

**UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ**  
**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO**  
**MESTRADO EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO**

**FERNANDA GOMES DE ANDRADE**

**PRIORIZAÇÃO DE MANUTENÇÃO EM UMA EMPRESA DE**  
**SANEAMENTO: MODELO MULTICRITÉRIO HÍBRIDO DE APOIO A**  
**DECISÃO**

**DISSERTAÇÃO**

**PONTA GROSSA**

**2020**

**FERNANDA GOMES DE ANDRADE**

**PRIORIZAÇÃO DE MANUTENÇÃO EM UMA EMPRESA DE  
SANEAMENTO: MODELO MULTICRITÉRIO HÍBRIDO DE APOIO A  
DECISÃO**

Dissertação apresentada como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Engenharia de Produção, junto ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção da Universidade Tecnológica Federal do Paraná.

Orientador: Prof. Dr. João Carlos Colmenero

**PONTA GROSSA**

**2020**

Ficha catalográfica elaborada pelo Departamento de Biblioteca  
da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Câmpus Ponta Grossa  
n.63/20

A553 Andrade, Fernanda Gomes de

Priorização de manutenção em uma empresa de saneamento: modelo multicritério híbrido de apoio a decisão. / Fernanda Gomes de Andrade, 2020.  
105 f.; il. 30 cm.

Orientador: Prof. Dr. João Carlos Colmenero

Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Ponta Grossa, 2020.

1. Saneamento. 2. Manutenção. 3. Processo decisório por critério múltiplo. I. Colmenero, João Carlos. II. Universidade Tecnológica Federal do Paraná. III. Título.

CDD 670.42



**Universidade Tecnológica Federal do Paraná**  
**Campus Ponta Grossa**  
Diretoria de Pesquisa e Pós-Graduação  
**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM**  
**ENGENHARIA DE PRODUÇÃO**



## **FOLHA DE APROVAÇÃO**

Título da Dissertação Nº 358/2020

**PRIORIZAÇÃO DE MANUTENÇÃO EM UMA EMPRESA DE SANEAMENTO:  
MODELO MULTICRITÉRIO HÍBRIDO DE APOIO A DECISÃO**

por

Fernanda Gomes de Andrade

Esta dissertação foi apresentada às 10 horas do dia 31 de agosto de 2020 como requisito parcial para a obtenção do título de MESTRE EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, com área de concentração em Gestão Industrial, linha de pesquisa em Gestão da Produção e Manutenção, Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção. O(a) candidato(a) foi arguido(a) pela Banca Examinadora composta pelos professores abaixo citados. Após deliberação, a Banca Examinadora considerou o trabalho aprovado.

---

Prof. Dr. Ubirata Tortato (PUC-PR)

---

Prof. Dr. Aldo Braghini Junior (UTFPR)

---

Prof. Dr. Antonio Vanderley Herrero Sola  
(UTFPR)

---

Prof. Dr. Joao Carlos Colmenero (UTFPR) -  
*Orientador*

---

Prof. Dr. Cassiano Moro Piekarski (UTFPR)  
Coordenador do PPGEP

- A FOLHA DE APROVAÇÃO ASSINADA ENCONTRA-SE NO DEPARTAMENTO  
DE REGISTROS ACADÊMICOS -

Dedico este trabalho à minha família  
pelo apoio incondicional e por  
acreditarem e investirem em mim.

## **AGRADECIMENTOS**

Primeiramente, agradeço à Deus pela oportunidade, por ser luz e conforto nos momentos difíceis e sempre me guiar pelo caminho correto.

Ao meu orientador, pelos seus ensinamentos e conselhos, assim como pela paciência, sabedoria e disposição para me guiar durante essa trajetória.

À minha família, em especial aos meus pais pelo carinho e amor incondicional, por sempre me incentivarem a seguir meus estudos, me ensinaram a sempre correr atrás dos meus sonhos, e à minha irmã por sempre ser um ombro amigo.

Ao meu marido, pelo amor e apoio incondicional, pela paciência e por sempre me motivar sempre a seguir em frente.

Aos meus amigos e colegas do grupo de pesquisa OTD e do PPGEF, por trazer alegria e mais leveza nessa trajetória.

À Sanepar, por se mostrar disponível e interessada em participar da minha pesquisa. Por abrir as portas da empresa e possibilitar a aplicação do meu estudo.

Aos professores do PPGEF pelos ensinamentos.

À UTFPR pela disponibilização da estrutura da instituição.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) pelo apoio financeiro da minha pesquisa.

E a todos aqueles que de alguma forma estiveram presente nesse momento tão importante.

## RESUMO

ANDRADE, Fernanda Gomes de. **Priorização de manutenção em uma empresa de saneamento**: modelo multicritério híbrido de apoio a decisão. 2020. 105 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Ponta Grossa, 2020.

Manter o sistema de saneamento em funcionamento é de vital importância. A realização de manutenção é uma forma de manter o sistema em funcionamento e garantir que o serviço atenda aos clientes. Mas a tarefa de integrar todos os aspectos importantes que envolvem a decisão de priorização de manutenção é dificultosa e demanda por um método que auxilie no processo de tomada de decisão. Para atender essa demanda, o presente trabalho objetiva propor um modelo multicritério híbrido de apoio a tomada de decisão para priorizar atividades de manutenção corretiva em uma empresa de saneamento. Para isso foi realizada uma análise do processo de tomada de decisão, definindo os critérios relevantes de priorização de manutenções corretivas, o método SWARA foi utilizado para determinar os pesos dos critérios de priorização a partir da opinião dos decisores, e foi proposto um modelo multicritério de apoio a tomada de decisão utilizando *fuzzy* TOPSIS para priorizar as alternativas. Os resultados definiram a utilização de sete critérios, mostrando o atendimento ao cliente como critério mais importante. O modelo se apresentou flexível e útil para a resolução do problema, atendendo às necessidades da empresa com a resposta de um ranqueamento confiável que auxilia a tomada de decisão.

**Palavras-chave:** Saneamento. Manutenção. Multicritério. Priorização.

## ABSTRACT

ANDRADE, Fernanda Gomes de. **Maintenance prioritization in sanitation company:** hybrid multicriteria decision support model. 2020. 105 p. Thesis (Master's Degree in Production Engineering) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Ponta Grossa, 2020.

