



II CIGELUBRA

Congresso Internacional de Gestão e Engenharia Luso-Brasileiro

03 a 05 de dezembro de 2025

As Engenharias na Transformação Digital das PMEs

Seleção de Metodologia para Avaliação da Confiabilidade Humana em Processos de Montagem Automotiva

Cesar Miguel Bandeira Junior

Departamento de Engenharia de Produção – Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Aldo Braghini Junior

Departamento de Engenharia de Produção – Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Resumo: A confiabilidade humana desempenha um papel crucial em sistemas industriais, especialmente na indústria automotiva, onde falhas humanas podem impactar a qualidade do produto, a eficiência produtiva e a segurança do trabalhador. O aumento da complexidade dos sistemas e a interação homem-máquina destacam a necessidade de metodologias eficazes para avaliar e mitigar erros humanos. Este artigo apresenta os resultados de uma pesquisa que teve como objetivo identificar a metodologia mais adequada para análise da confiabilidade humana aplicada ao processo de montagem automotivo. Após revisão sistemática da literatura com o uso do *Methodi Ordinatio*, com o qual foram obtidos 32 artigos relevantes, realizou-se uma análise comparativa entre metodologias de análise de confiabilidade humana. Após análise geracional, um processo de *screening* sobre as metodologias da segunda geração foi conduzido, identificando a metodologia CREAM (*Cognitive Reliability and Error Analysis Method*) como a mais apropriada, considerando sua capacidade de integrar aspectos cognitivos e contextuais do operador. O estudo propõe ainda um indicador visual de desempenho para aplicação da metodologia no ambiente produtivo, com potencial para melhorar a qualidade, segurança e desempenho dos processos industriais.

Palavras-chave: Indústria Automotiva, Confiabilidade Humana, Manufatura.

Selecting a Methodology for Evaluating Human Reliability in Automotive Assembly Processes

Abstract: Human reliability plays a crucial role in industrial systems, especially in the automotive industry, where human error can impact product quality, production efficiency and worker safety. The increased complexity of systems and human-machine interaction highlights the need for effective methodologies to assess and mitigate human error. This article presents the results of a study aimed at identifying the most appropriate methodology for human reliability analysis applied to the automotive assembly process. After a systematic review of the literature using *Methodi Ordinatio*, from which 32 relevant articles were obtained, a comparative analysis of human reliability analysis methodologies was carried out. After a generational analysis, a screening process was carried out on the second-generation methodologies, identifying the CREAM methodology (*Cognitive Reliability and Error Analysis Method*) as the most appropriate, considering its ability to integrate cognitive and contextual aspects of the operator. The study also proposes a visual performance indicator for applying the methodology in the production environment, with the potential to improve the quality, safety and performance of industrial processes.

Keywords: Automotive Industry, Human Reliability, Manufacturing.

1. Introdução

Desde o início da produção em massa no século XX, a indústria automotiva tem se destacado pela elevada complexidade de seus sistemas e pela constante incorporação de inovações tecnológicas (FORD, 1926). A introdução de linhas de montagem automatizadas intensificou a exigência cognitiva sobre operadores humanos, tornando os fatores humanos, como a interface homem-máquina e a confiabilidade operacional, determinantes para a qualidade do produto, desempenho organizacional e segurança. (PETRUNI *et al.*, 2019).

A incorporação de novas tecnologias e paradigmas amplia a complexidade dos sistemas de manufatura, dificultando sua manutenção e a identificação de vulnerabilidades que comprometem a confiabilidade. Nesse contexto, a avaliação da confiabilidade torna-se essencial, empregando técnicas voltadas ao planejamento, monitoramento e detecção de fragilidades nos sistemas produtivos (FRIEDERICH; LAZAROVA-MOLNAR, 2024).

As metodologias para análise da confiabilidade humana (ACH) foram inicialmente desenvolvidas para o setor de energia nuclear, onde os riscos de acidentes são elevados. Sua aplicação, contudo, é complexa e demanda elevado nível de capacitação técnica por parte dos analistas (DE FELICE *et al.*, 2013).

A ACH corresponde ao conjunto de métodos utilizados na avaliação de riscos que incorporam cenários de acidentes, identificando causas e consequências de erros humanos e estimando, de forma probabilística, a segurança global do sistema. A determinação da confiabilidade humana é reconhecida como uma ferramenta essencial para a prevenção de falhas, sendo a contribuição dos erros humanos um parâmetro determinante na precisão das análises de risco (YALÇIN; ÇIFTÇIOĞLU; GÜZEL, 2023).

Petruni *et al.* (2019) descrevem que muitas metodologias diferentes para realizar a avaliação de risco considerando fatores humano estão disponíveis na literatura, mas foram frequentemente desenvolvidos para outros domínios além da indústria automotiva (ex.: nuclear, aviação, navegação). A adequação de qualquer metodologia para ACH depende do contexto que está sendo avaliado, sendo necessário para algumas metodologias a aplicação de correções na formulação matemática aplicada.

No setor automotivo, a escolha da metodologia de ACH mais adequada é altamente dependente do contexto específico, dada a diversidade de técnicas disponíveis. Estudos anteriores (BELL; HOLROYD, 2009; FORESTER *et al.*, 2006; KIRWAN, 1998; MADONNA *et al.*, 2009) indicam que nenhuma metodologia é universalmente superior, sendo necessário um processo de seleção que considere fatores organizacionais, humanos e tecnológicos. A aplicação de fatores humanos na indústria visa melhorar as condições de trabalho e otimizar o desempenho do sistema, exigindo uma abordagem interdisciplinar (PETRUNI *et al.*, 2019).

