

## **Análise dos modos e efeitos de falhas no sistema de abastecimento de água do município de Bananeiras-PB: uma abordagem da captação à rede de distribuição**

O risco é algo que permeia a humanidade desde o seu primórdio. Através da sua percepção é possível conjecturar cenários futuros indesejáveis e, desta feita, possibilitar a sua eliminação ou mitigação já que a sua materialização tem a probabilidade de trazer malefícios a organização, ao ser humano e até mesmo ao meio ambiente. Sendo assim, a aplicação de metodologias de análise de risco permite auxiliar as empresas a prevenir ou diminuir o impacto causado por eventuais mecanismos que prejudicam a qualidade do serviço prestado e a operabilidade do sistema. Composto o rol de serviços, inclui-se os sistemas de abastecimento de água (SAA), que apresenta complexidade em sua operação e, como qualquer outra atividade, está sujeita a ocorrência de falhas. O objetivo dessa pesquisa foi elencar os potenciais modos de falhas inseridos em cada etapa do SAA do município de Bananeiras-PB. Para tal, utilizou-se a metodologia Failure Mode and Effects Analysis (FMEA), considerando as etapas de Captação, Adução, Tratamento, Elevação de Água Tratada, Reservação e Distribuição do sistema. Foram entrevistados onze profissionais ligados à área de recursos hídricos e saneamento a fim de quantificar as causas das falhas e seus respectivos graus de Severidade, Ocorrência e Detecção e, por meio dos produtos dos três índices, encontrar o grau de risco (RPN). Com os resultados obtidos foi possível ranquear quais os eventos possuem maior probabilidade de acontecer, bem como a sua magnitude e chance de interromper o serviço prestado aos usuários. Através da ponderação, a etapa de distribuição foi a que apresentou maior RPN. Necessita-se a inserção de medidas de prevenção e de mitigação a fim de atenuar as possíveis falhas inerentes ao sistema, haja vista que, algumas já se concretizam.

**Palavras-chave:** Metodologia de Análise de Risco; FMEA; Sistema de Abastecimento de Água.

## **Analysis of the modes and effects of failures in the water supply system in the municipality of Bananeiras-PB: an approach to capture to the distribution network**

Risk is something that has permeated humanity since its inception. Through its perception, it is to conjecture undesirable future scenarios – and, this time, it will enable its elimination or mitigation since its materialization is likely to bring harm to an organization, to human beings and even to the environment. Thus, an application of risk analysis methodologies helps to prevent or reduce the impact of impact through mechanisms that affect the quality of the service provided and the operability of the system. Composing the list of services, the water supply systems (SAA) are included, which are complex in their operation and, like any other activity, failures are occurring. The objective of this research was to list the possible failure modes inserted in each stage of the SAA in the municipality of Bananeiras-PB. For this purpose, the Failure Mode and Effects Analysis (FMEA) methodology was used, considering the stages of Capture, Addition, Treatment, Treated Water Elevation, Reserve and Distribution of the system. Eleven professionals linked to the area of water resources and sanitation were interviewed in order to quantify as causes of failures and their respective degrees of Severity, Occurrence and Detection and, through the products of the three indexes, to find the degree of risk (RPN). With the results obtained, it was possible to rank which events are more likely to happen, as well as their magnitude and chance of interrupting the service provided to users. Through weighting, a distribution step was the one with the highest RPN. It is necessary to insert prevention and mitigation measures in order to mitigate possible flaws inherent to the system, given that some are already taking place.

**Keywords:** Risk Analysis Methodology; FMEA; Water Supply System.

Topic: **Uso de Recursos Naturais**

Received: **06/08/2021**

Approved: **28/08/2021**

Reviewed anonymously in the process of blind peer.

**Rubens Hayran Cabral dos Santos**   
Universidade Federal de Campina Grande, Brasil  
<http://lattes.cnpq.br/1438964181355747>  
<http://orcid.org/0000-0002-3161-8298>  
[rubenshayran@gmail.com](mailto:rubenshayran@gmail.com)

**Dayse Luna Barbosa**   
Universidade Federal de Campina Grande, Brasil  
<http://lattes.cnpq.br/7376198442355112>  
<http://orcid.org/0000-0002-3209-270X>  
[dayseluna@yahoo.com.br](mailto:dayseluna@yahoo.com.br)

**Andrea Carla Lima Rodrigues**   
Universidade Federal de Campina Grande, Brasil  
<http://lattes.cnpq.br/2045007192282761>  
<http://orcid.org/0000-0002-4764-0430>  
[andreaufcg@gmail.com](mailto:andreaufcg@gmail.com)



DOI: 10.6008/CBPC2179-6858.2021.008.0039

### **Referencing this:**

SANTOS, R. H. C.; BARBOSA, D. L.; RODRIGUES, A. C. L.. Análise dos modos e efeitos de falhas no sistema de abastecimento de água do município de Bananeiras-PB: uma abordagem da captação à rede de distribuição. **Revista Ibero Americana de Ciências Ambientais**, v.12, n.8, p.469-484, 2021. DOI: <http://doi.org/10.6008/CBPC2179-6858.2021.008.0039>

## INTRODUÇÃO

Desde a existência da humanidade, até os dias atuais, o risco é algo intrínseco ao ser humano. Ele utiliza-se da avaliação e do gerenciamento para conviver com os perigos - reais ou aparentes - e lhes auxiliar na sua percepção, a qual definirá mecanismos e ações para evitar possíveis danos ao meio ambiente, à organização e ao próprio homem. Essa percepção ajudará o ser humano em todas as suas atividades diárias, influenciando seus comportamentos e atitudes (AQUINO et al., 2017).

Como ferramenta de auxílio, o gerenciamento de riscos permite identificar impactos nos objetos da organização por meio da combinação da possibilidade de uma ameaça ou oportunidade. Nele está incluso o processo de conduzir o plano de gestão de risco, a identificação, a análise, o nível de resposta e seu controle para aumentar a probabilidade do impacto positivo e diminuir o negativo (FERREIRA et al., 2017).

O estudo envolvendo os perigos atrelados a um determinado ambiente incide na utilização da disponibilidade de um rol de informações para estimar os riscos apresentados devido ao surgimento de incertezas. Eles podem ser classificados em potenciais, os quais apenas quantificam as consequências de um evento inesperado; e de efeitos, que são o produto do risco potencial pela probabilidade de efetivação do evento. Esse estudo possibilita a identificação dos eventos indesejáveis que conduzem à sua materialização, na análise dos mecanismos pelos quais esses eventos podem ocorrer, bem como na estimativa da extensão, da amplitude e da probabilidade da concretização dos efeitos que eles podem proporcionar (FONSECA, 2018). Vianna (2015) afirma que quantificar o risco é uma das etapas mais complexas do processo de gerenciamento de riscos, já que pode envolver uma grande quantidade de variáveis de acordo com o grau de precisão desejado, além de incertezas.

Toda empresa está sujeita a sofrer impactos tanto no processo quanto na qualidade do seu produto por isso, é importante o uso de ferramentas de gerenciamento de riscos em ambientes laborais, já que sua gestão pode ser aplicada a qualquer momento, independentemente da área e do nível, cada qual com suas especificidades, bem como funções, atividades e projetos característicos (SALIBA et al., 2018; ABNT, 2009).

Uma das metodologias de avaliação de risco que contribui para a eliminação ou mitigação de possíveis problemas é a Análise de Modo e Efeitos de Falha (FMEA), *Failure Modes and Effects Analysis*. Foi desenvolvida em meados da década de 1960 nos Estados Unidos da América (EUA) pelo programa de exploração espacial. Subriadi et al. (2019) enfatizam que o método fornece estrutura e linguagens comuns que podem ser utilizadas nos mais diversos tipos de organizações, permitindo identificar as potenciais deficiências em variados segmentos da econômica como manufatura, indústria automotiva, metalúrgica, de alimentos, engenharia civil, recursos hídricos, transporte de passageiros, saúde e também no setor de comércio (MARIAJAYAPRAKASH et al., 2013; BEVILACQUA, 2011; SANTOS, 2018; CHUANG, 2010; JEEGADESHAN et al., 2007; KHORSHIDI et al., 2013; OZILGEN, 2012).

