

**A Confiabilidade como um Fator Crítico de Sucesso para a Sustentabilidade de um Sistema Automatizado de Agricultura Familiar**

**RICARDO FRANCA SANTOS**

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO (UFRJ)

**JOÃO PEDRO AVELAR CORDEIRO BATISTOLLE**

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO (UFRJ)

**GUSTAVO FARIA TAKAMA**

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO (UFRJ)

# **A CONFIABILIDADE COMO UM FATOR CRÍTICO DE SUCESSO PARA A SUSTENTABILIDADE DE UM SISTEMA AUTOMATIZADO DE AGRICULTURA FAMILIAR**

## **Resumo**

Este trabalho é fruto de um projeto de extensão da Universidade Federal do Rio de Janeiro que tem como propósito automatizar o processo de irrigação e proporcionar um método confiável de agricultura familiar com menor impacto ambiental, tendo em vista o controle do uso da água e o uso de energia renovável por meio de placas fotovoltaicas para alimentação das bombas. O objetivo deste trabalho é mensurar a criticidade dos componentes de um sistema de irrigação e propor ações de melhoria para a manutenção e/ou substituição dos componentes-chave visando assegurar a confiabilidade do sistema e reduzir os riscos associados ao mesmo. Em uma abordagem quantitativa e qualitativa realizada por meio de um estudo de caso ocorrido a partir de um protótipo do sistema instalado na universidade, foi realizada uma análise das criticidades dos componentes-chave por meio das técnicas árvore de falhas e da análise do modo e efeitos de falhas. Entre os resultados ressalta-se que em termos de criticidade a bomba submersa e a bomba de superfície possuem a mesma importância para o sistema de irrigação. Já quanto aos componentes de irrigação constata-se que um possível vazamento nestes componentes é quase quatro vezes mais crítico que uma possível queima de uma das bombas do sistema e tão crítico quanto o entupimento dessas linhas. Manutenções e inspeções periódicas, aliados ao treinamento da equipe de operação do sistema permitirão uma confiabilidade do sistema de irrigação para o pequeno agricultor. Além disso, para aumentar a sustentabilidade do sistema sugere-se a utilização de um sistema de telemetria com o acoplamento de uma válvula solenoide para a dosagem e o controle da água do reservatório, além da utilização de um medidor com boia eletrônica para o controle do nível da água na caixa d'água.

**Palavras-chave:** Agricultura familiar, Sustentabilidade, Sistema de Irrigação.

## **Abstract**

This work results from an extension project at Federal University of Rio de Janeiro. Their purpose is to automate the irrigation process and provide a reliable method of family farming with less environmental impact, aiming to control water usage and the control of renewable energy through photovoltaic plates to power the pumps. It aims to measure the criticality of the components of an irrigation system and propose improvement actions for the maintenance and replacement of the items to ensure reliability and reduce the risks associated with it. We performed, in a quantitative and qualitative approach, carried out through a case study based on a prototype of the system installed at the university. We used an analysis of the criticalities of the components with fault tree analysis techniques and an analysis of the mode and effects of failures. Among the results, we found that the submerged pump and the surface pump have the same importance for the irrigation system. As for the irrigation components, it appears that a possible leakage in these components is almost four times bigger than a possible critical failure of one of the system's pumps and as critical as the clogging of these lines. Periodic maintenance and inspections, combined with the training of the system operation team, will allow the irrigation system to be reliable for the small farmer. In addition, to increase

sustainability, we suggest using a telemetry system coupled to a solenoid valve and a floating meter in the water tank.

**Keywords:** Family farming, Sustainability, Irrigation System.

## **Introdução**

Ao se abordar o tema sustentabilidade, alguns dos assuntos mais discutidos são a agricultura familiar e a energia solar. Neste projeto de extensão denominado Irrigasol e sediado na Universidade Federal do Rio de Janeiro, no campus Macaé, se juntam essas características da sustentabilidade à inovação trazida pela automação, criando um sistema de irrigação automatizado para agricultura caseira, alimentado a partir de energia solar.

Segundo Villalva (2012), o Sol é a principal fonte de energia do planeta Terra, pois está constantemente enviando energia em forma de luz e calor para a superfície do nosso planeta, sendo assim a energia solar uma fonte renovável de energia. Desta forma, a energia solar é uma energia limpa, por não gerar resíduos e não poluir. Esses aspectos são de extrema importância no desenvolvimento de novas tecnologias, visando reduzir o impacto ambiental e preservar os ecossistemas existentes.

Por outro lado, as principais características da agricultura familiar estão relacionadas a independência de insumos externos à propriedade e ao fato da produção agrícola estar condicionada às necessidades do grupo familiar. No entanto, diversas características estão associadas a este tipo de agricultura, como o uso de energia solar, a utilização de animais e fatores humanos, a pequena propriedade, a auto-suficiência e o pouco uso de insumos externos, a força de trabalho familiar ou comunitária, a alta diversidade ecogeográfica, biológica, genética e produtiva, bem como a baixa produção de dejetos.

