

Análise de modos e efeitos de falhas: abordagem extensionista aplicada a uma pequena empresa

Analysis of modes and failure effects: extensionist approach applied to a small company

Alessandra Lopes Carvalho¹

Luciano Andrade²

Henrique Tadeu Castro Mendes³

Matheus Albiani Alves⁴

Pedro Vettorello Pinheiro⁵

RESUMO

Este trabalho está inserido no contexto do Projeto Extensionista “Produção Ativa”, desenvolvido por alunos e professores do curso de Engenharia de Produção. Sabe-se que um percentual muito grande das empresas fundadas no Brasil fecham as portas no primeiro ano de vida. Existem várias possíveis explicações para esse fato: a empresa pode ter começado como uma empresa familiar e não conseguiu se estruturar, dificuldades de competição com grandes empresas ou até mesmo falta de conhecimentos e embasamento teórico em práticas de gestão. A partir do pressuposto de que a capacitação institucional efetiva contribui para a longevidade das organizações, o projeto “Produção Ativa” objetiva promover a interação entre o conhecimento acadêmico e o saber popular. Especificamente, neste trabalho, são apresentados estudos e intervenções realizadas em uma empresa cujo nicho de mercado concentra-se em produtos de aço inox utilizados para homenagens e premiações. A pesquisa desenvolvida caracteriza-se como qualitativa e utiliza como método o estudo de caso. Os resultados obtidos demonstram claramente o crescimento profissional dos alunos envolvidos. Observa-se ainda que os alunos participantes do projeto tiveram a oportunidade de conhecer a rotina de um ambiente industrial e vivenciar os problemas inerentes à gestão de um negócio. Dentre os problemas observados, ressalta-se a necessidade de convivência entre pessoas de diferentes gerações e com níveis de instrução diversos. Considerando a empresa parceira, foi possível constatar que os objetivos iniciais foram plenamente alcançados não somente pela análise de um problema específico, mas, sobretudo, pelo conhecimento gerado.

Palavras-chave: Engenharia de Produção. Extensão Universitária. FMEA.

ABSTRACT

This work is inserted in the context of the Extensionist Project "Active Production", developed by students and professors of the Production Engineering course. It is known that a very large percentage of the companies founded in Brazil close their doors in the first year of their lives. There are several possible explanations for this: the company may have started as a family business and failed to structure itself, difficulties in competing with large companies or even lack of knowledge and theoretical basis in management practices. Based on the assumption that effective institutional training contributes to the longevity of organizations, the "Active Production" project aims to promote the interaction

¹ Professora do departamento de Engenharia de Produção da PUC Minas. E-mail: alessandralcarvalho@pucminas.br.

² Professor do departamento de Engenharia de Produção da PUC Minas. E-mail: lucianoandrade@pucminas.br.

³ Graduando do Curso de Engenharia de Produção da PUC Minas Barreiro. E-mail: henritcm@gmail.com.

⁴ Graduando do Curso de Engenharia de Produção da PUC Minas Barreiro. E-mail: matheusalbiani@hotmail.com.

⁵ Graduando do Curso de Engenharia de Produção da PUC Minas Barreiro. E-mail: pedro_vitorelli@hotmail.com.

between academic knowledge and popular knowledge. Specifically, in this work, we present studies and interventions carried out in a company whose niche market focuses on stainless steel products used for honors and awards. The research developed is characterized as qualitative and uses as a method the case study. The results obtained clearly demonstrate the professional growth of the students involved. It is also observed that the students participating in the project had the opportunity to know the routine of an industrial environment and to experience the inherent problems of running a business. Among the problems observed, the need for coexistence between people of different generations and with different levels of education is emphasized. Considering the partner company, it was possible to verify that the initial objectives were fully achieved not only by the analysis of a specific problem but, mainly, by the knowledge generated.

Keywords: Production Engineering. University Extension. FMEA.

1 INTRODUÇÃO

O número de microempresas no Brasil tem aumentado consideravelmente assumindo um papel importante para a composição do PIB (Produto Interno Bruto). Entretanto, a despeito da importância econômica e principalmente social, 23,4% das pequenas empresas fecham as portas em um período de dois anos (SERVIÇO DE APOIO ÀS MICRO E PEQUENAS EMPRESAS, 2016). Podem ser citados, como prováveis motivos que podem levar uma pequena empresa à falência, a falta de organização, a falta de planejamento, a inexperiência, dentre muitos outros. Neste contexto, percebe-se claramente a possibilidade de contribuição da Engenharia de Produção.

Segundo a Associação Brasileira de Engenharia de Produção (2008), o campo de atuação do Engenheiro de Produção pode ser estratificado em nove grandes áreas: Engenharia de Operações de Processos de produção, Logística, Pesquisa Operacional, Engenharia da Qualidade, Engenharia do Produto, Engenharia Organizacional, Engenharia Econômica, Engenharia do Trabalho e Engenharia da Sustentabilidade. Mais detalhes sobre cada uma das áreas podem ser obtidos em Batalha (2008), Slack, Chambers; Johnston (2010), Laroze Neto e Leite (2010), Venanzi; Silva (2016).

