

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA
CAMPUS CACHOEIRA DO SUL
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA MECÂNICA

Jéssica Dotto Vizzotto

**ANÁLISE DE FALHAS DE UM SISTEMA TÉCNICO AGRÍCOLA PARA
IMPLEMENTAÇÃO SULCO-CAMALHÃO**

Cachoeira do Sul, RS
2019

Jéssica Dotto Vizzotto

**ANÁLISE DE FALHAS DE UM SISTEMA TÉCNICO AGRÍCOLA PARA
IMPLEMENTAÇÃO SULCO-CAMALHÃO**

Trabalho de conclusão de curso,
apresentado ao Curso de Engenharia
Mecânica, da Universidade Federal de
Santa Maria (UFSM, RS) – Campus
Cachoeira do Sul, como requisito parcial
para obtenção do título de Bacharel em
Engenharia Mecânica.

Orientador: Prof. Dr. César Gabriel dos Santos

Cachoeira do Sul, RS
2019

Ficha Catalográfica

Universidade Federal de Santa Maria

Campus Cachoeira do Sul | UFSM-CS

Biblioteca Setorial de Cachoeira do Sul

Bibliotecário-Documentalista Carlos Eduardo Gianetti - CRB-10/2485

V864a Vizzotto, Jéssica Dotto, 1996-

Análise de falhas de um sistema técnico agrícola para implementação sulco-camalhão / Jéssica Dotto Vizzotto. - Cachoeira do Sul, RS : [s.n.], 2019.

Orientador: Cesar Gabriel dos Santos.

Monografia (graduação) - Universidade Federal de Santa Maria, Campus Cachoeira do Sul.

50 p. ; il.

1. Implemento Agrícola 2. Cultivo de soja 3. Agronegócio 4. Engenharia Mecânica I. Santos, Cesar Gabriel dos, 1988- II. Universidade Federal de Santa Maria, Campus Cachoeira do Sul III. Título.

Jéssica Dotto Vizzotto

**ANÁLISE DE FALHAS DE UM SISTEMA TÉCNICO AGRÍCOLA PARA
IMPLEMENTAÇÃO SULCO-CAMALHÃO**

Trabalho de conclusão de curso, apresentado ao Curso de Engenharia Mecânica, da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS) – Campus Cachoeira do Sul, como requisito parcial para obtenção do título de **Engenheiro Mecânico**.

Aprovado em 11 de julho de 2019:

César Gabriel dos Santos, Dr. (UFSM)
(Presidente/Orientador)

Cristiano Frandalozo Maidana, Dr. (UFSM)

Juan Galvarino Cerda Balcazar, Dr. (UFSM)

Cachoeira do Sul, RS
2019

AGRADECIMENTOS

Agradeço aos meus pais Vânia Regina Dotto e Vilimar Eloi Vizzotto por todo amor e carinho. Também, pelos ensinamentos, incentivos, motivação, apoio e ajuda sempre que precisei.

Ao meu irmão William Dotto Vizzotto por todos os “puxões de orelha”, contribuições, apoios e por toda amizade e paciência de sempre.

Ao meu professor orientador César Gabriel dos Santos por toda a dedicação em me auxiliar nessa jornada, pela confiança, motivação e por todos os ensinamentos proporcionados.

Ao meu tio Valdocir Hamilton Vizzotto por todo conhecimento e ajuda prestados.

Aos meus familiares, amigos e colegas por todo o apoio, carinho e compreensão.

A todos os professores da graduação pelo conhecimento e dedicação para meu aprendizado.

"O sucesso nasce do querer, da determinação e persistência em se chegar a um objetivo. Mesmo não atingindo o alvo, quem busca e vence obstáculos, no mínimo fará coisas admiráveis."

(José de Alencar)

RESUMO

ANÁLISE DE FALHAS DE UM SISTEMA TÉCNICO AGRÍCOLA PARA IMPLEMENTAÇÃO SULCO-CAMALHÃO

AUTOR: Jéssica Dotto Vizzotto

ORIENTADOR: Prof. Dr. César Gabriel dos Santos

O avanço no agronegócio do Brasil é de grande relevância para o desenvolvimento do país. O aumento na produtividade de grãos, o controle de plantas espontâneas e a diversificação da renda são fatores que promovem buscas por alternativas de cultivo. Para isso, a incorporação de culturas de sequeiro, como a soja e o milho, em rotação com o sistema produtivo de arroz irrigado em áreas de várzea, torna-se uma oportunidade de melhorias. Entretanto, a falta de implementos que atendam plenamente essa função geram maiores dificuldades aos agricultores. Em virtude disso, desenvolveu-se um equipamento agrícola através de conhecimentos empíricos e “tentativa e erro” a fim de facilitar a implementação do sistema sulco-camalhão. Esta sistemática auxilia na drenagem do solo durante altos índices pluviométricos e torna possível a irrigação por inundação no cultivo de sequeiro em períodos de seca, diminuindo os prejuízos que essas intempéries podem causar. Assim, o presente trabalho tem como objetivo identificar as falhas potenciais e analisar os riscos de um subsistema de protótipo agrícola para a implementação sulco-camalhão. Para isso, foi realizada uma pesquisa em catálogos e plataformas online a fim de conhecer implementos agrícolas disponíveis no mercado e, também, uma busca de anterioridades no *software* comercial *Questel Orbit* para identificar os produtos registrados. Além disso, foi utilizada a ferramenta FMEA de projeto nos principais componentes do subsistema escolhido indicando os parâmetros de gravidade, probabilidade de ocorrência e de detecção, no qual possibilitou a análise dos possíveis modos de falha e seus efeitos juntamente com propostas de melhorias para o subsistema. Tanto a pesquisa em catálogos e plataformas online, quanto a busca realizada pelo *software*, possibilitaram o conhecimento de diferentes sistemas para o uso agrícola, porém, nenhum que se assemelhasse efetivamente ao proposto no trabalho. Com a análise dos principais componentes do sistema, o disco de corte côncavo recortado foi o que apresentou maior risco, uma vez que sua falha impede que o sistema opere corretamente.

Palavras-chave: Cultivo de soja em várzea. FMEA de projeto. Implemento agrícola.

ABSTRACT

ANALYSIS OF FAILURES OF AN AGRICULTURAL TECHNICAL SYSTEM FOR FURROW-RIDGE IMPLEMENTATION

AUTHOR: Jéssica Dotto Vizzotto
ADVISOR: Prof. Dr. César Gabriel dos Santos.

The advance in the agribusiness of Brazil is of great influence for the development of the country. The increase in grain yield, the control of spontaneous plants and the diversification of income are factors that promote searches for crop alternatives. For this, the incorporation of rainfed agriculture, such as soybean and corn, in rotation with the irrigated rice production system in lowland areas, becomes an opportunity for improvement. However, the lack of implements that fully meet this function creates greater difficulties for farmers. As a result, agricultural equipment was developed through empirical knowledge and "trial and error" in order to facilitate the implementation of the furrow system. This system helps soil drainage during high rainfall levels and makes it possible to flood irrigation in rainfed agriculture in periods of drought, reducing the damages that these weathers can cause. Thus, the present work aims to identify potential failures and to analyze the risks of an agricultural prototype subsystem for the furrow-ridge implementation. For this, a survey was carried out in catalogs and online platforms in order to know agricultural implements available in the market and, also, a search of antecedents in the Questel Orbit commercial software to identify the registered products. In addition, the FMEA design tool was used in the main components of the chosen subsystem, indicating the parameters of gravity, probability of occurrence and detection, in which it was possible to analyze the possible failure modes and their effects together with proposals for improvements to the subsystem. Both the research in catalogs and online platforms, as well as the search carried out by the software, made possible the knowledge of different systems for agricultural use, however, none that was effectively similar to the one proposed in the work. With the analysis of the main components of the system, the disc blades was the one that presented the greatest risk, since its failure prevents the system from operating correctly.

Keywords: Agricultural equipment. Design FMEA. Soybean production in lowland areas.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Sistema sulco-camalhão para a irrigação ou drenagem de água em que (a) é a abertura do sulco e (b) a formação do camalhão.....	15
Figura 2 - Desenho representativo de sulcadores: (a) do tipo haste, (b) de disco liso e (c) de disco recortado.	17
Figura 3 - Exemplos de sulcadores do tipo haste: (a) 3 linhas da marca DMB e (b) 2 linhas da marca Agritech.....	18
Figura 4 - Exemplo de sulcador do tipo disco recortado da marca Baldan.	19
Figura 5 - Exemplo de plantadora-adubadora-camalhoneira da Industrial KF Ltda.....	19
Figura 6 - Fluxograma do procedimento de aplicação da FMEA.	29
Figura 7 - Vista isométrica do subsistema e as indicações dos componentes.	33
Figura 8 - Vista isométrica do disco de corte recortado côncavo.....	34
Figura 9 - Vista isométrica dos limpadores internos e externos.....	36
Figura 10 - Vista isométrica da regulagem do ângulo de ataque.....	38
Figura 11 - Vista isométrica do fixador da chapa direcionadora.....	39
Figura 12 - Vista isométrica da chapa direcionadora.	40
Figura 13 - Vista isométrica do sistema de fixação do subsistema.	41

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Descrição dos códigos de IPC, quantidade total de patentes registradas na plataforma e quantidade no Brasil.	21
Quadro 2 - Exemplos de Item com sua respectiva Função.....	24
Quadro 3 - Exemplo da relação Modo, Causa e Efeito da falha.....	25
Quadro 4 - Índice de severidade.	26
Quadro 5 - Índice de ocorrência.	26
Quadro 6 - Índice de detecção.	27
Quadro 7 - Relação entre os objetivos específicos, metodologia e resultados esperados.....	28
Quadro 8 - Planilha da FMEA.	31
Quadro 9 - Descrição, material e quantidade utilizada de cada componente do subsistema.	34
Quadro 10 - Aplicação da FMEA no disco de corte recortado côncavo.	35
Quadro 11 - FMEA dos limpadores interno e externo.	37
Quadro 12 - FMEA da regulagem do ângulo de ataque.	38
Quadro 13 - FMEA do fixador da chapa direcionadora.	40
Quadro 14 - FMEA da chapa direcionadora.	41
Quadro 15 - FMEA do sistema de fixação na estrutura.....	42
Quadro 16 - Relação entre a quantidade de dissertações e teses do CAPES e o ano de publicação.	49

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	11
1.1	OBJETIVO GERAL.....	13
1.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	13
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	14
2.1	CULTIVO DE SOJA EM ÁREAS DE ARROZ IRRIGADO	14
2.2	SISTEMA SULCO-CAMALHÃO PARA PREPARO DO SOLO	16
2.2.1	Produtos Comerciais	18
2.2.2	Busca de Anterioridades	20
2.3	FERRAMENTA FMEA.....	22
2.3.1	Tipos de FMEA	23
2.3.2	Terminologias usadas para a aplicação da FMEA	24
2.3.2.1	ITEM/FUNÇÃO	24
2.3.2.2	MODO DE FALHA POTENCIAL	24
2.3.2.3	EFEITO POTENCIAL DA FALHA	25
2.3.2.4	CAUSA/MECANISMO POTENCIAL DE FALHA	25
2.3.2.5	ÍNDICE DE SEVERIDADE (S)	25
2.3.2.6	ÍNDICE DE OCORRÊNCIA (O)	26
2.3.2.7	ÍNDICE DE DETECÇÃO (D)	26
2.3.2.8	NÚMERO DE PRIORIDADE DE RISCO (NPR)	27
3	METODOLOGIA	28
4	RESULTADOS E DISCUSSÕES	32
4.1	DEFINIÇÃO DO SUBSISTEMA.....	32
4.2	APLICAÇÃO DA FMEA	34
4.2.1	FMEA do disco de corte recortado côncavo	34
4.2.2	FMEA dos limpadores internos e externos	36
4.2.3	FMEA da regulagem do ângulo de ataque	37
4.2.4	FMEA do fixador da chapa direcionadora	39
4.2.5	FMEA da chapa direcionadora	40
4.2.6	FMEA do sistema de fixação	41
5	CONCLUSÃO	43
6	TRABALHOS FUTUROS	44
	REFERÊNCIAS	45
	APÊNDICE A – DISSERTAÇÕES E TESES DO CAPES	
	RELACIONADOS À FMEA	49

1 INTRODUÇÃO

A agricultura é uma das principais bases para a economia do Brasil, auxiliando diretamente no desenvolvimento do país. Segundo o Ministério de Agricultura, Pecuária e Abastecimento, MAPA (2017), após dois anos de retração, houve um aumento significativo do Produto Interno Bruto (PIB) no setor do agronegócio, totalizando entre 23 e 24% do PIB brasileiro.