Diante desse cenário, o desenvolvimento da agricultura familiar evoluiu juntamente com os avanços dos sistemas de irrigação ao longo dos anos. Pesquisas na área das ciências agrárias possibilitaram o desenvolvimento de equipamentos que barateassem os custos da irrigação, o desenvolvimento de sistemas que pudessem ser viáveis para pequenos agricultores que possuíssem uma renda consideravelmente baixa e que muitas vezes dependem diretamente do que produzem para viver. Além disso, o desenvolvimento desses sistemas possibilitou uma grande redução no consumo de água para a agricultura.

No Brasil, o consumo de água destinado à irrigação representa 61% da vazão total de água retirada dos mananciais, sendo 50% efetivamente utilizada pelas plantas (ANA, 2004).

A grande problemática sob o ponto de vista socioambiental do modelo de agricultura convencional é sua ausência de sustentabilidade, fato que é explicado pela valorização apenas na maximização dos lucros e da produção (NETO, 1985).

Este trabalho tem como objetivo mensurar por meio das técnicas de análise dos modos e efeitos de falha (FMEA) e da análise de árvore de falhas (FTA) a criticidade de cada componente de um sistema de irrigação para agricultura familiar, tendo em vista o aspecto crucial do mesmo em relação a confiabilidade e, conseqüentemente, a sustentabilidade. Por meio de ações recomendadas de melhoria na manutenção e/ou substituição dos componentes-chave do sistema de irrigação será possível aumentar a confiabilidade e contribuir para o aumento da sustentabilidade destes sistemas na agricultura familiar.

## **Contexto Investigado**

Antes de iniciar o contexto investigado serão apresentados alguns conceitos das duas técnicas utilizadas no diagnóstico da situação-problema: FMEA e a FTA.

A FMEA é uma ferramenta amplamente utilizada na indústria para atingir a excelência e garantir a maximização da qualidade em projetos e processos. Com seu emprego é possível aumentar a confiabilidade de produtos e processos, para que esses possam desempenhar suas funções sem falhas. Entende-se por falha como sendo o comportamento fora do esperado (ALMEIDA e FAGUNDES, 2005).

De acordo com a NBR 5462 da ABNT (1994), a qual preconiza as diretrizes referentes à confiabilidade e manutenibilidade, a FMEA pode ser entendida como um método qualitativo para verificar a confiabilidade através do estudo dos modos de falhas de cada item e seus efeitos, isto é, suas consequências para o item em específico e para o sistema como um todo. Portanto, não são necessários estudos matemáticos rigorosos para desenvolver uma FMEA, motivo pelo qual a mesma é amplamente utilizada.

A FMEA tem como principais objetivos: identificar e analisar possíveis falhas de determinado produto ou processo, definir ações que possam mitigar a ocorrência dessas falhas e documentar os procedimentos a fim de permitir revisões e melhorias (FOGLIATO e RIBEIRO, 2011).

Para que a FMEA possa ser conduzida com êxito, orienta-se reunir uma equipe multidisciplinar capaz de identificar as funções dos produtos ou processos, as possíveis falhas, os efeitos que estas falhas podem gerar e suas causas. A equipe deve conter participantes com conhecimentos nas diversas áreas envolvidas na análise (materiais, manufatura, qualidade, montagem, manutenção, engenharia, assistência técnica, etc). É necessário designar um líder para a equipe, que irá fomentar discussões e o *brainstorming* com objetivo de que uma lista dos modos potenciais de falhas seja elaborada e, em seguida, determinem-se os efeitos das falhas.

Na construção da matriz FMEA, Fogliato e Ribeiro (2011) consideram três variáveis para verificar o grau de significância das falhas, são eles: a Severidade (S) das falhas, a frequência ou a Ocorrência (O) das mesmas e como elas podem ser Detectadas (D). Desta forma:

- Severidade (S): está relacionada ao efeito do modo de falha e determina a gravidade das consequências geradas pelo modo de falha. É medida em uma escala de 1 a 10, onde 1 (um) significa efeito pouco severo e 10 (dez) significa efeito muito severo.
- Ocorrência (O): a ocorrência está relacionada com a probabilidade que uma causa listada anteriormente venha a ocorrer. A avaliação é feita utilizando uma escala qualitativa de 1 a 10, na qual 10 (dez) significa que as causas de falhas são inevitáveis e 1(um) que são muito improváveis.
- Detecção (D): refere-se a estimativa da habilidade dos controles atuais em detectar causas ou modos potenciais de falhas antes do componente ou sistema começar a operar. Definida numa escala qualitativa de 1 a 10, onde 1 (um) representa uma situação favorável (modo de falha será detectado) e 10 (dez) representa uma situação desfavorável (modo de falha, caso existente, não será detectado).

