

AVALIAÇÃO DA APLICABILIDADE DE FERRAMENTAS DE ANÁLISE DE FALHAS NA PREVENÇÃO DE RISCOS OCUPACIONAIS

Beatriz Paiva Ribeiro - d2022005099@unifei.edu.br
Manuela Carvalho Leonel - manuelaclleonel@gmail.com
Denise Ransolin Soranso – denise_soranso@unifei.edu.br
Juliana Helena Daroz Gaudencio – juliana.gaudencio@unifei.edu.br

Palavras-chave: FMEA, FRAM, riscos ocupacionais, análise de falhas, segurança do trabalho.

1. INTRODUÇÃO

Os acidentes de trabalho permanecem como um desafio nas indústrias e laboratórios, impactando na segurança, produtividade e nos custos da organização. A operação de máquinas-ferramenta, como o torno CNC, envolve riscos que exigem atenção e preparo técnico dos operadores, especialmente em contextos educacionais onde há constante renovação de usuários e procedimentos.

Entre as ferramentas consolidadas para identificação de falhas e mitigação de riscos destacam-se a Análise de Modos de Falha e Efeitos (FMEA), especialmente em sua aplicação a processos produtivos, conhecida como Process FMEA (PFMEA) e o Método de Análise de Ressonância Funcional (FRAM). O FMEA possibilita identificar e priorizar falhas potenciais de forma estruturada (STAMATIS, 2003; CAVAGNAC; FORTE, 2018), enquanto o FRAM, desenvolvido por Hollnagel (2012), oferece uma abordagem sistêmica voltada à variabilidade do desempenho humano e às interações entre funções. Estudos comparativos indicam que a FMEA e o FRAM operam com lógicas distintas, porém complementares.

Dessa forma, este trabalho tem como objetivo geral avaliar a aplicabilidade das ferramentas FMEA e FRAM na prevenção de riscos ocupacionais, comparando sua viabilidade, benefícios e limitações, durante o processo de usinagem de uma peça realizada em torno CNC ROMI GL 240 no Laboratório de Manufatura e Automação do NOMATI (UNIFEI), onde os dados serão coletados e analisados com base em

entrevistas, observações e checklists. E os objetivos específicos são: (i) aplicar as ferramentas na análise de riscos da atividade, identificando falhas e variabilidades funcionais; (ii) comparar os métodos quanto à praticidade, detalhamento e aplicabilidade na gestão de riscos; e (iii) compreender os pontos fortes e limitações de cada abordagem na prevenção de acidentes.

2. DESENVOLVIMENTO

2.1 Referencial teórico

2.1.1 Conceitos e fundamentos dos métodos FMEA e FRAM

A Análise de Modos e Efeitos de Falha (FMEA) é uma metodologia estruturada utilizada para identificar e priorizar falhas potenciais antes que ocorram no ambiente real. Criada na indústria aeroespacial e militar, tornou-se amplamente aplicada na manufatura e na engenharia de confiabilidade (STAMATIS, 2003; LAURENTI; VILLARI; ROZENFELD, 2012).

Além disso, de acordo com da Silva, Hermosilla e da Silva (2017), a especificação técnica IATF 16949 reforça seu uso obrigatório no setor automotivo, promovendo a gestão sistemática de riscos e a melhoria contínua. No FMEA, cada falha é avaliada quanto à severidade, ocorrência e detecção, resultando no índice RPN (Risk Priority Number), que orienta ações preventivas (LIU; LIU; LIU, 2013).

Diante de algumas limitações, surgiu o *Process Failure Mode and Effects Analysis* (PFMEA) que aplica o mesmo raciocínio mas com foco nos processos produtivos, analisando etapas operacionais, fatores humanos, materiais e ambientais (PANTAZOPOULOS; TSINOPOULOS, 2005).

Já o *Functional Resonance Analysis Method* (FRAM) proposto por Erik Hollnagel (2012), oferece uma visão sistêmica alternativa às análises lineares tradicionais. Baseia-se na ideia de que acidentes resultam da interação entre variabilidades normais do sistema, e não apenas de falhas isoladas (HERRERA; WOLTJER, 2010; PATRIARCA *et al.*, 2020).