Embora os avanços na tecnologia, principalmente na automação, tenham reduzido significativamente as falhas técnicas (YALÇIN; ÇIFTÇIOĞLU; GÜZEL, 2023), a confiabilidade dos sistemas permanece condicionada ao desempenho de todos os seus componentes, entre os quais o operador figura como elemento crítico. A atuação humana influencia diretamente a ocorrência de falhas no sistema produtivo, sobretudo em tarefas que demandam tomada de decisão e flexibilidade operacional.

Nesse contexto, erros humanos podem comprometer a qualidade do produto, elevar custos e impactar a segurança do consumidor. Falhas em etapas críticas de montagem geram retrabalho, desperdício de recursos e perda de desempenho. Este artigo busca definir uma metodologia apropriada para avaliação da confiabilidade humana em processos de montagem automotiva, considerando mapeamento de tarefas, análise de fatores contextuais e identificação dos níveis de controle cognitivo envolvidos. A definição da

metodologia adequada permite a proposição de ações mitigadoras mais eficazes e com melhor alocação de recursos.

Este artigo está dividido em seis seções. Na primeira seção se contextualiza a confiabilidade humana e se aponta o objetivo deste artigo. A segunda seção apresenta o referencial teórico que suporta esta discussão. Com a terceira seção é feita a apresentação da metodologia utilizada. Na quarta seção ocorre a discussão dos resultados obtidos com a pesquisa e a consequente seleção da metodologia para ACH. Na quinta seção são apresentadas sugestões para aplicação da metodologia ACH selecionada. A conclusão alcançada por este estudo está disposta na sexta seção.

2. Referencial Teórico

Segundo Pallerosi *et al.* (2011), Confiabilidade Humana é a probabilidade de que uma pessoa não falhe no cumprimento de uma tarefa requerida, quando exigida:

- a) Em um determinado período de tempo;
- b) Em condições ambientais apropriadas;
- c) Com recursos disponíveis para executá-la.

Foi observado que as falhas em sistemas devido a intervenção humana não são um fator negligenciável, com pesquisadores como Di Pasquale *et al.* (2015) identificando o erro humano como causadores de mais da metade dos acidentes reportados. As taxas identificadas foram 65% na indústria automotiva, entre 70% e 80% na aviação, 90% em controle de tráfego, entre 80% e 85% no transporte marítimo, entre 60% e 90% dos acidentes em indústrias petroquímicas, até 70% das falhas em usinas de geração nuclear e 85% dos acidentes no transporte rodoviário.

Existem algumas premissas básicas para se entender o impacto da Confiabilidade Humana em qualquer processo. Segundo Pallerosi *et al.* (2011), estas premissas são:

- a) Errar é humano;
- b) As falhas podem ser previstas e quantificadas;
- c) Falhas significativas podem ocorrer em qualquer nível de sistema;
- d) A qualificação humana para as funções é o elemento básico para o desenvolvimento funcional e operacional das tarefas a serem cumpridas;
- e) Pessoas não podem evitar facilmente as ações que elas não têm a intenção de cometer;
- f) Falhas humanas são muito mais consequências do que causas;
- g) Não se pode mudar a condição humana, mas é possível mudar as condições de trabalho humano.

A confiabilidade humana é um campo de estudo essencial para a prevenção de falhas em sistemas complexos, buscando compreender a relação entre o comportamento humano e a segurança operacional. Dois conceitos fundamentais nesse domínio são o erro humano e o fator humano, frequentemente utilizados de forma equivocada como sinônimos (GORDON, 1998). O erro humano é entendido como uma ação que resulta em um resultado indesejado ao sistema (HOLLNAGEL, 1998), podendo ser subjetivamente interpretada como um desvio de uma referência ideal de desempenho. Já os fatores humanos dizem respeito ao estudo das interações entre o operador e o sistema técnico, sendo considerados como causas que precedem os erros (GORDON, 1998; SKOGDALEN e VINNEM, 2011).

Esses fatores são tradicionalmente classificados em três níveis: individual (relacionado à competência, estado emocional, saúde e motivação do operador), grupal (envolvendo liderança, comunicação e trabalho em equipe) e organizacional (abrangendo cultura de segurança, treinamento e estruturas de suporte). À medida que os sistemas se tornam mais complexos, aumenta a frequência e gravidade dos erros humanos, que passam a depender fortemente do contexto de operação (PETRUNI *et al.*, 2019).

Nesse cenário, a ACH surge como um conjunto de metodologias voltadas à identificação, quantificação e mitigação de falhas humanas, com base em avaliações de risco. A ACH considera todos os cenários potenciais de falhas, investigando causas e consequências dos erros, e estimando, de forma probabilística, a segurança global do sistema (TAO *et al.*, 2020). Sua aplicação se consolidou a partir da década de 1980, especialmente após o acidente de Three Mile Island (1979), que evidenciou a importância de integrar aspectos humanos às análises, até então centradas em fatores técnicos (HOLLNAGEL, 2005).

As metodologias iniciais de ACH buscavam exclusivamente prever e reduzir a probabilidade de erro humano. Com o amadurecimento do campo, passaram a incorporar aspectos cognitivos, interações contextuais e fatores de desempenho, também chamados de PSFs (*Performance Shaping Factors*). Atualmente, recomenda-se que a confiabilidade humana seja considerada desde as fases iniciais de projeto, e não apenas nas etapas de operação ou manutenção (HOLLNAGEL, 2005).