Considerando o vasto campo de aplicações proporcionado pela interação entre as várias áreas citadas, a Engenharia de Produção naturalmente demanda abordagens multidisciplinares. Por exemplo, a qualidade de um produto depende de um projeto bem dimensionado, de um processo de fabricação adequado, da gestão eficiente das pessoas e dos conhecimentos gerados, da logística de distribuição, dentre outros inúmeros fatores. Assim, de forma oposta às engenharias tradicionais e tecnicistas, a Engenharia de Produção exige o desenvolvimento de uma visão holística e integrada face ao enfrentamento das situações cotidianas.

A partir das demandas das micro e pequenas empresas por suporte técnico, os conhecimentos inerentes à Engenharia de Produção, considerando-se a necessária indissociabilidade entre o ensino, a pesquisa e a extensão, teve origem o Projeto Extensionista “Produção Ativa”, o

qual se encontra em desenvolvimento no curso de Engenharia de Produção da PUC Minas Unidade Barreiro. O foco principal do projeto é conceber a possibilidade de interação da comunidade acadêmica com microempresas pertencentes ao entorno da Universidade.

Cabe ressaltar a importância das práticas extensionistas pela possibilidade de transcendência da sala de aula (OLIVEIRA e ROCHA, 2010). Observa-se ainda a possibilidade de desenvolvimento de maior autonomia intelectual e o rompimento do individualismo (PEREIRA, 2013), buscando-se a formação de um sujeito tecnicamente competente e eticamente comprometido.

O Projeto Produção Ativa apresenta alinhamento com o Projeto Pedagógico do curso de Engenharia de Produção, uma vez que propõe que o estudante vivencie os problemas que afligem os atores envolvidos no processo produtivo (empregadores, empregados, consumidores e sociedade). Resultados concretos obtidos anteriormente pelos participantes desse projeto podem ser encontrados em Carvalho *et al.* (2016), Suzart, Aguiar e Carvalho (2017); Pacífico, Araújo e Carvalho (2017) e Barbosa *et al.* (2017).

Este trabalho é parte integrante do projeto supracitado e aborda especificamente um estudo de caso realizado em uma empresa de pequeno porte localizada em Belo Horizonte, Minas Gerais. O nicho de mercado da empresa envolvida neste estudo consiste em produtos de aço inox utilizados para homenagens e premiações como troféus, medalhas e placas em estojo.

Considerando-se todas as áreas que compõem o campo de atuação do Engenheiro de Produção, este trabalho concentra-se na área Engenharia da Qualidade. Naturalmente, a escolha de um foco não isenta a necessidade de interfaces com outras áreas. Observa-se uma clara interface da Engenharia de Qualidade com a área Engenharia de Operações e Processos de Produção, subárea Planejamento, Programação e Controle da Produção, uma vez que se buscou identificar gargalos nos processos estudados. Observa-se também interface com a área Engenharia do Trabalho, subárea Gestão de Riscos de Acidentes.

Do ponto de vista da dimensão extensionista, o Projeto Produção Ativa tem por objetivos formar profissionais

- com acentuada formação humanística;
- aptos a desenvolver uma visão sistêmica do trabalho, da produção e dos modelos de gerenciamento de produtos / serviços e processos, em atendimento às demandas da sociedade;
- aptos a planejar e executar atividades de implementação e melhoria dos sistemas produtivos.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Engenharia da qualidade

Conforme exposto anteriormente, a Engenharia de Produção é essencialmente multidisciplinar. Considerando-se aspectos técnicos, o foco deste trabalho é a aplicação de ferramentas da qualidade, portanto concentra-se na área Engenharia da Qualidade.

A qualidade é algo inerente ao ser humano e pode estar relacionada genericamente ao nível de satisfação oferecida por produto ou processo, do ponto de vista do usuário, do produto em si, da produção ou do valor agregado. Essa satisfação pode ser desdobrada em termos de características específicas peculiares a cada situação como durabilidade, conformidade, atendimento (no caso de serviços), confiabilidade, dentre outros.

A importância da busca continua pela qualidade tem assumido novas proporções nas últimas décadas devido à concorrência crescente na indústria como um todo. Existe ainda uma constante preocupação com a diminuição de custos e prazos de entrega exigindo uma concepção integrada e dinâmica dos processos produtivos.

Podem ser identificadas várias abordagens para a definição da qualidade (TOLEDO *et al.*, 2013). A abordagem transcendente trata a qualidade como um conceito abstrato, como característica de excelência inata e definição imprecisa. A qualidade baseada no usuário, do ponto de vista do *marketing*, pode ser traduzida como a capacidade de satisfazer desejos, tendo uma forte característica, portanto, de adequação ao uso. Tomando por base o produto, a qualidade assume características precisas e mensuráveis refletindo diferenças na quantidade de um atributo ou ingrediente. A abordagem baseada na produção relaciona-se à conformidade com as especificações e finalmente a abordagem baseada no valor define a qualidade em termos de custos e preços (PALADINI, 2011).