De acordo com Giovanetti (2010), com base nas três variáveis (Severidade, Ocorrência e Detecção) torna-se possível calcular uma medida que dê prioridade aos modos de falhas que causam maior risco ao sistema. Esta medida, conforme quadro 1, pode ser avaliada como R (Risco), ou RPN (*Risk Priority Number*) e é definida pela multiplicação das três

variáveis supracitadas, isto é:

$$R = S O D$$

| Avaliação  | Pontuação de Risco |
|------------|--------------------|
| Baixo      | 1 - 50             |
| Médio      | 50 - 100           |
| Alto       | 100 - 200          |
| Muito Alto | 200 - 1000         |

Quadro 1. Pontuação de Risco  
Fonte: Giovanetti, 2010.

No processo de FMEA, após o cálculo dos riscos, deve-se propor ações de melhoria, que sejam factíveis, para os itens com maior risco. A intenção das ações recomendadas deve almejar a redução da severidade, da ocorrência ou da não-detecção. Essas variáveis são de responsabilidade de toda a equipe, pois a FMEA terá pouco valor se as ações pertinentes de resposta aos riscos não forem implementadas. Independente do valor do risco, causas que afetam a segurança dos operadores devem ser eliminadas ou controladas por dispositivos de proteção (FOGLIATO e RIBEIRO, 2011).

A Análise da Árvores de Falha (FTA) foi desenvolvida por volta de 1960 para avaliar a segurança na Engenharia Espacial e, a partir de então, começou a ser utilizada em outros setores da economia para reduzir as falhas e os problemas em alguns equipamentos e processos. Essa técnica visa identificar as combinações e a probabilidade de ocorrência de causas que podem levar a um evento indesejado.

A utilização dessa técnica possibilita a análise da confiabilidade de sistemas e também a construção da relação de causa-efeito de seus eventos, criando uma interface com a ferramenta FMEA (FOGLIATO e RIBEIRO, 2011). Assim, para a FTA, consideram-se inicialmente as falhas do tipo *top-down*, que começam com o evento indesejado, ou seja, o evento de topo. A partir dele, são definidos todos os modos para sua ocorrência, que são eventos de níveis inferiores geradores do efeito indesejado.

A árvore de falhas é normalmente visualizada conforme a sua representação mostrada na figura 1. O retângulo representa a combinação de vários eventos básicos, o círculo representa um evento básico que não requer maiores desenvolvimentos e o evento “casa” um evento básico esperado de ocorrer em condições normais de operação. Além desses símbolos temos o operador lógico “e” e o operador lógico “ou”.

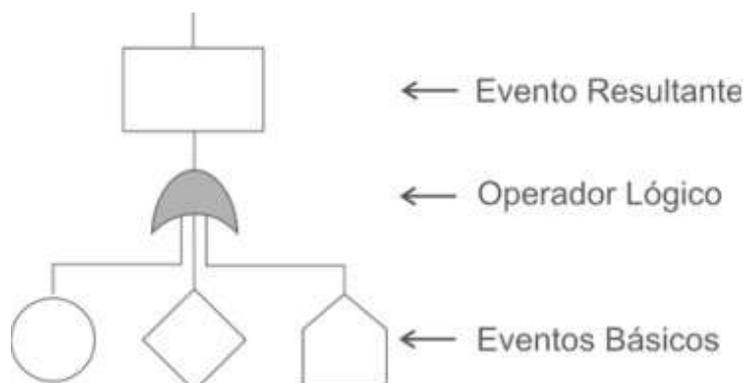


Figura 1- Trecho de uma árvore de falha

Fonte: Fogliato e Ribeiro, 2011.

Segundo Fogliato e Ribeiro (2011), para realizar a análise da árvore de falhas, o engenheiro deve seguir 5 passos:

1) Fazer o diagrama de árvore de falhas

O diagrama deve ser feito em conjunto com uma equipe multidisciplinar que possua conhecimento técnico e saiba trabalhar em equipe. Para esta etapa, o engenheiro precisa reunir os documentos que servirão de suporte ao desenvolvimento da FTA. A partir desses, será então possível descrever o elemento topo e os eventos que conduzem a ele fazendo então o desenho da árvore considerando os tipos de eventos e as relações entre eles.

2) Reunir dados básicos de falha

Devem ser coletados os dados que permitam estabelecer a probabilidade de ocorrência das causas básicas. Quanto mais os dados coletados forem quantitativos, melhor a precisão da análise.

3) Calcular probabilidades

A partir dos dados de falha reunidos é possível calcular as probabilidades de falha usando as associações em paralelo (E) e em série (OU), que são os casos mais frequentes e podem ser calculadas no caso do evento em série pelo produtório dos eventos independentes e, no caso de evento em paralelo, pelo complemento dos produtórios das não confiabilidades envolvidas.

