o questionário, o especialista, não submetido ao cenário em que operador estaria no momento da operação do sistema, racionaliza o processo antes de dar sua resposta o que introduz um viés e influencia o processo de tomada de decisão associado, e a análise do problema, sendo esta uma limitação fundamental das metodologias atuais para avaliação do desempenho humano através de questionário.. Estas abordagens possuem duas deficiências básicas. Primeiramente o número de fatores organizacionais não é suficiente para modelar todos os aspectos desta natureza, especialmente os políticos, econômicos e normativos. Por outro lado, a interação desses fatores entre si e com os mecanismos de erro, ações inseguras, modos e tipos de erros observados nos níveis individuais e em grupos é altamente não-linear. As técnicas de 1ª e 2ª geração não são capazes de formular modelos mais realísticos, possuem suposições irreais de independência, realizadas por métodos como árvores de eventos de falhas, que apresentam muitas dificuldades na modelagem das ações do homem e suas interações com o ambiente.

Para tratar estas deficiências, esta pesquisa tem por objetivo a proposição inicial de seleção e análise de bio marcadores que podem fornecer dados sobre, a quantificação da probabilidade de erro humano na operação de sistemas híbridos complexos que considere, além dos fatores propostos nas diversas metodologias disponíveis na literatura, aspectos da neuropsicofisiologia e aprendizado supervisionado. Tal consideração pode contribuir com a evolução do conhecimento atual a respeito da confiabilidade humana em técnicas de HEP e HRA de segunda e terceira geração.

DESCRIÇÃO DO TRABALHO REALIZADO

A HRA tenta dimensionar o fato de que o ser humano possui características únicas que, mesmo com todo o aparato tecnológico presente, pode ainda cometer erros. Matematicamente, a confiabilidade humana é a probabilidade de que um conjunto de ações humanas seja executado com sucesso em um tempo estabelecido ou numa determinada oportunidade, considerando suas limitações e os fatores que influenciam no seu desempenho [12]. De maneira mais ampla, deseja-se com a HRA modelar o desempenho humano quando da realização de suas tarefas, diante das condições ambientais, operacionais e internas às pessoas e, também, as consequências das suas ações sobre o desempenho do sistema.

Existem técnicas de HRA que foram desenvolvidas principalmente para a indústria nuclear, mas que podem ser moldadas para diferentes contextos, a depender do problema que se queira avaliar. Estas técnicas, que são divididas em 1ª e 2ª geração da HRA, apresentam algumas deficiências. Tratam-se das primeiras tentativas para modelar o comportamento humano e suas interações com hardware e software de sistemas. De maneira a dirimir tais limitações, métodos da chamada 3ª geração têm sido propostos, permitindo maior realismo de modelagem, contudo requerendo um maior nível de competência dos analistas responsáveis pelos modelos e estratégias de comunicação, não apenas com operadores e gerentes, mas também, com a alta gerência das organizações e com o público em geral;

A metodologia proposta neste trabalho é estudar a estrutura dos métodos atuais de análise da confiabilidade humana (HRA): os quantitativos da primeira geração (como THERP), aqueles qualitativos de segunda geração (como CREAM) e novos Métodos HRA dinâmicos e melhorias recentes de abordagens da HRA. Conhecendo as potencialidades e deficiências dos métodos de HRA existentes, pretendendo através de

testes de campo identificar como aspectos neuropsicofisiológicos poderão contribuir para aperfeiçoar as técnicas disponíveis.