Este crescimento do setor provém de uma supersafra nos anos 2017/2018 de aproximadamente 116,996 milhões de toneladas de soja em grãos, em que 16,968 milhões de toneladas foram produzidas no estado do Rio Grande do Sul. Este resultado, entre outros fatores, é proveniente da melhoria de produtividade e da incorporação do cultivo de sequeiro¹ como a soja ao sistema de produção de arroz (EMBRAPA, 2018).

Para Oliveira (2017) a rotatividade de culturas aliada ao aprimoramento da soja transgênica, principalmente quando tolerante a herbicidas, facilitam o controle de plantas espontâneas² em terras baixas de orizicultura³ e auxiliam na melhora da fertilidade do solo.

A metade sul do Rio Grande do Sul ainda possui predomínio da cultura de arroz por inundação devido as terras planas e com baixa declividade. Essas áreas são de solos hidromórficos, que possuem baixa capacidade de drenagem, dificultando o processo de inserção de culturas de sequeiro uma vez que estas não toleram o encharcamento do solo como o arroz tolera.

Diante disso, torna-se necessário a realização de técnicas específicas de preparo do solo quando a soja for cultivada em terras baixas em rotação com o arroz irrigado. Sistemas de drenagem do solo, como a confecção de canais (sulcos ou valetas), são essenciais para o escoamento da água. Além de auxiliar em anos com altos índices pluviométricos, contribui para que em épocas de seca a cultura possa ser submetida a períodos temporários de inundação (HELMAN e ANDERY, 1995).

Segundo Müller (2015), as práticas de preparo correto do solo e confecção de drenos exigem altos investimentos de maquinários. Assim, o desenvolvimento de máquinas e implementos agrícolas cada vez mais eficazes para o processo viabilizam a implantação de culturas de sequeiro em terras baixas, também chamada de áreas de várzea.

¹ Cultura agrícola que se desenvolve com a água da chuva, sem a necessidade de técnicas de irrigação. Por exemplo: soja, milho, cana-de-açúcar, trigo, feijão, entre outros.

² Termo utilizado para plantas que surgem em momentos e locais não desejados na área de cultivo. Também são chamadas de ervas/plantas daninhas, inços e plantas invasoras.

³ Cultivo agrícola do arroz em lavouras.

Para um preparo do solo adequado é necessário a utilização de técnicas de gradagem⁴, no qual os torrões⁵ existentes são desfeitos tornando a superfície mais uniforme. Além disso, são feitas correções do microrrelevo através do nivelamento do solo. Estes preparos prévios implicam em maiores custos para o produtor, uma vez que são exigidas operações adicionais que resultam em gastos demasiados de combustível.

A fim de otimizar o tempo de preparo do solo e diminuir os custos com gastos adicionais, foi desenvolvido um protótipo agrícola visando aperfeiçoar o processo a partir da identificação de adversidades ocorridas. Para isso, absteve-se de processos formais de desenvolvimento de produto aplicando conhecimentos empíricos em um sistema de “tentativa e erro”.

O uso de técnicas de “tentativa e erro” é cada vez menos frequente nas organizações, devido à perda excessiva de recursos, tempo e a inviabilidade de fabricação de inúmeros protótipos para testes. Atualmente, equipes de projeto utilizam-se de ferramentas de engenharia para auxiliar no desenvolvimento de produtos, acarretando no aumento da eficiência do processo e na diminuição de retrabalhos para os setores.

Neste contexto, dentre diversas ferramentas, a Análise do Modo e Efeito de Falha, conhecida como FMEA, é empregada como forma de detectar possíveis riscos ao projeto a partir da identificação das causas e efeitos. Suas aplicações variam desde analisar um sistema completo, até o componente mais simples, seja de um produto ou de um processo. Por sua vez, são apresentadas propostas de melhorias com suas respectivas ações de como evitá-las fazendo com que minimize a ocorrência de falhas e, conseqüentemente, aumente a confiabilidade do projeto (MOURA, 2000).

Desta forma, a questão de pesquisa do trabalho é: Como identificar possíveis falhas de um sistema desenvolvido para a implementação de sulco-camalhão no cultivo de soja em rotatividade com o arroz em áreas de várzea?

⁴ Prática de preparo do solo com a utilização do implemento grade onde são desfeitos os torrões remanescentes.

⁵ Pedaco ou bloco de terra relativamente endurecido.

1.1 OBJETIVO GERAL

Identificar as falhas potenciais e analisar os riscos de um subsistema de protótipo agrícola por meio da aplicação da ferramenta FMEA de projeto.

1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Os objetivos específicos a serem realizados neste trabalho são:

- Identificar os produtos comerciais disponíveis;
- Realizar busca de anterioridades para identificar os registros;
- Definir o sistema, subsistema ou componente que será analisado;
- Estudo dos modos de falha do equipamento por meio da aplicação da técnica FMEA de projeto;
- Propor melhorias ao equipamento a partir dos resultados da FMEA.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Neste capítulo são apresentados os principais conceitos relacionados a este trabalho. Para isso, buscas em literaturas conceituadas são fontes que auxiliam no agrupamento de informações sobre o desenvolvimento do cultivo de soja em áreas de arroz irrigado, sistema sulco-camalhão no preparo do solo aliado aos produtos comerciais e a busca de anterioridades e a descrição da ferramenta FMEA.

2.1 CULTIVO DE SOJA EM ÁREAS DE ARROZ IRRIGADO

No estado do Rio Grande do Sul as áreas de terras baixas totalizam cerca de 5,5 milhões de hectares, representando mais de 22% do território estadual. Deste total, em torno de 3 milhões de hectares possuem infraestrutura de irrigação para o cultivo do arroz irrigado (CARMONA et al, 2018).

Desta área propícia para a orizicultura, a Sociedade Sul-Brasileira de Arroz Irrigado, SOSBAI (2016), destaca que cerca de 1 milhão de hectares são cultivados anualmente para o plantio do arroz, 300 mil hectares utilizados em sistemas de rotação de culturas e o restante no predomínio da pecuária extensiva de corte.

Segundo o Instituto Rio Grandense do Arroz, IRGA (2018), nos últimos anos agrícolas houve uma diminuição de áreas de orizicultura, juntamente com o aumento da produtividade e de áreas de rotação da soja com arroz.

Estes resultados são decorrentes da inserção de técnicas de plantio direto e da rotatividade de culturas em terras baixas, motivadas pela tentativa de controle de áreas infestadas por plantas espontâneas, principalmente o arroz vermelho, com a consequente redução do uso de agrotóxicos. Além disso, contribui para a recuperação de seu potencial produtivo e para o aumento da rentabilidade do sistema (GOMES et al, 2006; SOSBAI, 2016).

A rotação de culturas também otimiza o uso das máquinas e da mão-de-obra do produtor, tornando os grãos de sequeiro, como a soja, o milho e o sorgo grandes aliadas a este sistema (VERNETTI JUNIOR et al, 2009).

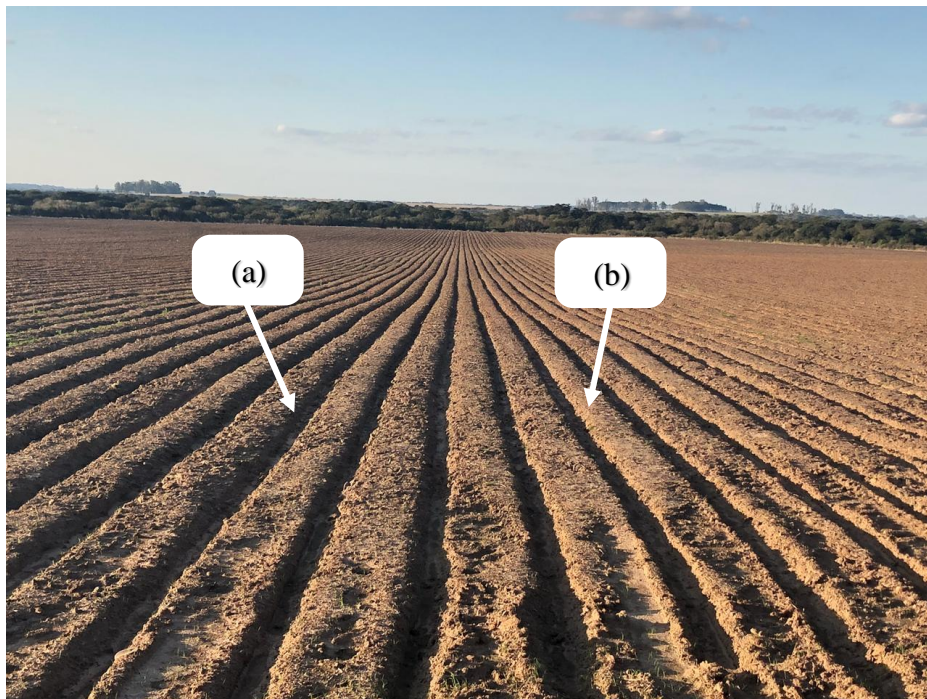
Segundo Giordano (2014), a soja é a principal fonte de rotação em função das melhorias de fertilidade do solo e do retorno financeiro ao produtor. Entretanto, a soja cultivada em terras baixas está sujeita a estresses frequentes, devido períodos de altos índices pluviométricos, principalmente quando ocorrem em frequência e se repetem por vários dias, o que causa deficiência de oxigênio, podendo ser um limitante no rendimento da planta. Por outro lado, em

períodos prolongados de escassez de chuva durante seu desenvolvimento, causa deficiência hídrica, trazendo decréscimos para a produção (MÜLLER, 2015).