4) Determinar criticidade dos componentes básicos

A criticidade pode ser calculada pelo produto da probabilidade de ocorrência da causa básica pela probabilidade condicional de ocorrência do evento de topo, dado que a causa básica tenha ocorrido. Assim, tem-se:

$$\text{Criticidade} = P(\bar{E}) P \frac{H}{E_i}$$

Em que  $P(H/E_i)$  é a probabilidade condicional que o evento de topo ocorra dado que  $E_i$  tenha ocorrido.

5) Formular ações corretivas e recomendações para as causas com maior criticidade

Essas recomendações têm por objetivo reduzir a probabilidade de ocorrência do evento de topo. Para que a FTA seja efetiva, é necessário que haja um acompanhamento à concretização das ações planejadas por parte de todos os membros da equipe. Caso as ações planejadas não sejam concretizadas, todo o esforço para o desenvolvimento e análise da FTA terá pouca efetividade na redução das falhas.

## Diagnóstico da Situação-Problema

O método proposto parte de um levantamento bibliográfico e, a partir de uma análise qualitativa e quantitativa, apresenta possíveis condições de criticidade para os componentes de um sistema de irrigação familiar realizado por meio de um estudo de caso.

Um artigo aplicado utiliza um estudo de caso para descrever a situação-problema. Segundo Gil (2002) o processo de pesquisa é racional e sistemático e objetiva proporcionar respostas para os problemas que estão em análise. Sendo que a identificação do tipo de pesquisa que deverá ser realizada é um passo fundamental, uma vez que fornece um caráter científico e estrutural ao estudo.

O estudo de caso, segundo Miguel e Sousa (2012), é um trabalho de caráter empírico que investiga um dado fenômeno dentro de um contexto real por meio de análise aprofundada de um ou mais objetos de estudo (casos).

O caso analisado é um sistema automático de irrigação que atende uma horta de agricultura familiar localizada na região serrana do município de Macaé, Rio de Janeiro. A figura 2 mostra o protótipo do sistema de irrigação estudado e instalado no campus de Macaé da Universidade Federal do Rio de Janeiro.



Figura 2 - Sistema automático de irrigação

Fonte: Autoria Própria.

A intenção do projeto de extensão que contempla esse protótipo é automatizar o processo de irrigação e proporcionar um método de agricultura com menor impacto ambiental, considerando o maior controle no uso da água e o uso de energia renovável. A situação-problema visa aumentar a confiabilidade dos componentes do sistema para proporcionar o uso da irrigação com menor impacto em termos de desperdícios e uso sustentável dos recursos. Neste ínterim, as etapas desta proposta foram seguidas de modo a nortear toda a execução do

processo, aplicando as ferramentas FMEA e FTA ao projeto em análise. Deste modo, tornou-se possível entender as causas das principais falhas do sistema em questão e propor ações para minimizar os modos de falhas, bem como ações de manutenção mais assertivas e eficazes. Para execução do estudo foram consideradas as seguintes etapas:

- Coleta dos dados: primeiramente foram coletados os dados necessários para implementação das ferramentas de confiabilidade e manutenção (FMEA e FTA). Os dados de confiabilidade dos equipamentos elétricos foram obtidos em manuais utilizados pela indústria (SINTEF, 2002), enquanto que as taxas de ocorrência de falhas dos outros componentes foram obtidas considerando os parâmetros de boas práticas de manutenção disponibilizados por Fogliato e Ribeiro (2011), apresentados na figura 3, além da confirmação destas informações com a equipe de operação do sistema de irrigação.

| Ocorrência de falha | Taxa de falha                 | Escala    |    |
|---------------------|-------------------------------|-----------|----|
| Muito alta          | Falhas quase inevitáveis      | 100/1000  | 10 |
|                     |                               | 50/1000   | 9  |
| Alta                | Falhas ocorrem com frequência | 20/1000   | 8  |
|                     |                               | 10/1000   | 7  |
| Moderada            | Falhas ocasionais             | 5/1000    | 6  |
|                     |                               | 2/1000    | 5  |
|                     |                               | 1/1000    | 4  |
| Baixa               | Falhas raramente ocorrem      | 0,5/1000  | 3  |
|                     |                               | 0,1/1000  | 2  |
| Mínima              | Falhas muito improváveis      | 0,01/1000 | 1  |

Figura 3 – Taxa de ocorrência de falhas e respectiva escala

Fonte: Fogliato e Ribeiro, 2011.

- Definição das ferramentas: Verificou-se nas boas práticas de gestão da manutenção que as ferramentas FMEA e FTA, permitem uma análise qualitativa e quantitativa respectivamente, o que seria adequado para este diagnóstico da situação-problema.
- Implementação da FMEA e FTA: foi realizada uma reunião com a equipe de operação para discutir os sistemas, suas falhas e correlações. Deste modo foi possível definir a severidade, ocorrência e detecção e calcular seu risco associado. Por fim foram elaboradas a tabela da FMEA e da Árvore de Falhas para o evento de topo específico considerado: irrigação insuficiente das plantas.
- Análise dos resultados: os resultados encontrados foram analisados pelos autores deste trabalho. A partir dos resultados foram propostas oportunidades de melhorias para o gerenciamento da manutenção do sistema de irrigação.