Como a maioria das técnicas foi originalmente desenvolvida para o setor nuclear, sua transposição para outras indústrias exige adaptações metodológicas. Hollnagel (2005) propôs uma classificação das metodologias ACH em três gerações: a primeira (1975 - 1990), baseada em lógica probabilística; a segunda (1990 - 2005), que introduz os PSFs e os aspectos cognitivos; e a terceira (2005 - presente), que incorpora a modelagem de interações dinâmicas e dependências contextuais. Cada geração pode ser resumidamente explicada conforme apresentado por Yalçın, Çiftçioglu e Güzel (2023):

a) Metodologias de primeira geração focam na estimativa da probabilidade de erro humano (HEP - *Human Error Probability*) durante a execução de tarefas prescritas, baseando-se em comparações com normas ou procedimentos. Utilizam Fatores de Influência no Desempenho (PSFs) como multiplicadores lineares da probabilidade básica de erro, considerando cada fator como independente. Essas abordagens tratam o erro humano de forma similar a falhas físicas, sem incorporar aspectos cognitivos, e foram originalmente desenvolvidas para o setor nuclear, com ênfase em erros de omissão;

b) Metodologias de segunda geração incorporam explicitamente fatores cognitivos, ampliando a análise para erros de omissão e comissão. Consideram tanto a frequência quanto as causas dos erros, relacionando PSFs a condições internas e externas ao trabalhador, como estresse, carga de trabalho e ambiente físico. Essas técnicas mapeiam os mecanismos de erro em função do contexto operacional, reconhecendo interações complexas entre fatores individuais, grupais e organizacionais, e introduzindo a categoria de “fatores psicológicos”;

c) Metodologias de terceira geração avançam ao modelar as relações dinâmicas e interdependências entre os fatores que afetam o desempenho humano. Utilizam estruturas como redes Bayesianas para representar a evolução temporal das interações entre PSFs e processos cognitivos, permitindo análises mais integradas e contextuais. Essa geração oferece uma abordagem sistêmica para compreender o comportamento humano em ambientes operacionais complexos e variáveis.

As várias metodologias estudadas por Yalçın, Çiftçioglu e Güzel (2023), em um trabalho de revisão bibliográfica, identificou as 31 diferentes metodologias de ACH apresentadas no Quadro 1. No processo de pesquisa conduzido por Yalçın, Çiftçioglu e Güzel (2023) algumas metodologias puderam ser identificadas como de uso mais frequentemente, tais como HEART, CREAM e THERP. Nota-se que nenhuma das metodologias foi desenvolvida especificamente para atendimento das necessidades presentes na indústria automotiva.

Quadro 1 - Metodologias de ACH por geração

Metodologia	Desenvolvido por	Atividade Industrial	Geração
AIPA (Accident Investigation and Progression Analysis)	Raabe, 1974	Nuclear	Primeira
TESEO (Technica Empirica Stima Errori Operatori)	Bello and Colombari, 1980	Petroquímica / Nuclear	Primeira
OATS (Operator Action Tree System)	Wreathall, 1982	Nuclear	Primeira
PC (Paired Comparisons)	Hunns, 1982	Geral	Primeira
THERP (Technique for Human Error Rate Prediction)	Swain and Guttman, 1983	Nuclear	Primeira
APJ (Absolute Probability Judgement)	Seaver and Sitwell, 1983	Geral	Primeira
SLIM (Success Likelihood Index Method)	Embrey, 1983	Nuclear	Primeira
HCR (Human Cognitive Reliability)	Hannaman <i>et al.</i> 1984	Nuclear	Primeira
SHARP (Systematic Human Action Reliability Procedure)	Hannaman and Spurgin 1984	Geral	Primeira
MAPPS (Maintenance Personnel Performance Simulations)	Knee <i>et al.</i> , 1985	Nuclear	Primeira
STAHRA (Socio-Technical Assessment of Human Reliability)	Philips <i>et al.</i> , 1985	Nuclear / Marítima	Primeira
HEART (Human Error Assessment and Reduction Technique)	Williams, 1985	Geral	Primeira
SHERPA (Systematic Human Error Reduction and Prediction Approach)	Embrey, 1986	Nuclear	Primeira
ASEP (Accident Sequence Evaluation Program)	Swain, 1987	Nuclear	Primeira
JHEDI (Justified Human Error Data Information)	Kirwan, 1990	Nuclear	Segunda
HRMS (Human Reliability Management System)	Kirwan, 1990	Nuclear	Segunda
INTENT (não é uma abreviação)	Gertman <i>et al.</i> , 1990	Nuclear	Segunda
COGENT (Cognitive Event Tree)	Gertman, 1992	Geral	Segunda
COSIMO (Cognitive Simulation Model)	Cacciabue <i>et al.</i> , 1992	Nuclear	Segunda
DREAMS (Dynamic Reliability Technique for Error Assessment in Man- Machine System)	Cacciabue <i>et al.</i> , 1993	Nuclear	Segunda
CREAM (Cognitive Reliability and Error Analysis Method)	Hollnagel, 1993	Nuclear	Segunda
ATHEANA (A Technique for Human Error Analysis)	Cooper, 1996	Nuclear	Segunda
CODA (Conclusions from Occurrences by Descriptions of Actions)	Reer, 1997	Nuclear	Segunda
CAHR (Connectionism Assessment of Human Reliability)	Sträter, 1997	Geral	Segunda
MERMOS (Méthode d'Evaluation de la Réalisation des Missions Operateur pour la Sureté)	Le Bot <i>et al.</i> , 1997	Nuclear	Segunda
SPAR-H (Standardized Plant Analysis Risk-Human Reliability Analysis)	NRC, 1999	Nuclear	Segunda
HFACS (Human Factors Analysis and Classification System)	Wiegmann and Shappell, 2000	Aviação	Segunda
CESA (Commission Errors Search and Assessment)	Reer <i>et al.</i> , 2004	Nuclear	Terceira
NARA (Nuclear Action Reliability Assessment)	Kirwan <i>et al.</i> , 2005	Nuclear	Terceira
CARA (Controller Action Reliability Assessment)	Kirwan and Gibson, 2007	Aviação	Terceira
RARA (Railway Action Reliability Assessment)	Gibson, 2013	Ferrovária	Terceira