A FMEA baseia-se em identificar e compreender quais possíveis causas e efeitos potenciais de uma falha no sistema ou produto são susceptíveis de ocorrer e, com isso, possibilitar a prevenção dos problemas antes que eles ocorram (KULCSÁR et al., 2020). Ela permite detectar potenciais erros já no estágio mais inicial

possível da vida de um produto, processo ou ciclo do projeto, sendo carro chefe na avaliação de risco com base em três fatores relacionados a ele observado, que são: Detecção – diz respeito à chance de constatação do evento indesejado; Severidade – relacionado ao grau de consequência dos efeitos do modo de falha e; Ocorrência – referente à expectativa de ocorrência (frequência ou probabilidade) (KNEŽEVIĆ et al., 2020; SANTOS, 2018). É permissível correlacionar suas causas e efeitos, pontuando os meios de sua detecção, prevenção e mitigação de efeitos (CAVAIGNAC et al., 2018), considerando a priorização de risco, para que assim possa expor medidas corretivas a serem tomadas (CAVAIGNAC et al., 2018).

Para cada potencial modo de causa é atribuído um valor denominado de Número de Prioridade de Risco (NPR), ele é o produto das classificações de severidade, ocorrência e detecção (FERREIRA et al., 2017). Esses índices podem variar de 1 a 10, onde a melhor situação tem o resultado mais baixo e a pior situação tem o resultado mais alto (CAVAIGNAC et al., 2018; PALADY, 2011). Os maiores valores de RPN necessitarão de prioridade para o seu tratamento ou solução da falha elencada.

Compondo o arcabouço de empresas e organizações, o serviço de abastecimento de água (SAA) está inserido nesse rol, sendo a vertente de maior importância dentro do saneamento básico. Como qualquer outro tipo de sistema, está propício ao surgimento de falhas, podendo prejudicar o seu desempenho baseando-se em fatores como: índices operacionais, parâmetros exigidos de qualidade da água, problemas ambientais, eventos climáticos e questões relacionadas à regularidade dos serviços (SANTOS, 2018).

Para melhorar a confiabilidade do serviço prestado à população, é importante adotar medidas para a prevenção de potenciais interrupções no processo, independentemente de sua natureza ou causa. Diferentes metodologias têm sido empregadas para a identificação e avaliação de falhas em sistemas de abastecimento de água potável, utilizando-se, sobretudo método multicritério de otimização, como por exemplo, o TOPSIS, DEA / FUZZ DEA, AHP / FUZZ AHP citados por Knežević et al. (2020), o Método Análise da Árvore de Falhas (LINDHE et al., 2008) e a Análise Grosseira de Riscos (KOZISEK et al., 2008).

Segundo o Instituto Trata Brasil, por meio do Ranking do Saneamento, em 2019, observou-se que apenas 22 municípios das 100 maiores cidades brasileiras possuem 100% da população atendida com água potável. O Estado da Paraíba tem uma área de 56.467,242 km<sup>2</sup>, população estimada de 4.018.127 habitantes (IBGE, 2019) nos quais estão distribuídos em 223 municípios e dentre eles, 212 apresentam uma população inferior a cinquenta mil habitantes. A maioria dos municípios da Paraíba não apresentam informações sobre a elaboração, construção ou até mesmo se já possuem um plano municipal de saneamento básico (BRASIL, 2017).

Boa parte dos problemas que afetam o meio ambiente, a qualidade de vida das pessoas e o desenvolvimento (social, econômica, financeiro), surgem nos municípios, sobretudo àqueles de pequeno porte e está intrinsecamente ligada ao saneamento básico. No conjunto desses municípios pequenos, encontram-se aqueles que, apesar das dificuldades impostas por condições naturais, encontram alternativas para assegurar água à população local, dentre eles o município de Bananeiras.

Assim, esse artigo tem por objetividade analisar o SAA do município de Bananeiras-PB através da metodologia FMEA, com intuito de elencar possíveis modos de falhas causas e consequências que podem vir a ocorrer no sistema e que comprometa em quantidade e qualidade adequadas o serviço prestado aos usuários. Nesse levantamento analisou-se todas as etapas que constituem o serviço de abastecimento de água da cidade para poder diagnosticar quais são os principais riscos inerentes a cada um deles. Além de propor soluções com efeito de eliminar, minimizar ou mitigar os problemas existentes no SAA e garantir à população um serviço de qualidade.

## **METODOLOGIA**

A pesquisa caracteriza-se como sendo qualitativa e possui um caráter exploratório, já que visa solucionar um problema específico presente na sociedade. Aplicou-se a FMEA em todas as etapas do sistema de abastecimento do município de Bananeiras-PB. Analisando os possíveis modos de falhas, bem como suas respectivas causas e consequências. Foi necessário a participação de uma equipe de profissionais ligada à área de recursos hídricos e saneamento ambiental para quantificar as causas das falhas. A metodologia utilizada está subdividida em Caracterização da Área de Estudo; Identificação dos Modos de Falha; Identificação das Causas de Falha; Identificação dos Efeitos de Falha; Formação da Equipe Multiprofissional; Quantificação das Escalas de Severidade (S), Ocorrência (O) e Detecção (D); Obtenção do Grau de Risco e Ponderação do Risco.

### **Caracterização da Área de Estudo**

Na primeira etapa da pesquisa realizou-se um estudo minucioso sobre o sistema de abastecimento de água presente no município de Bananeiras-PB, com informações técnicas, operacionais, desde a etapa de captação até a distribuição para entender, de fato, como funciona o SAA da cidade.

Bananeiras localiza-se na microrregião do Brejo e na mesorregião do Agreste Paraibano, situada a 137,5 km de distância da Capital do Estado (Figura 1).

Foi criado em 1883 e tem uma extensão territorial de 257,753km<sup>2</sup>. De acordo com o último Censo do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), em 2010, possuía 21.851 habitantes e uma população estimada de 21.318 pessoas (IBGE, 2019). A densidade demográfica da cidade é de 84,72hab/km<sup>2</sup> (IBGE, 2010).

Encontra-se inserido na Bacia Hidrográfica do Rio Curimataú e seus principais tributários são os rios: Curimataú, Dantas e Picadas, além dos riachos: Sombrio e Carubeba. A oferta hídrica advém do Açude Canafístula II, situada no município de Borborema-PB. A adução é feita por meio do Sistema Produtor Integrado Cacimba de Várzea/Canafístula II, a qual também auxilia no fornecimento de água dos municípios de Solânea, Cacimba de Dentro, Damião, Araruna, Riachão, Dona Inês e Tacima. Administrativamente, a CAGEPA (Companhia de Água e Esgotos da Paraíba) exerce a operação e manutenção do serviço de abastecimento de água potável e esgotamento sanitário do município.

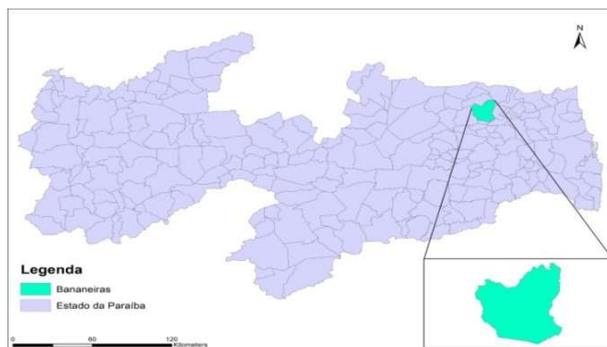


Figura 1: Localização geográfica do município de Bananeiras.