Sabe-se que a busca pela qualidade é intrínseca a natureza humana. O conceito de qualidade, entretanto, foi formalmente associado a métodos científicos somente após a revolução industrial. A qualidade como é conhecida em termos atuais teve como principais disseminadores Deming, Juran e Ishikawa, sendo que a evolução dos conceitos relacionados a ela, como um modelo de gestão, está intimamente relacionada à história do Japão após a Segunda Guerra (CARPINETTI, 2012). Inicialmente, o foco dos estudos sobre qualidade no Japão foi o produto, principalmente devido a necessidade de sobrevivência pós-guerra. Posteriormente os estudos desenvolvidos evoluíram para

a metodologia Controle da qualidade Total (TQC - *Total Quality Control*), direcionada ao gerenciamento. Portanto, percebe-se historicamente que a qualidade deixou o chão de fábrica e, com o passar do tempo, assumiu uma posição de importância estratégica em qualquer organização.

Dentre as ferramentas clássicas do controle da qualidade total podem ser citadas Histograma, Folha de Controle, Gráfico de Pareto, Diagrama de Causa e Efeito, Diagrama de Concentração de Defeitos, Diagrama de Dispersão e Gráfico de Controle (TOLEDO *et al.*, 2013). Naturalmente surgiram outros programas e métodos para a melhoria da qualidade. Como métodos de qualidade para desenvolvimento de produtos podem ser citados o QFD (*Quality Function Deployment*) e o DOE (*Design of Experiments*). Surgiram ainda ferramentas para análise e prevenção de falhas em produtos e processos como FMEA (*Failure Modes and Effects Analysis*) e FTA (*Fault Tree Analysis*). Mais detalhes podem ser encontrados em Aguiar (2012), Toledo *et al.*, (2013), Rodrigues (2014), Mello *et al.* (2016), Montgomery (2016).

2.2 Análise de Modos e Efeitos de Falhas

Objetiva-se neste trabalho utilizar especificamente a ferramenta FMEA (*Failure Modes and Effects Analysis*) ou, em tradução livre, Análise de Modos e Efeitos de Falhas. A FMEA tem por objetivo identificar todos os possíveis modos potenciais de falha e determinar o efeito de cada uma sobre o desempenho do sistema (produto ou processo).

Inicialmente é necessário se definir claramente o conceito de falha. Uma falha é definida como a falta de capacidade de um item, componente ou processo em desempenhar a função para a qual foi projetado. Entretanto, o conceito de falha é fortemente dependente do contexto. Assim, uma situação considerada falha pode ser considerada sucesso em outras condições. (STAMATIS, 2014).

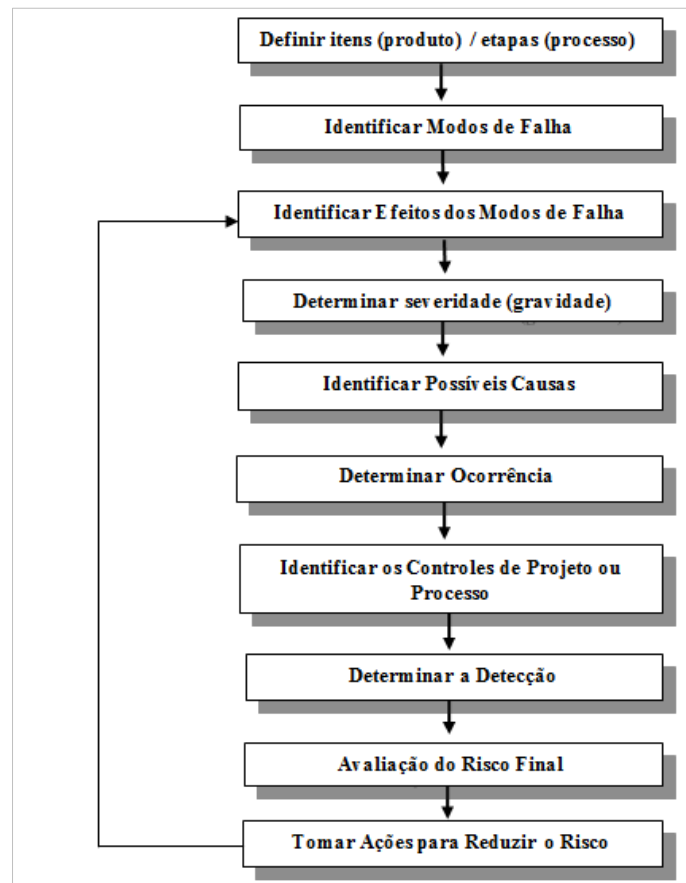
Define-se como modo de falha um evento que provoca uma diminuição parcial ou total da função do produto e de suas metas de desempenho. As causas são eventos que geram, provocam ou induzem o aparecimento do tipo (modo) de falha e finalmente os efeitos são formas como os modos de falha afetam o desempenho do sistema.

Após identificar possíveis modos de falhas, o próximo passo consiste em identificar suas respectivas causas e efeitos. Posteriormente cada modo de falha é classificado segundo os índices de ocorrência, severidade e detecção (TOLEDO *et al.*, 2013; CARPINETTI, 2016). A análise é direcionada através de perguntas como:

- De que maneiras um componente pode falhar?
- Que tipos de falhas são observadas?
- Que partes do sistema são afetadas?
- Quais são os efeitos da falha sobre o sistema?
- Qual a importância da falha?
- Como prever a ocorrência das falhas?