Técnicas de Confiabilidade Humana		
Primeira geração		
Nome		Objetivo
THERP	<i>Technique for human error rate prediction</i>	Avaliar falha na execução de uma tarefa ou sequência de ações podendo ser utilizada para falha humana em operação, manutenção e acidentes. (1975)
OAT	<i>Operator action trees</i>	Avaliar falha na execução de uma tarefa ou sequência de ações podendo ser utilizada para falha humana em operação, manutenção e acidentes. (1982)
SLIM	<i>Success likelihood index methodology</i>	Avaliar falha na execução de uma tarefa ou sequência de ações, considerando a influência dos fatores de performance humanos, podendo ser utilizada para falha humana em operação, manutenção e acidentes. (1984)
SHARP	<i>Systematic human action reliability procedure</i>	Avaliar processo de falha na cognição (interpretação, pensamento, decisão e ação), sendo aplicada na avaliação da falha de sequência de ações podendo ser utilizada para falha humana em acidentes. (1984)
STARR	<i>Social-Technical Assessment of Human Reliability</i>	Avaliar falha na execução de uma tarefa ou sequência de ações, considerando a influência dos fatores de performance humanos, podendo ser utilizada para falha humana em operação, manutenção e acidentes. (1983)
Segunda Geração		
Nome		Objetivo
ATHEANA	<i>A Technique for Human Error Analysis</i>	Avaliar processo de falha na cognição (interpretação, pensamento, decisão e ação), sendo aplicada na avaliação da falha de uma tarefa ou sequência de ações podendo ser utilizada para falha humana em operação, manutenção e acidentes. (1996)
CREAM	<i>Cognitive Reliability and Error Analysis Method</i>	Avaliar processo de falha na cognição (interpretação, pensamento, decisão e ação), sendo aplicada na avaliação da falha de uma tarefa ou sequência de ações podendo ser utilizada para falha humana em operação, manutenção e acidentes. (1998)
Terceira Geração		
Nome		Objetivo
Redes Bayesianas		Avaliar falha na execução de uma tarefa ou sequência de ações, considerando a influência dos fatores de performance humanos, podendo ser utilizada para falha humana em operação, manutenção e acidentes. Considera a relação de dependência entre os fatores de performance humanos. (2005)

Figura 01-Classificação das técnicas de confiabilidade humana Fonte: MADONNA (2009)

Métodos de HRA de primeira geração

Os métodos HRA de primeira geração têm sido fortemente influenciados pelo ponto de vista da avaliação probabilística de segurança (PSA) e identificam o homem como um componente mecânico, perdendo assim todos os aspectos da interação dinâmica com o ambiente de trabalho, tanto como ambiente físico como ambiente social. Em muitos destes métodos, como a THERP, o ASEP e a HCR, a suposição básica é que, como os seres humanos têm deficiências naturais, os seres humanos logicamente falham ao realizar tarefas, assim como os componentes mecânicos ou elétricos. Assim, a HEP pode ser atribuída com base nas características da tarefa do operador e, em seguida, modificada por fatores de modelagem de desempenho (PSF). Nos métodos da primeira geração de HRA, as características de uma tarefa, representadas por HEPs, são consideradas como fatores principais. O contexto, que é representado por PSFs, é considerado um fator menor na estimativa da probabilidade de falha humana. Esta primeira geração concentrou-se na quantificação, em termos de sucesso/ fracasso da ação, com menor atenção à profundidade das causas e razões do comportamento humano, emprestadas das ciências comportamentais.[9]

Métodos de HRA de segunda geração

No início da década de 90, a necessidade de melhorar as abordagens de HRA motivou o interesse por uma série de importantes atividades de pesquisa e desenvolvimento em todo o mundo. Estes esforços levaram a um grande progresso nos métodos de primeira geração e ao nascimento de novas técnicas, identificadas como sendo de segunda geração. Enquanto a primeira geração de HRA tem abordagens focadas no comportamento, a segunda geração tem um aspecto conceitual mais relevante. A separação entre gerações é evidente no abandono da abordagem quantitativa do PRA / PSA em favor de uma maior atenção à avaliação qualitativa do erro humano. O foco mudou para os aspectos cognitivos dos seres humanos, as causas dos erros, em vez de sua frequência, o estudo da interação dos fatores que aumentam a probabilidade de erro e as interdependências dos PSFs. A segunda geração é baseada em um modelo cognitivo mais apropriado para explicar o comportamento humano. É evidente que qualquer tentativa de compreensão do desempenho humano precisa incluir o papel da cognição humana, definida como "o ato ou processo de conhecer incluindo tanto a consciência quanto o julgamento" por um operador. Do ponto de vista do praticante de HRA, a solução imediata para levar em consideração a cognição humana nos métodos HRA foi introduzir uma nova categoria de erro: **erro cognitivo**.

Métodos de HRA de terceira geração

Nos últimos anos, as limitações e deficiências dos métodos HRA de segunda geração conduziram a novos desenvolvimentos relacionados com a melhoria de métodos pré-existentes. Segundo Pasquale et al. (2013), o único método agora definido como de terceira geração é a avaliação da confiabilidade da ação nuclear (NARA3) que é uma versão avançada do HEART para o campo nuclear. HEART funciona usando um conjunto de Tipos de Tarefas Genéricas (GTTs) para descrever Tarefas modeladas em um PSA. Os GTTs selecionados são então modificados considerando Fatores que afetam o desempenho, sendo esses fatores conhecidos como *Error Production Conditions* (EPCs: também conhecidas como Performance Shaping Factors ou PSF em outras Técnicas). Este processo de modificação é matematicamente simples, mas requer um julgamento significativo do avaliador, particularmente ao decidir quais EPCs devem ser aplicadas, e qual a *proportion of affect* (APOA) deve ser usada (i.e sua força). Além disso, o HEART fornece algumas orientações básicas para a redução de erros para reduzir as probabilidades de erro, mas este aspecto da técnica não é frequentemente utilizado.