O SAA de Bananeiras é composto pela captação de água por meio de manancial superficial; sistema de adução de água bruta; estação de tratamento de água; reservatório de acumulação e distribuição de água tratada; estação elevatória de água tratada e; rede de distribuição, conforme ilustrado na Figura 02.

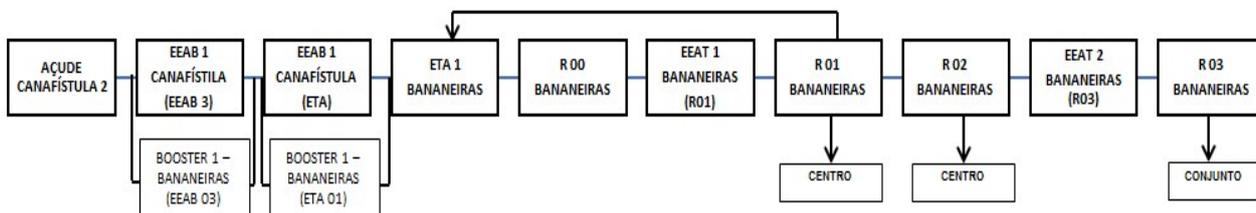


Figura 2: Sistema de Abastecimento de Água do Município de Bananeiras – PB.

## Identificação dos Modos de Falha

A partir da caracterização da área de estudo foram elencados potenciais modos de falha que cada etapa do sistema está susceptível de acontecer, as quais comprometem sua qualidade, funcionalidade e operabilidade. As falhas podem ser de diversos tipos: hidráulicas, mecânicas, elétricas, naturais, de projeto, de procedimento etc.

## Identificação das Causas de Falha

Para cada modo de falha identificado, há  $n$  causas que, se materializando, comprometem a qualidade do serviço e do produto fornecido à população. Foram destacadas causas que favorecem ao surgimento do respectivo modo de falha.

## Identificação dos Efeitos de Falha

Nesta etapa buscou-se enumerar consequências que, com o surgimento da falha, pudessem vir a ocorrer. Uma vez que elas representam um dano na qualidade do produto e do serviço fornecido aos usuários do SAA.

## Formação da Equipe Multiprofissional

Após o preenchimento dos itens expostos nas etapas anteriores, uma equipe multiprofissional da área de recursos hídricos e saneamento ambiental foi entrevistada, para quantificar o grau de severidade,

ocorrência e detecção para cada respectivo modo de falha presente em todas as fases do sistema de abastecimento de água da área em estudo. Cada profissional estava provido de informações acerca do SAA, bem como de seus conhecimentos acadêmicos e profissionais no estudo em questão.

### Quantificação das Escalas de Severidade (S), Ocorrência (O) e Detecção (D)

Para cada escala de S, O, D, utilizou-se a tabela elaborada por Palady (2011) em que descreve cada item, mencionado anteriormente, e os quantifica numa escala de 0 (zero) a 10 (dez).

#### Escalas de Importância

Entende-se por grau de severidade a probabilidade de ela ser identificada e causar prejuízo ao sistema. A Tabela 1 foi utilizada para o preenchimento da planilha FMEA. Essa escala mensura a gravidade de um modo de falha. Pode variar de 1 (melhor situação) a 10 (pior situação) dependendo de como o problema é percebido pelo usuário ou a consequência que ele pode vir a sofrer.

**Tabela 1:** Escala de severidade (S).

DESCRIÇÃO DA ESCALA DE SEVERIDADE	GRAU
Efeito não percebido pelo usuário.	1
Efeito insignificante, não perturba o usuário.	2
Efeito insignificante, perturba o usuário, mas não o faz com que ele procure o serviço para possíveis reclamações.	3
Efeito insignificante, perturba o usuário, fazendo com que procure o serviço para possíveis reclamações.	4
Efeito menor, inconveniente para o usuário; entretanto, não faz com que ele procure o serviço para possíveis reclamações.	5
Efeito menor, inconveniente para o usuário, fazendo com que ele procure o serviço. Causa moderada quantidade de reclamações.	6
Efeito moderado, que prejudica o desempenho do projeto/sistema levando a uma falha grave ou a uma falha que pode impedir a execução das funções do projeto/sistema e não coloca a segurança do usuário em risco; Pode causar muitas reclamações.	7
Efeito significativo, resultando em falha grave; impõe leve risco a segurança do usuário e não resulta em custo significativo da falha. Causa muitas reclamações.	8
Efeito crítico que provoca a insatisfação do usuário, interrompe as funções do projeto/sistema, gera custo significativo da falha e impõe um moderado risco de segurança (não ameaça a vida nem provoca incapacidade permanente) ao usuário.	9
Perigoso, ameaça à vida ou pode provocar incapacidade permanente ou outro custo significativo da falha que coloca em risco a continuidade operacional da organização ou do sistema. Impacta a saúde pública.	10

Fonte: Palady (2011).

**Tabela 2:** Escala de Ocorrência (O) e Detecção (D).

DESCRIÇÃO DA ESCALA DE OCORRÊNCIA	FREQÜÊNCIA DE OCORRÊNCIA	DESCRIÇÃO DA ESCALA DE DETECÇÃO	GRAU
Extremamente remoto ou altamente improvável	Uma ocorrência superior a 10 anos	Certo que será detectado	1
Remoto, improvável	Uma ocorrência entre 5 a 10 anos	Probabilidade muito alta de detecção	2
Pequena chance de ocorrência	Uma ocorrência entre 1 a 4 anos	Alta probabilidade de detecção	3
Pequeno número de ocorrências	De 1 a 6 ocorrências por ano	Chance moderada de detecção	4
Espera-se um número ocasional de falhas	Mais de 6 ocorrências por ano	Chance média de detecção	5
Ocorrência moderada	Uma ocorrência por mês	Alguma probabilidade de detecção	6
Ocorrência frequente	Mais de uma ocorrência por mês	Baixa probabilidade de detecção	7
Ocorrência elevada	Uma ocorrência por semana	Probabilidade muito baixa de detecção	8
Ocorrência muito elevada	Mais de uma ocorrência por semana	Probabilidade remota de detecção	9
Ocorrência certa	Ocorrência diária	Detecção quase impossível	10

Fonte: Palady (2011).

O grau de ocorrência (O) está relacionado à frequência que um modo ou causa de falha pode ocorrer, varia de 1 (melhor situação – altamente improvável) a 10 (pior situação – ocorrência certa). A escala de Detecção (D) está atrelada à chance ou desempenho que o controle tem de detectar o modo de falha,

variando de 1 (melhor situação – quase certo de que será detectado) a 10 (pior situação – detecção quase impossível). A Tabela 2 mostra o detalhamento das Escalas O e D.

### Obtenção do Grau de Risco

O grau de risco (RPN) é o produto entre S, O e D. Por meio do valor numérico, permite-se ranquear as respectivas causas de falhas que podem vir a ocorrer em cada fase do SAA. Quanto maior for o RPN, maior é a probabilidade de ocorrência daquela falha. Para o cálculo do risco utilizou-se a Equação 01.

$$RPN = S \times O \times D \quad (\text{Equação 01})$$

Onde: RPN=Grau de Risco; S=Severidade da causa; O=Ocorrência da causa; D=Detecção do modo de falha.