It is of vital importance to keeping the sanitation system working. Performing maintenance is a way of keeping the system running and ensuring that the service reaches the customers. But the task of integrating all the important aspects surrounding the maintenance prioritization decision is difficult and demands a method that assists in the decision-making process. To meet this demand, this paper aims to propose a hybrid multicriteria decision support model to prioritize corrective maintenance activities in a sanitation company. For this, an analysis of the decision-making process was carried out, the corrective maintenance prioritization criteria were defined, the SWARA method was used to determine the weights of the prioritization criteria from the decision-makers' opinion, and a multicriteria decision support model was proposed using *fuzzy* TOPSIS to prioritize alternatives. The results defined the use of seven criteria, showing customer service as the most important criteria. The model proved to be flexible and useful for solving the problem, meeting the needs of the company with the response of a reliable ranking that helps decision making.

**Keywords:** Sanitation. Maintenance. Multicriteria. Prioritization.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Estrutura do trabalho.....	21
Figura 2: Números <i>fuzzy</i> triangular .....	27
Figura 3: Distâncias euclidianas entre as soluções PIS e NIS .....	31
Figura 4: Ferramentas e técnicas específicas do MCDM aplicadas a problemas de seleção de estratégias de manutenção.....	41
Figura 5: Etapas do modelo de priorização de manutenções corretivas .....	44
Figura 6: Sistema de saneamento básico .....	52
Figura 7: Gerência Regional de Telêmaco Borba .....	53
Figura 8: Fluxograma do Processo .....	54

## LISTA DE QUADROS

Quadro 1: Estudos híbridos entre FMEA e multicritério .....	40
Quadro 2: Consequências do não atendimento da solicitação de manutenção .....	56

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Termos de critérios utilizados em manutenção .....	38
Tabela 2: Variáveis linguísticas de números <i>fuzzy</i> triangulares .....	49
Tabela 3: Pontuação dos decisores .....	57
Tabela 4: Classificação dos critérios pelo método Borda .....	58
Tabela 5: Critérios ordenados .....	58
Tabela 6: Pesos dos critérios do Decisor 1 .....	59
Tabela 7: Pesos dos critérios do Decisor 2 .....	59
Tabela 8: Peso total dos critérios .....	59
Tabela 9: Peso total em números <i>fuzzy</i> .....	60
Tabela 10: Matriz de decisão do Decisor 1 .....	61
Tabela 11: Matriz de decisão do Decisor 2 .....	61
Tabela 12: Matriz de decisão <i>fuzzy</i> do decisor 1.....	62
Tabela 13: Matriz de decisão <i>fuzzy</i> do decisor 2.....	63
Tabela 14: Matriz de decisão <i>fuzzy</i> agregada .....	63
Tabela 15: Matriz de decisão <i>fuzzy</i> normalizada.....	64
Tabela 16: Matriz de decisão <i>fuzzy</i> ponderada .....	65
Tabela 17: Distância FPIS ( $d_i +$ ).....	66
Tabela 18: Distância FNIS ( $d_i -$ ) .....	66
Tabela 19: Coeficiente de proximidade $CC_i$ das alternativas.....	67
Tabela 20: Ranqueamento das alternativas .....	67
Tabela 21: Ranqueamento pelo antigo método .....	68
Tabela 22: Comparação entre os métodos .....	68
Tabela 23: Variação dos pesos de 0 a 1 do critério C1: Prioridade.....	69
Tabela 24: Variação dos pesos de 0 a 1 do critério C2: Efeito do não atendimento .69	
Tabela 25: Variação dos pesos de 0 a 1 do critério C3: Atendimento ao cliente.....	69
Tabela 26: Variação dos pesos de 0 a 1 do critério C4: Distância .....	70
Tabela 27: Variação dos pesos de 0 a 1 do critério C5: Tempo estimado .....	70
Tabela 28: Variação dos pesos de 0 a 1 do critério C6: Custo estimado por terceiros .....	70
Tabela 29: Variação dos pesos de 0 a 1 do critério C7: Espera.....	70
Tabela 30: Novos $CC_i$ com variações dos pesos do C1 .....	71
Tabela 31: Novos $CC_i$ com variações dos pesos do C2.....	71
Tabela 32: Novos $CC_i$ com variações dos pesos do C3.....	71

Tabela 33: Novos <i>CCi</i> com variações dos pesos do C4.....	72
Tabela 34: Novos <i>CCi</i> com variações dos pesos do C5.....	72
Tabela 35: Novos <i>CCi</i> com variações dos pesos do C6.....	72
Tabela 36: Novos <i>CCi</i> com variações dos pesos do C7.....	73

## LISTA DE SIGLAS E ACRÔNIMOS

AHP	<i>Analytic Hierarchy Process</i>
ANP	<i>Analytic Network Process</i>
BWM	<i>Best-Worst Method</i>
COPRAS	<i>Complex Proportional Assessment</i>
DEMATEL	<i>Decision-Making Trial And Evaluation Laboratory</i>
DM	<i>Decision Maker</i>
EEB	<i>Estação Elevatória de Água Bruta</i>
EEE	<i>Estação Elevatórias de Esgoto</i>
EET	<i>Estação Elevatória de Água Tratada</i>
ELECTRE	<i>Elimination and Choice Expressing Reality</i>
ERVD	<i>Election Based on Relative Value Distance</i>
ETA	<i>Estação de Tratamento de Água</i>
ETE	<i>Estação de Tratamento de Efluentes</i>
FMCDM	<i>Fuzzy Multicriteria Decision-Making</i>
FMEA	<i>Failure Mode and Effect Analysis</i>
FMECA	<i>Failure Mode, Effects and Criticality Analysis</i>
GEMSD	<i>Gerência Regional Eletromecânica Sudeste</i>
GRTB	<i>Gerência Regional de Telêmaco Borba</i>
HSS	<i>Solicitação Eletrônica de Serviços</i>
MACBETH	<i>Measuring Attractiveness by a Categorical-Based Evaluation Technique</i>
MAUT	<i>Multi Attribute Utility Theory</i>
MAVT	<i>Multi-Attribute Value Theory</i>
MCDM	<i>Multicriteria Decision-Making</i>
NIS	<i>Negative Ideal Solution</i>
OSE	<i>Ordem de Serviço Eletromecânico</i>
PIS	<i>Positive Ideal Solution</i>
PROMETHEE	<i>Preference Ranking Organisation MeTHod for Enrichment Evaluations</i>
RPN	<i>Risk Priority Number</i>
SWARA	<i>Step-Wise Weight Assessment Ratio Analysis</i>
TOPSIS	<i>Technique for Order of Preference by Similarity to Ideal Solution</i>
TPM	<i>Total Productive Maintenance</i>
VIKOR	<i>Multi-criteria optimization and compromise solution</i>