A Figura 1 apresenta um fluxograma básico para elaboração da FMEA. O resultado da análise é consolidado através de um formulário (Figura 2). No formulário FMEA, consta uma identificação inicial que especifica se a análise refere-se a um produto ou processo e dados de registro particulares. A seguir são introduzidos o nome do item, componente ou etapa do processo e sua função. Posteriormente são registradas as falhas e, respectivamente, o modo, efeito, causa e a possível existência de alguma ação de controle para que a falha analisada não ocorra. Finalmente são computados os índices de gravidade, detecção, ocorrência e risco. A última etapa consiste na sugestão de uma ação corretiva para evitar a falha.

Figura 1 – Fluxograma para Elaboração da FMEA



Fonte: Elaborado pelos autores, 2018.

O índice severidade mede a gravidade da falha sobre o equipamento ou processo em estudo. São atribuídas notas em uma escala com variação de 1 a 10. O valor 1 indica uma falha com baixa gravidade e o valor 10 indica uma falha com gravidade máxima. O índice de ocorrência representa de forma qualitativa a probabilidade de ocorrência de uma falha e segue a mesma lógica do índice de severidade. O índice de detecção avalia a probabilidade de se perceber a existência de uma falha e apresenta uma lógica inversa aos dois outros índices. Assim, quanto maior for a facilidade de detecção de uma falha, menor será a nota atribuída, também em uma escala de 1 a 10.

Figura 2 – Exemplo de formulário para elaboração da FMEA

Etapa Função do Processo	Modo Potencial da Falha	Efeitos Potenciais da Falha	Severidade	Causas/ Mecanismos Potenciais da Falha	Ocorrência	Controles Atual	Deteção	R P N

Fonte: Elaborado pelos autores, 2018.

Após a determinação dos índices severidade, ocorrência e detecção é possível calcular o índice de risco (FOGLIATTO; RIBEIRO, 2009; PALADY, 2013) também conhecido como RPN (*Risk priority number*), conforme Equação (1)

$$RPN = O \times S \times D \quad (1)$$

Onde: O é índice de ocorrência;

S é índice de severidade;

D é índice de detecção.

A partir do índice de risco (RPN) é possível hierarquizar as falhas e, assim, criar ações para prevenção ou correção. Observa-se que, após o término da análise, é possível identificar a falha mais crítica como aquela que apresenta maior índice de risco. Portanto, para diminuição do risco total, é necessária a diminuição de pelo menos um dos índices citados.

O índice de detecção pode ser reduzido através do aumento das atividades de verificação e validação. O índice de ocorrência pode ser diminuído pela remoção ou controle de causas e alteração do projeto e o índice de gravidade somente através da alteração do projeto

Cabe ressaltar que uma análise FMEA deve necessariamente ser desenvolvida por uma equipe multi-hierárquica e multidisciplinar. É de suma importância que a equipe seja integrada de forma a favorecer a extração dos conhecimentos individuais de cada membro e, ao mesmo tempo, possibilite a consolidação da construção do conhecimento coletivo. Dessa forma, a FMEA exerce papel fundamental ao viabilizar a transformação do conhecimento que existe na forma tácita para um conhecimento formal e que possa ser racionalmente armazenado. Nesse contexto, é absolutamente essencial a criação de um ambiente no qual as pessoas se sintam à vontade para expressar suas opiniões e no qual esteja muito claro que o objetivo da análise não é procurar culpados por problemas anteriores.

Exemplos de aplicações de FMEA para análise de produtos podem ser encontrados em Schunk, Klafke e Zanette, (2013) e Braile e Andrade (2013). Aplicações de FMEA em processos podem ser encontradas em Rech, Anzanello e Dutra (2013), Traleski, Stepień e Blauth (2015), Medeiros, Sobreira e Carvalho (2016).

Observa-se também que a FMEA evoluiu e se popularizou de tal forma que podem ser encontrados vários exemplos de aplicações fora do meio industrial, como em Nogueira, Peres e Carvalho (2011); Akim, Mergulhão e Borrás (2013).

Finalmente cabe ressaltar que a FMEA é considerada um documento vivo, na qual são necessárias revisões periódicas. (MEDEIROS; SOBREIRA; CARVALHO, 2016). Esse procedimento faz com que seja possível confrontar as falhas que forem identificadas no momento da elaboração do documento com as falhas atuais e também a incorporação de falhas não previstas.

Conclui-se que a FMEA permite melhor conhecimento dos produtos e processos; padronização de procedimentos, registro histórico das falhas, planejamento das atividades de manutenção, seleção e priorização de melhorias e diminuição de custos.

3 METODOLOGIA

Este trabalho consiste em uma pesquisa extensionista com caráter qualitativo e utiliza como método o estudo de caso (CAUCHICK MIGUEL, 2012). Segundo Yin (2015), um estudo de caso permite que os investigadores tenham uma visão realista de um determinado problema, de forma a perceber a diferença entre o teórico e o empírico. Obviamente, a prática extensionista exige o

estabelecimento de um diálogo entre a empresa e a universidade, por isso, inicialmente foi necessário identificar uma empresa na qual fosse possível estabelecer o vínculo necessário ao desenvolvimento de um projeto extensionista.