Fonte: Adaptado de Yalçın, Çiftçioglu e Güzel (2023)

3. Metodologia

De grande importância para o desenvolvimento deste estudo bibliográfico é o processo de Revisão Sistemática de Literatura (RSL). Esta foi realizada utilizando a metodologia *Methodi Ordinatio* (PAGANI; KOVALESKI e RESENDE, 2015). Este método é composto por nove etapas e resulta em um portfólio ordenado conforme três critérios: ano de publicação, fator de impacto, citações. Etapas da metodologia são: (i) definição da intenção de pesquisa; (ii) realização de uma busca exploratória utilizando palavras-chave nas bases de dados; (iii) refinamento das palavras-chave e seleção das bases de dados; (iv) execução da busca final nas bases selecionadas; (v) aplicação de filtros para seleção de artigos relevantes; (vi) verificação do fator de impacto, ano de publicação e número de citações; (vii) classificação dos artigos por meio da fórmula *InOrdinatio* 2.0; (viii) obtenção dos textos completos; e (ix) leitura e análise sistemática dos artigos.

A pesquisa foi conduzida em junho/25 e teve como objetivo identificar artigos que abordassem o uso de metodologias ACH. O portfólio de artigos foi obtido através da verificação das seguintes bases de dados: Web of Science, Scopus, Scielo Brasil, IEEE. Os documentos considerados na pesquisa foram artigos de pesquisa e artigos de revisão, escritos em qualquer idioma e sem aplicação de um recorte temporal. A busca pelas palavras-chave foi conduzida em todos os campos de busca. Os resultados foram organizados com o uso do *software* JabRef. A Tabela 1 mostra os resultados obtidos durante pesquisas para definição das palavras-chave, feita através de buscas preliminares. Após a avaliação inicial as palavras-chave e booleanos para pesquisa foram definidos como "*human reliability*" AND "*assessment*" AND "*manufacturing*"), também indicados na Tabela 1, com um total de 42 artigos obtidos para esta combinação. Após o processo de filtragem descrito na Tabela 2, um total de 32 artigos foi obtido como portfólio de pesquisa.

Tabela 1 – Combinação de palavras-chave

Combinação de palavras-chave	Web of Science	Scopus	Scielo Brasil	IEEE
ALL=(" <i>human reliability</i> ")	1408	1384	3	306
ALL=(" <i>human reliability</i> " AND (" <i>assessment</i> " OR " <i>analysis</i> "))	1255	1247	3	281
ALL=(" <i>human reliability</i> " AND " <i>HRA</i> ")	454	504	1	110
AL=(" <i>human reliability</i> " AND " <i>assessment</i> " AND " <i>manufacturing</i> ")	24	14	0	4

Fonte: Autoria Própria (2025)

Tabela 2 – Processo de filtragem dos documentos

Filtragem dos documentos	Número de documentos
Total de documentos	42
Eliminação de duplicatas	7
Eliminação por tipo de documento	0
Eliminação por leitura (sem relação com o tema)	3
<i>InOrdination</i> <50	0
Total de artigos eliminados	10
Total de artigos no portfólio	32

Fonte: Autoria Própria (2025)

As etapas finais da metodologia consistiram no download e na leitura integral dos 32 artigos selecionados, permitindo uma análise aprofundada de suas contribuições para a identificação de metodologias de ACH aplicáveis à indústria automotiva. A avaliação crítica também considerou a disponibilidade pública das metodologias (sem exigência de licença para uso) e sua capacidade de gerar indicadores que quantifiquem o nível de maturidade do processo avaliado.

A análise do material científico obtido por meio da SLR possibilitou a identificação de um amplo conjunto de opções para a seleção de metodologias de ACH. Um dos trabalhos

apontados pelo Methodi Ordinatio foi o de Yalçın, Çiftçioglu e Güzel (2023), onde diferentes metodologias para ACH são apresentadas e classificadas através de um critério geracional, sintetizadas no Quadro 1. A abordagem metodológica adotada neste estudo fundamenta-se na classificação inicial baseada nas características geracionais. Desta forma, ao invés de uma avaliação individual em cada técnica foi possível direcionar o processo decisório às metodologias pertencentes à geração mais alinhada ao contexto analisado. Uma vez selecionada a geração de metodologias, procede-se à escolha da metodologia de ACH mais adequada dentro da geração identificada. Esta escolha é feita através de um processo de *screening*, onde as ideias que são claramente inadequadas são eliminadas e a atenção é focada nas que parecem práticas (Jahan *et al.*, 2010). Os métodos de *screening* reduzem as opções a um número gerenciável para avaliação subsequente (Farag, 2002).