## Intervenção Proposta

### FMEA

Tendo em vista os componentes do sistema da Figura 5, foi desenvolvida a FMEA para o mesmo após um *brainstorm* entre os integrantes do grupo. Tendo em vista que a FMEA

não deve listar falhas que sejam praticamente nulas, não foram listadas todas as possíveis e imagináveis causas de falhas que foram sugeridas pelos integrantes. Na tabela 1 e tabela 2 é possível observar a FMEA do projeto em análise.

Tabela 1 – FMEA do Projeto Irrigassol

| Item                     | Modos de Potenciais de Falha | Efeitos                   | S | Causa                                       | O | D | R   |
|--------------------------|------------------------------|---------------------------|---|---|---|---|-----|
| Painel Fotovoltaico      | Não funcionamento            | Irrigação inexistente     | 7 | Queimou                                     | 2 | 5 | 70  |
|                          | Funcionamento comprometido   | Irrigação deficiente      | 6 | Ausência de luz solar                       | 8 | 1 | 56  |
|                          |                              |                           |   | Sujeira no painel                           | 9 | 1 | 54  |
| Bomba de Superfície      | Não acionamento              | Irrigação inexistente     | 7 | Performance prejudicada por instalação      | 3 | 7 | 126 |
|                          |                              |                           |   | Falta de energia                            | 2 | 1 | 14  |
|                          |                              |                           |   | Mau contato                                 | 7 | 8 | 392 |
|                          | Acionamento intermitente     | Irrigação deficiente      | 6 | Queimou                                     | 2 | 4 | 56  |
| Bomba Submersa           | Não acionamento              | Irrigação inexistente     | 7 | Mau funcionamento                           | 4 | 7 | 168 |
|                          |                              |                           |   | Falta de energia                            | 2 | 1 | 14  |
|                          | Acionamento intermitente     | Irrigação deficiente      | 6 | Mau contato                                 | 7 | 9 | 441 |
| Caixa d'água             | Caixa vazia                  | Irrigação inexistente     | 7 | Queimou                                     | 2 | 7 | 98  |
|                          |                              |                           |   | Mau funcionamento                           | 4 | 8 | 192 |
|                          | Água suja                    | Irrigação deficiente      | 6 | Vazamento                                   | 2 | 2 | 28  |
|                          |                              |                           |   | Problemas no fornecimento                   | 6 | 2 | 84  |
| Linhas de irrigação      | Entupimento                  | Contaminação da plantação | 8 | Ausência de limpeza no sistema de irrigação | 7 | 2 | 84  |
|                          |                              | Irrigação deficiente      | 6 | Fornecimento de água contaminado            | 3 | 8 | 192 |
| Componentes de Irrigação | Não acionamento              | Irrigação inexistente     | 7 | Ausência de limpeza no sistema de irrigação | 7 | 2 | 84  |
|                          |                              |                           |   | Falta de pressão na bomba                   | 3 | 5 | 105 |
|                          |                              |                           |   | Vazamento                                   | 5 | 2 | 70  |

Fonte: Autoria Própria.

Considerando como linha de corte os itens com risco na ordem de 100, observa-se sete situações prioritárias e duas no limiar do corte que foram incluídas (risco 98) para serem analisadas:

- Performance do painel prejudicada por instalação. Risco de 126. Ação recomendada: Treinar equipe para correta instalação do painel.
- Mau contato da bomba de superfície. Risco de 392. Ação recomendada: Limpeza dos terminais.
- Mau funcionamento da bomba de superfície. Risco de 168. Ação recomendada: Manutenção periódica do motor.
- Mau contato da bomba submersa. Risco de 441. Ação recomendada: Limpeza dos terminais.
- Mau funcionamento da bomba submersa. Risco de 192. Ação recomendada: Manutenção periódica do motor.
- Fornecimento de água contaminado na caixa d'água. Risco de 192. Ação recomendada: Mudança no sistema para abarcar o uso de filtros.
- Falta de pressão na bomba para componentes de irrigação. Risco de 105. Ação recomendada: Mudança no sistema para abarcar baterias.
- Bomba submersa queimada. Risco de 98. Ação recomendada: Inspeção periódica e aquisição de aparelhos de eletricidade.
- Ausência de limpeza no sistema de irrigação. Risco de 98. Ação recomendada: Limpeza das linhas de irrigação

Através dos resultados, foram detalhadas as ações recomendadas, bem como os controles de prevenção e detecção, conforme apresentado na tabela 2.