Nestes períodos, a infraestrutura do sistema de irrigação por inundação do cultivo do arroz juntamente com a confecção de sulco⁶-camalhão⁷, amenizam esses estresses. A locação do sistema sulco-camalhão auxilia no escoamento da água e melhorando a drenagem superficial da lavoura, tanto nos períodos secos, como nos chuvosos (SOSBAI, 2016).

A Figura 1 ilustra a implementação do sistema sulco-camalhão. É realizado conforme estudos topográficos, sendo confeccionado em áreas com declive. Além disso, propicia inundações intermitentes, uma vez que a topografia auxilia o escoamento natural da água, evitando acúmulos hídricos (SILVA e PARFITT, 2004; SILVA et al., 2007).

Figura 1 - Sistema sulco-camalhão para a irrigação ou drenagem de água em que (a) é a abertura do sulco e (b) a formação do camalhão.



Fonte: Autora.

⁶ Fenda deixada na terra resultado da intervenção de uma enxada, charrua ou trator agrícola.

⁷ Porção de terra mais elevada entre dois sulcos.

As áreas de arroz irrigado são conhecidas pelo seu alto grau de compactação, no qual o preparo intenso do solo favorece a cultura do arroz. Porém, torna-se um grande obstáculo para a rotação com grãos de sequeiro, como a soja, uma vez que a alta resistência mecânica à penetração das raízes da cultura dificulta a absorção da água e nutrientes e, como consequência, o desenvolvimento dessas culturas (SOSBAI, 2016).

2.2 SISTEMA SULCO-CAMALHÃO PARA PREPARO DO SOLO

A qualidade das sementes, calagem, adubação e controle de pragas são tão importantes quanto técnicas de preparo do solo. Segundo Gomes et al. (2006), práticas para a correção de microrrelevos, como o aplainamento do solo⁸, sistematização e sulco-camalhão, auxiliam para uma melhor produtividade.

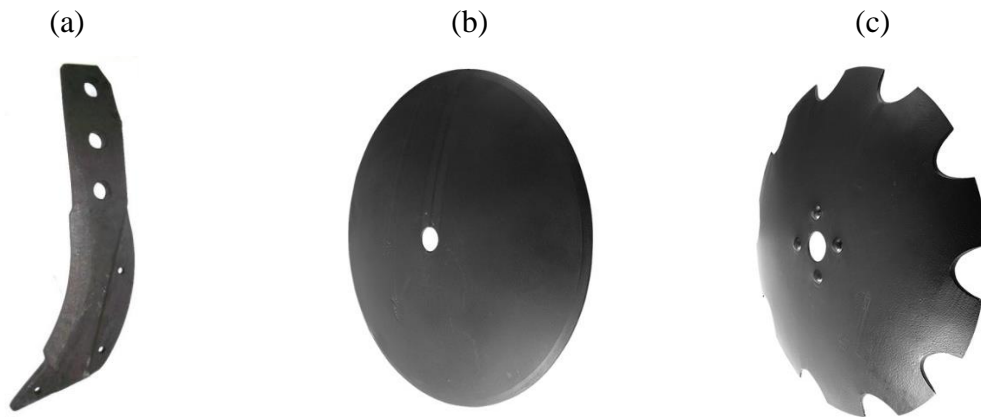
O sistema sulco-camalhão consiste na locação de drenos para a melhoria na drenagem e na estruturação da lavoura. O processo de irrigação se dá através da confecção de sulcos formados entre camalhões (SILVA e PARFITT, 2004).

De acordo com Silva et al. (2007), a largura dos camalhões depende do nível de dificuldade de drenagem da área e do espaçamento entre linhas em que, quanto maior a largura do camalhão, mais linhas podem ser semeadas. Normalmente, o afastamento entre sulcos para solos argilosos não deve ultrapassar de 1,80 m. Já a profundidade dos sulcos depende, em geral, da topografia do terreno, no qual em solos de várzea pode variar entre 0,15 e 0,20 m.

A formação dos sulcos se dá por meio de mecanismos chamados de sulcadores, no qual estes têm função de romper a camada superficial e penetrar no solo através, principalmente, de hastes sulcadoras e discos de corte liso e recortado, conforme apresentado nas Figuras 2a, 2b e 2c (REIS et al., 2004).

⁸ Realizado em áreas planas para correção de problemas de drenagem localizados, chamados de pontos de alagamento (SILVA e PARFITT, 2004).

Figura 2 - Desenho representativo de sulcadores: (a) do tipo haste, (b) de disco liso e (c) de disco recortado.



Fonte: (a) PROGRESSO (2018); (b) e (c) BALDAN (2018).

Em tese, a haste sulcadora é a mais utilizada em solos com maiores índices de compactação. Porém, em solos de várzea, a existência de troncos de árvores, pedras, culturas de superfície e palhas remanescentes são bastante comuns, podendo ocasionar desgastes excessivos e quebras da haste.

De acordo com experimentos realizados, o sulcador do tipo haste apresentou maiores valores de profundidade, devido ao formato e angulação de ataque no solo. Entretanto, possui maior demanda na força de tração e aumento na exigência de potência do motor, resultando em um maior consumo de combustível do trator (RODRIGUES, 2015; VIZZOTTO, 2014).

Ainda, Araújo et al. (2001), destaca que o uso de hastes sulcadoras pode ocasionar cortes e aberturas irregulares do sulco, formação de torrões de terra e embuchamento⁹ devido a aderência do solo no mecanismo.

Os discos de corte, como funcionam em movimentos de rotação, diminuem a incidência de impactos. Essa redução ocorre devido a facilidade de o disco rolar, uma vez que deparados a obstáculos (BALASTREIRE, 1987).

Tanto discos lisos quanto recortados possuem boa precisão para a abertura do sulco e nível de profundidade semelhantes. Porém, o disco liso apresenta dificuldades para o corte da palha e abertura do sulco, necessitando de maiores valores de força vertical (ARAÚJO et al., 2001; SANTOS et al., 2008).

⁹ Acontece quando o excesso de blocos de terra e sujidades aderem ao mecanismo fazendo com que diminua o desempenho do sistema, podendo aumentar o peso do mecanismo ou impedir seu funcionamento.

Os discos recortados possuem maiores vantagens quando comparados aos lisos, principalmente, devido a melhor capacidade de corte em culturas de superfície e palhas remanescentes (SILVA, 2005).

2.2.1 Produtos Comerciais

Das marcas nacionais de fabricantes de implementos agrícolas que fornecem produtos que auxiliam no sistema sulco-camalhão, a grande maioria disponibiliza de sulcadores com hastes, como ilustra a Figura 3a e Figura 3b. Como já mencionado, esse tipo de mecanismo acarreta em diversos problemas na confecção dos sulcos em terras baixas.

Figura 3 - Exemplos de sulcadores do tipo haste: (a) 3 linhas da marca DMB e (b) 2 linhas da marca Agritech.



Fonte: (a) DMB (2018); (b) Agritech (2018).

Conforme a Figura 4, a empresa Baldan (2018) fornece sulcadores com discos recortados côncavos, no qual são os que melhor se adaptam à cultura da soja em rotação com arroz irrigado. Este implemento é recomendado para preparação do solo e/ou para cobrir raízes de plantas tuberosas¹⁰ após o plantio.

¹⁰ Alguns dos exemplos de plantas tuberosas são a batata inglesa, batata doce, mandioca, cenoura e beterraba.

Figura 4 - Exemplo de sulcador do tipo disco recortado da marca Baldan.



Fonte: Baldan (2018).

O implemento disponibilizado pela marca Baldan possui limpadores internos que facilitam a retirada do excesso de terra e, ainda, possui regulagens para variar a largura dos camalhões formados. Porém, além do sistema contar com apenas quatro discos de corte, este não possui nenhum mecanismo que auxilie no direcionamento e destorroamento da terra, podendo ocasionar na obstrução dos sulcos e tornando necessário o uso prévio de gradagem no solo.

Atualmente, a confecção de camalhões através do conjunto de plantadora-adubadora-camalhoneira é bastante utilizado pelos produtores, como ilustra a Figura 5. Para a utilização deste equipamento, o solo necessita de um preparo adequado, como o uso de gradagem.

Figura 5 - Exemplo de plantadora-adubadora-camalhoneira da Industrial KF Ltda.



Fonte: Industrial KF Ltda (2018).

No entanto, além de ser fundamental o uso de gradagem prévia visando a uniformização do solo, o nivelamento e o destorroamento, estes exemplos de implementos agrícolas formam o camalhão através da porção de terra agrupada entre as hastes sulcadoras. Assim, há uma diminuição na eficiência da abertura dos sulcos, uma vez que estas hastes não facilitam a modelagem adequada do sulco para um melhor escoamento. Também, como o implemento é desprovido de mecanismos que retirem quaisquer sujidades do interior do sulco, há maiores probabilidades destes excessos obstruírem a passagem de água.

Outra alternativa utilizada para a irrigação de lavouras de soja em áreas de várzea, são os métodos de irrigação pressurizados, no qual a condução da água é decorrente da pressão das tubulações até a saída em bicos aspersores.

De modo geral, entre os produtos comerciais disponíveis, há uma deficiência de implementos agrícolas adequados para a implementação do sistema sulco-camalhão.

2.2.2 Busca de Anterioridades

Tão importante quanto conhecer os produtos comerciais, é conhecer o que existe já patenteado. Isso porquê, além de identificar os produtos industriais de diversas áreas tecnológicas protegidos pelo Estado, a busca de anterioridades serve como base para projetos inovadores tornando-se uma fonte de conhecimento com a difusão das informações (AGITTEC, 2018).

Para isso, bases de patentes são mecanismos criados como forma de facilitar a busca por inovações. Assim, torna-se possível verificar registros tanto nacionais, quanto internacionais como, por exemplo, dados de patentes do Brasil, Estados Unidos, Japão, China, entre outros (SANTOS, 2017).

Segundo o Instituto Nacional da Propriedade Nacional, INPI (2017), “Patente é um título de propriedade temporária sobre uma invenção ou modelo de utilidade [...]” com prazos de vigência de 20 e 15 anos, respectivamente, contadas a partir da data de depósito, impedindo que terceiros usem da invenção sem o consentimento do inventor/autor. Destaca-se que necessita ser uma atividade inventiva, passível de processos industriais.

A busca de anterioridades de implementos sulcadores foi realizada através do sistema comercial *Questel Orbit*, no qual abrange banco de dados de 96 países (AGITTEC, 2018). Além disso, a pesquisa foi baseada nas classes e subclasses da Classificação Internacional de Patentes (IPC) disponibilizadas pela *World Intellectual Property Organization*, WIPO (2018), tendo em

vista maior abrangência dos mecanismos e implementos utilizados para o sistema sulco-camalhão.

No Quadro 1 são listados os códigos de IPC utilizados juntamente com sua descrição, a quantidade total de patentes identificadas nos últimos 100 anos pela plataforma *Questel Orbit* e as respectivas quantidades encontradas no Brasil.