Cada função essencial do sistema é descrita segundo seis aspectos: entrada, saída, pré-condições, recursos, controles e tempo (HOLLNAGEL, 2012; HERRERA;

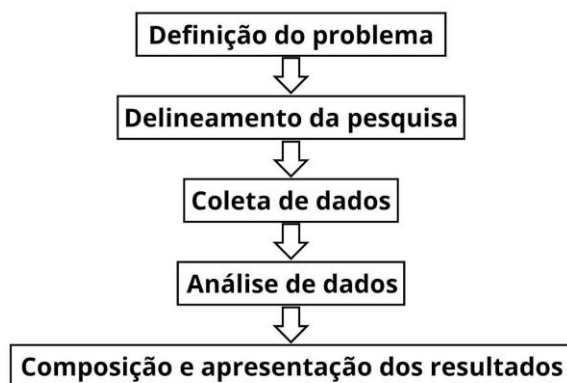
WOLTJER, 2010). Essas funções se conectam por meio de acoplamentos variáveis, permitindo mapear como as variações no desempenho podem se propagar.

Embora exija maior envolvimento e conhecimento dos profissionais, o FRAM proporciona uma análise profunda e realista da segurança em sistemas sociotécnicos complexos, como laboratórios e indústrias, complementando métodos tradicionais como o FMEA (MENEZES *et al.*, 2021).

2.2 Metodologia

A pesquisa adota uma abordagem qualitativa, descritiva e aplicada, desenvolvida por meio de estudo de caso, conforme proposto por Yin (2001), com representação esquemática no fluxograma da Figura 1.

Figura 1 - Imagem que apresenta o fluxograma esquemático.

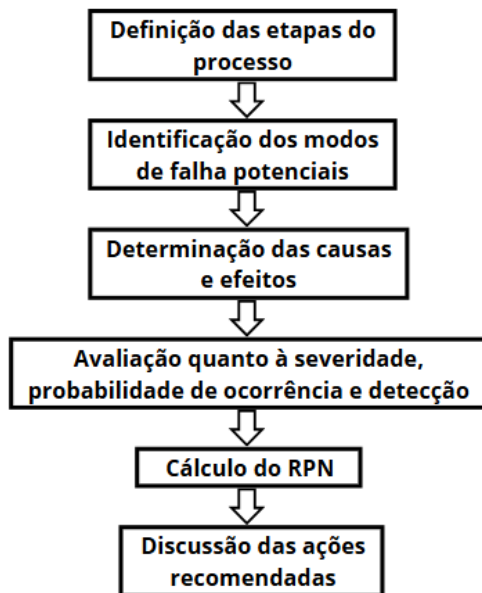


Fonte: Elaborada pelas autoras a partir de Yin (2001).

O estudo é conduzido no Laboratório de Manufatura e Automação (LMAUT) do NOMATI/UNIFEI, ambiente que simula condições reais de manufatura e apresenta riscos ocupacionais. Dessa forma, a coleta de dados ocorreu por meio de observações diretas, entrevistas semiestruturadas com operadores e aplicação de checklists de segurança, visando à triangulação das informações.

Com base nos dados coletados, foi aplicada a ferramenta PFMEA, conforme as etapas clássicas representadas na Figura 2, para identificar falhas potenciais, suas causas e efeitos.

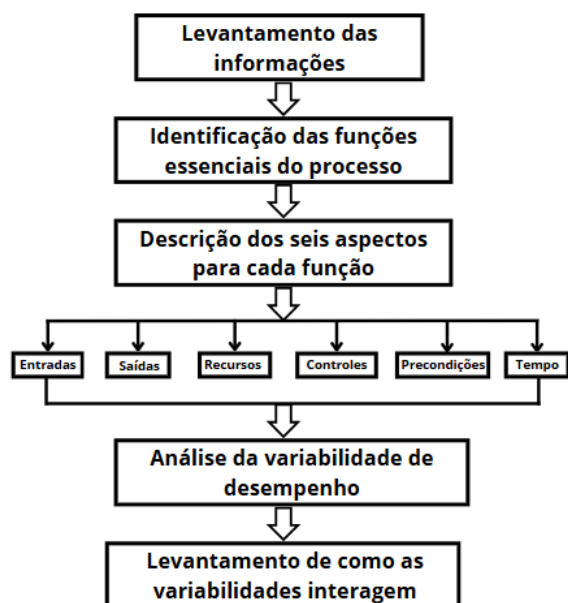
Figura 2 - Imagem que apresenta um esquema das etapas do PFMEA.



Fonte: Elaborada pelas autoras (2025).

Em seguida, foi elaborado um modelo FRAM da mesma atividade, analisando as funções do processo segundo seis aspectos fundamentais. As etapas desse método são ilustradas na Figura 3.

Figura 3 - Imagem que apresenta as etapas do método FRAM.



Fonte: Elaborada pelas autoras (2025).