### Ponderação do Risco

Com o preenchimento dos escores (severidade, ocorrência e detecção) de cada etapa do SAA, analisada na pesquisa, realizou-se o cálculo da ponderação dos riscos. Por meio dele é possível definir o grau de relevância de cada risco na respectiva etapa do Sistema de Abastecimento de Água. O risco total de cada fase foi considerado como a soma total de todos os riscos levantados na referida etapa, então o cálculo da porcentagem de relevância de cada risco frente ao total do sistema será dado pela Equação 02.

$$P = \frac{R_1}{\sum_1^n R} \quad (\text{Equação 02})$$

Onde:

P = Ponderação;  $R_1$  = Risco individual; n = Quantidade de Risco, e;  $\sum R$  = Soma dos Riscos

## RESULTADOS

Para o preenchimento da tabela FMEA foram entrevistados profissionais detentores de conhecimento da causa em estudo, que trabalham diretamente ou indiretamente no SAA. A Tabela 3 apresenta o perfil profissional dos entrevistados.

**Tabela 3:** Composição da equipe para o preenchimento da planilha FMEA.

FUNÇÃO	GRAU ACADÊMICO	QUANTIDADE
Técnicos Operacionais da Companhia de Água e Esgoto do Estado da Paraíba (CAGEPA)	Superior Completo	02
Engenheiro Civil (atuação na área de recursos hídricos e saneamento)	Superior Completo	01
	Mestrado	02
	Doutorado	04
Professor (atuação na área de recursos hídricos e saneamento)	Doutorado	02
<b>TOTAL</b>		<b>11</b>

Para cada modo de falha das etapas do sistema, definiu-se causas que podem provocar a interrupção e comprometer a qualidade do serviço e do produto fornecido aos usuários de Bananeiras-PB. Os profissionais quantificaram os modos de falha, segundo o grau de S, O e D, presentes nas Tabelas 01 e 02.

Após o preenchimento, observou-se, por meio de tratamentos estatísticos que, houve grande variabilidade dos dados coletados. A fim de convergir às informações para um valor de medida central, foi utilizado a mediana de cada grau de S, O e D, dos respectivos modos de falhas. Por fim, com os valores da

mediana de Severidade, Ocorrência e Detecção, realizou-se o produto entre os três para então encontrar o grau de risco (RPN) de cada potencial causa de falha.

A primeira etapa do sistema de abastecimento é a captação. Com a ferramenta FMEA foram mencionados os principais modos de falha e as suas respectivas causas. Para cada uma delas quantificou-se o índice de severidade, ocorrência e detecção, sendo posteriormente calculado o grau de risco (RPN). Conforme descrito na Tabela 4, para essa etapa constatou-se quatro possíveis modelos de falhas que, havendo a sua materialidade, poderá interromper ou comprometer a qualidade e funcionalidade do sistema.

**Tabela 4:** FMEA da etapa de captação do SAA de Bananeiras-PB.

ETAPA	MODO DE FALHA	POTENCIAL CAUSA DE FALHA	S	O	D	RPN
1. CAPTAÇÃO	1.1 Ausência do recurso hídrico	1.1.1 Eventos de seca prolongados	9	3	2	54
		1.1.2 Deterioração da qualidade da água dos corpos hídricos subterrâneos e superficiais	9	4	2	72
		1.1.3 Aumento da demanda hídrica	7	3	2	42
		1.1.4 Má gestão do recurso hídrico	8	7	4	224
	1.2 Manutenção inadequada dos dispositivos de captação	1.2.1 Ausência de equipe especializada	6	5	4	120
		1.2.2 Ausência de medidas preventivas	6	8	4	192
	1.3 Elevada concentração de organismos patogênicos no manancial e/ou presença de cianobactérias	1.3.1 Presença de fonte poluidora ou de contaminação (pontual ou difusa) próximas ao manancial	10	6	4	240
		1.3.2 Utilização de agrotóxicos em culturas próximas ao reservatório. Indústria, urbanização, ausência de saneamento básico	10	7	4	280
		1.3.3 Sinais de eutrofização	10	3	3	90
	1.4 Presença de material sólido grosseiro	1.4.1 Disposição inadequada de resíduos sólidos próximos ao manancial	6	5	3	90

A segunda etapa do sistema corresponde à adução. Foram identificados oito modos de falha que podem ocorrer e, conseqüentemente, prejudicar a operabilidade do sistema e a oferta de água aos usuários. Também, para cada um deles, elencou-se os modos de falhas, para os quais o RPN foi calculado. O resultado está presente na Tabela 5.

**Tabela 5:** FMEA da etapa de adução do SAA de Bananeiras-PB.

ETAPA	MODO DE FALHA	POTENCIAL CAUSA DE FALHA	S	O	D	RPN
2. ADUÇÃO	2.1 Vazão de captação insuficiente para atender as demandas	2.1.1 Aumento da demanda	7	4	4	112
		2.1.2 Período de Estiagem Prolongado	7	3	2	42
		2.1.3 Subdimensionamento do sistema	7	3	5	105
		2.1.4 Ausência de investimentos para ampliação do sistema	6	5	3	90
	2.2 Rompimento da adutora	2.2.1 Pressão elevada	7	3	3	63
		2.2.2 Corrosão dos tubos	6	3	5	90
		2.2.3 Furtos	5	5	5	125
		2.2.4 Fadiga dos tubos	5	3	6	90
	2.3 Interrupção do bombeamento de água à ETA	2.3.1 Defeitos mecânicos e elétricos	6	5	5	150
		2.3.2 Ausência de manutenção regular do conjunto motor-bomba	6	5	4	120
		2.3.3 Furtos de equipamentos	5	4	3	60
	2.4 Ausência de manutenção preventiva da adutora	2.4.1 Ausência de uma gestão preventiva	5	7	4	140
	2.5 Ausência de bomba reserva	2.5.1 Defeito na bomba reserva	6	4	3	72
		2.5.2 Não aquisição de uma segunda bomba para fins de prevenção (reserva)	5	3	2	30
	2.6 Esvaziamento da adutora	2.6.1 Defeito do conjunto motor-bomba	7	4	3	84
		2.6.2 Pane elétrica	7	3	3	63
		2.6.3 Presença de sólidos grosseiros no interior da tubulação	6	3	6	108
		2.6.4 Manutenção periódica	4	4	5	80
		2.6.5 Rompimento da adutora	7	3	2	42
	2.7 Presença de obstáculos internos (sólidos grosseiros) na adutora	2.7.1 Ausência de unidades de gradeamento e desarenação	4	3	2	24
2.8 Mau estado de conservação dos dispositivos de tomada	2.8.1 Mau uso e conservação dos equipamentos.	5	5	4	100	
	2.8.2 Ausência de manutenção preventiva	5	6	3	90	

Após a etapa de adução, o recurso hídrico chega à Estação de Tratamento de Água (ETA) compondo, assim, a terceira fase do SAA. Segundo a Tabela 6 foram identificados oito modos de falhas que podem ocorrer nas subetapas que compõem a ETA. Assim como nas anteriores, para cada causa de falha quantificou-se a severidade, ocorrência e detecção a fim de calcular o grau de risco.