Observa-se, em geral, grande receio por parte de empresas em se colocar como parceira de uma instituição de ensino e abrir suas portas possibilitando a disponibilização de informações, acesso a suas dependências e recursos humanos. Assim, diferentemente do que acontece em outras áreas, nas quais a sociedade procura a universidade, o desenvolvimento de um projeto dessa natureza traz um desafio adicional, que é encontrar uma empresa parceira.

Nesse contexto, a empresa selecionada para participação no projeto localiza-se em Belo Horizonte / Minas Gerais, é especialista na fabricação de itens em aço inox utilizados em homenagens e premiações como placas, troféus e medalhas.

Uma vez localizada a empresa parceira, desenvolveu-se uma etapa de diagnóstico na qual foram realizadas visitas técnicas e entrevistas informais envolvendo os gestores e colaboradores de diferentes níveis hierárquicos.

A primeira visita técnica foi realizada com o objetivo de apresentar ao principal gestor da empresa o escopo do “Projeto Produção Ativa”, bem como os princípios da extensão universitária enquanto atividade indissociável ao ensino e à pesquisa. Essa reunião contou com a participação de toda a equipe do projeto (alunos extensionistas e professor orientador) e representou formalmente o início da parceria empresa-universidade.

Visando alcançar os objetivos do projeto sob o olhar extensionista, foram realizadas reuniões periódicas nas dependências da universidade, para discussão dos conceitos técnicos e elaboração de estratégias de abordagem que pudessem facilitar o diálogo com os funcionários da empresa foco do estudo.

Segundo orientações do gestor da empresa, foi agendada uma segunda visita técnica para mapeamento preliminar do processo de fabricação e definição das etapas futuras. A partir da necessidade de levantamento de possíveis falhas de processo, a ferramenta FMEA foi apresentada como alternativa viável. Foram designados dois engenheiros de produção para acompanhamento da equipe, o que possibilitou a elaboração de perguntas com grande nível de detalhes.

O mapeamento dos processos de fabricação deu origem a um fluxograma, no qual foi possível identificar todas as etapas do processo produtivo, a saber: recebimento de matéria prima, corte das chapas, laminação, gravação do texto, revelação, forno, escovação, corrosão e acabamento. Dentre os vários processos executados (dando origem a vários produtos diferentes), foi selecionado como prioritária a confecção de placas em estojo por ser o produto de maior demanda na empresa.

Considerando que a empresa foco do estudo é de pequeno porte, apenas três equipes se dividem entre os diversos processos. As etapas de fabricação ficaram delimitadas em três macroetapas parciais: a primeira começa no recebimento da placa de aço do fornecedor até correção; a segunda contém os processos de corrosão e decapagem, e a terceira começa no corte final e termina com a montagem. Portanto, ficou decidido que seriam elaborados três FMEA, um para cada macroetapa. Posteriormente a equipe pesquisou e definiu um roteiro a ser empregado, conforme Palady (2011):

- 1) Definir modos de falha, causas e efeitos;
- 2) Definir os índices de ocorrência, severidade e detecção;
- 3) Interpretar resultados;
- 4) Acompanhar (executar ação corretiva se necessário)

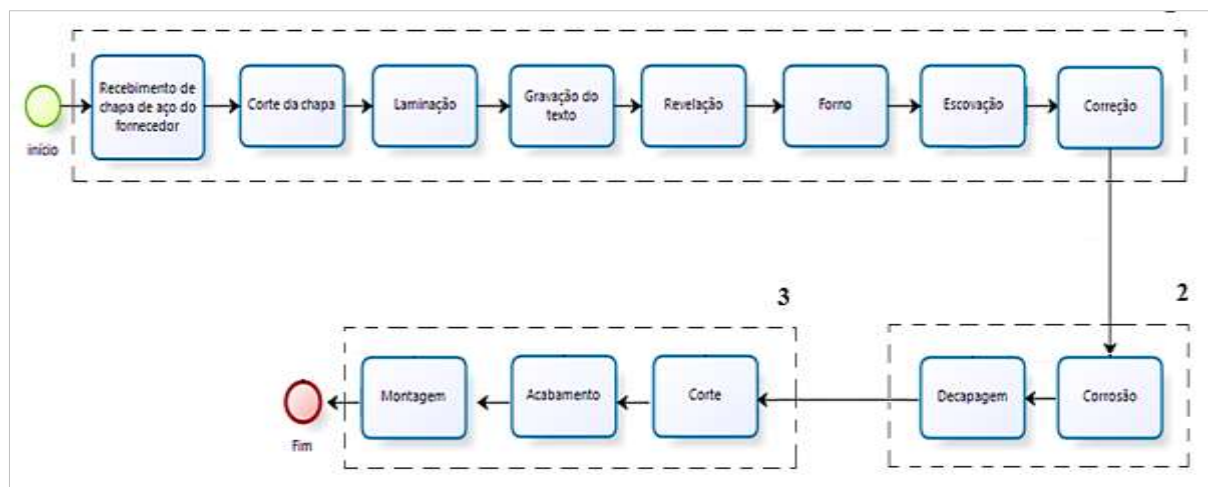
Após o planejamento e elaboração do roteiro, foi constituída a equipe multidisciplinar e multi-hierárquica necessária para a elaboração do FMEA. A equipe – formada por dois engenheiros (de áreas de atuações distintas), três colaboradores e o grupo extensionista (alunos e professor orientador) – se reuniu para a análise de cada uma das três macroetapas identificadas anteriormente.