RESULTADOS OBTIDOS

A necessidade da introdução de tecnologias e a elevação da complexidade das tarefas do trabalho, sobretudo aquelas de natureza cognitiva deram origem aos sistemas complexos. Nesses sistemas, os modelos de trabalho incluem um grande número de parâmetros, variáveis e requer uma contínua avaliação, antecipação de decisões e procedimentos, elevada capacidade de abstração e disposição para trabalhar de forma dinâmica e incerta [1].

Os setores aeronáutico e nuclear têm sido os mais proeminentes no desenvolvimento de métodos para avaliar e prevenir o erro humano, através de processos e protocolos. Há muitas décadas, psicólogos tentam traçar perfis psicológicos através de testes psicotécnicos. Quando a Aeronáutica restringe um cadete a se tornar piloto através de uma avaliação psicológica, essa é no fundo uma ação para mitigar a falha humana. Determinados indivíduos que não possuem determinadas características podem aumentar a chance de uma falha humana. Essa questão pode se tornar interessante quando essa avaliação sai do campo de questionários e entrevistas de caráter eminentemente subjetivo, e parte para um campo onde dados neuropsicológicos possam ser captados através de números e possam servir de base a um cálculo de HEP. Medições psicofisiológicas fornecem um meio para coletar dados diretamente das pessoas. Estes dados são medidas fisiológicas que correspondem a estados psicológicos. O EEG (Eletroencefalografia), por exemplo, é uma medida comum que tem sido utilizado em estudos para prever o desempenho cognitivo futuro e desenvolver um sistema de monitorização da sonolência do condutor ou operador de um sistema [2].

Outras pesquisas também estabelecem possibilidades desse tipo de medição, que estabelecem um sistema de monitoramento do stress mental e frequência cardíaca, respiração e eletromiografia (EMG)[6]. Uma nova linha de pesquisa introduziu uma estrutura de sistema de saúde móvel para identificar comportamentos e intervenções oportunas. Embora vários estudos tenham proposto sistemas bio-sensor para controlar ou monitorar o stress ou o comportamento, o método para evitar erros com base nessas medidas ainda não foi estabelecido.[8]

Os estudos que relacionam biomarcadores e erro humano ainda estão em fase inicial e são bem recentes. Equipamentos como EEG, eyetracker, biomarcadores tornaram-se mais acessíveis somente na última década. As potencialidades de técnicas antes restritas a áreas médicas e psicológicas são agora discutidas em ramos da engenharia e tem concentrado seus estudos na predição do erro humano numa sala de controle através do uso de eyetracker. Este grupo de pesquisa indiano tem concentrado seus estudos no monitoramento em tempo real da pupilometria dos operadores, fim de monitorar a carga de trabalho cognitiva. Com isso eles fazem uma relação da carga de trabalho com processos de mitigação do erro.[14]

Alguns grupos de trabalho possuem uma linha de pesquisa que avaliam fatores humanos através do monitoramento do EEG em tempo real numa aplicação de simuladores marítimos. Essa linha de pesquisa monitora a carga de trabalho e o stress através do EEG. O próximo passo que é relacionar esses indicadores ao erro ou mitigação do mesmo ainda não está concluído. [10]

COMENTÁRIOS FINAIS

As perspectivas de uso de biomarcadores se apresentam bem interessantes, pois é um campo com amplas possibilidades. Os grupos de pesquisa têm direcionado seus estudos para a compreensão do processo cognitivo. A partir desse entendimento será possível propor uma utilização de caráter mais prático dessas