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO</b> .....	<b>16</b>
1.1 OBJETIVOS .....	18
1.1.1 Objetivo Geral .....	18
1.1.2 Objetivos Específicos .....	18
1.2 JUSTIFICATIVA .....	18
1.3 ESTRUTURA DO TRABALHO .....	20
<b>2 REFERENCIAL TEÓRICO</b> .....	<b>22</b>
2.1 SANEAMENTO BÁSICO.....	22
2.2 MÉTODOS MULTICRITÉRIOS DE APOIO A DECISÃO .....	23
2.2.1 Classificação MCDM .....	24
2.2.2 Números <i>Fuzzy</i> .....	26
2.2.3 Ponderação de Pesos pelo Método SWARA .....	28
2.2.4 <i>Fuzzy</i> TOPSIS.....	31
2.3 GESTÃO DA MANUTENÇÃO E CRITÉRIOS DE PRIORIZAÇÃO.....	35
2.3.1 Gestão Da Manutenção Com Utilização De Métodos Multicritério Para Apoiar Decisões.....	41
2.3.2 Gestão da Manutenção em Saneamento .....	43
<b>3 METODOLOGIA</b> .....	<b>44</b>
3.1 ESTRUTURAÇÃO DO PROBLEMA .....	44
3.2 DEFINIÇÃO DO PROBLEMA.....	45
3.3 DEFINIÇÃO DOS CRITÉRIOS DE PRIORIZAÇÃO .....	45
3.4 DETERMINAÇÃO DOS PESOS DOS CRITÉRIOS .....	46
3.5 DEFINIÇÃO DA MATRIZ DE DECISÃO.....	47
3.6 RANQUEAMENTO DAS ALTERNATIVAS.....	48
3.7 APLICAÇÃO DA ANÁLISE DE SENSIBILIDADE .....	49
<b>4 RESULTADOS E DISCUSSÕES</b> .....	<b>51</b>
4.1 CARACTERIZAÇÃO DA EMPRESA.....	51
4.2 CARACTERIZAÇÃO DO PROCESSO DE MANUTENÇÃO .....	53
4.3 DEFINIÇÃO DOS DECISORES .....	55
4.4 DEFINIÇÃO DOS CRITÉRIOS.....	55
4.5 CÁLCULO DOS PESOS DOS CRITÉRIOS .....	57
4.6 DEFINIÇÃO DA MATRIZ DE DECISÃO.....	60
4.7 APLICAÇÃO DO FUZZY TOPSIS.....	62

4.8 ANÁLISE DE SENSIBILIDADE .....	69
<b>5 CONSIDERAÇÕES FINAIS .....</b>	<b>79</b>
<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>81</b>
<b>APÊNDICE A – Entrevista semiestruturada para caracterização do problema .</b>	<b>93</b>
<b>APÊNDICE B – Entrevista semiestruturada para caracterização do processo de tomada de decisão .....</b>	<b>95</b>
<b>APÊNDICE C – Questionário para validação dos critérios .....</b>	<b>98</b>
<b>APÊNDICE D – Questionário para ordenação dos critérios .....</b>	<b>100</b>
<b>APÊNDICE E – Questionário para definir a importância comparativa para cada critério .....</b>	<b>102</b>
<b>APÊNDICE F – Instruções para Preenchimento da Matriz de Decisão .....</b>	<b>104</b>

## 1 INTRODUÇÃO

O acesso a água potável e ao saneamento básico são indispensáveis para o bem-estar da sociedade. Oferecer água tratada à população e tratar seu esgoto sanitário diz respeito a saúde e segurança, além de ser um serviço essencial. Manter o sistema de saneamento em funcionamento é de vital importância.

O consumo de água não tratada prejudica a saúde humana através de doenças, e a falta de tratamento do esgoto pode contaminar a água potável disponível e o meio ambiente, criando um pesado fardo para as comunidades (ONU, 2017). O estudo realizado por Bidkhorji *et al.* (2018) afirma que pode ser reduzida a taxa de mortalidade infantil com melhoria das instalações de água potável e saneamento.

As empresas de saneamento devem oferecer um serviço de qualidade, manter o sistema em funcionamento para que água tratada chegue às casas da população e, o esgoto seja recolhido e devidamente tratado sem contaminar o ambiente. Mas a dificuldade em manter o sistema em funcionamento pode ser explicado por questões como falta de planejamento urbano, rápida urbanização e crescimento populacional (DONG *et al.*, 2015). Para Cetrulo, Marques e Malheiros (2019), o desempenho dos operadores de serviços de abastecimento de água e saneamento tem sido o foco de muitas pesquisas.

Falhas e quebras no sistema podem deixar centenas de pessoas sem o abastecimento de água, o esgoto pode extravasar áreas de contenção e contaminar o ambiente, entre outros problemas. O sistema de esgoto é onde tem-se o maior número de quebras devido à falta de colaboração da população, ocasionado pelo grande volume de lixos e ligações incorretas e clandestinas na rede.

Com isso, o objetivo da manutenção é maximizar a disponibilidade do equipamento em uma condição operacional que permita a quantidade e a qualidade desejadas (PINTELO; GELDERS, 1992). A realização de manutenção é uma forma de manter o sistema em funcionamento e garantir que o serviço chegue às residências. Nas redes de distribuição de água, o papel da manutenção é manter a capacidade e a operação normal do sistema (TROJAN; MORAIS, 2015).

Quando se trata de uma empresa de saneamento, a maioria de seus equipamentos estão espalhados por uma extensa região e várias quebras podem ocorrer em curtos intervalos de tempo. Assim, é preciso definir quais regiões ou unidades serão atendidas primeiro. Segundo Dhillon (2002), por melhor e mais

confiável que seja o gerenciamento de manutenção de uma empresa, de tempos em tempos os equipamentos falham e levam à manutenção corretiva.

Mesmo que a empresa tenha planos de manutenção preventiva e preditiva bem estruturados, problemas relacionados a intempéries, furtos de equipamentos e cabearios, vandalismo e quebras devido ao lixo jogado nas redes de saneamento ocorrem de maneira imprevista, gerando a necessidade de manutenção corretiva.

As ações corretivas podem ser frequentemente utilizadas quando os equipamentos não são críticos no processo e podem ser executadas com atraso se o defeito for menor ou não causar mau funcionamento (GOLBASI; TURAN, 2020). A escolha da manutenção corretiva pode ser feita em equipamentos menos críticos, levando em conta a existência de equipamentos reservas e a disponibilidade de peças de reposição.