4. Discussão e Seleção de Metodologia ACH para Indústria Automotiva

As metodologias de primeira geração apresentam aplicabilidade em tarefas estruturadas, com procedimentos bem definidos. No entanto, sua limitação reside na baixa consideração de fatores cognitivos e contextuais, tornando-as inadequadas para ambientes produtivos com elevada variabilidade operacional. Por outro lado, as metodologias de terceira geração introduzem abordagens dinâmicas e contextuais mais amplas, mas ainda carecem de validação prática e robustez de dados para uso em setores industriais tradicionais.

As metodologias de segunda geração representam uma alternativa intermediária, conciliando abrangência analítica com aplicabilidade prática. Tais metodologias consideram fatores cognitivos, organizacionais e ambientais de forma integrada, sendo reconhecidas por sua simplicidade de aplicação, menor custo, validação em ambientes industriais e facilidade na interpretação dos resultados. Essas características tornam a segunda geração particularmente adequada à indústria automotiva, onde a avaliação do desempenho humano depende da interação entre operadores, tarefas e condições operacionais.

De um total inicial de 31 metodologias listadas no Quadro 1, a seleção por critério de geração reduziu as escolhas possíveis para 13 opções listadas como de segunda geração. Estas metodologias restantes podem então ser avaliadas em um processo de *screening*.

Além da aplicabilidade na indústria automotiva, busca-se também uma ferramenta cuja aplicação seja prontamente aplicável, sem necessidade de aquisição de licenças ou outras limitações para aplicação imediata. O Quadro 2 apresenta o resultado do *screening*.

Quadro 2 – Resultados do processo de *screening* nas metodologias de segunda geração

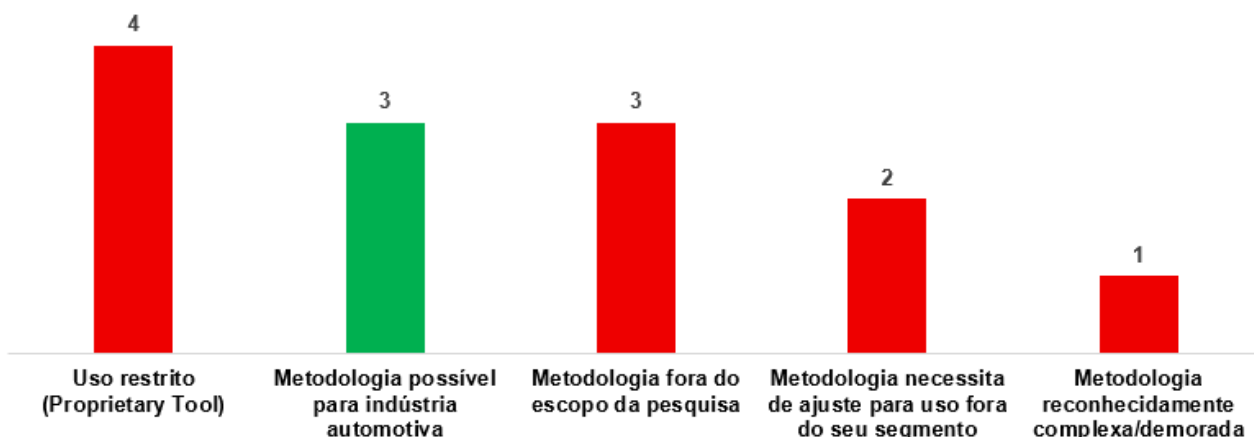
Metodologia	Aplicável na Indústria Automotiva	Justificativa
JHEDI	Não	Uso restrito, definido como <i>proprietary tool</i>
HRMS	Não	Uso restrito, definido como <i>proprietary tool</i>
INTENT	Não	Fora do escopo da metodologia (tomada de decisões)
COGENT	Não	Necessita ajuste para uso fora do seu segmento
COSIMO	Não	Fora do escopo da metodologia (não adaptado à automação)
DREAMS	Sim	Metodologia possível para indústria automotiva
CREAM	Sim	Metodologia possível para indústria automotiva
ATHEANA	Não	Metodologia reconhecidamente complexa/demorada
CODA	Sim	Metodologia possível para indústria automotiva
CAHR	Não	Uso restrito, definido como <i>proprietary tool</i>
MERMOS	Não	Uso restrito, definido como <i>proprietary tool</i>
SPAR-H	Não	Necessita ajuste para uso fora do seu segmento
HFACS	Não	Fora do escopo da metodologia (investigação de falhas)

Fonte: Autoria Própria (2025)

O processo de *screening* serviu para apontar algumas limitações práticas que não são usualmente detectadas ao se avaliar a aplicabilidade de uma metodologia, tal como se o

uso da metodologia é público ou restrito. O Gráfico 1 mostra os resultados obtidos neste processo.