Quadro 1 - Descrição dos códigos de IPC, quantidade total de patentes registradas na plataforma e quantidade no Brasil.

CÓDIGO	DESCRIÇÃO	QUANT. TOTAL	QUANT. BRASIL
A01C 5/00	Implementos agrícolas para escavação ou cobertura de sulcos ou covas para semeadura, plantio ou adubagem.	1570	39
A01B 7/00	Implementos agrícolas de arar a terra em forma de disco e empregados, quer como arados, quer como grades (arado gradeador) ou similares.	598	9
A01B 15/00	Elementos, implementos ou partes de arados	1664	15
A01B 17/00	Arados com dispositivos adicionais especiais, por exemplo meios para colocar fertilizantes sob a terra, destorroadores.	1660	9
A01B 23/00	Elementos, implementos ou partes de grades.	558	6
A01B 27/00	Destorroadores.	657	10
A01B 29/00	Rolos.	953	12
A01B 49/00	Máquinas combinadas.	1754	14
A01B 69/02	Dispositivos para marcar os sulcos formados pelo arado ou similares; fios guia; acessórios para os mesmos.	1752	4
A01B 71/08	Meios para proteger contra poeira ou similares ou para limpar implementos agrícolas.	774	26
TOTAL		11.940	144

Fonte: Autora.

Foram encontrados um total de 11.940 patentes na plataforma, sendo 144 depositadas no Brasil. Segundo Arnold e Santos (2016), o baixo número de registros em território nacional é decorrente da longa e demorada análise dos processos, da grande quantidade de burocracias e do elevado custo para obtenção do registro. Ainda, destaca-se que não houve identificação de registros de implementos agrícolas que facilitem a sistemática sulco-camalhão.

2.3 FERRAMENTA FMEA

Com o baixo desempenho dos sulcadores fornecidos comercialmente e o insucesso de buscas de sistemas que possam atender as suas necessidades, alguns produtores usam como alternativa o desenvolvimento de produtos através de conhecimentos empíricos e experiências profissionais aliada a processos de “tentativa e erro”. Assim, ferramentas que auxiliem na identificação de possíveis erros de projeto são eficazes para a maximização da qualidade e para a melhoria contínua do produto.

A Análise do Modo e Efeito de Falha, ferramenta conhecida como FMEA (*Failure Mode and Effect Analysis*), é apresentada como um processo sistemático que auxilia na identificação de possíveis falhas de um projeto ou processo a fim de eliminar e/ou minimizar os riscos de ocorrência de falhas (GARRAFA, 2005).

Conforme Schmitt (2013), a aplicação da FMEA traz diversas vantagens para o desenvolvimento de um produto, como a análise de pontos com maiores probabilidades de falhas para possíveis ações preventivas, a redução de eventos não planejados e a imediata solução dos problemas.

Segundo Rodrigues et al. (2010), a ferramenta é constituída por três importantes atividades que visam, respectivamente, o reconhecimento e avaliação de falhas seguidas de suas causas e efeitos, a identificação de ações que reduzem ou minimizem a falha potencial e a documentação de todo o processo envolvido.

Entre as diversas situações em que a ferramenta FMEA é inserida, Toledo e Amaral (2006), destacam a aplicabilidade para:

- Diminuição da ocorrência de falhas em novos produtos/processos;
- Diminuição de falhas potenciais¹¹ em produtos/processos já em operação;
- Diminuição de riscos de erros;
- Aumento da confiabilidade de produtos/processos já em operação através da análise das falhas já ocorridas.

A aplicação adequada da FMEA acarreta na maior qualidade do sistema, proporcionando aumento na confiabilidade dos serviços e na satisfação dos usuários e, por consequência, influenciando positivamente no retorno financeiro da empresa (MOURA, 2000; SILVEIRA, 2012).

Para isso, é indicado a formação de uma equipe multifuncional para chances de melhores resultados na identificação e na elaboração de melhorias. Assim, são realizadas reuniões

¹¹ São possíveis falhas, que ainda não ocorreram e nem necessariamente irão ocorrer.

frequentes com o objetivo de agrupar os diversos setores da empresa, tendo em vista também o feedback de clientes visando a melhoria contínua (HELMAN e ANDERY, 1995; RODRIGUES et al, 2010).

A ferramenta FMEA discorre de abordagem do tipo *bottom-up*¹² em que se determina os modos e causas de falha dos componentes mais simples, verificando de que maneira estes afetam os níveis superiores do sistema. A atividade dá-se concluída ao final de todos os componentes serem analisados (HELMAN e ANDERY, 1995).

Com uma pesquisa realizada no catálogo de teses e dissertações da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) utilizando o termo FMEA, foram identificados 128 trabalhos na área das Engenharias III¹³, demonstrados no Apêndice A em ordem cronológica. Destes, 123 trabalhos são referentes aos últimos 18 anos.

2.3.1 Tipos de FMEA

Para Toledo e Amaral (2006), como forma de identificar possíveis falhas potenciais e através disso reduzir ou sanar os riscos, há variações da ferramenta FMEA, no qual diferenciam-se na causa da falha. Os principais tipos são:

- FMEA de Produto: também chamada de FMEA de Projeto (DFMEA), considera-se falhas que podem ocorrer com o produto decorrente do projeto. Entre elas, o dimensionamento indevido, especificações incorretas do material usado e o desconhecimento do estado de tensões.
- FMEA de Processo: conhecida pela sigla PFMEA, considera-se falhas no planejamento e no processo de fabricação. Helman e Andery (1995) citam como exemplo, a fratura de uma peça devido a formação de vazios durante a fundição, no qual mesmo que o projeto da peça fosse adequado, a peça poderia falhar.

Ainda Silveira (2012), destaca a FMEA de Sistema, no qual tem enfoque nas funções globais dos sistemas, sendo empregado na análise do design do produto durante a fase concepcional. Também, a FMEA de Serviço, que foca durante a produção dos serviços, em processos de manufatura e montagem, visando atender as expectativas dos usuários.

¹² Também chamada de abordagem *hardware*, o termo é traduzido como uma abordagem “de baixo para cima”.

¹³ A área de Engenharias III é composta por Engenharia Mecânica, Engenharia de Produção, Engenharia Aeroespacial e Engenharia Naval e Oceânica.

2.3.2 Terminologias usadas para a aplicação da FMEA

Para a aplicação da FMEA, torna-se primordial definir a função do processo/produto tendo conhecimento dos tipos de falha, bem como suas causas e efeitos (TOLEDO e AMARAL, 2006). Para Moura (2000), a clareza das funções e características desejadas torna mais fácil a identificação dos modos de falha, reduzindo os riscos e aprimorando ações corretivas.

Segundo Franceschi (2015 apud DIAS, 2011), a utilização da ferramenta é dificultada quando o entendimento de conceitos de modo de falha, causa e efeito não são compreendidos, tornando essencial o estudo destas terminologias. Assim, serão apresentadas as principais terminologias e definições das principais colunas da planilha FMEA apresentada no Capítulo 3.

2.3.2.1 Item/Função

Para Sakurada (2001) e Belinazzo (2014) o objetivo é preencher com a Função em que o Item projetado foi definido durante a fase conceitual. Deve ser escrito de maneira objetiva e fácil de entender sendo, geralmente, um verbo e um substantivo, conforme exemplo do Quadro 2.

Quadro 2 - Exemplos de Item com sua respectiva Função.

ITEM	FUNÇÃO
Carcaça do eixo traseiro	Suportar o conjunto do eixo
Porta dianteira	Proteção e segurança dos ocupantes contra impactos laterais

Fonte: Adaptação de HELMAN e ANDERY (1995, p.32).

2.3.2.2 Modo de Falha Potencial

O Modo de Falha Potencial é definido pelo modo em que o componente, subsistema ou sistema falharia ao atender os requisitos do projeto, assumindo que pode falhar, mas não necessariamente que irá falhar (MOURA, 2000).

De acordo com Helman e Andery (1995), algumas perguntas auxiliam no estudo, como: “O que poderia impedir que esta peça atenda as especificações?”, “Quais fatos poderiam ser considerados inconvenientes pelo cliente?” ou “De que maneira este processo pode fracassar na sua função estabelecida?”.

2.3.2.3 Efeito Potencial da Falha

O Efeito Potencial da Falha são consequências surgidas do Modo de Falha na Função, no qual são descritos em termos de fácil entendimento para o usuário. Ou seja, é o que a Ocorrência da falha pode ocasionar no sistema (BELINAZZO, 2014; MOURA, 2000).

Estudos de Helman e Andery (1995) induzem a questionamentos como: “O que acontecerá se ocorrer o tipo de falha descrito?” e “Quais consequências poderá sofrer o cliente?”.

2.3.2.4 Causa/Mecanismo Potencial de Falha

A Causa Potencial de Falha indica deficiências no projeto, isto é, eventos que influenciam o surgimento do Modo de Falha. São listadas todas as causas possíveis para cada Modo de Falha, assim, há um maior conhecimento para a aplicação de medidas preventivas (MOURA, 2000; SAKURADA, 2001).

Em busca de um maior entendimento da relação entre Modo, Causa e Efeito da falha, no Quadro 3 podem ser visualizados exemplos listados por Helman e Andery (1995).

Quadro 3 - Exemplo da relação Modo, Causa e Efeito da falha.

MODO DE FALHA	CAUSA DA FALHA	EFEITO DA FALHA
Fratura da resistência elétrica de um chuveiro	Oxidação	Água não aquece
Perda de ajuste na posição central de um mancal de rolamento	Acúmulo de tolerância	Travamento do eixo
Atraso na emissão de nota fiscal	Erro no cadastro por falta de treinamento	Pagamento atrasado

Fonte: Adaptação de HELMAN e ANDERY (1995, p. 39).

2.3.2.5 Índice de Severidade (S)

De acordo com Belinazzo (2014), trata-se do parâmetro que corresponde a gravidade dos Efeitos das Falhas. A Severidade será sempre aplicada sobre o Efeito Potencial da Falha, assim, quanto mais grave é o efeito maior é a Severidade. Ainda, o Índice só pode ser alterado com modificações do projeto (SAKURADA, 2001). Conforme ilustrado no Quadro 4, o Índice de Severidade varia entre 1 e 10.

Quadro 4 - Índice de severidade.

ÍNDICE DE SEVERIDADE	CRITÉRIO
1 - 4	Componente falha, mas não afeta o desempenho. Produto opera.
5 - 9	Componente falha e reduz o desempenho do produto.
10	Componente falha e produto não opera.

Fonte: Adaptação de FRANCESCHI (2015).

2.3.2.6 Índice de Ocorrência (O)

Ocorrência é o índice que indica a probabilidade da causa/mecanismo potencial de falha vir a ocorrer, conforme o Quadro 5. A redução da Ocorrência se dá por alterações do projeto mediante melhorias nas especificações a fim de diminuir sua frequência (SAKURADA, 2001).

Para Moura (2000), algumas questões auxiliam na determinação do parâmetro, entre elas, destaca-se: “Qual a experiência/ histórico de campo com componentes ou sistemas similares?”, “Qual o significado das alterações em relação a uma versão mais antiga?” ou ainda, “A aplicação do componente mudou?”.