O FMEA é uma forma de realizar a classificação de falhas e priorização dos sistemas em relação a criticidade da falha, mas essa abordagem está sujeita a limitações intrínsecas. Para vários gerentes, uma fraqueza relevante do FMEA se deve ao fato de que essa técnica leva em consideração apenas alguns tipos de atributos de falha, enquanto fatores importantes, como aspectos econômicos, são negligenciados (BRAGLIA, 2000).

Soluções para priorização de manutenção são propostos por modelagem e simulação, como proposto por Savsar (2013) para priorização de manutenção corretiva, por Azadeh, Sheikhalishahi e Monshi (2015) para selecionar planos de atividades de manutenção, por Argyropoulou, Iliopoulou e Kepaptsoglou (2019) para otimizar as atividades de manutenções corretivas, mas esses modelos não levam em conta a opinião dos decisores e das pessoas envolvidas no problema.

Manutenções na área do saneamento envolvem diversos fatores críticos e as decisões envolvem deixar centenas de pessoas sem abastecimento de água ou um possível extravasamento de esgoto sanitário, por exemplo. Segundo Nadaban, Dzitac e Dzitac (2016), as tomadas de decisão multicritério (MCDM) têm como característica comum múltiplos objetivos e múltiplos critérios que geralmente estão em conflito entre si e assim, os tomadores de decisão podem selecionar, avaliar ou classificar essas alternativas de acordo com os pesos que são atribuídos aos critérios.

A modelagem e análise de falhas é importante em termos de gerenciamento de manutenção e questões de confiabilidade, a fim de proteger a sustentabilidade.

Falhas são ocorrências aleatórias. Determinar qual dessas falhas é mais importante pode ajudar nas ações a serem tomadas quando a falha ocorrer.

Os problemas da vida real envolvem muitas incertezas, e a utilização de MCDM é apropriada para priorização de falhas de manutenção corretiva com incertezas (ERDOGAN; KAYA, 2019). Então modelos multicritérios de apoio a decisão podem atender a necessidade de priorização de atividades de manutenção corretiva.

A partir disso, o ponto de partida deste trabalho teve o seguinte problema de pesquisa: Como priorizar as atividades de manutenção corretiva em uma empresa de saneamento?

## 1.1 OBJETIVOS

A seguir são apresentados o objetivo geral e os objetivos específicos os quais este trabalho se propõe a alcançar.

### 1.1.1 Objetivo Geral

Propor um modelo multicritério de apoio a tomada de decisão para priorizar atividades de manutenção corretiva em uma empresa de saneamento.

### 1.1.2 Objetivos Específicos

- a) Realizar análise do processo de tomada de decisão;
- b) Definir os critérios de priorização de manutenções corretivas;
- c) Determinar os pesos dos critérios de priorização a partir da opinião dos decisores;
- d) Propor um modelo multicritério de apoio a tomada de decisão adequado ao problema de priorização;
- e) Validar o modelo multicritério de apoio a tomada de decisão em uma unidade de saneamento básico.

## 1.2 JUSTIFICATIVA

Empresas de saneamento básico prestam serviços de abastecimento de água e esgotamento sanitário à população de uma cidade ou região. Devendo, principalmente, garantir aos consumidores a quantidade de água demandada e o recolhimento seguro do esgoto sanitário.

Mas além de atender aos requisitos básicos do atendimento à população, a empresa visa excelência nos seus serviços de forma sustentável, satisfazendo seus clientes. Para isso, é preciso manter seu sistema de abastecimento e esgotamento em funcionamento, e evitar que falhas na manutenção afetem seus clientes e o ambiente.

Problemas de manutenção nas bombas do sistema de saneamento podem causar adversidades, tais como a falta de abastecimento de água, desperdícios, indisponibilidade operacional, impacto ambiental devido ao extravasamento, podendo causar contaminação de mananciais e erosão, e riscos relacionados à segurança, tanto física quanto do patrimônio.

O sistema de esgotamento sanitário apresenta dificuldades relacionadas à manutenção, principalmente com relação as ligações irregulares e clandestinas, e ao lixo jogado nas redes do sistema. Isso gera entupimento, quebra e falha de equipamentos de forma aleatória sem conseguir prevenir a falha, e também há dificuldade de monitoramento de todos os equipamentos. Além de apresentar problemas com furtos e vandalismo. Por causa desses e outros motivos, a utilização da manutenção corretiva é muito frequente.

Outra questão presente na empresa de saneamento é a intensa utilização de sistemas de bombas submersas. Segundo Hatsey e Birkie (2020), a manutenção se torna difícil nesse caso devido ao local onde estão instaladas, e mesmo não sendo o ideal, as empresas acabam optando por realizar a manutenção corretiva.

Como os equipamentos da empresa estão, geralmente, espalhados por uma extensa região e o atendimento à este serviço é realizado 24 horas por dia, há dificuldade em definir e delegar equipes de técnicos de manutenção às regiões ou unidades que necessitam de atendimento.

Poucos estudos realizam a investigação de priorização de ações de manutenção e reparo (LIDÉN, 2015; ARGYROPOULOU; ILIOPOULOU; KEPAPTSOGLU, 2019). Mas o planejamento ineficaz leva a uma manutenção excessiva, causando um desperdício desnecessário, ou insuficiente, causando improdutividade (DING; KAMARUDDIN, 2014), ou a falha dos equipamentos e consequentemente a interrupção do serviço.

Ao passo que a manutenção preventiva é realizada frequentemente seguindo um cronograma já predeterminado, em contrapartida, as necessidades de manutenções reativas ou corretivas são identificadas por inspeções no local e,

portanto, não é possível programá-las com antecedência (ARGYROPOULOU; ILIOPOULOU; KEPAPTSOGLU, 2019).

Dessa maneira, os operadores precisam lidar com decisões de curto prazo relacionadas à ordem e ao momento de cada ação de manutenção, um processo que diz respeito a um problema de agendamento de trabalho (BUDAI; DEKKER; NICOLAI, 2008; LIDÉN, 2015).

Para cumprir o objetivo de manutenção, a empresa precisa de habilidades de gerenciamento para integrar pessoas, políticas, equipamentos e práticas (PINTELO; GELDERS, 1992). E a tarefa de integrar todos os aspectos importantes que envolvem a decisão de priorização de manutenção é dificultosa e demanda um método que auxilie no processo de tomada decisão.