Em cada reunião de trabalho, foi questionado, a todos os presentes, quais as possíveis falhas que poderiam ocorrer em cada uma das etapas do processo. Posteriormente, foram levantadas as possíveis causas e respectivos efeitos. Finalmente, foram definidos os índices de severidade, ocorrência e detecção. Após o término da análise, os resultados consolidados foram entregues para a empresa parceira.

4 RESULTADOS

Apresenta-se na Figura 3 o fluxograma do processo na qual se observam 3 macroetapas. Conforme descrito anteriormente, elaborou-se um FMEA para cada macroetapa do processo:

Figura 3 – Fluxograma geral do processo



Fonte: Elaborado pelos autores, 2018.

A elaboração da primeira FMEA demandou maior tempo e atenção da equipe extensionistas, principalmente devido à resistência inicial por parte dos colaboradores. Esse fato condiz com um comportamento natural perante a mudanças e a apresentação de novas metodologias de trabalho. Foi possível observar também que parte dos colaboradores da empresa integrantes da equipe apresentou receio em expor falhas da empresa e, principalmente, possíveis falhas pessoais. Nesse momento, coube à equipe extensionista estabelecer um diálogo franco e direto, no sentido de minimizar qualquer sentimento de desconforto perante a situação.

De forma geral, a equipe extensionista exerceu papel como mediadora dos conflitos que naturalmente surgiram; principalmente a atribuição dos índices de severidade, ocorrência e detecção demandou um grande esforço de mediação, considerando as diferentes experiências e vivências pessoais de cada um dos envolvidos.

Os Quadros 1, 2 e 3 apresentam a concretização das análises realizadas para as macroetapas Gravação, Correção e Finalização, respectivamente.

O cálculo do índice de risco para cada processo indicou como mais crítica a segunda macroetapa, modo de falha “descascar letra na placa”. Observa-se que o segundo modo de falha mais crítico ocorre da terceira macroetapa “letra faltando” e a causa provável, segundo a equipe multidisciplinar formada é falta de atenção na etapa gravação.

Quadro 1 - FMEA macroetapa 1 – Gravação

Função do Processo	Modo Potencial da Falha	Efeitos Potenciais da Falha	Severidade	Causas/ Mecanismos Potenciais da Falha	Ocorrência	Controles de Projeto Atual Prevenção	Deteção	RPN
Gravação	Falha na Placa	Retrabalho ou refugo do filme ou do aço	8	Poeira	2	Manter a mesa limpa	2	32
	Erro de Gravação	Retrabalho	5	Tempo de Revelação	2	Utilizar o tempo de gravação padrão	1	10
	Tamanho da Fonte	Retrabalho	8	Erro no Projeto	1	Não se aplica	1	8
Revelação	Soltar o Filme	Retrabalho	6	Pressão da Água; Tempo de cura; Alta concentração de Carbonato de Sódio	1	Manter a Mesa Limpa: Respeitar o tempo de cura	2	12
Escovação	Manchas na Placa	Retrabalho	9	Falta de Conhecimento do Operário: Impurezas na mesa	1	Não se aplica	1	9

Fonte: Elaborado pelos autores, 2018.

Quadro 2 - FMEA macroetapa 2 - Correção

Função do Processo	Modo Potencial da Falha	Efeitos Potenciais da Falha	Severidade	Causas/ Mecanismos Potenciais da Falha	Ocorrência	Controles de Projeto Atual Prevenção	Detenção	RPN
Corrosão	Descascar a letra na placa	Refugo	10	Marca de raspagem	7	Limpar frequentemente a máquina e a placa	3	210
	Mancha na placa	Retrabalho	6	Sódio velho (+ - 25 a 30 dias de uso)	4	Não se aplica	2	48

Fonte: Elaborado pelos autores, 2018.

Quadro 3 - FMEA macroetapa 3 – Finalização

Função do Processo	Modo Potencial da Falha	Efeitos Potenciais da Falha	Severidade	Causas/ Mecanismos Potenciais da Falha	Ocorrência	Controles de Projeto Atual Prevenção	Detenção	RPN
Finalização	Fosco manchado	Retrabalho/ refugo	9	Corrosão, manuseio, decapagem, escorrer tinta, tiner/ saliva	3	Secar com ar quente e jornal	1	27
	Letras falhando	Refugo	10	Falta de atenção na etapa “gravação do texto”	1	Conferir o produto final	8	80
	Arranhado	Refugo/ retrabalho	6	Manuseio	4	Utilizar filme PVC, tomar cuidado no manuseio, conferir o produto final	2	48
	Amassado	Refugo	9	Manuseio	1	Cuidado no manuseio	1	9
	Cola escorrer	Perder o estojo/ retrabalho	5	Excesso de cola/ manuseio	3	Cuidado no manuseio, atenção na quantidade de cola	1	15
	Tinta craquelada	Retrabalho	9	Tinta antiga	1	Observar a validade e armazenar correta da tinta	1	9
	Bolhas na pintura	Retrabalho	9	Aquecimento, manuseio	1	Observar a validade e armazenar corretamente da tinta	1	9
	Impurezas/ sujeiras na pintura	Retrabalho	3	Armazenagem incorreta, manuseio	9	Isolar e limpar o local de trabalho, utilizar mascara e luva, coar a tinta	1	27
	Placa colocada na posição incorreta	Perda do estojo/ Retrabalho	6	Manuseio	1	Atenção no processo, Treinamento	5	30

Fonte: Elaborado pelos autores, 2018.