Quadro 5 - Índice de ocorrência.

ÍNDICE DE OCORRÊNCIA	CRITÉRIO	PROBABILIDADE
1	A falha é improvável. Não ocorre.	Remota
2 - 3	Poucas falhas. Raramente falha.	Baixa
4 - 5	Falhas ocasionais. Eventualmente falha.	Moderada
6 - 8	Falhas frequentes.	Alta
9 - 10	Falha inevitável. Ocorre.	Muito alta

Fonte: Adaptação de FRANCESCHI (2015) e MOURA (2000).

2.3.2.7 Índice de Detecção (D)

A Detecção avalia a probabilidade da falha ser detectada antes que atinja o usuário, ou ainda, antes que seja liberado para a produção (HELMAN e ANDERY, 1995). Quanto maior o Índice de Detecção, que varia de 1 a 10, menor é a chance de descobrir o problema, conforme o Quadro 6.

Quadro 6 - Índice de detecção.

ÍNDICE DE DETECÇÃO	CRITÉRIO	PROBABILIDADE
1	Certamente será detectada.	Muito alta
2 - 3	Grande probabilidade de ser detectada.	Alta
4 - 5	Provavelmente será detectada.	Moderada
6 - 8	Provavelmente não será detectada.	Baixa
9 - 10	Falha não será detectada.	Remota

Fonte: Adaptação de FRANCESCHI (2015) e MOURA (2000).

2.3.2.8 Número de Prioridade de Risco (NPR)

O NPR é o resultado do produto dos Índices de Severidade, Ocorrência e Detecção, como indicado na Equação 1. É o valor utilizado para classificar as deficiências do projeto, variando de 1 a 1000 (SAKURADA, 2001).

Quanto maior o NPR, maior será a deficiência. Por isso, para altos valores de NPR é indicado que a equipe responsável pelo projeto procure reduzir o risco através da utilização de ações corretivas recomendadas. Ainda, Moura (2000), ressalta que “De modo geral, deveria ser dada atenção especial quando a Severidade é alta, independente do NPR resultante”.

$$(NPR) = (S) (O) (D) \quad (1)$$

Onde:

NPR = Número de Prioridade de Risco (Adimensional);

(S) = Severidade (Adimensional);

(O) = Ocorrência (Adimensional);

(D) = Detecção (Adimensional).

3 METODOLOGIA

Este capítulo consiste no estudo sistemático para a realização do trabalho através de um conjunto de procedimentos. Baseada em uma pesquisa de natureza aplicada, tem como objetivo a obtenção de conhecimentos necessários para a solução dos problemas específicos (PRODANOV e FREITAS, 2013). No Quadro 7, são apresentados os objetivos específicos e o alinhamento da metodologia realizada.

Quadro 7 - Relação entre os objetivos específicos, metodologia e resultados esperados.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS	METODOLOGIA
Identificar os produtos comerciais disponíveis	I. Busca em catálogos e plataformas online
Realizar busca de anterioridades para identificar os registros	II. Utilização do sistema comercial <i>Questel Orbit</i>
Definir o sistema, subsistema ou componente que será analisado	III. Aplicação de um questionário
Estudo dos modos de falha do equipamento por meio da aplicação da técnica FMEA de projeto	IV. Aplicação da FMEA
Propor melhorias ao equipamento a partir dos resultados da FMEA	V. Ações Recomendadas

Fonte: Autora.

I. A pesquisa de produtos comerciais disponíveis está apresentada no item 2.2.1 no capítulo de Revisão Bibliográfica.

II. O processo de busca de anterioridades está descrito no descrito no item 2.2.2 no capítulo de Revisão Bibliográfica.

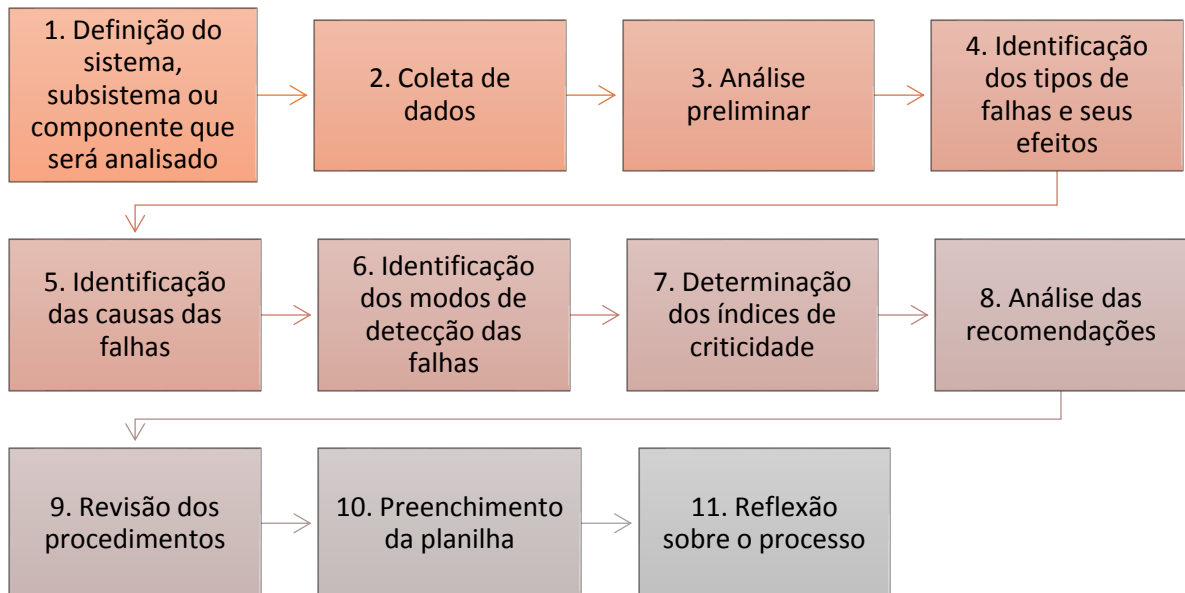
III. Para a aplicação da FMEA, torna-se necessário a definição do que será analisado. Como o protótipo em questão é complexo, algumas questões auxiliaram na definição do sistema, subsistema ou componente, tais como:

- Após os testes, qual subsistema/componente que mais apresentou falhas?

- Qual subsistema/componente que em caso de falhas, impedirá que o sistema exerça sua principal função?
- O subsistema/componente escolhido possui diferenciais dos que encontrados no mercado? Quais?

IV e V. A aplicação da FMEA consiste em uma sequência de procedimentos que auxiliam a equipe a minimizar os erros durante o processo. A Figura 6 apresenta um fluxograma que permite a visualização das etapas necessárias para a resolução do problema proposto.

Figura 6 - Fluxograma do procedimento de aplicação da FMEA.



Fonte: Adaptação HELMAN e ANDERY (1995).

1. Esta etapa do fluxograma é a definição do sistema, subsistema ou componente.

2 e 3. A coleta de dados foi realizada através de esquemas do projeto, desenhos prévios e especificações dos materiais utilizados a fim de reunir todas as informações possíveis do subsistema. Levando em consideração que o protótipo já foi testado, é importante agrupar todas as falhas que ocorreram durante seus testes e funcionamento e, ainda, verificar se estes defeitos contribuíram para falhas em outros sistemas.

4. Para a etapa de identificação dos tipos de falhas e seus efeitos, a equipe esteve reunida para a realização do *brainstorming*, em que, somado aos dados, informações e falhas ocorridas, essas sejam analisadas para identificar possíveis falhas futuras.

- 5.** Foi listado as falhas identificando seus respectivos efeitos através de questões como “Que tipos de falhas ocorreram? Que tipos de falhas podem ocorrer? Qual é o efeito (consequência vista ou não pelo cliente) de cada falha?” são formas de auxiliar nas definições. (HELMAN e ANDERY, 1995). As possíveis causas foram analisadas com base nos dados adquiridos, na experiência das pessoas envolvidas, nas informações obtidas dos testes e do funcionamento e, também, no estudo do histórico de manutenções que o subsistema e seus componentes tiveram.
- 6.** As falhas foram relacionadas com seus modos de detecção, identificando se podem ou não serem detectadas, caso venham a ocorrer.
- 7.** Determinou-se os índices de criticidade, como a ocorrência, a gravidade e a detecção que foram conceituados no Capítulo 2. Ainda, calcular o número de prioridade de risco de cada função.
- 8.** Elaborou-se Ações Recomendadas para auxiliar na redução da probabilidade de ocorrer falha e na gravidade do modo de falha, facilitando a detecção de uma falha. Cabe ressaltar que nem sempre todas as Ações Recomendadas serão realmente cumpridas. Às vezes, pode ocorrer que a implementação de uma Ação acarrete em grandes melhorias no projeto, mas a elevada complexidade e/ou custo se tornem um obstáculo para essa implementação (HELMAN e ANDERY, 1995).
- 9.** Após cada etapa, foi realizado revisões verificando se há inconformidades ou repetições das falhas e seus efeitos. As informações devem ser claras e concisas, de modo que as gravidades dos efeitos sejam avaliadas facilmente.
- 10.** Para o preenchimento da planilha, Quadro 8, todas as colunas foram completadas conforme mencionadas no Capítulo 2. Foi realizado revisões de todos os procedimentos adotados para evitar que erros possam ser cometidos.
- 11.** Foi refletido sobre o processo realizado, buscando analisar se a aplicação da FMEA foi adequada para o problema em questão e, se inapropriada, indicado ferramentas que auxiliariam na solução.

Quadro 8 - Planilha da FMEA.

ANÁLISE DO MODO E EFEITO DE FALHA								
Tipo de FMEA		Número da FMEA		<input type="checkbox"/> Sistema <input type="checkbox"/> Subsistema <input type="checkbox"/> Componente				
Responsabilidade							Data FMEA	
Item	Função	Modo de Falha Potencial	Efeito Potencial da Falha	Causa / Mecanismo Potencial da Falha	S	O	D	N P R

Fonte: Autora.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Nesse capítulo são apresentados a definição do subsistema a ser analisado, os resultados do estudo dos modos de falha através da aplicação da FMEA de projeto para cada componente do subsistema, bem como as Ações Recomendadas das falhas através de propostas de melhorias.

Cabe ressaltar que os objetivos específicos de identificar os produtos comerciais disponíveis e realizar busca de anterioridades para identificar os registros foram apresentados no capítulo de Revisão Bibliográfica.