Por fim, os resultados das duas análises serão comparados de forma sistemática. Serão elaborados quadros comparativos destacando: (a) os riscos identificados em comum por ambos os métodos; (b) riscos apontados pelo PFMEA que o FRAM não evidenciou; e (c) riscos ou fatores destacados pelo FRAM não capturados no PFMEA. Essa análise comparativa será utilizada para discutir as vantagens relativas de cada método, conforme proposto nos objetivos.

3. RESULTADOS ESPERADOS

Este estudo busca comparar, de forma sistemática, as ferramentas PFMEA e FRAM na análise de riscos ocupacionais em processos de usinagem. Até o momento, foram realizadas entrevistas e observações no laboratório NOMATI - UNIFEI, com foco nas operações do torno CNC ROMI GL 240. Com base nesses dados, foi possível construir uma versão preliminar da tabela PFMEA (Figura 4) e do modelo FRAM (Figura 5), que representam a base para as análises posteriores.

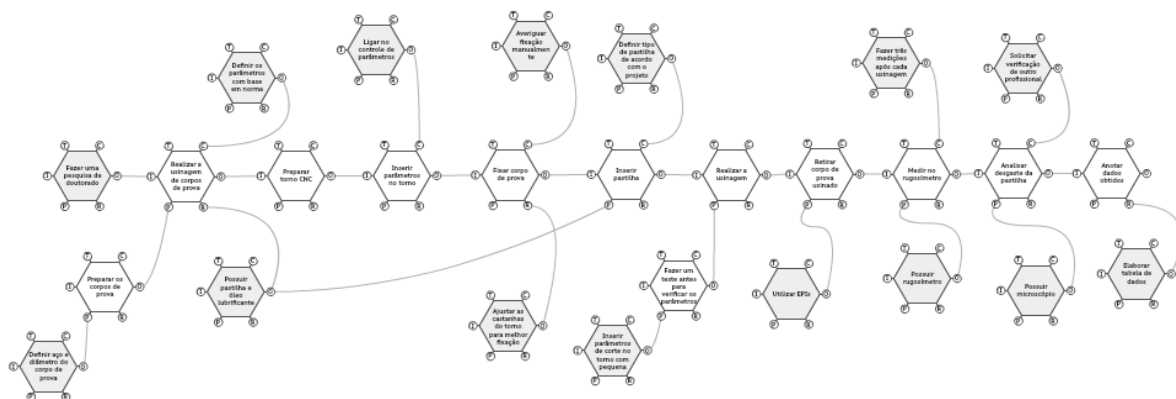
Figura 4 - Versão preliminar da tabela PFMEA.

Modo de Falha Potencial	Efeito da Falha	S (Severidade)
Peça mal fixada	Vibração excessiva, peça usinada torta, aumento da rugosidade	7
Coordenadas erradas	Quebra da pastilha ou dano à peça	8
Aplicar passe muito alto	Perda da aresta da pastilha, superaquecimento da peça	7
Choque térmico e quebra da pastilha cerâmica	Interrupção do processo, retrabalho	7
Corte na mão do técnico	Acidente pessoal	8
Medida incorreta de rugosidade	Dados imprecisos para análise de qualidade	6
Anotação errada no Excel	Análise equivocada, impacto na pesquisa	5
Ambiente quente e mal ventilado	Desconforto, fadiga, diminuição da atenção, aumento do risco de erro	6
Operador sem uso de EPI	Exposição a partículas, fluidos e ruído excessivo	8
Parâmetro incorreto	Peça com defeito, desgaste da ferramenta ou risco de acidente	7
Excesso de ruído	Danos auditivos, estresse sonoro, distração	7
Operador atuando sozinho	Ausência de auxílio em caso de emergência	7
Medição imprecisa	Rejeição da peça, retrabalho ou envio de item com defeito para uso final	6

Causa Potencial da Falha	O (Ocorrência)	Controles Atuais	D (Detecção)	RPN
Fixação incorreta nas castanhas	4	Supervisão técnica; fixação hidráulica	3	84
Erro humano no programa; não rodar ciclo de teste	5	Execução de ciclo de teste antes da usinagem	2	80
Parâmetro de avanço alto; erro de julgamento	4	Revisão dos parâmetros; supervisão técnica	3	84
Falta de conhecimento sobre o tipo de pastilha	3	Treinamento e diferenciação de tipos de pastilha	2	42
Cavaco quente, ausência de luva	3	Uso recomendado de EPI; sinalização	2	48
Peça mal posicionada ou não girada	3	Treinamento e revisão dupla dos dados	2	36
Erro humano ao transcrever valores	4	Conferência cruzada entre operador e supervisor	2	40
Tipo de janela inadequado, ausência de climatização	3	Relato técnico; possível proposta de melhoria	3	54
Falta de fiscalização	3	Reforço na fiscalização, sensibilização sobre EPI	3	72
Falta de instrução formal, erro humano	4	Procedimento escrito e revisão entre pares	2	56
Equipamento com manutenção irregular ou ambiente acústico ruim	4	Monitoramento de ruído e ajuste de layout	3	84
Falta de pessoal ou negligência do procedimento	4	Trabalho em dupla (supervisão)	2	56
Falta de revisão dupla, instrumento mal calibrado	3	Revisão cruzada e calibração periódica	2	36

Fonte: Elaborada pelas autoras (2025).