No passado, a manutenção era focada, principalmente, na otimização de critério único. No entanto, atualmente é enfatizado a necessidade de considerar dois ou mais critérios simultaneamente e assim criar um requisito para técnicas de otimização multicritério (SYAN; RAMSOOBAG, 2019).

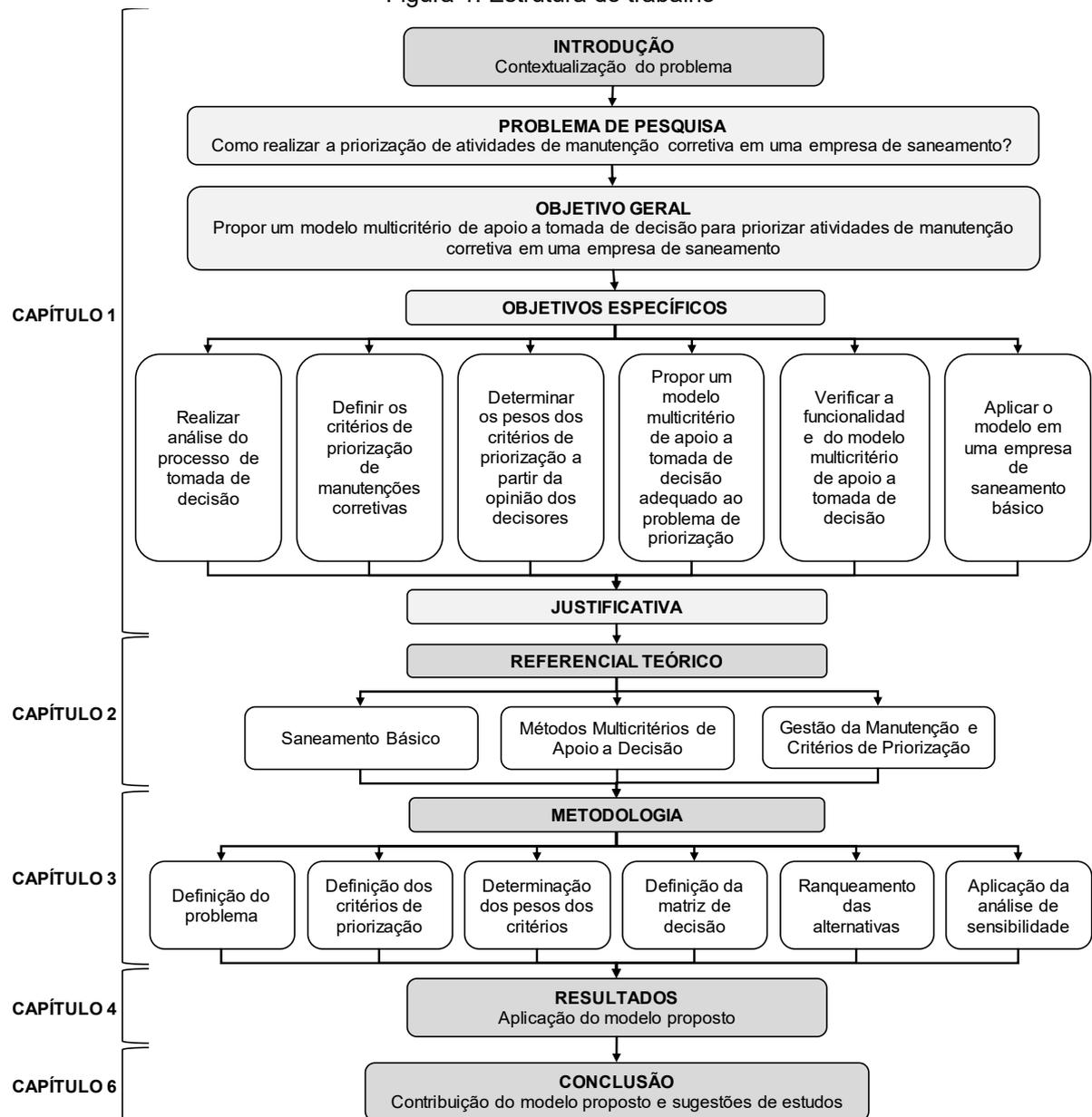
Existem muitos métodos que podem apoiar a resolução de tais problemas na área de manutenção, contudo, a análise multicritério parece ser a mais adequada para redes de distribuição de água, pois é uma técnica para estruturar e analisar decisões complexas, que apresenta consequências econômicas, sociais e de impacto ambiental (TROJAN; MORAIS, 2015).

Utilizar MCDM em otimizações na área de manutenção é útil porque geralmente envolvem objetivos conflitantes, como por exemplo maximizar a disponibilidade do sistema com o menor custo (DING; KAMARUDDIN, 2014).

### 1.3 ESTRUTURA DO TRABALHO

Esta seção tem como objetivo apresentar a estrutura geral deste trabalho, mostrando o que será apresentado em cada capítulo. O capítulo 1 apresentou as considerações iniciais sobre o assunto, a contextualização do problema, os objetivos e justificativa. O capítulo 2 apresenta os fundamentos teóricos com os principais conceitos e definições que apoiam a proposta da pesquisa. O capítulo 3 apresenta os métodos, assim como o capítulo 4, os resultados. O capítulo 5 apresenta as discussões dos resultados e o 6 as conclusões. A Figura 1 apresenta a estrutura do trabalho.

Figura 1: Estrutura do trabalho



Fonte: Autor

## 2 REFERENCIAL TEÓRICO

Este capítulo tem como propósito apresentar os fundamentos teóricos que serviram como de base para esta pesquisa. Inclui conceitos e discute assuntos relacionados ao saneamento básico, gestão de manutenção, priorização de manutenção e métodos multicritérios.

### 2.1 SANEAMENTO BÁSICO

Saneamento básico aborda ações de saúde pública em abastecimento de água, esgotamento sanitário, coleta e manejo de resíduos sólidos e drenagem de águas pluviais tendo como objetivo o controle de vetores e patógenos (RODRIGUES *et al.*, 2018).

A Lei Federal nº 11.445 de 5 de janeiro de 2007 estabelece diretrizes nacionais para o saneamento básico e prevê a universalização do acesso ao saneamento básico, a prestação de serviços de abastecimento de água, esgotamento sanitário, limpeza urbana e manejo dos resíduos sólidos realizados de formas adequadas à saúde pública e à proteção do meio ambiente, assim como que o serviço ocorra com segurança, qualidade e regularidade.