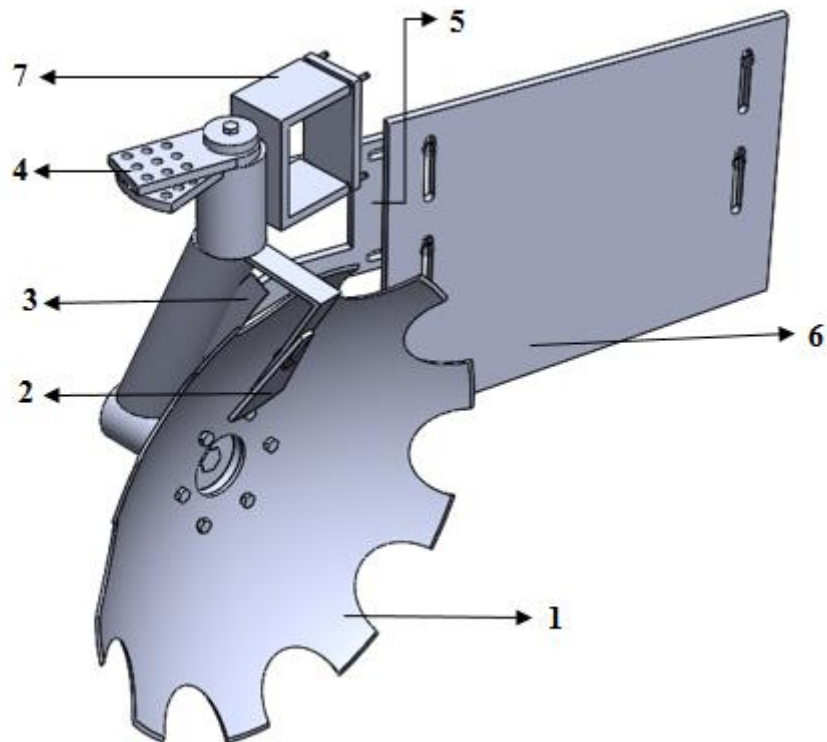
4.1 DEFINIÇÃO DO SUBSISTEMA

A definição do subsistema para a aplicação da FMEA foi realizada a partir do questionário mencionado no capítulo de Metodologia. Abaixo segue as respostas obtidas para cada pergunta.

- Após os testes, qual subsistema/componente que mais apresentou falhas? R.: Conjunto dos discos de grade côncavos recortados e direcionador de torrões.
- Qual subsistema/componente que em caso de falhas, impedirá que o sistema exerça sua principal função? R.: Conjunto dos discos de grade côncavos recortados e direcionador de torrões.
- O subsistema/componente escolhido possui diferenciais dos que encontrados no mercado? Quais? R.: Além de possuir limpadores internos e externos, contém um mecanismo de direcionamento de terra que impede o acúmulo de torrões e sujidades no interior do sulco.

A partir dos resultados obtidos pelo questionário, selecionou-se o subsistema de abertura dos sulcos que compõem os discos recortados côncavos e seus mecanismos, como o direcionador de torrões, conforme a Figura 7.

Figura 7 - Vista isométrica do subsistema e as indicações dos componentes.



Fonte: Autora.

O subsistema exerce a principal função do implemento que é a abertura dos sulcos através da disposição dos discos (1) e da regulagem do ângulo de ataque (4). Estes são dispostos alternadamente entre as fileiras, fazendo com que disco posicionado na frente abra uma estreita fenda e corte as palhas existentes, enquanto o disco de trás retira outra porção de terra formando o sulco.

A chapa (6) é acoplada no fixador (5), sendo responsável pelo direcionamento de torrões, troncos de árvores e pedras para fora do sulco, impedindo que estas sujidades influenciem no desempenho e na qualidade do sistema sulco-camalhão. Também, possuem limpadores internos (2) e externos (3) que retiram possíveis acúmulos de terra, evitando embuchamentos e necessitando pequenos esforços de tração. Todo esse conjunto é fixado na estrutura principal do implemento através do sistema de fixação (7). O Quadro 9 exemplifica o subsistema com a descrição de cada componente que será analisado, bem como o material e a quantidade utilizada.

Quadro 9 - Descrição, material e quantidade utilizada de cada componente do subsistema.

COMPONENTE	DESCRIÇÃO	MATERIAL	QUANTIDADE
1	Disco de corte recortado côncavo	Aço microligado ao boro	1
2	Limpador interno	Aço 1045	1
3	Limpador externo	Aço 1045	1
4	Regulagem do ângulo de ataque	Aço 1045	1
5	Fixador da chapa direcionadora	Aço 1045	1
6	Chapa direcionadora	Aço 1045	1
7	Sistema de fixação na estrutura	Aço 1045	1

Fonte: Autora.

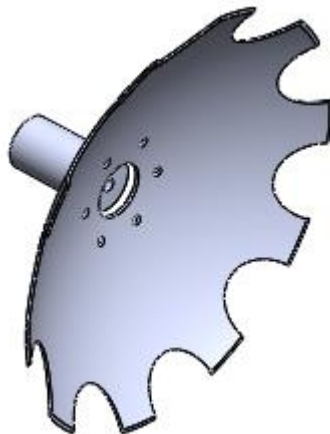
4.2 APLICAÇÃO DA FMEA

Através da elaboração da FMEA para os diferentes componentes, destacou-se as falhas do subsistema. Para os principais modos de falha que possuíam altos índices de Severidade ou de NPR, foram sugeridas Ações Recomendadas. Ou seja, foram feitas sugestões de melhorias para evitar que a falha aconteça.

4.2.1 FMEA do disco de corte recortado côncavo

O disco de corte é o principal componente do subsistema, uma vez que este exerce a função de abrir os sulcos. A Figura 8 apresenta a vista isométrica do disco para uma melhor visualização.

Figura 8 - Vista isométrica do disco de corte recortado côncavo.



Fonte: Autora.

A partir do Quadro 10, os modos de falha identificados foram a ruptura do disco (1), o desgaste natural (2) e o afrouxamento dos parafusos (3). O (1) possui um grande índice de Severidade, uma vez que venha ocorrer, o sistema deixa de operar impedindo a efetiva abertura dos sulcos. O desgaste natural (2) apresenta um elevado valor de NPR devido a gravidade e a probabilidade de ocorrer, decorrente do atrito excessivo em solos abrasivos, principalmente em solos arenosos uma vez que estes possuem alto grau de rugosidade superficial. Os baixos índices para o afrouxamento dos parafusos (3) resultam do uso de arruelas de pressão, uma vez que estas possuem um sistema de travamento impedindo o giro no sentido anti-horário.

Quadro 10 - Aplicação da FMEA no disco de corte recortado côncavo.

ANÁLISE DO MODO E EFEITO DE FALHA								
Tipo de FMEA de Projeto		Número da FMEA 1		<input type="checkbox"/> Sistema <input type="checkbox"/> Subsistema <input checked="" type="checkbox"/> Componente				
Responsabilidade Jéssica Dotto Vizzotto						Data FMEA 20/05/2019		
Item	Função	Modo de Falha Potencial	Efeito Potencial da Falha	Causa / Mecanismo Potencial da Falha	S	O	D	N P R
Disco de corte recortado côncavo	Abrir sulcos	1. Ruptura do disco	Impedir a abertura dos sulcos	Choque com pedras	10	8	1	80
				Desgaste das bordas e diminuição do diâmetro				
		2. Desgaste natural	Dificultar o rompimento do solo	Atrito excessivo (principalmente em solos abrasivos)	8	10	2	160
				Oxidação				
		3. Afrouxamento	Corte não efetivo	Ruptura de arruelas	6	3	2	36
				Montagem incorreta				

Fonte: Autora.

Como Ações de melhorias para o componente, buscar evitar o choque com pedras muito grandes através da pré-visualização do operador. Além disso, durante a montagem e fixação dos parafusos, fazer inspeções para garantir que todos foram colocados de forma correta e também, revisa-los antes de começarem a operar.

4.2.2 FMEA dos limpadores internos e externos

A principal função dos limpadores é impedir que o excesso de sujidades fique aderida ao disco e que atrapalhe na abertura dos sulcos. Na Figura 9 é mostrado a vista isométrica dos limpadores internos e externos (sombreados).

Figura 9 - Vista isométrica dos limpadores internos e externos.



Fonte: Autora.

Os modos de falha identificados foram a ruptura dos limpadores (1), ruptura da solda de fixação (2) e a deformação (3) dos mesmos. Conforme o Quadro 11, ambos os tipos de ruptura possuem um elevado índice de Severidade e baixo índice de Detecção. Isto porquê, caso ocorra, não haverá outro componente que impeça que o excesso de argila se acumule no disco, tornando provável o embuchamento do disco. Com relação aos valores de NPR, as causas de (1) que podem interferir para que essa ruptura aconteça são o esforço excessivo do implemento e o impacto brusco, principalmente com o choque de pedras. Tanto (2) como (3) apresentam baixa probabilidade da Causa ocorrer e grandes chances de ser detectado antes que atinja o usuário.

Quadro 11 - FMEA dos limpadores interno e externo.

ANÁLISE DO MODO E EFEITO DE FALHA								
Tipo de FMEA de Projeto		Número da FMEA 1	<input type="checkbox"/> Sistema <input type="checkbox"/> Subsistema <input checked="" type="checkbox"/> Componente					
Responsabilidade Jéssica Dotto Vizzotto							Data FMEA 20/05/2019	
Item	Função	Modo de Falha Potencial	Efeito Potencial da Falha	Causa / Mecanismo Potencial da Falha	S	O	D	N P R
Limpador Interno/Externo	Remoção do excesso de sujidades da parte interna/ externa do disco	1. Ruptura dos limpadores	Embuchamento do disco	Esforço excessivo	9	3	1	27
				Impacto				
		2. Ruptura da solda de fixação		Solda mal executada	9	5	1	45
				3. Deformação				
	Impacto							

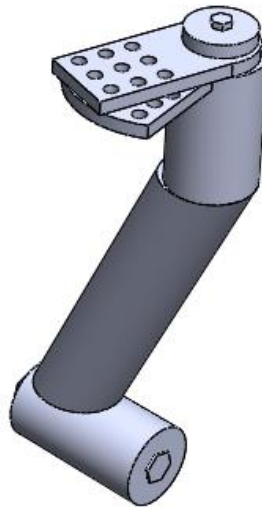
Fonte: Autora.

Para os limpadores, as Ações Recomendadas são a fim de eliminar pontos de concentração de tensão. Neste caso, esses pontos são gerados pela elevada concentração tensão formada em cantos vivos, principalmente no limpador interno. Como forma de solucionar o problema, é indicado que seja feito um novo limpador interno, com o arredondamento dos cantos vivos.

4.2.3 FMEA da regulagem do ângulo de ataque

A regulagem do ângulo de ataque permite que o operador ajuste a largura do sulco conforme a necessidade. A Figura 10 exemplifica as peças que formam o componente.

Figura 10 - Vista isométrica da regulagem do ângulo de ataque.



Fonte: Autora.

Conforme o Quadro 12, a ruptura dos parafusos (1) apresenta o índice de Severidade 9, sendo considerado alto. Isso ocorre principalmente pelo torque excessivo que faz com que a rosca espane, sendo necessário que o operador corte o parafuso para removê-lo. O emperramento (2) faz com que dificulte o giro para regular a largura dos sulcos, sendo suas Causas as principais responsáveis.

Quadro 12 - FMEA da regulagem do ângulo de ataque.