**Tabela 6:** FMEA da etapa de tratamento do SAA de Bananeiras-PB.

ETAPA	MODO DE FALHA	POTENCIAL CAUSA DE FALHA	S	O	D	RPN
3. TRATAMENTO	3.1 Recebimento de água com turbidez elevada	3.1.1 Falha no monitoramento na etapa de captação	6	5	4	120,0
		3.1.2 Falha no sensor de turbidez: não calibrado ou danificado	3,5	4	4,5	63,0
	3.2 Recebimento de água com contaminação química ou biológica	3.2.1 Ausência ou ineficiência no monitoramento na captação, fazendo com que a ETA não esteja apta ou capacitada ao tratamento adequado da água captada	6,5	4	4	104,0
	3.3 Controle inadequado da dosagem do coagulante. (Baixa coagulação no tratamento)	3.3.1 Falha no dosador de coagulante - rompimento ou entupimento da tubulação	5,5	3	3,5	57,8
		3.3.2 Operação do processo sem o controle adequado dos mecanismos de coagulação mais apropriados à qualidade e à tecnologia de tratamento empregada	5	5	5	125,0
		3.3.3 Pane elétrica	6	3	3	54,0
	3.4 Falta de energia	3.4.1 Incêndio	7	2	2	21,0
		3.4.2 Fenômenos climáticos extremos	6,5	3	2	32,5
		3.4.3 Ausência de gerador reserva	4,5	4	2,5	45,0
	3.5 Falha no processo de floculação	3.5.1 Tempo de detenção inadequados, propiciando o surgimento de zonas mortas (curtos-circuitos)	5,5	3	5	82,5
		3.5.2 Dificuldade de variar os gradientes de velocidade, de acordo com as variações da qualidade da água bruta e de vazões	5,5	5	5	123,8
		3.5.3 Gradiente de velocidade inadequado nas câmaras e na passagem entre elas	5	5	6,5	162,5
		3.5.4 Tempo de detenção abaixo do mínimo do qual as taxas de agregação e erosão se equivalem, reduzindo substancialmente a eficiência da floculação	5,5	4	5	96,3
		3.5.5 Baixo número de câmaras, favorecendo o surgimento do efeito curto-circuito	5,5	3	4	55,0
		3.5.6 Alteração no mecanismo de floculação. Principalmente a ortocinética	5	3	5,5	82,5
	3.6 Falha na operação do decantador quanto as variações de qualidade de água e de vazões	3.6.1 Sobrecarga dos decantadores	3,5	4	5,5	77,0
		3.6.2 Má limpeza dos decantadores	3,5	5	3,5	61,3
		3.6.3 Arraste de flocos	3	5	4	60,0
		3.6.4 Coleta desigual de água decantada por desnivelamento dos vertedores ou bordas das calhas de coleta de água tratada	3	4	5	52,5
		3.6.5 Gradiente excessivo na conexão floculador-decantador e nas estruturas de entrada do decantador, com possibilidade de ruptura dos flocos	3	4	5	60,0
		3.6.6 Favorecimento de zonas mortas ou curtos-circuitos; distribuição desigual da água floculada para os decantadores, por deficiência do canal de distribuição, ou da cortina distribuidora	3	3	5,5	49,5
	3.7 Falha no processo de filtração	3.7.1 Formação de bolhas de ar e de lodo no interior do leito filtrante	2,5	4	4,5	39,4
		3.7.2 Formação de caminhos preferenciais da água	2	3	5,5	33,0
		3.7.3 Riscos de picos de turbidez e traspasse de cistos e oocistos de protozoários	3,5	4	5,5	67,4
		3.7.4 Controle inadequado da operação pós-lavagem	3	5	5	75,0
		3.7.5 Deficiência na lavagem dos filtros	3,5	5	4	63,0
		3.7.6 Material filtrante inadequado	3,5	4	5	70,0
		3.7.7 Má operabilidade do sistema por parte dos funcionários	2	4	5,5	44,0
		3.7.8 Taxa de filtração inadequada	3	3	5,5	49,5
		3.7.9 Granulometria do leito filtrante inadequado à qualidade da água e à técnica de tratamento empregada.	1,5	3	5,5	24,8
3.8 Falha no processo de desinfecção	3.8.1 Local inadequado de aplicação do cloro	6	3	5,5	99,0	
	3.8.2 Controle ineficiente da dosagem do cloro	8,5	5	5	212,5	
	3.8.3 Estado de conservação dos equipamentos de dosagem	5	4	4	80,0	
	3.8.4 Ausência ou insuficiência do controle residual desinfetante	6,5	5	3,5	113,8	
	3.8.5 pH de desinfecção insatisfatório	9	5	3,5	141,8	
	3.8.6 Falha de projeto ou dispositivos de dosagem de desinfecção	7,5	5	5	168,8	

Finalizada a etapa de potabilização, a água é transportada, por bombeamento, a reservatórios elevados, com o objetivo de atender aos usuários em quantidade adequada. Nessa fase foi listado um único modo de falha, o qual apresentou quatro causas que podem provocar a intermitência ou anulação do serviço. O grau de risco e os índices de S, O e D estão relatados na Tabela 7.

**Tabela 7:** FMEA da etapa de elevação da água tratada do SAA de Bananeiras-PB.

ETAPA	MODO DE FALHA	POTENCIAL CAUSA DE FALHA	S	O	D	RPN
4. ELEVÇÃO ÁGUA TRATADA	4.1 Falha no Bombeamento	4.1.1 Falta de energia – concessionária ou problema interno	7	4	2	56
		4.1.2 Pane no conjunto motor-bomba	7	3	3	63
		4.1.3 Não acionamento de válvulas	6	3	3	54
		4.1.4 Problema de software ou acionamento remoto, para o caso de sistemas automatizados	6	5	4	120

Após o lançamento da água tratada para reservatórios elevados, outra fase importante do SAA está ligada a reservação. Onde há o armazenamento do recurso hídrico e posterior distribuição aos usuários. Esse processo permite que o abastecimento ocorra de forma regular, atendendo a todas as demandas, sobretudo nos horários de pico. Na Tabela 8 estão apresentados quatro modos de falhas e suas respectivas potenciais de causa, sendo classificados quantitativamente os índices de severidade, ocorrência e detecção para posterior valor do grau de risco.

**Tabela 8:** FMEA da etapa de reservação do SAA de Bananeiras-PB.

ETAPA	MODO DE FALHA	POTENCIAL CAUSA DE FALHA	S	O	D	RPN
5. RESERVAÇÃO	5.1 Estado de conservação do reservatório insatisfatório	5.1.1 Elementos estruturais subdimensionados	6	3	5	75
		5.1.2 Precário estado de conservação e manutenção da estrutura	7	4	4	112
		5.1.3 Tubulações mal instaladas ou com desgaste	4	4	5	80
		5.1.4 Ausência de impermeabilização na fundação	2,5	3	6	37,5
	5.2 Contaminação ou alteração da qualidade da água	5.2.1 Entrada de materiais orgânicos e inorgânicos decorrente da não vedação adequada do reservatório	5	4	5,5	110
	5.3 Extravasamento	5.3.1 Sensor de nível descalibrado ou danificado	2	4	3	24
		5.3.2 Válvula com defeito	2	4	4	32
	5.4 Esvaziamento	5.4.1 Sensor de nível descalibrado ou danificado	5	5	4,5	101,3
		5.4.2 Válvula com defeito	5	4	3,5	70
		5.4.3 Falta de energia	6	4	3	63
		5.4.4 Ausência do conjunto motor-bomba	5	3	1	15

A etapa final do sistema de abastecimento de água consiste na distribuição, quando a água dos reservatórios é lançada na rede até chegar ao consumidor final. A FMEA de distribuição constatou onze modos de falha que podem comprometer a funcionalidade do sistema e prejudicar o fornecimento de água aos usuários em qualidade e quantidade adequadas. A Tabela 9 retrata falhas quem permeiam anomalias na pressão da rede de água, rupturas, vazamentos, erros operacionais, problemas hidráulicos, químicos, físicos, chegando até mesmo na própria capacidade da rede em preservar a potabilidade da água. Por fim, houve o cálculo do grau de risco envolvendo cada potencial causa de falha.