Tabela 2 – Continuação do FMEA do Projeto Irrigação

| Item                     | Controle de Prevenção                 | Controle de Detecção         | Ações Recomendadas   |
|--------------------------|---------------------------------------|------------------------------|--|
| Painel Fotovoltaico      | Uso de reguladores de eletricidade    | Teste de corrente e voltagem | Nenhuma  |
|                          | Uso de baterias                       |                              | Nenhuma  |
|                          | Limpeza                               | Inspeção Visual              | Nenhuma  |
|                          | Treinamento da equipe                 | Certificação da equipe       | Treinar a equipe para a correta instalação do painel solar               |
| Bomba de Superfície      | Uso de baterias                       |                              | Nenhuma  |
|                          | Proteção do contato                   | Teste de funcionalidade      | Limpeza e proteção dos terminais   |
|                          | Uso de reguladores de eletricidade    | Teste de corrente e voltagem | Nenhuma  |
|                          | Uso conforme especificação            | Teste de funcionalidade      | Manutenção periódica do motor  |
| Bomba Submersa           | Uso de baterias                       |                              | Nenhuma  |
|                          | Proteção do contato                   | Teste de funcionalidade      | Limpeza e proteção dos terminais   |
|                          | Uso de reguladores de eletricidade    | Teste de corrente e voltagem | Inspeção periódica e aquisição de aparelhos de controle de eletricidade  |
|                          | Uso conforme especificação            | Teste de funcionalidade      | Manutenção periódica do motor  |
| Caixa d'água             | Cuidado no manuseio                   | Inspeção Visual              | Nenhuma  |
|                          | Sistema de fornecimento de emergência | Medidores de volume          | Nenhuma  |
|                          | Limpeza                               | Inspeção Visual              | Nenhuma  |
|                          | Uso de filtros                        | Inspeção Visual              | Mudança no sistema para abarcar o uso de filtros no fornecimento de água |
| Linhas de irrigação      | Limpeza                               | Teste de vazão               | Nenhuma  |
|                          |                                       | Inspeção Visual              | Limpeza das linhas de irrigação  |
| Componentes de Irrigação | Uso de baterias                       |                              | Mudança no sistema para abarcar baterias                                 |
|                          | Reforçar as mangueiras                | Inspeção periódica           | Nenhuma  |

Fonte: Autoria Própria.

## FTA

Foi desenvolvida a seguinte árvore de falha, considerando como evento principal a não irrigação das plantas. Os dados de taxas de risco foram obtidos a partir do manual de dados de confiabilidade offshore disponibilizado em SINTEF (2012) e do consenso entre integrantes do grupo e do projeto de extensão.

A criticidade é um componente-chave para a análise que define o quão crítico é o componente básico para o sistema. Sua fórmula é dada por:

$$\text{Criticidade} = P(E_i) P\left(\frac{H}{E_i}\right)$$

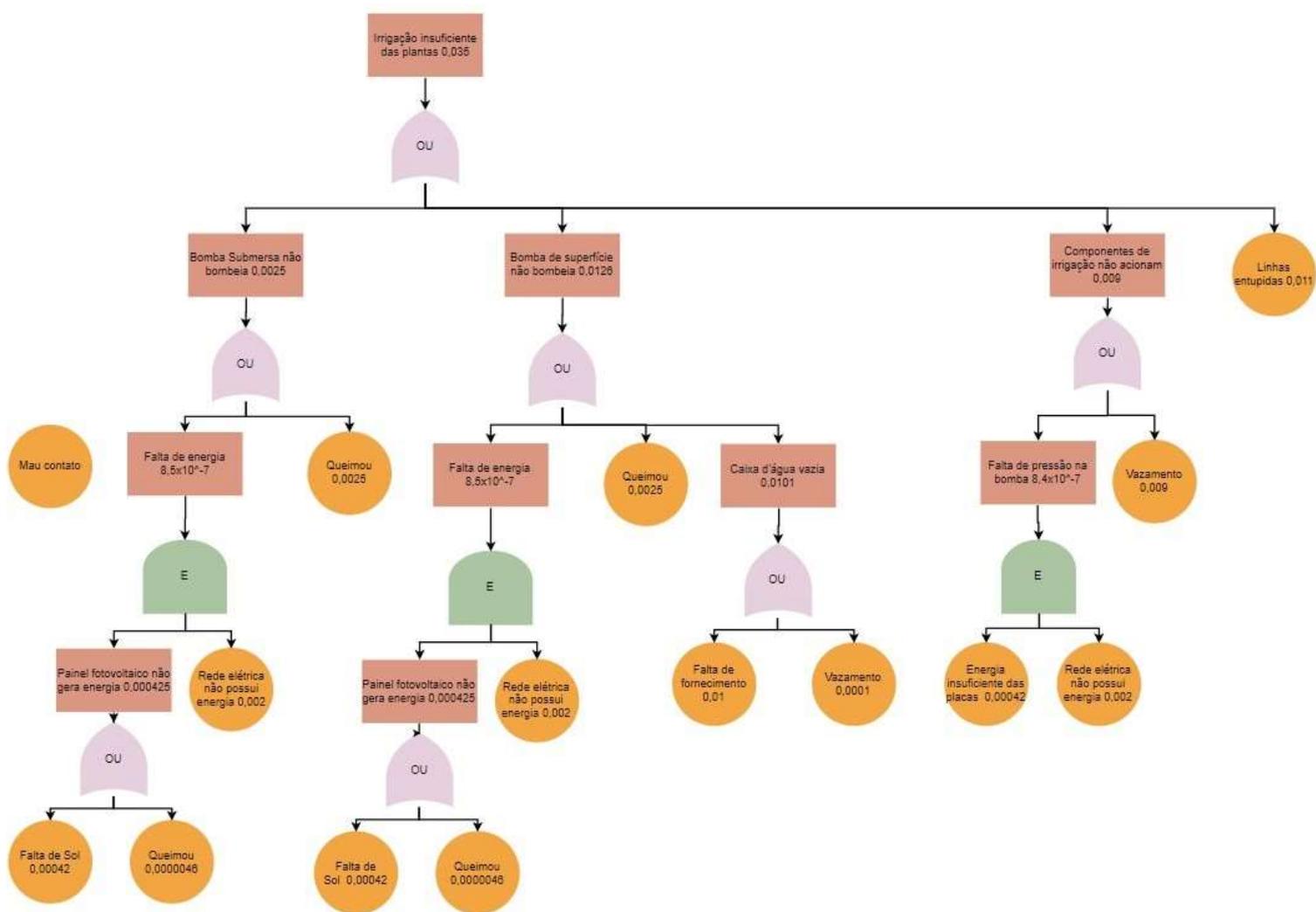


Figura 4 – Árvore de Falhas do Sistema de Irrigação  
 Fonte: Autoria Própria.

O cálculo da criticidade para os componentes-chave deste projeto estão sumarizados na tabela 3.

Tabela 3 – Criticidade dos Componentes do Sistema de Irrigação

| <b>Componentes Bomba Submersa</b>      | <b>Defeito</b>                     | <b>Valor da Criticidade</b> |
|--|------------------------------------|-----------------------------|
|  | Falta de sol                       | 0,000016                    |
|  | Painel queimou                     | 0,00000017                  |
|  | Rede elétrica sem energia          | 0,00007                     |
|  | <b>Bomba submersa queimou</b>      | <b>0,0025</b>               |
| <b>Componentes Bomba de Superfície</b> |                                    |                             |
|  | Falta de sol                       | 0,0004158                   |
|  | Painel queimou                     | 0,0000045                   |
|  | Rede elétrica sem energia          | 0,00007                     |
|  | <b>Bomba de superfície queimou</b> | <b>0,0025</b>               |
|  | Falta de fornecimento de água      | 0,001                       |
|  | Vazamento da caixa d'água          | 0,0001                      |
| <b>Componentes Irrigação</b>           |                                    |                             |
|  | Rede elétrica sem energia          | 0,000007                    |
|  | Energia insuficiente               | 0,000016                    |
|  | <b>Vazamento</b>                   | <b>0,009</b>                |
| <b>Linhas de Irrigação</b>             |                                    |                             |
|  | <b>Linhas entupidas</b>            | <b>0,011</b>                |

Fonte: Autoria Própria.

### Resultados obtidos

Pela análise e resultados da técnica de FTA constata-se que apesar das linhas de irrigação entupidas possuírem um risco avaliado na técnica de FMEA com o valor RPN de 98, este componente foi considerado incluso na análise a partir de um corte prévio de risco associado a um RPN de 100. Após a realização da técnica de FTA, foi comprovado que as linhas de irrigação são um componente crucial do sistema com a maior criticidade entre

os itens listados. Outrossim, verifica-se que em termos de criticidade a bomba submersa e a bomba de superfície possuem a mesma importância para o sistema de irrigação. Quanto aos componentes de irrigação verifica-se que um vazamento nestes componentes seria quase 4 vezes mais crítico que uma queima de uma das bombas do sistema e tão crítico quanto o entupimento dessas linhas.

Pela análise e resultados do FMEA constata-se alguns riscos altos com magnitude superior a 98 e, desta forma, são recomendadas as seguintes ações de manutenção:

- Treinamento da equipe para instalação do painel fotovoltaico;
- limpeza e proteção dos terminais e manutenção periódica do motor da bomba de superfície;
- limpeza e proteção dos terminais, inspeção periódica da corrente e voltagem e manutenção periódica do motor da bomba submersa;
- uso de filtros na caixa d'água;
- limpeza periódica das linhas de irrigação; e
- aquisição de baterias para acionar os componentes de irrigação.

### **Contribuição Tecnológica-Social**

Após discussões envolvendo o pessoal da operação do modelo e visando a sustentabilidade da solução sugere-se que seja realizada a automação do sistema de irrigação com a instalação de uma válvula solenoide para controlar a saída da água do reservatório, além da instalação de um medidor de nível na caixa acoplado a uma boia eletrônica para controlar o nível do reservatório.