ANÁLISE DO MODO E EFEITO DE FALHA								
Tipo de FMEA de Projeto		Número da FMEA		<input type="checkbox"/> Sistema <input type="checkbox"/> Subsistema <input checked="" type="checkbox"/> Componente				
Responsabilidade							Data FMEA	
Jéssica Dotto Vizzotto							20/05/2019	
Item	Função	Modo de Falha Potencial	Efeito Potencial da Falha	Causa / Mecanismo Potencial da Falha	S	O	D	N P R
Regulagem do ângulo de ataque	Determinar a largura do sulco	1. Ruptura dos parafusos	Folga parcial ou total do mecanismo	Torque excessivo	9	5	1	45
				Rosca espanada				
				Folga nos parafusos				
		2. Emperramento do giro	Dificulta a regulagem do mecanismo	Falta de lubrificação	5	6	3	90
Oxidação								

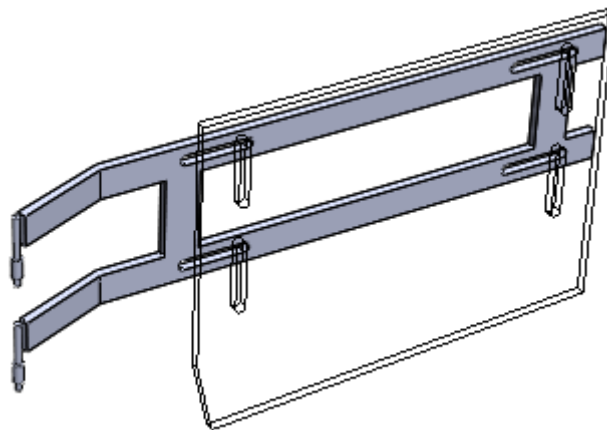
Fonte: Autora.

O uso de torquímetros evita o torque excessivo do parafuso na porca limitando a pressão de aperto conforme o projeto. Como consequência, impede o empenamento do conjunto fixado, trincas no elemento de fixação e o afrouxamento do parafuso devido vibrações

4.2.4 FMEA do fixador da chapa direcionadora

O fixador da chapa direcionadora é soldado no corpo da regulagem do ângulo de ataque. Esse mecanismo tem como finalidade assegurar que chapa direcionadora exerça sua função na direção que se deseja, como indica o sombreado da Figura 11.

Figura 11 - Vista isométrica do fixador da chapa direcionadora.



Fonte: Autora.

Os modos de falha identificados no Quadro 13 foram a ruptura do engate (1), ruptura da solda (2) e o afrouxamento (3). Neste componente, todos os valores de NPR são pequenos devido aos baixos índices de Ocorrência e probabilidade de Detecção. Porém, possuem elevados valores de Severidade, uma vez que estas falhas podem impedir que o subsistema exerça adequadamente sua função.

Quadro 13 - FMEA do fixador da chapa direcionadora.

ANÁLISE DO MODO E EFEITO DE FALHA								
Tipo de FMEA de Projeto		Número da FMEA		<input type="checkbox"/> Sistema <input type="checkbox"/> Subsistema <input checked="" type="checkbox"/> Componente				
Responsabilidade							Data FMEA	
Jéssica Dotto Vizzotto							20/05/2019	
Item	Função	Modo de Falha Potencial	Efeito Potencial da Falha	Causa / Mecanismo Potencial da Falha	S	O	D	N P R
Fixador da chapa direcionadora	Fixar a chapa direcionadora no mecanismo de regulagem do ângulo de ataque	1. Ruptura do engate	Impedir a fixação da chapa	Impacto Diâmetro do engate mal dimensionado	10	4	1	40
		2. Ruptura da solda	Impedir a fixação da chapa	Solda mal executada	10	4	1	40
		3. Afrouxamento	Má formação do camalhão e excesso de sujidades no interior do sulco	Montagem incorreta Ruptura de arruelas	8	3	2	48

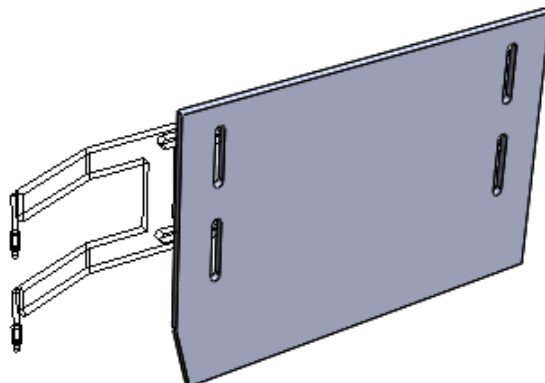
Fonte: Autora.

A inspeção diária do componente faz com que as causas potenciais de falha diminuam, principalmente quando associadas ao surgimento de pontos de concentração como pequenas trincas e soldas indevidas.

4.2.5 FMEA da chapa direcionadora

A chapa direcionadora serve para impedir que os torrões de terra e sujidades permaneçam no interior do sulco formado. Este componente é apresentado na vista isométrica da Figura 12 de forma sombreada.

Figura 12 - Vista isométrica da chapa direcionadora.



Fonte: Autora.

Como apresentado no Quadro 14, seus pequenos índices de Ocorrência e Detecção indicam que a ruptura da chapa (1) possui um baixo valor de NPR. Ou seja, o risco da chapa direcionadora falhar é remoto, tendo mínimo risco de falha.

Quadro 14 - FMEA da chapa direcionadora.

ANÁLISE DO MODO E EFEITO DE FALHA								
Tipo de FMEA de Projeto		Número da FMEA		<input type="checkbox"/> Sistema <input type="checkbox"/> Subsistema <input checked="" type="checkbox"/> Componente				
Responsabilidade							Data FMEA	
Jéssica Dotto Vizzotto							20/05/2019	
Item	Função	Modo de Falha Potencial	Efeito Potencial da Falha	Causa / Mecanismo Potencial da Falha	S	O	D	N P R
Chapa direcionadora	Direciona as sujidades para fora do sulco	1. Ruptura da chapa	Obstruir o canal do sulco	Impacto	10	3	1	30
			Má formação do camalhão	Material não adequado				

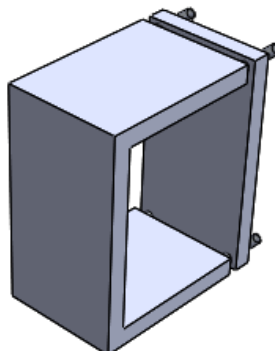
Fonte: Autora.

Assim como nos demais componentes apresentados, o impacto é uma das causas identificadas para falhar. Torna-se necessário a pré-visualização do espaço evitando o choque brusco.

4.2.6 FMEA do sistema de fixação

O componente apresentado na Figura 13 tem como finalidade a fixação de todo o subsistema na estrutura do implemento agrícola.

Figura 13 - Vista isométrica do sistema de fixação do subsistema.



Fonte: Autora.

O Quadro 15 apresenta os modos de falhas do sistema de fixação sendo a ruptura dos parafusos (1), ruptura da solda (2) e afrouxamento (3). Ambos os modos de falha possuem alto índice de Severidade, pois principalmente (2) e (3) impediriam o sistema de operar. O modo (3) possui um índice de Severidade um pouco menor, porém um valor de NPR maior devido a maior probabilidade de falhar e de ser detectada.

Quadro 15 - FMEA do sistema de fixação na estrutura.

ANÁLISE DO MODO E EFEITO DE FALHA								
Tipo de FMEA de Projeto		Número da FMEA 1		<input type="checkbox"/> Sistema <input type="checkbox"/> Subsistema <input checked="" type="checkbox"/> Componente				
Responsabilidade Jéssica Dotto Vizzotto							Data FMEA 20/05/2019	
Item	Função	Modo de Falha Potencial	Efeito Potencial da Falha	Causa / Mecanismo Potencial da Falha	S	O	D	N P R
Sistema de fixação na estrutura	Fixar o subsistema no chassi do implemento	1. Ruptura dos parafusos	Impedir o funcionamento do subsistema	Torque excessivo	10	5	1	50
				Rosca espanada				
				Mal dimensionamento dos parafusos				
		2. Ruptura da solda		Solda mal executada	10	2	1	20
				Sobrecarga do subsistema				
		3. Afrouxamento		Quebra ou trinca nos outros componentes, principalmente do disco de corte	Ruptura de arruelas	9	3	2
Montagem incorreta								

Fonte: Autora.

Como para a regulação do ângulo de ataque, o uso de um torquímetro auxilia como forma de evitar que causas como torque excessivo e rosca espanada ocorram. A inspeção durante a montagem e o cuidado com a solda também resultam na minimização das falhas.

5 CONCLUSÃO

A questão de pesquisa do trabalho baseou-se em como identificar as falhas de um sistema desenvolvido para a implementação sulco-camalhão. Para isso, a ferramenta utilizada foi a FMEA como forma de minimizar as possíveis falhas encontradas, além de serem estabelecidos alguns objetivos que auxiliaram para a aplicação da ferramenta.

Foram realizadas pesquisas em catálogos e plataformas online a fim de identificar os produtos comerciais disponíveis que exercessem a mesma função do sistema apresentado no trabalho. Encontrou-se implementos que se assemelham ao proposto, porém, não foram encontrados sistemas com as mesmas características.

Além disso, realizou-se uma busca de anterioridades no sistema comercial *Questel Orbit* a partir de códigos de IPC como forma de filtrar os resultados. Foram identificados 144 registros brasileiros relevantes para o trabalho proposto, mas nenhum que se assemelhasse efetivamente.

Para a aplicação da FMEA, tornou-se necessário a definição de qual sistema, subsistema ou componente seria analisado. Assim, através da aplicação de um questionário, o subsistema selecionado foi o que contém o conjunto dos discos de grade côncavos recortados e direcionador de torrões.

Cada item do subsistema foi analisado separadamente em função dos índices de Severidade, Ocorrência e Detecção. O modo de falha que teve o maior valor de NPR foi da ruptura do disco, uma vez que esse impede que o subsistema exerça sua principal função. Quanto a gravidade dos modos de falha, 40% resultaram em o componente deixar de operar. Ou seja, o subsistema precisa estar em constante manutenção para evitar que todo o sistema pare seu funcionamento. A probabilidade da falha vir ocorrer teve seus valores variados, uma vez que as Causas da falha dependem desde o tipo de solo e o impacto, até a montagem e a manutenção adequadas. Em geral, os índices de Detecção possuíram baixos valores, pois há grandes chances de descobrir o problema sem que interfira na operação.

Para cada componente avaliado pela FMEA, foram sugeridas Ações que pudessem minimizar os problemas. As Ações foram baseadas em manutenções seguidas e em inspeções durante a montagem. Porém, para os limpadores a eliminação dos pontos de concentração de tensão através do arredondamento dos cantos vivos acarretaria na diminuição do índice de Ocorrência e, conseqüentemente, nos valores de NPR.

6 TRABALHOS FUTUROS

Como sugestões para trabalhos futuros, propõem-se:

- Aplicar as Ações Recomendadas e a partir disso obter novos valores de NPR;
- Aplicar a ferramenta FMEA em todo sistema agrícola.