Após a conclusão da análise, foram elaborados Diagramas de Causa e Efeito para investigação mais aprofundada das principais causas para os problemas levantados. Do ponto de vista de recursos humanos, foram consideradas como possíveis causas secundárias cansaço ou inexperiência. Finalmente, para as causas ambientais, foi levantada a hipótese de existência de impurezas ou temperatura ambiental muito elevada.

Todas as análises realizadas, bem como os resultados obtidos, foram compartilhados com a empresa parceira. Foi definido que a última etapa da FMEA, elaboração de ações no sentido de eliminar ou mitigar riscos, seria executada pela administração superior da empresa parceira, em conjunto com seus engenheiros e funcionários.

5 CONCLUSÕES E DISCUSSÕES FINAIS

A empresa parceira apresentou retorno positivo quanto ao trabalho realizado e, portanto, acredita-se que os objetivos iniciais foram plenamente alcançados, considerando o conhecimento acadêmico transmitido. Observou-se, do ponto de vista técnico, que o modo de falha identificado como mais crítico pertence a uma etapa final de todo processo, na qual já foi agregado valor ao produto. Portanto, a eliminação ou mitigação desse modo de falha tem grande potencial para redução de desperdícios e perdas. Além do trabalho realizado de forma localizada, entende-se que a maior contribuição dada pela equipe extensionista à empresa parceira concentra-se no aprendizado adquirido pelos colaboradores e gestores.

No tocante à formação do aluno, muitas vezes a oportunidade de conjugar os conhecimentos teóricos e práticos (além de vivenciar os desafios da profissão escolhida) ocorre somente durante o estágio obrigatório. O Projeto Produção Ativa tem atuado, ao longo dos últimos anos, oferecendo a experiência extensionista como uma alternativa válida e enriquecedora. Acredita-se, inclusive, que uma das formas de se mensurar os ganhos para a formação dos alunos seja o interesse em replicações do Projeto.

Observa-se ainda que os alunos participantes do projeto tiveram a oportunidade de conhecer a rotina de um ambiente industrial e vivenciar os problemas inerentes à gestão de um negócio, como a necessidade de convivência entre pessoas de diferentes gerações e com níveis de instrução diversos.

Finalmente, conclui-se que a demanda das micro e pequenas empresas por suporte técnico vem ao encontro da busca, por parte das universidades, pela efetivação do seu compromisso social. Esses dois fatos fomentam a possibilidade de criação de parcerias com potenciais benefícios para ambas as partes.

REFERÊNCIAS

- AGUIAR, S. **Integração das ferramentas da qualidade ao PDCA e ao Programa Seis Sigma**. 1.ed. Nova Lima: Instituto de Desenvolvimento Gerencial, 2012.
- AKIM, E.K. ; MERGULHÃO, R.C.; BORRÁS, M.A.A. Proposta de análise de falhas na coleta de informações para a avaliação de programas de pós-graduação baseada no FMEA. **Revista Eletrônica Produção & Engenharia**, São Paulo, v. 5, n. 1, p. 500-518, jan./jun. 2013.
- BARBOSA, B. A. *et al.* Implantação da metodologia 5S em uma indústria de Minas Gerais fabricante de produtos eletromecânicos **Conecte-se! Revista Interdisciplinar de Extensão**. Belo Horizonte, v. 1. n 2, p 60-72, dez. 2017.
- BATALHA, M. O. (org.). **Introdução à Engenharia de Produção**. Rio de Janeiro: Elsevier, Campus, 2008.
- BRAILE, N. A; ANDRADE, J. J. O. Estudo de falhas em equipamentos de costura industriais utilizando FMEA e análise de confiabilidade. *In*: ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, 33, 2013, Salvador. **Anais...** Rio de Janeiro: Associação Brasileira de Engenharia de Produção, 2013.
- CARPINETTI, L. C. R. **Gestão da qualidade: conceitos e técnicas**, 3.ed. São Paulo: Atlas, 2016.
- CARVALHO, A. L.; NERY, M. S. Desenvolvimento de um Jogo Educacional Aplicável a Engenharia de Produção. *In*: ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, 35, 2015, Fortaleza. **Anais...** Rio de Janeiro: Associação Brasileira de Engenharia de Produção, 2015.
- CARVALHO, A. L *et al.* Projeto de Extensão Piloto Aplicado a uma Micro Empresa de Produção Artesanal e Customizada. *In*: CONGRESSO BRASILEIRO DE EXTENSÃO UNIVERSITÁRIA, 7, 2016. Ouro Preto. **Anais...** [S.L.] Articulação Nacional de Extensão Popular (ANEPOP), 2016.
- CAUCHICK MIGUEL, P. A. (org.). **Metodologia de pesquisa em engenharia de produção e gestão de operações**. 2. ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 2012.
- FOGLIATTO, F. S.; RIBEIRO, J. L. D. **Confiabilidade e manutenção industrial**. 1. ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 2009.
- LAROZINKI NETO, A.; LEITE, M. S. A abordagem sistêmica na pesquisa em engenharia de produção. **Produção**, Porto Alegre, v.20, n. 1, p.1- 14, jan./mar.2010.
- LAURENTI, R.; VILLARI, B. D.; ROZENFELD, H. Problemas e melhorias do método FMEA: uma revisão sistemática da literatura. **P&D em Engenharia de Produção**, Itajubá, v.10, n.1, p. 59-70, mar. 2012.
- MEDEIROS, F.S.; SOBREIRA, V.L.M.; CARVALHO, A.L. Implementação do FMEA: estudo de caso aplicado a uma empresa transportadora. *In*: ANDRADE, D. F. (org.) **Gestão de Serviços**. Artigos Brasileiros. 1. ed. Belo Horizonte: Editora Poisson, 2016, Cap. 20, p.191-200.
- MELLO, M. F. *et al.* A importância da utilização de ferramentas da qualidade como suporte para a melhoria de processo em indústria metal mecânica – um estudo de caso. *In*: ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, 36, 2016, João Pessoa. **Anais ...** Associação Brasileira de Engenharia de Produção, 2016.
- MONTGOMERY, D.C. **Introdução ao Controle Estatístico da Qualidade**, 7.ed. Rio de Janeiro: LTC, 2016.
- NOGUEIRA, A. C; PERES, A. P.; CARVALHO, E. M.: Avaliação do risco ambiental utilizando FMEA em um laticínio na região de Lavras – MG. **Produção Online**, Florianópolis, v.11, n.1, p. 194-209, mar., 2011.