Figura 5 - Versão preliminar do modelo FRAM.



Fonte: Elaborada pelas autoras (2025).

A partir dessas análises validadas, serão elaborados quadros comparativos para identificar: (i) falhas técnicas detectadas apenas pelo PFMEA; (ii) variações operacionais destacadas apenas pelo FRAM; e (iii) elementos comuns aos dois

métodos. Espera-se que os resultados evidenciem as potencialidades e limitações de cada abordagem, especialmente quanto à sua praticidade, nível de detalhamento e aplicabilidade na gestão de riscos em ambientes laboratoriais.

Por fim, pretende-se propor um modelo híbrido de análise que una a robustez quantitativa do PFMEA à perspectiva sistêmica e contextual do FRAM, fornecendo subsídios práticos para uma gestão mais integrada da segurança ocupacional.

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este estudo buscou avaliar a aplicabilidade das ferramentas PFMEA e FRAM na análise de riscos ocupacionais em um ambiente de manufatura educacional. A partir da aplicação prática no torno CNC do LMAUT - UNIFEI, foi possível observar que ambas as ferramentas oferecem contribuições relevantes, porém com enfoques distintos. O PFMEA mostrou-se eficaz na identificação e priorização de falhas técnicas específicas, enquanto o FRAM destacou-se na análise contextual e na variabilidade do desempenho humano. A comparação sistemática dos resultados permitiu compreender os pontos fortes e limitações de cada método, conforme os objetivos propostos, evidenciando o potencial de um uso complementar para uma gestão de riscos mais robusta e abrangente.

AGRADECIMENTOS

Agradecimentos ao Programa de Educação Tutorial (PET) da Universidade Federal de Itajubá, à FAPEMIG e ao Laboratório de Manufatura e Automação (LMAUT) do NOMATI - UNIFEI.

REFERÊNCIAS

DA SILVA, G. A. M.; HERMOSILLA, J. L. G.; DA SILVA, E. C. C. Limitações da ferramenta FMEA: estudo de suas aplicações em uma empresa do segmento automotivo. *Revista Brasileira Multidisciplinar*, v. 20, n. 2, p. 69–79, 2017.

HERRERA, I. A.; WOLTJER, R. Comparing a multi-linear (STEP) and systemic (FRAM) method for accident analysis. *Reliability Engineering & System Safety*, v. 95, n. 12, p. 1269–1275, 2010. DOI: 10.1016/j.ress.2010.06.003.

LAURENTI, R.; VILLARI, B. D.; ROZENFELD, H. Problemas e melhorias do método FMEA: uma revisão sistemática da literatura. *P&D em Engenharia de Produção*, v. 10, n. 1, p. 59–70, 2012.

LIU, H.-C.; LIU, L.; LIU, N. Risk evaluation approaches in failure mode and effects analysis: A literature review. *Expert Systems with Applications*, v. 40, n. 2, p. 828–838, 2013. DOI: 10.1016/j.eswa.2012.08.010.

MENEZES, M. L. A.; HADDAD, A. N.; NASCIMENTO, M. Functional Resonance Analysis Method and Human Performance Factors: Identifying Critical Functions in Chemical Process Safety. *IEEE Access*, v. 9, p. 168368–168382, 2021. DOI: 10.1109/ACCESS.2021.3135747.

PANTAZOPOULOS, G.; TSINOPOULOS, G. Process failure modes and effects analysis (PFMEA): A structured approach for quality improvement in the metal forming industry. *Journal of Failure Analysis and Prevention*, v. 5, n. 2, p. 5–10, 2005. DOI: 10.1361/154770205X68989.

PATRIARCA, R.; DI GRAVIO, G.; WOLTJER, R.; COSTANTINO, F.; PRAETORIUS, G.; FERREIRA, P.; HOLLNAGEL, E. Framing the FRAM: A literature review on the Functional Resonance Analysis Method. *Safety Science*, v. 129, 104827, 2020. DOI: 10.1016/j.ssci.2020.104827.

YIN, R. K. Estudo de caso: planejamento e métodos. 2. ed. Porto Alegre: Bookman, 2001.