A determinação do governo não é cumprida, como mostra a pesquisa realizada pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE (2018) no qual estima-se que 85,8% dos domicílios brasileiros são abastecidos com água da rede geral de distribuição e que apenas 66,3% do total de domicílios possuem esgotamento sanitário.

Segundo Rodrigues *et al.* (2018), a gestão pública tem o dever de iniciar, incentivar e incrementar ações conjuntas de gestão ambiental e políticas ao saneamento básico. Para ele, o serviço público de saneamento minimiza os prejuízos ao bem-estar da população e garante a preservação da saúde.

Devido a insuficiência de recursos financeiros e humanos, há falta de monitoramentos e manutenção dos sistemas de saneamento básico. O fornecimento de recursos adequados a manutenção reduz os custos de longo prazo e impacta de maneira positiva os níveis de serviço. Além disso, manter o sistema em funcionamento protege o sistema de riscos de contaminação e do estresse nos tubos pela variação da pressão (ALBUQUERQUE, 2013).

Fatores importantes como a qualidade da operação e manutenção do sistema de saneamento e a concepção tecnológica dos sistemas têm um forte impacto nos resultados de saúde da população, isso é confirmado pela qualidade dos serviços nos países em desenvolvimento, no qual geralmente é mais precária (HELLER, 2009). Segundo Kwietniewski (2004), o parâmetro de confiabilidade é um dos mais básicos para avaliar a qualidade dos serviços de abastecimento de água.

O estudo realizado por Zuo e Gan (2009) mostrou que a China desenvolveu um banco de dados contendo informações sobre esgotos sanitários utilizando sistemas de informações geográficas (SIG). E usam câmeras móveis subterrâneas e outras ferramentas para coletar informações sobre o estado dos sistemas, o que ajuda a entender as condições operacionais de forma mais abrangente e, a planejar e implementar a manutenção da rede com mais eficiência.

## 2.2 MÉTODOS MULTICRITÉRIOS DE APOIO A DECISÃO

A tomada de decisão multicritério é definida como um caso no qual existem dois ou mais critérios conflitantes para os quais a decisão simultânea é necessária (SYAN; RAMSOOBAG, 2019). O tomador de decisão (DM) deve selecionar, priorizar ou classificar um número finito de alternativas (CHEN; HWANG, 1992).

Um método MCDM considera a estrutura de preferência de um tomador de decisão (DM) e envolve julgamento de valor. As preferências do DM são incorporadas ao modelo de decisão, a fim de apoiar a escolha da alternativa e, ao fazê-lo, os múltiplos critérios serão analisados simultaneamente (ALMEIDA *et al.*, 2015).

Os métodos MCDM foram projetados para designar uma alternativa preferida, classificar alternativas em categorias e / ou classificar alternativas em uma ordem de preferência subjetiva. MCDM é um termo genérico para todos os métodos que existem para ajudar as pessoas a tomar decisões de acordo com suas preferências, nos casos em que há mais de um critério conflitante (MARDANI *et al.*, 2015).

A vantagem do MCDM é que método aceita a inclusão de diversos objetivos no processo de tomada de decisão, esses objetivos são geralmente conflitantes. Objetivo conflitante é um objetivo de oposição resultante de diferenças percebidas. Ele é útil em otimizações de política de manutenção, já que geralmente envolvem objetivos conflitantes, como por exemplo maximizar a disponibilidade do sistema com o menor custo (DING; KAMARUDDIN, 2014).

Além do DM, no processo de tomada de decisão existe o analista de decisão no qual dará apoio metodológico ao DM em todas as etapas do processo de decisão, e trabalha no processo de estruturação do problema e na construção do modelo de decisão. E os chamados stakeholders, que tentam influenciar o comportamento do DM para obter um resultado satisfatório, em geral, essas partes interessadas são afetadas pela decisão que será tomada pelo DM (ALMEIDA *et al.*, 2015).

Ao adotar o MCDM, aspectos mais amplos, como segurança (pessoal, sistema e ambiente), valor agregado (inventário de peças de reposição, perda de produção e identificação de falhas) e viabilidade (aceitação por trabalhos, confiabilidade do método) podem ser utilizados para obter melhores resultados (DING; KAMARUDDIN, 2014).

Há divergência de opiniões quanto à escolha do método a ser utilizado, Guitouni e Martel (1998) afirmam que diferentes métodos MCDM produzirão diferentes recomendações, enquanto Hajkowicz e Higgins (2008) argumentam que é improvável que a classificação de alternativas de decisão mude notavelmente usando um método MCDM diferente, desde que os dados ordinais e cardinais sejam manipulados corretamente. Não existe um único método MCDM que possa ser um método superior a todos os problemas de tomada de decisão (ZARDARI *et al.*, 2015).

### 2.2.1 Classificação MCDM

Pode-se classificar os MCDM de diversas formas, pois, existem muitos métodos desenvolvidos para o tratamento de problemas que englobam múltiplos critérios.

Segundo Mulliner, Malys e Maliene (2016), pode-se considerar os MCDM, de acordo com a sua natureza, como:

- Compensatório: possibilitam permutações evidentes entre os critérios;
- Não-compensatório: tratam as alternativas em comparação com critérios individuais.

Roy (1996), propôs uma classificação dos MCDM de acordo com sua abordagem, dividindo-os em:

- Critério único de síntese: utiliza da agregação de diferentes parâmetros compensatórios sob diferentes avaliações em uma única função de síntese.

- Sobreclassificação ou *outranking*: opera a partir de comparações em pares para definições de preferências e superações entre as alternativas frente as características analisadas de natureza não-compensatória.
- Interativos: ferramentas computacionais usadas para buscar a solução de problemas discretos ou contínuos.

Existem duas abordagens principais no processamento de informações de critérios: modelos compensatórios e modelos não compensatórios (HWANG; YOON, 1981):

- Modelos compensatórios: permitem trocas entre os critérios. Ou seja, nesses modelos, as alterações em um critério podem ser compensadas por mudanças opostas em qualquer outro critério. Nos modelos compensatórios, geralmente é atribuído um único número a cada caracterização multidimensional que representa uma alternativa.
- Modelo não compensatório: esses modelos não permitem trocas entre os critérios. Uma desvantagem ou valor desfavorável em um critério não pode ser compensado por uma vantagem ou valor favorável em outro critério. Cada atributo deve ser independente. Portanto, as comparações são feitas critério a critério.