Gráfico 1 - Resultados do screening em metodologias de ACH da segunda geração



Fonte: Autoria Própria (2025)

As metodologias foram avaliadas considerando-se os seguintes descritores:

a) Uso restrito, definido como *proprietary tool*: metodologia de uso restrito, com uso exclusivo do desenvolvedor ou através da aquisição de licença. O uso de metodologias onde seja necessário o pagamento de licenças não é o objetivo inicial deste estudo;

b) Metodologia possível para indústria automotiva: metodologia de uso público e adequado ao uso na indústria automotiva;

c) Fora do escopo da metodologia: metodologia possui características que não a tornam uma escolha válida para o uso na indústria automotiva. A metodologia COSIMO possui aplicação na simulação do comportamento durante o gerenciamento de acidentes (CACCIABUE *et al.*, 1992). A metodologia INTENT possui foco na estimativa de erro durante processos decisórios (GERTMAN *et al.*, 1992) e a metodologia HFACS possui como foco a análise de eventos já ocorridos (SHAPPELL; WIEGMANN, 2000);

d) Necessita ajuste para uso fora do seu segmento: metodologia possui modelamento matemático específico para uso em determinado segmento de atividade, tornando o uso no ambiente automotivo mais complexo e dependente de ajustes. A metodologia COGENT possui foco na criação de testes psicológicos e cognitivos (COOPER; FOX, 1998) e a metodologia SPAR-H foi desenvolvida para uso em plantas nucleares (GERTAMAN *et al.*, 2005), porém com algumas revisões é utilizada em setores como o aeroespacial (STAMATELATOS *et al.*, 2011);

e) Metodologia reconhecidamente complexa/demorada: específico para a metodologia ATHEANA, onde a revisão bibliográfica reporta considerável complexidade para aplicação da metodologia (KIRWAN; GIBSON; HICKLING, 2008). É válida para ambientes de alta complexidade e altíssimo risco, onde, porém há um retorno positivo sobre o esforço necessário para implementação.

Após o processo de *screening* três metodologias se mostraram teoricamente aptas para uso na indústria automotiva. As metodologias que permanecem após este processo de revisão foram a DREAMS, CREAM e CODA.

Para a metodologia DREAMS não foi possível localizar uma descrição detalhada da metodologia, modelo ou artigo de implementação, o que torna a avaliação do processo de utilização desta metodologia não possível.

Para a metodologia CREAM foi localizada uma vasta literatura, diversos artigos reportando o uso e implementação em ambientes reais de utilização.

Para a metodologia CODA foram localizados dois artigos de referência, ambos sem a descrição das etapas de implementação da metodologia, o que impede o uso da metodologia. Os artigos localizados são de Reer, publicados em 1997 e 1999;

Como resultado do processo de *screening* tem-se que a metodologia CREAM destaca-se como mais indicada para utilização em um ambiente de montagem na indústria automotiva.

Se desejado um outro viés para a seleção de uma metodologia para aplicação na indústria automotiva é possível buscar como referência a publicação de Petruni *et al.* (2019), indicada pelo *Methodi Ordinatio*, onde a seleção de uma metodologia de ACH na indústria automotiva foi feita através de um processo de análise multicritério. Neste artigo os autores realizam a aplicação de uma técnica AHP para seleção da metodologia mais adequada ao uso na indústria automotiva, chegando à conclusão de que a técnica CREAM fica em segunda posição dentre as avaliadas. Nesta pesquisa é indicada a técnica HAZOP (*Human Hazard and Operability*) como a mais propícia para a indústria automotiva, porém esta técnica não prevê a mensuração da possibilidade de falha, o que impede que seja criado um indicador para classificação dos postos de trabalho conforme o potencial de falha humana. Discute-se sobre se o HAZOP é considerado uma metodologia de ACH ou não. O HAZOP não é listado, por exemplo, dentro do estudo de Yalçın, Çiftçioglu e Güzel (2023) sobre as metodologias de ACH de maior aplicação.

5. Sobre a Aplicação da Metodologia CREAM na Indústria Automotiva

O método CREAM (*Cognitive Reliability and Error Analysis Method*), proposto por Hollnagel (1998), representa uma das abordagens mais robustas para análise da confiabilidade humana em ambientes industriais (AHN; KURT, 2020). Baseado em modelos cognitivos e estruturado para capturar as interações entre fatores técnicos, humanos e organizacionais, o CREAM permite a estimativa da Probabilidade de Erro Humano (HEP) por meio de dois níveis: o básico e o expandido. A análise em dois níveis permite adaptar a análise conforme os recursos disponíveis. Ambas apresentam dois avanços importantes em relação aos métodos de primeira geração: primeiro, a incorporação de um modelo cognitivo para determinar a importância dos processos mentais no desempenho humano; e, em seguida, a capacidade de analisar prospectivamente e retrospectivamente cada etapa. A análise prospectiva identifica potenciais erros humanos, enquanto a análise retrospectiva expressa as consequências de erros humanos que já ocorreram (HOLLNAGEL, 1998).