**Tabela 9:** FMEA da etapa de distribuição do SAA de Bananeiras-PB.

ETAPA	MODO DE FALHA	POTENCIAL CAUSA DE FALHA	S	O	D	RPN
6. DISTRIBUIÇÃO	6.1 Pressões excessivas	6.1.1 Sensor de pressão descalibrado ou danificado;	7	5	4	126
		6.1.2 Válvula Redutora de Pressão (VRP) desregulada, danificada ou com acúmulo de sujeira	7	5	5,5	173,3
	6.2 Pressões reduzidas	6.2.1 Booster com defeito	4,5	4	4,5	81
		6.2.2 Ventosa com defeito	4,5	3	4,5	60,8
		6.2.3 Incrustação na tubulação	4	4	5,5	77
		6.2.4 Tubulação subdimensionada	4	4	5	70
		6.2.5 Problemas no conjunto motor/bomba	4,5	4	3,5	63

6.3 Ruptura da tubulação ou vazamento	6.3.1 Danos causados por obras de terceiros	6	4	5	105
	6.3.2 Material e idade da tubulação	6,5	3	5,5	107,3
	6.3.3 Pressão excessiva na rede	6	5	4,5	121,5
	6.3.4 Erros durante a construção ou no reparo	5,5	3	5	82,5
	6.3.5 Defeito nos sensores de pressão	6	4	4,5	108
	6.3.6 Raízes de árvores	5	3	5,5	82,5
	6.3.7 Furto de água	4,5	5	6	135
	6.3.8 Ligações clandestinas de água	5	7	5,5	178,8
6.4 Incrustações	6.4.1 Precipitação de compostos químicos tanto inorgânicos (como minerais) quanto orgânicos, que se acumulam com o tempo nas paredes da tubulação	3,5	4	7	98
	6.4.2 Sedimentação de partículas suspensas presentes no líquido transportado sobre a superfície	6	4	6,5	156
	6.4.3 Crescimento biológico de microrganismos – como algas e bactérias	6,5	4	6	156
	6.4.4 Reações químicas, como as de corrosão sobre a superfície da tubulação	5,5	4	6,5	143
6.5 Proximidade da tubulação de água à rede coletora de esgoto	6.5.1 Traçado errôneo das redes de abastecimento de água e de esgoto	5,5	3	4	66
	6.5.2 Ausência de estudo preliminar para a construção das redes	4	4	3,5	56
6.6 Erros de manobra na rede	6.6.1 Erros no procedimento operacional	7	5	4,5	157,5
	6.6.2 Falta de treinamento e ineficiência do operário	4,5	5	4,5	101,3
	6.6.3 Falta de identificação de válvulas e registros	4,5	5	3,5	78,8
	6.6.4 Mapa da rede confuso ou desatualizado	4	7	4	112
6.7 Precário estado de conservação e manutenção da tubulação	6.7.1 Negligência nas operações de manutenção, limpeza e conserto da rede	7	6	5	210
	6.7.2 Deterioração da qualidade água	8	5	3,5	140
	6.7.3 Aumento da perda física de água com o passar dos anos	7	5	5,5	192,5
	6.7.4 Rede construída com material inapropriado	7	3	4,5	94,5
6.8 Ausência ou diminuição dos índices de CRL	6.8.1 Baixo consumo devido à baixa densidade populacional	4,5	4	4	63
	6.8.2 Ruptura da rede de distribuição	6	4	2,5	60
	6.8.3 Dosagem insuficiente de cloro na ETA	7	5	3,5	122,5
6.9 Presença de perigo por Escherichia coli ou organismos patogênicos	6.9.1 Presença de esgoto doméstico e industrial próximo à rede de distribuição	8	4	5	160
	6.9.2 Contato diretamente ou indiretamente da água potável com fertilizantes agrícolas, agrotóxicos, compostos orgânicos sintéticos e/ou metais pesados	10	4	5	175
	6.9.3 Tubulação antiga e com mau estado de conservação	7,5	5	5	187,5
	6.9.4 Aumento das florações de cianobactérias nos mananciais	7,5	4	5	150
	6.9.5 Presença de composto orgânico: Geosmina	7	4	5,5	134,8
	6.9.6 Deficiência na etapa de cloração	9,5	5	4	171
6.10 Presença de perigo por substâncias químicas (subprodutos da desinfecção)	6.10.1 A eutrofização de corpos d'água e a ocorrência de florações podem acarretar diversos problemas, como sabor e odor, aumento da formação de subprodutos indesejados da cloração	9,5	4	4	152
	6.10.2 Características e concentração da matéria orgânica natural	8,5	4	4,5	153
	6.10.3 pH do meio	8	4	5,5	176
	6.10.4 Tempo de contato	7	4	5,5	154
	6.10.5 Temperatura	7	4	5	140
	6.10.6 Dosagem do residual de cloro livre (CRL)	8	4	3,5	112
	6.10.7 Concentração de brometos	7,5	4	5,5	165
	6.10.8 Aumento das florações de cianobactérias nos mananciais	7,5	3	6	135
6.11 Presença de perigo por Turbidez e cor	6.11.1 Erros de manobra durante manutenção	6,5	5	5,5	160,9
	6.11.2 Danos causados por obras de terceiros	6	4	7	168
	6.11.3 Desgaste do material da tubulação	7	4	6	147
	6.11.4 Erros de procedimento de limpeza	6	5	4	108

## DISCUSSÃO

De acordo com os resultados obtidos, na etapa de captação, o modo de falha que apresentou maior probabilidade de surgimento foi o item 1.3 (elevada concentração de organismos patogênicos no manancial e/ou presença de cianobactérias), correspondendo a 41,67% do risco total presente nessa etapa do SAA. Este fator pode estar atrelado à presença de fontes poluidoras (pontuais ou difusas) próximas ao corpo hídrico, como também a ocorrência de atividades agrícolas e pecuárias e a ausência de saneamento. Corrêa et al. (2020) relatam que esse modo de contaminação se dá, por exemplo, pela utilização de agrotóxicos e

fertilizantes próximos do manancial, presença de excrementos de animais e/ou humanos em torno da fonte, falta de proteção em torno do manancial fazendo com que haja a presença de indivíduos no local, ausência de sinalização de aviso, dentre outros. Vale destacar que, segundo os entrevistados, o grau de severidade obteve o índice mais elevado, classificando o evento como sendo perigoso, o qual ameaça à vida ou pode provocar incapacidade permanente ou outro custo significativo da falha que coloca em risco a continuidade operacional da organização ou do sistema. Impacta a saúde pública.

O segundo maior risco encontrado na etapa de captação foi o registrado no modo de falha 1.1 - Ausência do recurso hídrico, correspondendo a uma probabilidade de 26,78%. Destaca-se nesse item que a potencial causa de falha de maior índice foi o 1.1.4 - Má gestão do recurso hídrico, com RPN = 224. Esse problema já é uma realidade no município. Segundo dados da Agência Executiva de Gestão das Águas no Estado da Paraíba (AESPA) o açude que abastece Bananeiras apresenta um volume de água reservada de apenas 120.387 m<sup>3</sup>, correspondendo a 2,93% da sua capacidade máxima de acumulação. Esses fatores geram graves consequências aos usuários como racionamento hídrico, diminuição da oferta hídrica e impactos econômicos ao local.

Este risco, de fato, já é consolidado, prejudicando os usuários do SAA os quais enfrentam intermitência no serviço. Atualmente, de acordo com a companhia de abastecimento, responsável pelo fornecimento de água à população, o abastecimento do município de Bananeira é feito através com racionamento hídrico, em que os usuários recebem água quinzenalmente, sendo cinco dias de abastecimento por quinze de racionamento. A companhia afirma que esta medida tem por objetivo evitar o colapso hídrico do corpo hídrico.

Na etapa de adução destacam-se os itens: 2.3.1 - Defeitos mecânicos e elétricos (RPN = 150), 2.4.1 Ausência de uma gestão preventiva (RPN = 140) e 2.2.3 - Furtos (RPN = 125). Juntos, os três correspondem a 44,57% dos possíveis modos de falha que podem surgir nessa etapa do sistema de abastecimento de água. São fatores que levam o usuário a fazer reclamações. Os furtos podem provocar interrupção no serviço, acidentes, prejuízos financeiros à companhia de abastecimento de água. Além disso, outras medidas preventivas podem ser incrementadas ao sistema, tais como àquelas relacionadas à automatização do SAA; manutenção periódica; realização e verificação recorrente das bombas, levando em consideração aspectos como engaxetamento, temperatura, vibrações e aceleração dos mancais; maior fiscalização por parte dos funcionários da empresa a fim de evitar ou minimizar possíveis furtos de água; controle de acionamentos e desligamentos de bombas.