Exemplos de métodos compensatórios: *Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution* (TOPSIS) proposto por Hwang and Yoon (1981), *Multi-attribute Utility Theory* (MAUT) por Keeney e Raiffa (1976), *Analytic Hierarchy Process* (AHP) por Saaty (1980), *Simple Multi-Attribute Rating Technique* (SMART) por Edwards (1977), *Measuring Attractiveness by a Categorical-Based Evaluation Technique* (MACBETH) por Bana e Costa e Vansnick (1994), entre muitos outros. Para métodos não compensatórios, métodos como o *Preference Ranking Organization Method for Enrichment Evaluations* (PROMETHEE) por Brans (1982) e o *Elimination and Choice Expressing Reality* (ELECTRE) por Roy (1968).

A correta modelagem da situação problema é essencial para a construção do modelo. De acordo com Triantaphyllou (2000), todos os MCDM seguem três etapas: estabelecer os critérios e as alternativas do problema, quantificar a importância dos critérios e dos critérios sobre as alternativas e, processar os valores de cada alternativa para classificação.

Uma proposta apresentada por Almeida *et al.* (2015) descreve passos que podem ser seguidos para realizar o processo de tomada de decisão multicritério. Entre

eles estão: caracterização do DM e outros atores, identificação de objetivos, estabelecimento de critérios, estabelecimento do conjunto de ações e problemáticas, identificação do estado da natureza, modelagem de preferências, avaliação intra-critério, avaliação entre critérios, avaliação das alternativas, realização de uma análise de sensibilidade, elaboração de recomendações e implementação de ações.

Ackoff e Sasieni (1971) propõem as seguintes etapas para representação da solução problema: estruturação do problema; construção do modelo; solução do modelo; validação do modelo; e avaliação da solução.

### 2.2.2 Números *Fuzzy*

*Fuzzy Sets Theory* foi introduzido por Zadeh (1965) a fim de auxiliar no tratamento de imprecisão e incerteza no processo de tomada de decisão. E assim, permite a computação com palavras ao invés de números e, portanto, os termos linguísticos definidos por conjuntos difusos são intensamente utilizados em problemas da teoria da decisão para modelar informações incertas.

A tomada de decisão *fuzzy* multicritério (FMCDM) permite lidar com conhecimentos e informações incompletos e incertos. Quando os DM querem avaliar, julgar ou decidir, costumam usar uma linguagem natural na qual as palavras não têm um significado claro e definido. Como resultado, é necessário o uso de números *fuzzy* para expressar variáveis linguísticas, para descrever o julgamento subjetivo de um tomador de decisão de maneira quantitativa (NADABAN; DZITAC; DZITAC, 2016).

A combinação dos MCDM com os números *fuzzy* possibilita lidar com a incerteza dos dados através do uso de variáveis linguísticas para mensurar critérios qualitativos (CHEN, LIN e HUANG, 2006) e reduzir a incerteza das avaliações destes critérios na análise das alternativas (CHEN e KLEIN, 1997).

A teoria dos conjuntos *fuzzy*, por outro lado, é um meio perfeito para modelar a incerteza decorrente de fenômenos mentais que não são aleatórios nem estocásticos. A imprecisão pode vir de diferentes fontes, como por informação não quantificável, informações incompletas ou informações não obtidas (CHEN; HWANG, 1992).

Uma das abordagens para o tratamento das incertezas são os números *fuzzy* triangulares. O uso de número *fuzzy* triangular é intuitivamente fácil para os tomadores de decisão usarem e calcularem. Além disso, a modelagem usando números *fuzzy*

triangulares provou ser uma maneira eficaz de formular problemas de decisão em que as informações disponíveis são subjetivas e imprecisas. Em aplicações práticas, a forma triangular da função de associação é usada com mais frequência para representar números *fuzzy* (DAGDEVIREN; YAVUZ; KILINÇ, 2009).

Os números *fuzzy* possui muitas definições, como as estabelecidas por Zadeh (1965):

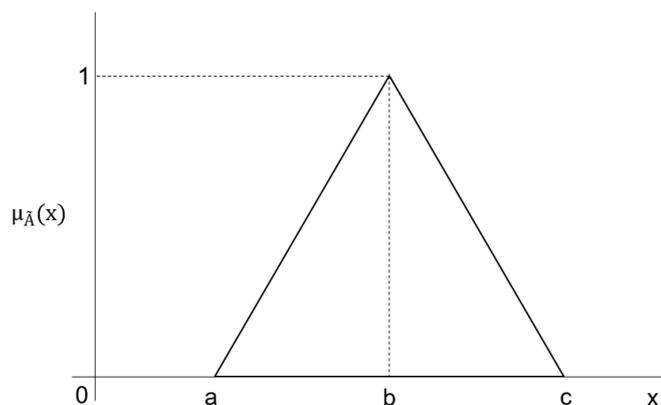
1. *Fuzzy set* – Considerando  $X$  como universo de discurso, um conjunto *fuzzy*  $\tilde{A}$  é dado pela função de associação  $\mu_{\tilde{A}}(x)$  que relaciona os elementos  $x$  em  $X$ , com um valor no intervalo  $[0,1]$ .
2. Número *fuzzy* – é um número com medida imprecisa, tratado como função de domínio  $[0,1]$ .

A abordagem de números *fuzzy* triangulares apresenta certa facilidade em termos de uso e cálculos. Um número *fuzzy* triangular  $\tilde{A}$  pode ser descrito por  $\tilde{A}(a,b,c)$ , sendo  $0 \leq a \leq b \leq c \leq 1$ , onde  $a$  é o valor do limite mínimo,  $b$  é o valor médio e  $c$  é o valor do limite máximo (TONG; PU; MA, 2019), com função de associação:

$$\mu_{\tilde{A}}(x) = \begin{cases} 0, & x \leq a \\ \frac{x-a}{b-a}, & a < x \leq b \\ \frac{c-x}{c-b}, & b < x \leq c \\ 0, & x > c \end{cases} \quad (1)$$

O diagrama de distribuição de números *fuzzy* triangular é apresentado na Figura 2.