técnicas. O presente trabalho apresenta algumas técnicas, sua integração e a perspectiva de uso no cálculo da probabilidade do erro humano (HEP), variável de fácil compreensão introduzida pelas atuais técnicas de HRA. Visando estudar as técnicas de HRA e contribuir com os estudos na área foi realizado um estudo por meio de uma metodologia etnográfica, foram realizados estudos de campo aplicados as técnicas evolutivas propostas na HEP em sistemas de operação (simulador de planta nuclear) visando identificar e classificar bio marcadores capazes de fornecer os indicadores fisiológicos, que apresentem uma variação aplicável das possibilidades de ação oferecidas e as restrições impostas pelo ambiente de trabalho identificando os fatores estressores que afetam o operador e sua capacidade de ação, podendo contribuir para o avanço das técnicas de HRA. Para a captação e monitoração dos parâmetros de interesse foram utilizados os seguintes equipamentos ou procedimentos: Resposta Eletro Dérmica ou Galvânica, Variabilidade da Frequência Cardíaca (Obtidos por Bateria de Coleta Bioexplorer), Eyetracker e Eletroencefalografia quantitativa.

Os dados obtidos durante a pesquisa de campo, junto com interação das técnicas de HRA e HEP serão expostos na apresentação oral do presente trabalho.

REFERÊNCIAS

- 1] ALMEIDA, I. M. **Abordagem sistêmica de acidentes e sistemas de gestão de saúde e segurança do trabalho.** [S.l.]: Interfacehs, 2006.
- 2] ANTONENKO,P, PAAS, F.,GRABNER, R., AND, GOG,T. (2010). ;**Using Eletrocephalography to measure cognitive load.**Educ.Psycho. Rev.22,425-438.doi: 10.1007/10648-010-9130-y
- 3] BAINBRIDGE, L. (1983). **Ironies of automation.** Automatica, 19(6), 775-779 BALZUIK. P., RIVERA S. NUÑEZ. J. M.,(2011) **Towards a unified human reliability model,** Advances in Safety, Reliability and Risk Management, pp. 746-753, 2011.
- 4] BALZUIK. P., RIVERA S. and NUÑEZ. J. M.,(2014) **Towards Human Factor Taxonomy with Cognitive Generic Terms,** Lectures Notes in Engineering and Computer Science, pp. 1141-1146.
- 5] BALZUIK. P., RIVERA S.and NUÑEZ. J. M.,CALVO.R. (2015) **Principal Issues in Human Reliability Analysis,** Member, IAENG Proceedings of the World Congress on Engineering 2015 Vol II WCE 2015, July 1 - 3, London, U.K.
- 6] CHOI,J., BEENA,A., and GUTIERREZ-OSUNA,R.. (2012) **Development and evaluation of an ambulatory stress monitor based on wearable sensors.** IEEE transactions on information technology in biomedicine , 16(2):279-286, March 2012.
- 7] HOLLNAGEL. E. (1993). **Human Reliability Analysis: Context and Control ,** Academic Press, ISBN 978-0123526588, London.
- 8] KUNAR,S.,NILESEN,W., PAVEL,M., and SRIVASTANA,M.,(2013) **Mobile Health: Revolutionizing Healthcare Through Transdisciplinary Research.** Computer ,46(1):28-35.
- 9] KIM, M.C., SEONG, P.H., HOLLNAGEL, E.: (2006) **A probabilistic approach for determining the control mode in CREAM.** Reliability Engineering and System Safety, 91 (2), 191–199
- 10] LIU. Y., HOU. X., SOURINA. O., KONOVESSIS. D., KRISHNAN. G. (2016) **EEGbased human factors evaluation for maritime simulator-aided assessment: Proceedings of the 3rd International Conference on Maritime Technology and Engineering ,MARTECH 2016, Lisbon, Portugal**
- 11] MADONNA, M., et al.(2009): **Il fattore umano nella valutazione dei rischi: confronto metodológico fra le tecniche per l'analisi dell'affidabilità umana.** Prevenzione oggi. 5 (n. 1/2), 67–83.
- 12] MENÊZES, R. C. & DROGUETT, E. L. (2005) - **Uma metodologia para a Avaliação da Confiabilidade Humana em atividades de substituição de cadeias de isoladores em linhas de transmissão.** Engenharia de Produção, Universidade Federal de Pernambuco, Centro de Tecnologia e Geociências. Dissertação de Mestrado.
- 13] MENÊZES, R. C. & DROGUETT, E. L (2007) - **Análise da confiabilidade humana via redes Bayesianas: uma aplicação à manutenção de linhas de transmissão.** Produção vol.17 no.1, São Paulo.
- 14] SHARMA C, BHAVSAR P, SRINIVASAN B, SRINIVASAN R. (2016) **Eye gaze movement studies of control room operators: A novel approach to improve process safety.** Computers & Chemical Engineering. Feb 2;85:43-57.