Para a fase de tratamento os maiores riscos estão presentes na etapa de desinfecção, sendo a maior potencialíssima causa de falha o item 3.8.2 - Controle ineficiente da dosagem do cloro, com RPN=212,5, seguido do 3.8.6 - Falha de projeto ou dispositivos de dosagem de desinfecção, com RPN = 168,8. A probabilidade de fatores que comprometam a operabilidade do sistema e a qualidade do produto ofertado ao usuário equivale a 28,46% no processo de desinfecção. Lucena (2018) obteve para esse mesmo modo de falha o equivalente a 20,18% para a zona rural de Campina Grande-PB. Já para o SAA estudado por Araújo

Júnior (2016) obteve-se uma ponderação de risco relacionada à etapa de cloração de 26,55%, em Belém-PA. Ogata (2011) estudou a rede urbana de abastecimento de água de Campina Grande-PB e obteve um valor de 23,84% para esse mesmo risco

Em segundo lugar ficou o item correspondente a falha no processo de coagulação, obtendo 21,02% dos riscos. Destaca-se o subitem 3.5.3 - Gradiente de velocidade inadequado nas câmaras e na passagem entre elas – RPN = 162,5 com maior grau de risco na etapa de coagulação. Quando a coagulação apresenta defeito, pode ocorrer a passagem de partículas poluentes/coloidais (impurezas), prejuízo ao desempenho do tratamento necessidade de descarte da água, diminuição da vida útil dos filtros, perda de materiais consumidos no tratamento, parada de produção. Para isso mecanismos que podem garantir a efetividade e eficácia da etapa de coagulação de uma ETA estão relacionadas a medidas como determinação da quantidade do coagulante necessário para realizar a separação dos poluentes; automatização do serviço de coagulação e solução e homogeneização adequadas do coagulante, nos tanques de preparo.

Na etapa de Elevação da Água Tratada, o modo de causa 4.1 - Falha no Bombeamento, observou-se na Tabela 7 que o maior valor de potencial causa foi encontrado no subitem 4.1.4 - Problema de software ou acionamento remoto, para o caso de sistemas automatizados (RPN = 120), correspondendo a 40%, comprometendo a funcionalidade de todo o maquinário presente nessa etapa, impedindo que a água tratada seja armazenada nos reservatórios de distribuição. Ao item 4.1.1 - Falta de energia – concessionária ou problema interno, sugere-se a instalação de gerador auxiliar. Se tratando de pane conjunto motor-bomba, recomenda-se manutenção preventiva e verificações periódicas nos equipamentos (SANTOS, 2018). Para essa etapa do SSA, o maior índice de chance de falha está relacionado aos problemas elétricos do conjunto motor-bomba (35,56%).

O item 5.1 - Estado de conservação do reservatório insatisfatório apresentou maior probabilidade de risco (42,31%) para a etapa de reservação, destacando-se o subitem 5.1.2 - Precário estado de conservação e manutenção da estrutura - com o maior RPN (112), o qual potêcia o surgimento de vazamentos no reservatório, comprometendo não apenas quantitativamente, mas também qualitativamente a água reservada. Medidas como o melhoramento dos procedimentos de manutenção e operação do reservatório; controle ativo de vazamentos; velocidade e qualidade dos reparos; gerenciamento de pressão e da infraestrutura são alternativas que previnem o surgimento da falha. Vale também destacar os itens: 5.2.1 - Entrada de materiais orgânicos e inorgânicos decorrente da não vedação adequada do reservatório - o qual altera a qualidade da água fornecida à população e o 5.4.1 - Sensor de nível descalibrado ou danificado – como fator prejudicial ao fornecimento de água potável aos usuários. No estudo de Santos (2018), para um sistema de abastecimento de água, esse último foi a potencial causa de falha que apresentou maior probabilidade de risco (28,55%). Ele segure a manutenção preventiva e verificações periódicas nos equipamentos a fim de não haver prejuízo aos consumidores e garantir a qualidade do serviço e do produto ofertados à população.

Já na etapa final do sistema, a qual compreende a distribuição, a falha com maior chance de ocorrer está descrita no item 6.10 - Presença de perigo por substâncias químicas (subprodutos da desinfecção, apresentando um percentual de 18,76%. Esse modo de falha pode causar risco à saúde humana, bem como a presença de trihalometanos. Medidas preventivas, tais quais: controle do manancial, extraindo a matéria orgânica, removendo assim, os compostos orgânicos precursores; aplicação do cloro, se possível, após a etapa de clarificação da água; uso de desinfetantes alternativos para reduzir ou prevenir a formação de subprodutos, como ozônio, peróxido de hidrogênio, dióxido de cloro, permanganato de potássio, radiação ultravioleta e cloração combinada com amônia; higienização de reservatórios, limpeza de caixas d'água e tubulações, são alternativas para evitar danos à saúde dos usuários.

Segundo Ogata (2011) a baixa concentração do CRL em SAA acarreta problemas significativos à saúde humana, com maior probabilidade de ocorrência de organismos patogênicos. Por outro lado, segundo o mesmo autor, devido ao alto poder oxidante do desinfetante, a alta concentração de CRL pode acarretar intoxicação, culminando em diarreia, alteração da flora intestinal e irritação das mucosas. Dentre os indicadores sentinelas abordadas em sua pesquisa, a falha representando a dosagem incorreta do CRL obteve uma porcentagem de 76,92%.

Para os entrevistados o potencial modo de falha que obteve maior grau de risco foi o do item 6.7.1 - Negligência nas operações de manutenção, limpeza e conserto da rede, com RPN = 210. Este fator corrobora com a precariedade do estado de conservação e manutenção da rede de distribuição, não é à toa que, segundo dados do SNIS (2019) o índice de perdas na distribuição do município de Bananeiras corresponde 41,92%. Alternativas como melhoramento dos procedimentos de manutenção e operação das redes de distribuição; controle ativo de vazamentos; velocidade e qualidade dos reparos; gerenciamento de pressão e da infraestrutura, podem propiciar uma qualidade melhor do serviço prestado aos usuários de água.

O modo de falha 6.9 - Presença de perigo por *Escherichia coli* ou organismos patogênicos foi o item que apresentou o segundo maior grau de risco, com o subitem 6.9.3 - Tubulação antiga e com mau estado de conservação. Quanto aos indicadores de qualidade, o SNIS (2019) informa que 13,91% das amostras coletadas para a análise de coliformes totais estavam fora do padrão. Problema este que pode estar atrelado tanto na rede distribuição quanto na ETA, haja vista que pode haver problemas na etapa de desinfecção. Em 2019, as amostras coletadas para análise do cloro residual livre, 56,86% apresentaram desconformidades com a Portaria Consolidada Nº 888/2021 do Ministério da Saúde (MS) (BRASIL, 2021). Já para a análise de turbidez, apenas 1,30% não estavam de acordo com o exigido pela portaria.

Por fim, conforme a Tabela 10 observa-se que, por meio da ponderação, a etapa do SAA que apresenta maior probabilidade de surgimento de falhas é a distribuição, aproximadamente 47%, seguida do tratamento com 21,16%.

A primeira diz respeito à maneira em que o produto chegará ao consumidor final, levando-se em consideração não apenas a qualidade, mas também a quantidade, sobretudo em horários de pico, dentro

dos padrões exigidos por normas. Já a segunda remete-se a qualidade do produto, o mesmo deve estar em conformidade com os padrões exigidos por lei, a fim de que os usuários tenham acesso à água potável.