OLIVEIRA, C. E.; ROCHA, S. J. S. Estado, Políticas Públicas e Extensão Universitária. **RDE-Revista de Desenvolvimento Econômico**. Salvador, n.22, p. 121 – 129, dez. 2010.

PACÍFICO, C. C; ARAÚJO, L. L .S.; CARVALHO, A. L. Análise de um processo produtivo com demanda específica visando melhoria de desempenho financeiro. In: SANABIO, D.; BARROS, E. A B.R. (org.) **Extensão PUC Minas**: sujeitos, espaços e tempo de ação. 1.ed. Belo Horizonte: PUC Minas, 2017. Cap.15, p. 197- 207

PALADY, P. **FMEA análise dos modos de falha**. 5.ed. São Paulo: IMAM, 2011.

RECH, G; ANZANELLO, M. J.; DUTRA, C. C.: Curvas de aprendizado e FMEA na análise de confiabilidade do processo de separação manual de uma distribuidora de medicamentos. **Produção Online**, Florianópolis, v.13, n. 3, p. 873-892, jul./set. 2013.

PEREIRA, L. B.. Extensão Universitária e Políticas Públicas. **Revista Extensão & Cidadania**. Vitória da Conquista, v.1, n.1, p.91-104, jan./jun. 2013.

RODRIGUES, M.V. **Ações para a Qualidade**. 5.ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 2014.

SCHUNCK, M.; KLAFKE, P. A.; ZANETTE, R. J. Implementação do FMEA em projetos de itens para equipamentos da Construção Civil. In: ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, 33, 2013, Salvador. **Anais...** Associação Brasileira de Engenharia de Produção, 2013.

SEBRAE. **Sobrevivência das Empresas no Brasil**, 2016. Disponível em:<
<https://m.sebrae.com.br/Sebrae/Portal%20Sebrae/Anexos/sobrevivencia-das-empresas-no-brasil-102016.pdf>>. Acesso em: 15 nov. 2017.

SLACK, N.; CHAMBERS, S.; JOHNSTON, R. **Operations management**. 6. ed New York: Prentice Hall , 2010.

STAMATIS, D.H. **The ASQ pocket guide to Failure Mode and Effect Analysis (FMEA)**. 1.ed. Milwaukee: ASQ Quality Press, 2014.

SUZART, A. L. D.; AGUIAR, L. B.; CARVALHO, A. L. Análise organizacional de limitações e propostas de melhorias de uma empresa franqueada. In: ENCONTRO MINEIRO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, 13, 2017, Juiz de Fora. **Anais...** Rio de Janeiro: Associação Brasileira de Engenharia de Produção, 2017.

TOLEDO, J. C. *et al.* **Qualidade: gestão e métodos**. Rio de Janeiro: LTC, 2013.

TRALESKI, A. V.; STEPIEN, H.; BLAUTH, R. A. Análise dos modos de falha e seus efeitos no processo de produção de mancais. **Gestão Industrial**, Paraná, v.11, n. 2, p. 70-86. 2015.

VENANZI, D.; SILVA, O.R. (org.). **Introdução à Engenharia de Produção**: conceitos e casos práticos. 1.ed. Rio de Janeiro: LTC, 2016.

YIN, R. K. **Estudo de Caso**: planejamento e métodos. 5. ed. Porto Alegre: Bookman, 2015.