O método básico fornece uma estimativa geral com base em três etapas principais: (a) descrição da tarefa; (b) avaliação das Condições Comuns de Performance (CPCs); e (c) determinação do modo de controle. As CPCs são fatores de desempenho que incluem aspectos como organização, treinamento, carga de trabalho, tempo disponível, entre outros. A pontuação combinada das CPCs permite inferir o modo de controle provável (estratégico, tático, oportunístico ou desordenado) e, assim, estimar a faixa de probabilidade de erro humano associada (HOLLNAGEL, 1998). Os quatro modos de controle, obtidos através da pontuação coletada pelos CPCs são os seguintes:

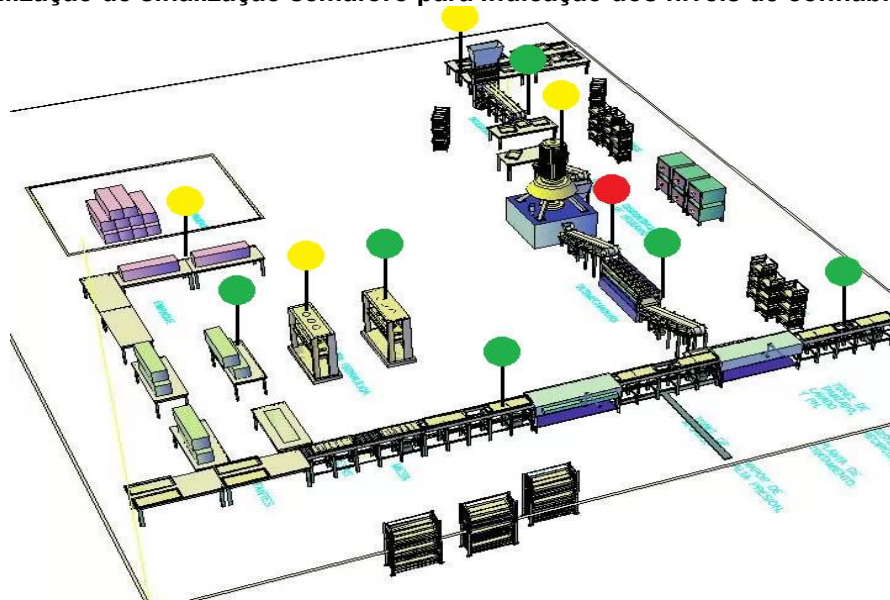
- a) Controle Estratégico: operador considera o contexto global, utilizando um horizonte de tempo mais amplo e concentrando-se em metas de nível mais elevado;
- b) Controle Tático: o desempenho na atividade baseia-se em um planejamento, seguindo mais ou menos um procedimento ou regra conhecidos;
- c) Controle Oportunístico: a próxima ação é determinada por características salientes do contexto atual, em vez de intenções ou metas mais estáveis;

d) Controle Desordenado: a escolha da próxima ação, na prática, é imprevisível ou aleatória.

Já o método expandido aprofunda a análise para estimar probabilidades em ações individuais. Envolve três etapas: (a) desenvolvimento de um perfil das demandas cognitivas da tarefa, utilizando uma lista de atividades cognitivas características; (b) identificação das falhas mais prováveis das funções cognitivas, considerando o contexto operacional e os fatores de desempenho; (c) cálculo das probabilidades de falha cognitiva (CFP), que são posteriormente ajustadas de acordo com o impacto das CPCs. A relação entre CPCs e funções cognitivas, como observação, interpretação, planejamento e execução, é fundamental para o ajuste das probabilidades nominais. Essa análise permite incorporar os CFPs ajustados em árvores de falhas ou eventos, possibilitando sua integração com modelos tradicionais de análise de risco (HOLLNAGEL, 1998).

Na prática, o CREAM tem se mostrado útil em ambientes complexos como linhas de montagem automotiva (PETRUNI *et al.*, 2019), oferecendo tanto uma triagem qualitativa quanto uma quantificação robusta da confiabilidade humana. Além disso, sugere-se com este estudo a utilização de um indicador tipo semáforo, com cores verde, amarela e vermelha, para representar o nível de confiabilidade dos postos de trabalho, facilitando a priorização de ações corretivas no chão de fábrica, como exemplificado na Figura 1.

Figura 1 – Utilização de sinalização semáforo para indicação dos níveis de confiabilidade humana



Fonte: Autoria Própria (2025)

A Figura 1 apresenta o mapeamento de um processo fictício, onde 11 postos de trabalho são classificados conforme o nível atingido durante um processo de ACH. Os postos sinalizados em verde apresentam performance adequada, os postos de trabalho sinalizados em amarelo apresentam níveis ainda aceitáveis e os postos em vermelho sinalizam a necessidade de ações para mitigação dos fatores de erros humanos. A definição dos níveis de performance que são representados por cada cor depende do grau de maturidade de cada companhia ao se decidir pela aplicação de ACH.

6. Conclusões

Este artigo abordou a seleção de uma metodologia para avaliação da confiabilidade humana em um processo de montagem aplicado na indústria automotiva, motivado pela não existência de uma metodologia especificamente desenvolvida para uso neste setor.

Após uma avaliação bibliográfica das metodologias existentes foram identificadas 31 metodologias como mais relevantes na atualidade. Com a escolha das metodologias de segunda geração como mais adequadas para o setor automotivo, a quantidade de metodologias é reduzida para 13. Dentre estas 13 restantes foi aplicado um processo de *screening* para avaliação de características-chave de cada uma, com a seleção do método CREAM como o mais adequado para este segmento industrial.

A utilização desta metodologia, que permite quantificar a performance em relação à confiabilidade humana em cada posto de trabalho avaliado, é sugerida em associação a um indicador que viabiliza a quantificação do nível de adequação de cada etapa do processo produtivo. A criação deste indicador possibilita, além da avaliação imediata do processo em relação a ACH, a priorização de ações para elevação dos níveis de confiabilidade do processo.

Propõe-se, para a continuidade desta temática, a análise das condições para a implementação integral de uma metodologia de avaliação da confiabilidade humana em processos de manufatura automotiva, bem como a investigação da viabilidade de monitoramento contínuo por meio de indicadores-chave de desempenho.