**Tabela 10:** Ponderação do Risco das Etapas do SAA.

ETAPA DO SAA	RPN DA ETAPA	P (%)
Captação	1464	10,80
Adução	1880	13,87
Tratamento	2866,8	21,16
Bombeamento da Água Tratada	293	2,16
Reservação	719,75	5,31
Distribuição	6327,625	46,69
<b>TOTAL</b>	<b>13551,125</b>	<b>100,00</b>

## CONCLUSÕES

O uso da metodologia FMEA permitiu extrair os principais riscos que cada etapa do SAA de Bananeiras-PB está susceptível de ocorrer, podendo ranquear e priorizar àqueles de acordo com o grau de risco encontrado. A etapa de distribuição foi a que apresentou o maior grau de risco. Sendo assim, necessita-se do incremento de medidas estruturantes e operacionais, como por exemplo, estudo de viabilidade da inserção de um novo corpo hídrico para atender à população do município ou até mesmo a interligação hídrica entre mananciais da região por meio de adutoras a fim de garantir oferta de água aos usuários visto que, o município enfrenta, constantemente, intermitência e racionamento no abastecimento de água, sendo agravado nos últimos anos.

Pouco mais da metade da população tem acesso à água potável, medidas como universalização do serviço, implantação de fontes alternativas de abastecimento de água, melhoramento dos procedimentos de manutenção e operação das redes de distribuição, automatização do SAA são algumas das opções que podem favorecer o melhoramento do serviço prestado aos consumidores de água.

Recomenda-se, em futuras pesquisas, elencar medidas de mitigação e/ou prevenção de risco a cada modo de falha detectado e, conjecturar possíveis cenários em que possa haver a aplicação das mesmas a fim de reduzir o seu grau de risco. Tais ações servirão de melhoria para a boa operabilidade do sistema e qualidade do serviço. Os resultados encontrados nessa pesquisa poderão subsidiar a companhia de abastecimento de água a melhorar a gestão do sistema a fim de ofertar um produto em quantidade e qualidade satisfatória aos seus usuários.

## REFERÊNCIAS

ABNT. Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR ISO 31000**. Gestão de riscos – princípios e diretrizes. Rio de Janeiro: ABNT, 2009.

AQUINO, A. R.; PALETTA, F. C.; ALMEIDA, J. R.. **Risco Ambiental**. São Paulo: Blucher, 2017.

ARAÚJO JÚNIOR, A. J. S.. **Avaliação de Riscos Aplicada como Metodologia de Controle e Segurança da Qualidade da Água no Sistema de Abastecimento de Belém – PA**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal do Pará, Belém, 2016.

BEVILACQUA, M.; CIARAPICA, F. E.; GIACCHETTA, G.; MARCHETTI, B.. Overview on the application of ISO/TS 16949: 2009, in a worldwide leader company in the production of stainless steel tubes for automotive exhaust systems. **International Journal of Productivity and Quality Management**, v.7, n.4, p.410- 439, 2011.

BRASIL. Ministério da Saúde. **Portaria GM/MS nº 888, de 4 de maio de 2021**. Altera o Anexo XX da Portaria de Consolidação GM/MS nº 5, de 28 de setembro de 2017, para dispor sobre os procedimentos de controle e de vigilância da

qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade. Brasília: MS, 2021.

BRASIL. Sistema Nacional de Informação sobre Saneamento. **Diagnóstico dos serviços de Água e Esgoto**. Brasília: SNIS, 2019.

CAVAIGNAC, A. L. O.; FORTE, L. L. N.. Utilização do fmea para priorização de risco ocupacional: uma nova abordagem direcionada a construção civil. **Brazilian Journal of Production Engineering**, São Mateus, v.4, n.3, p.132-149, 2018.

CHUANG, P. T.. Incorporating disservice analysis to enhance to enhance perceived service quality. **Industrial Management and Data Systems**, v.110, n.3, p.368-391, 2010.

CORRÊA, R. F. M.; VENTURA, K. S.. Plano de Segurança da Água: modelo conceitual para monitoramento de riscos à contaminação de água em comunidades rurais. **Eng. Sanit. Ambient**, v.26, n.2, 2021.

FERREIRA, J. C.; RODRIGUES, M. C.; FRANCISCATO, L. S.; CORRER, I.. Proposta de um método para priorização de risco em FMEA considerando custo de ocorrência do modo de falha em sua etapa de detecção. **Exacta – EP**, São Paulo, v.15, n.3, p.487-499, 2017.

FONSECA, M. N. E.. **Avaliação de um Acidente de uma Barragem de Rejeitos Utilizando FMEA, Evento de Mineração do Brasil**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Industrial) - Universidade Federal da Bahia, Salvador, 2018.

JEEGADESHAN, C.; ARUNACHALAM, V. P.; DEVADASAN, S. R.; SRINIVASAN, P. S. S.. Design and development of modified service FMEA. **International Journal of Service and Operations Management**, v.3, n.1, p.111-126, 2007.

KNEŽEVIĆ, N. L. J.; MACURA, D. V.; MILUTINOVIĆ, N. D.. **Unapređenje procene rizika implementacije digitalizacije na železnici primenom SWOT – FMEA metode**. TEHNIKA – MENADŽMENT 70, 2020.

KHORSHIDI, H. A.; GUNAWAN, I.; ESMAEILZADEH, F.. Implementation of SPC with FMEA in less developed industries with a case study in car battery manufactory. **International Journal of Quality and Innovation**, v.2, n.2, p.148–157, 2013.

KOZISEK, F.; GARI, D. W.; PUMANN, P.; RUNŠTUK, J.; ŠAŠEK, J.; TUHOVČÁK, L.; RUČKA, J.; PAPIRŇÍK, V.. **Risk assessment case study**: Breznice, Czech Republic. TECHNEAU, 2008.

KULCSÁR, E.; CSISZÉR, T.; ABONYI, J.. **Pairwise comparison based failure mode and effects analysis (FMEA)**. Elsevier. MethodsX 7, 2020.

LINDHE, A. E. A.. **Risk assessment case study**: Göteborg, Sweden. TECHNEAU, 2008.

MARIAJAYAPRAKASH, A.; SENTHILVELAN, T.. Failure detection and optimization of sugar mill boiler using FMEA and Taguchi method. **Engineering Failure Analysis**, v.30, p.17-26, 2013.

LUCENA, D. V.. **Avaliação da segurança da água de abastecimento por soluções alternativas na zona rural de Campina Grande-PB**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil e Ambiental) - Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, 2018.

OGATA, I. S.. **Avaliação de Risco de Qualidade da Água Potável do Sistema de Abastecimento da Cidade de Campina Grande (PB)**. Monografia (Bacharelado em Engenharia Sanitária e Ambiental) - Universidade Estadual da Paraíba, Campina Grande, 2011.

OZILGEN, S.. FMEA for confectionary manufacturing in developing countries: Turkish delight production as case example. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v.32, n.3, p.505-514, 2012.

PALADY, P.. **FMEA Análise dos modos de falha e efeitos**: prevendo e prevenindo problemas antes que ocorram. 5 d. São Paulo: IMAM, 2011.

SALIBA, T. M.; PAGANO, S. C. R. S.. **Legislação de segurança, acidente do trabalho e saúde do trabalhador**. São Paulo: LTR, 2018.

SANTOS, S. M.. **Análise dos modos e efeitos de falha em um sistema de abastecimento de água**: uma avaliação desde o tratamento à rede de distribuição. Dissertação (Mestrado em Engenharia Urbana) - Universidade Estadual de Maringá, Maringá, 2018.

SUBRIADI, A. P.; NAJWA, N. F.. **The consistency analysis of failure mode and effect analysis (FMEA) in information technology risk assessment**. Department of Information Systems, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya, Indonesia. Heliyon 6, (2020).

VIANNA, L. F. V.. **Metodologias de análise de risco aplicadas em planos de ação de emergência de barragens**: auxílio ao processo de tomada de decisão. Dissertação (Mestrado em Geotecnia e Transportes) - Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2015.