Utilizar paralelamente outros métodos de melhoria contínua, tais como:

- Metodologia de Análise e Solução de Problemas (Método MASP);
- Diagrama de Ishikawa (Diagrama de Causa-Efeito ou Diagrama de Espinha de Peixe);
- Ciclo PDCA;
- Seis Sigma;
- Método DMAIC (segmento do Seis Sigma tendo como proposta otimizar a forma como processos os acontecem.

Somado a isto, estabelecer planos de ações como a Matriz 5W2H para a execução e controle das tarefas, qualificando e estruturando em etapas práticas e bem definidas e/ou a metodologia Kaizen, que visa a diminuição de custos e aumento da produtividade.

REFERÊNCIAS

- AGITTEC. **Propriedade Intelectual**: busca de anterioridade. Santa Maria, 2018. Disponível em: <<http://w3.ufsm.br/agittec/index.php/propriedade-intelectual/busca-de-anterioridade>>. Acesso em: 3 Nov 2018.
- AGRITECH. **Produtos-implementos-sulcadores**. 2018. Disponível em: <<http://www.agritech.ind.br>> Acesso em: 3 Nov 2018.
- ARAÚJO, A. G. et al. **Mecanização do Plantio Direto**: problemas e soluções. Londrina: Instituto Agrônomo do Paraná. 2001. (Informe da Pesquisa, n. 137, 18 p.)
- ARNOLD, F. R.; SANTOS, C. B. **A Concessão de Patentes no Brasil: Um Estudo Exploratório**. 2016. Curitiba: FAE Centro Universitário, 2016, 8p.
- BALASTREIRE, L.A. **Máquinas Agrícolas**. São Paulo: Manole, 1987. 307 p.
- BALDAN. **Produtos**. Disponível em: <<https://www.baldan.com.br>> Acesso em: 3 Nov 2018.
- BELINAZZO, W. V. **Aperfeiçoamento de um Sistema de Tração Adaptável à uma Cadeira de Rodas**. 2014. 86 p. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Mecânica) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, RS, 2014.
- CARMONA, F. C. et al. **Sistemas Integrados de Produção Agropecuária em Terras Baixas**: a integração lavoura-pecuária como o caminho da intensificação sustentável da lavoura arrozeira. Porto Alegre: Universidade Federal do Rio Grande Do Sul, 2018, 164 p.
- COORDENAÇÃO DE APERFEIÇOAMENTO DE PESSOAL DE NÍVEL SUPERIOR. CAPES. **Catálogo de Teses e Dissertações**. Copyright 2016 Capes. Versão: 0.0.41. Disponível em: <<http://catalogodeteses.capes.gov.br/catalogo-teses/>> Acesso em: 21 Mai 2019.
- DIAS, A. et al. **Metodologia para Análise de Risco**. Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, Eletrobras/Eletrosul, P&D ANEEL, 2011.
- DMB. **Linha canavieira-sulcadores**. 2018. Disponível em: <<http://www.dmb.com.br/linha-canavieira/sulcadores>> Acesso em: 3 Nov 2018.
- EMPRAPA SOJA. **Dados Econômicos**: soja em números (safra 2017/2018). Londrina, 2018. Disponível em: <<https://www.embrapa.br/soja/cultivos/soja1/dados-economicos>> Acesso em: 25 Out 2018.
- FRANCESCHI, A. de. **Sistemática de Análise de Falhas de Equipamento Agrícola Sob a Ótica de Projeto de Produto**. 2015. 144 f. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, RS, 2015.
- GARRAFA, M. **Aplicação de FMEA na otimização dos fatores de produção da cultura da canola**. 2005. 183 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, RS, 2005.

GIORDANO, C. P. S. **Resposta de Soja a Períodos de Inundação em um Gleissolo**. 2014. 100 p. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, RS, 2014.

GOMES, A. S. et al. **Caracterização de Indicadores da Qualidade do Solo, com Ênfase às Áreas de Várzea do Rio Grande do Sul**. Pelotas: Embrapa Clima Temperado. Documentos. nº 169. 2006, 42 p.

HELMAN, H.; ANDERY, P.R.P. **Análise de falhas: aplicação dos métodos de FMEA e FTA**. v.11. 156 p. Belo Horizonte: Fundação Christiano Ottoni, Escola de Engenharia da UFMG, 1995.

HENRIQUE, F.; FIORIO, V. **O que é FMEA?**. Redação Indústria Hoje. 2013. Disponível em: <<https://industriaohje.com.br/fmea>> Acesso: 30 Out 2018.

INDUSTRIAL KF LTDA. **Produtos-Plantadoras-Hyper Plus Camalhoneira**. 2018. Disponível em: <<http://www.industrialkf.com.br/produtos/ver/6/HYPER+PLUS+CAMALHONEIRA>> Acesso em: 3 Nov 2018.

INSTITUTO NACIONAL DA PROPRIEDADE NACIONAL. INPI. **Perguntas Frequentes – Patente**. Rio de Janeiro, 2017. Disponível em: <<http://www.inpi.gov.br/servicos/perguntas-frequentes-paginas-internas/perguntas-frequentes-patente#patente>> Acesso em: 3 Nov 2018.

INSTITUTO RIO GRANDENSE DO ARROZ. IRGA. **Safra**. Porto Alegre, 2018. Disponível em: <<http://irga.rs.gov.br/safra-2>> Acesso em: 2 Nov 2018.

MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, PECUÁRIA E ABASTECIMENTO. MAPA. **Agropecuária puxa o PIB de 2017**. Notícias. Brasília, 2017. Disponível em: <<http://www.agricultura.gov.br/noticias/agropecuaria-puxa-o-pib-de-2017>> Acesso em: 18 Out 2018.

MOURA, C. **Análise de Modo e Efeitos de Falha Potencial (FMEA): Manual de Referência**. IQA – Instituto da Qualidade Automotiva, 44 p., 2000.

MÜLLER, E. A. **Capacidade de preparos de solo reduzirem limitações físicas naturais de áreas de várzea para o cultivo de soja**. 2015. 86 p. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, RS, 2015.

OLIVEIRA, A. B. **Indicações para cultivo de soja e milho em terras baixas são reunidas em livro**. EMBRAPA. 2017. Disponível em: <<https://www.embrapa.br/busca-de-noticias/-/noticia/26114068/indicacoes-para-cultivo-de-soja-e-milho-em-terras-baixas-sao-reunidas-em-livro>> Acesso em: 14 Set 2018.

PRODANOV, C. C.; FREITAS, E. C. **METODOLOGIA DO TRABALHO CIENTÍFICO: métodos e técnicas da pesquisa e do trabalho acadêmico**. 2013. 2. ed. Novo Hamburgo: Feevale, 2013. 277 p.

PROGRESSO. **Produtos-peças para plantadeiras-alternativa kuhn-haste do sulcador**. 2018. Disponível em: <<http://progressopeças.com.br/produtos/peças-para-plantadeiras/alternativa-kuhn/haste-do-sulcador-p-995>> Acesso em: 3 Nov 2018.

REIS, E. F. et al. **Avaliação de Mecanismos Rompedores e Compactadores em Semeadura Direta**. Revista Engenharia na Agricultura, v.12, 2004, p.212-221.

RODRIGUES, D. M et al. **Análise de Modo e Efeito de Falha Potencial – FMEA**: apostila e tabelas recomendadas para severidade ocorrência e detecção. São Leopoldo: Centro Tecnológico de Mecânica de Precisão SENAI Plínio Gilberto Kröeff, 13 p., 2010.

RODRIGUES, F. A. **Avaliação de Sistemas de Implantação de Soja em Áreas Típicas de Cultivo de Arroz Irrigado**. 2015. 106 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, RS, 2015.

SAKURADA, E. Y. **As Técnicas de Análise dos Modos de Falhas e seus Efeitos e Análise da Árvore de Falhas no Desenvolvimento e na Avaliação de Produtos**. 2001. 124 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, SC, 2001.

SANTOS, A. P. et al. **Desempenho de Três Semeadoras-Adubadoras de Plantio Direto Para do Cultura Do Milho**. Lavras: Ciência Agrotecnologia, v. 32, n. 2, 2008, p. 540-546.

SCHMITT, J. C. **Método de Análise de Falha Utilizando a Integração das Ferramentas DMAIC, RCA, FTA e FMEA**. 2013. 110 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) – Universidade Metodista de Piracicaba, Santa Bárbara d’Oeste, SP, 2013.

SILVA, C. A. S. et al. **Sistema Sulco/Camalhão para Irrigação e Drenagem em Áreas de Várzea**. Pelotas: Embrapa Clima Temperado. Comunicado Técnico. nº 165. 2007, 4 p.

SILVA, C. A. S.; PARFITT, J. M. B. **Drenagem Superficial para Diversificação do Uso de Várzea do Rio Grande do Sul**. Pelotas: Embrapa Clima Temperado. Circular Técnica. nº 40. 2004, 10 p.

SILVA, S. L. **Máquinas e Mecanização Agrícolas**: máquinas e implementos para preparo do solo. 2005. 17 p. Cascavel: Faculdade Assis Gurgacz, Curso de Agronomia, 2005.

SILVEIRA, C. B. **FMEA – Análise dos Modos de Falha e seus Efeitos**. 2012. Disponível em: <<https://www.citisystems.com.br/fmea-processo-analise-modos-falhas-efeitos/>> Acesso em: 22 Out 2018.

SOSBAI. **Arroz Irrigado**: recomendações técnicas da pesquisa para o sul do Brasil. Bento Gonçalves: SOSBAI, 2016, 199 p.

TOLEDO, J.C.; AMARAL, D.C. **FMEA**: análise do tipo e efeito de falha. São Carlos: GEPEQ/UFSCar, 2006.

VIZZOTTO, V. R. **Desempenho de Mecanismos Sulcadores em Semeadora-Adubadora Sobre os Atributos Físicos do Solo em Várzea no Comportamento da Cultura da Soja**

(*Glycine max* L). 2014. 79 f. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, RS, 2014.

VERNETTI JUNIOR, F. J. et al. **Sustentabilidade de sistemas de rotação e sucessão de culturas em solos de várzea no Sul do Brasil**. Santa Maria. Ciência Rural. v. 39. n° 6. p. 1708-1714. 2009.

WORLD INTELLECTUAL PROPERTY ORGANIZATION. WIPO. **Classificações internacionais**. 2018. Disponível em: <<http://ipc.inpi.gov.br/ipcpub/?notion=scheme&version=20180101&symbol=A01B0023000000&menulang=pt&lang=pt&viewmode=f&fipipc=no&showdeleted=yes&indexes=no&headings=yes¬es=yes&direction=02n&initial=A&cwid=none&tree=no&searchmode=smart>> Acesso em: 3 Nov 2018.

APÊNDICE A – DISSERTAÇÕES E TESES DO CAPES RELACIONADOS À FMEA

Quadro 16 - Relação entre a quantidade de dissertações e teses do CAPES e o ano de publicação.

ANO	QUANTIDADE
1996	1
1998	2
1999	2
2000	3
2001	1
2002	5
2003	3
2004	4
2005	3
2006	4
2007	9
2008	5
2009	5
2010	11
2011	4
2012	8
2013	8
2014	9
2015	11
2016	13
2017	7
2018	8

Fonte: CAPES (2019).