Em um momento de crise hídrica em que estamos vivendo esta medida traria como contribuição social o combate ao desperdício pela perda de água por irrigação excessiva. A contribuição tecnológica obtida mediante a instalação de uma válvula solenóide e de um medidor de nível do sistema, poderia ser complementada pelo acoplamento de um sistema de telemetria. Este sistema captaria através de sensores as condições meteorológicas locais para irrigar somente a quantidade necessária de água para as plantas. Isto possibilita evitar perdas de recursos hídricos desnecessários.

### **Conclusões**

A análise da árvore de falhas (FTA) permitiu verificar que em termos de criticidade a bomba submersa e a bomba de superfície possuem a mesma importância para o sistema de irrigação. Já quanto aos componentes de irrigação constata-se que um possível vazamento nestes componentes é quase 4 vezes mais crítico que uma possível queima de uma das bombas do sistema e tão crítico quanto o entupimento dessas linhas.

A análise dos modos e efeitos de falha (FMEA) complementou a informação obtida da criticidade dos componentes, pois por meio do cálculo do risco verificou-se ações recomendadas para riscos maiores que 100, que de acordo com a classificação de Giovanetti (2010) seriam riscos altos que poderiam comprometer o sistema. Optou-se pela prudência e foram incluídos dois riscos com valores próximos a 100.

As manutenções e inspeções periódicas, aliadas ao treinamento da equipe de operação do sistema, permitirão uma longevidade do sistema de irrigação para o pequeno agricultor. Não obstante, ressalta-se que a qualidade da água deve ser monitorada, pois do contrário é recomendável o uso de filtros na entrada da caixa d'água. Recomenda-se também o uso de baterias para os componentes de irrigação, haja vista o risco associado à falta de energia.

Portanto, considerando a sustentabilidade do projeto Irrigasol, sugerem-se algumas melhorias para aprimorar o funcionamento e a gestão do sistema avaliado. No que tange à sustentabilidade do projeto, recomenda-se o monitoramento do uso da água evitando os desperdícios. Neste contexto, sugere-se a adoção de uma válvula solenoide para controlar a saída da água do reservatório.

Outra melhoria viável seria a adoção de um medidor instalado na caixa, com boia eletrônica para controlar o nível. Utilizando esses recursos será possível gerenciar remotamente o sistema através da telemetria, com o intuito de alcançar níveis de hidratação ideais e mínimos que as plantas necessitam sem que ocorra desperdícios, além de se utilizar a energia proveniente de uma fonte limpa e renovável.

Este trabalho apresenta como limitação o próprio fato de ser um estudo de caso o que não pode ser generalizado para qualquer sistema de irrigação. Outra limitação está relacionada a coleta de dados, pois alguns dados foram obtidos de manuais e boas práticas em decorrência da ausência de dados reais devido ao sistema ter sido instalado a pouco tempo.

Como sugestão de trabalhos futuros ressalta-se a avaliação deste sistema de irrigação por meio outras técnicas diferentes da FMEA e da FTA para verificar a compatibilidade dos resultados encontrados.

## **Referências**

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. (1994). ABNT. NBR 5462: 1994. Confiabilidade e Manutenibilidade. Rio de Janeiro: ABNT.

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS - ANA. (2004). Agricultura irrigada e o uso racional da água. Disponível em <<https://arquivos.ana.gov.br/institucional/sge/CEDOC/Catalogo/2004/AgriculturaIrigadaEOUsoRacionalDaAgua.pdf>>. Acesso em 28jun2021.

Almeida, D. A.; Fagundes, L. D. (2005). Aplicação da gestão do conhecimento no mapeamento de falhas em concessionária do setor elétrico. Produto & Produção, v. 8, n.3.

Fogliato, F.; Ribeiro, J. L. D. (2011). Confiabilidade e manutenção industrial. Elsevier Brasil.

Gil, A. C. (2002). Como elaborar projetos de pesquisa, volume 4. Atlas São Paulo.

GIOVANETTI, L. (2010). Análise do Processo de Fabricação da Válvula Dispensora Utilizando FMEA. Monografia. Universidade Federal de Itajubá, Minas Gerais.

MIGUEL, P. A. C. ; SOUSA, R. (2012). O Método do Estudo de Caso na Engenharia de Produção. In MIGUEL, Paulo A. Cauchick (coord.) - Metodologia de Pesquisa em Engenharia de Produção e Gestão de Operações. 2.<sup>a</sup> ed. Rio de Janeiro: Elsevier. ISBN 978-85-352-4850-0. Cap. 6, p. 131-148.

NETO, F., G. (1985). Questão Agrária e Ecologia: crítica da moderna agricultura. 2. ed.

Brasiliense: São Paulo.

SINTEF. (2002). Offshore Reliability Data (OREDA). A Handbook Prepared by SINTEF Technology and Society on the Behalf of the OREDA Project, 4th Edition.

VILLALVA, M. G.; GAZOLI, J. R. (2012). Energia Fotovoltaica: Conceitos e Aplicações, 1 ed.; São Paulo: Érica.