Referências

- AHN, S.; KURT, R., Application of a CREAM based framework to assess human reliability in emergency response to engine room fires on ships, **Ocean Engineering**, V. 216, 2020;
- BELL, J.; HOLROYD, J. Review of human reliability assessment methods. **Health & Safety Laboratory**, v. 78, 2009;
- CACCIABUE, P. *et al.* COSIMO: a cognitive simulation model of human decision making and behavior in accident management of complex plants. **IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics**, v. 22, n. 5, p. 1058-1074, 1992;
- COOPER, R.; FOX, J. COGENT: A visual design environment for cognitive modeling. **Behavior Research Methods, Instruments, & Computers**, v. 30, n. 4, p. 553-564, 1998;
- DI PASQUALE, V. *et al.* A simulator for human error probability analysis (SHERPA). **Reliability engineering & system safety**, v. 139, p. 17-32, 2015;
- FARAG, A. **Mechanical Engineer's Handbook: Materials and Mechanical Design**, p. 466-488, New Jersey: Wiley & Sons, 2002;
- FELICE, F., PETRILLO, A. CARLOMUSTO, A., ROMANO, U., Modelling application for cognitive reliability and error analysis method, **International Journal of Engineering and Technology**, V. 05, Issue 05 p. 4450-4464, 2013;
- FORESTER, J.; KELLY, D.; KOLACZKOWSKI, A.; LOIS, E., 2006. Evaluation of Human Reliability Analysis Methods **U.S. Nuclear Regulatory Commission**, Washington, USA;
- FORD, H., 1926. Mass production, **The Encyclopedia Britannica**; Dictionary of Arts, Sciences, Literature & General Information, 13th ed. The Encyclopædia britannica company, Ltd, London, UK, pp. 821-823;
- FRIEDERICH, J.; LAZAROVA-MOLNAR, S. Reliability assessment of manufacturing systems: A comprehensive overview, challenges and opportunities. **Journal of Manufacturing Systems**, v. 72, p. 38-58, 2024;
- GERTMAN, D. *et al.* INTENT: a method for estimating human error probabilities for decisionbased errors. **Reliability Engineering & System Safety**, v. 35, n. 2, p. 127-136, 1992;
- GERTMAN, D. *et al.* The SPAR-H human reliability analysis method. **US Nuclear Regulatory Commission**, v. 230, n. 4, p. 35, 2005;

GORDON, R., The Contribution of Human Factors to Accidents in the Offshore Oil Industry. **Reliability Engineering & System Safety**, V. 61, p. 95-108, 1998;

HOLLNAGEL, E. **Cognitive Reliability and Error Analysis Method - CREAM**, Oxford: Elsevier, 1998;

JAHAN, A. *et al.* Material screening and choosing methods - A review. **Materials and Design**, v. 31, n. 2, p. 696-705, 2010;

KIRWAN, B.; GIBSON, W.; HICKLING, B. Human error data collection as a precursor to the development of a human reliability assessment capability in air traffic management. **Reliability Engineering & System Safety**, v. 93, n. 2, p. 217-233, 2008;

KIRWAN, B. Human error identification techniques for risk assessment of high risk systems- Part 1: review and evaluation of techniques. **Applied ergonomics**, v. 29, n. 3, p. 157-177, 1998;

MADONNA, M. *et al.* The human factor in risk assessment: methodological comparison between human reliability analysis techniques. **Prevention Today**, v. 5, n. 1/2, p. 67-83, 2009;

PAGANI, R.; KOVALESKI, J.; RESENDE, L. Methodi Ordinatio: a proposed methodology to select and rank relevant scientific papers encompassing the impact factor, number of citation, and year of publication. **Scientometrics**, v. 105, p. 2019-2135, set. 2015;

PALLEROSI, C., *et al.*, **Confiabilidade humana: Conceitos, Análises, Avaliação e Desafios**, São Paulo: All Print, 2011;

PETRUNI, A. *et al.*, Applying Analytic Hierarchy Process (AHP) to choose a human factors technique: Choosing the suitable Human Reliability Analysis technique for the automotive industry, **Safety Science**, V. 119, p. 229-239, 2019;

REER B.; Conclusions from Occurrences by Descriptions of Actions (CODA). **Drottz Sjöberg, BM (ed.) New Risk Frontiers, Proceedings of the 1997 Annual Meeting of the Society for Risk Analysis-Europe, Stockholm**. 1997;

REER B.; Retrospective Event Analysis Using CODA and Perspectives on Human Error Prediction, **Proceedings of the International Topical Meeting on Probabilistic Safety Assessment**, p. 22-26. Vol. 2, 1337-1345;

SHAPPELL, S. A.; WIEGMANN, D. The human factors analysis and classification system - HFACS. 2000;

SKOGDALEN, J.; VINNEM, J. Quantitative risk analysis offshore - Human and organizational factors, **Reliability Engineering and System Safety**, V. 96, Issue 4, p. 468-479, 2011;

STAMATELATOS, M. *et al.* **Probabilistic risk assessment procedures guide for NASA managers and practitioners**. 2011;

TAO, J. *et al.*, A bibliometric analysis of human reliability research. **Journal of Cleaner Production**, V 260, Issue 2, p. 1-11, 2020;

YALÇIN, E.; ALTUN, G.; GÜZEL, B., Human reliability analysis methods, **Pamukkale University Journal of Engineering Sciences**, V. 30, Issue 02 p. 282-292, 2024.