Figura 2: Números *fuzzy* triangular



Fonte: Adaptada de Tong, Pu e Ma (2019)

3. Sendo  $\tilde{A}_1 (a_1, b_1, c_1)$  e  $\tilde{A}_2 (a_2, b_2, c_2)$  números triangulares *fuzzy*, então:

(a)  $\tilde{A}_1 \oplus \tilde{A}_2 = [a_1 + a_2, b_1 + b_2, c_1 + c_2]$

(b)  $\tilde{A}_1 \ominus \tilde{A}_2 = [a_1 - c_2, b_1 - b_2, c_1 - a_2]$

(c)  $\tilde{A}_1 \otimes \tilde{A}_2 \cong [a_1 * a_2, b_1 * b_2, c_1 * c_2]$

(d)  $\tilde{A}_1 \oslash \tilde{A}_2 \cong [a_1/c_2, b_1/b_2, c_1/a_2]$

(e)  $k\tilde{A} = [ka, kb, kc], k \in \mathbb{R}$

(f)  $-\tilde{A} = (-c, -b, -a)$

(g)  $1/\tilde{A} = (\frac{1}{c}, \frac{1}{b}, \frac{1}{a})$

4. Considerando  $\tilde{A}_1$  e  $\tilde{A}_2$ , calcula-se a distância entre os dois números triangulares *fuzzy* através da equação da distância Euclidiana:

$$d(\tilde{A}_1, \tilde{A}_2) = \sqrt{\frac{1}{3} [(a_1 - a_2)^2 + (b_1 - b_2)^2 + (c_1 - c_2)^2]} \quad (2)$$

### 2.2.3 Ponderação de Pesos pelo Método SWARA

Antes de realizar ponderação dos critérios é preciso definir bons atributos. Keeney e Gregory (2005) descrevem cinco propriedades para bons atributos, são as seguintes: não ambíguo; abrangente, direto; operacional e compreensível. E entre essas propriedades existem várias inter-relações.

O peso atribuído aos critérios no método de avaliação multicritério é um passo importante, pois os resultados finais do método de decisão multicritério dependem em grande parte desses pesos. O objetivo principal de um método de ponderação é anexar valores cardinais ou ordinais a diferentes critérios para indicar sua importância relativa em um método de tomada de decisão com múltiplos critérios. Então, esses valores são usados pelo método MCDM na avaliação subsequente das alternativas (ZARDARI *et al.*, 2015).

Os métodos de ponderação de pesos subjetivos determinam os pesos dos critérios com base nas preferências dos tomadores de decisão, eles explicam o processo mais claramente e são os mais utilizados para o MCDM na gestão de recursos hídricos. Enquanto os métodos objetivos são obtidos por métodos matemáticos baseados na análise de dados iniciais (ZARDARI *et al.*, 2015).

O método SWARA (Stepwise Ratio Weight Assessment Ratio Analysis) elaborado por Kersulienė, Zavadskas e Turskis (2010) é um dos métodos mais recentes de avaliação e ponderação para critérios de decisão, sua característica principal é a capacidade de estimar opinião de especialistas ou grupos de interesse sobre a importância relativa dos critérios no processo de determinação de seus pesos.

O método SWARA se diferencia de outros métodos de avaliação de pesos, como AHP (SAATY, 1980), ANP (SAATY, 2001), FARE (GINEVICIUS, 2011), BWM (REZAEI, 2015), entropia (SHANNON, 1948) e KEMIRA (KRYLOVAS *et al.*, 2014) porque ele apresenta uma ferramenta inovadora no qual o critério mais significativo é o de classificação 1 como o melhor, enquanto o critério mais trivial é classificado como o último (ZOLFANI; YAZDANI; ZAVADSKAS, 2018).

Outro diferencial, o número de comparações necessárias no método SWARA é significativamente menor que o método AHP, o que o torna mais atraente (GHORABAEI *et al.*, 2018). Um benefício desse método é observado em sua capacidade de avaliar as ideias dos especialistas e estimar a razão de importância relevante de cada critério (KERSULIENE; ZAVADSKAS; TURSKIS, 2010; ZOLFANI; SAPARAUSKAS, 2013).

O método SWARA se beneficia do conhecimento implícito de especialistas de uma maneira mais eficaz ao usar seu valor medíocre de classificações (KERSULIENE; TURSKIS, 2011). O SWARA é uma abordagem poderosa que auxilia os tomadores de decisão e gerentes a priorizar os critérios considerando os desafios de sustentabilidade (ZARBAKHSHNIA; SOLEIMANI; GHADERI, 2018).

O método SWARA oferece aos tomadores de decisão a chance de selecionar sua prioridade com base na situação atual do ambiente e da economia. Nesse método, o especialista tem um papel importante nas avaliações e no cálculo dos pesos. O SWARA foi desenvolvido para identificar a importância dos critérios e pesos relativos de cada critério. Além disso, o método SWARA é simples e os especialistas podem trabalhar juntos facilmente (ZOLFANI; SAPARAUSKAS, 2013).

O SWARA oferece as seguintes vantagens em relação a outras ferramentas de ponderação (ZOLFANI; YAZDANI; ZAVADSKAS, 2018):

- (1) lida com a capacidade de estimar a opinião de especialistas sobre a proporção de importância dos critérios no processo de determinação de peso;
- (2) é útil para coordenar e coletar dados de especialistas;

(3) é descomplicado, fácil de usar, direto e especialistas podem facilmente trabalhar juntos, e;

(4) ele considera as prioridades de problemas com base nas políticas das empresas.

Ighravwe e Oke (2019) utilizaram o método SWARA para ponderar os pesos de um determinado conjunto de critérios em um trabalho que objetivava selecionar a estratégia de manutenção mais adequada à prédios públicos.

Valipour *et al.* (2019) apresentaram uma abordagem híbrida de SWARA-COPRAS para realizar de maneira adequada a priorização na gestão de riscos em projetos de empresas de água e saneamento.

Zolfani e Bahrami (2014) também utilizaram a abordagem híbrida de SWARA-COPRAS, mas para priorizar investimentos em indústrias de alta tecnologia, no qual o método SWARA empregado para avaliação e ponderação de critérios.

O procedimento para a determinação de pesos pelo método SWARA como análise matemática por etapas pode ser expresso da seguinte forma (ZAVADSKAS *et al.*, 2018):

Passo 1: Os critérios são classificados e ordenados com base na opinião dos especialistas.

Passo 2: A partir do segundo critério, o valor da importância comparativa  $S_j$  do critério deve ser feita da seguinte forma:  $j$  em relação ao critério anterior ( $j - 1$ ).

Passo 3: Determinar o parâmetro  $k_j$  como segue:

$$k_j = \begin{cases} 1, & j = 1 \\ S_j + 1, & j > 1 \end{cases} \quad (3)$$

Passo 4: Determinar o peso relativo  $q_j$  da seguinte maneira:

$$q_j = \begin{cases} 1, & j = 1 \\ \frac{q_{j-1}}{k_j}, & j > 1 \end{cases} \quad (4)$$

Passo 5: Calcular os pesos dos critérios com a soma igual a um:

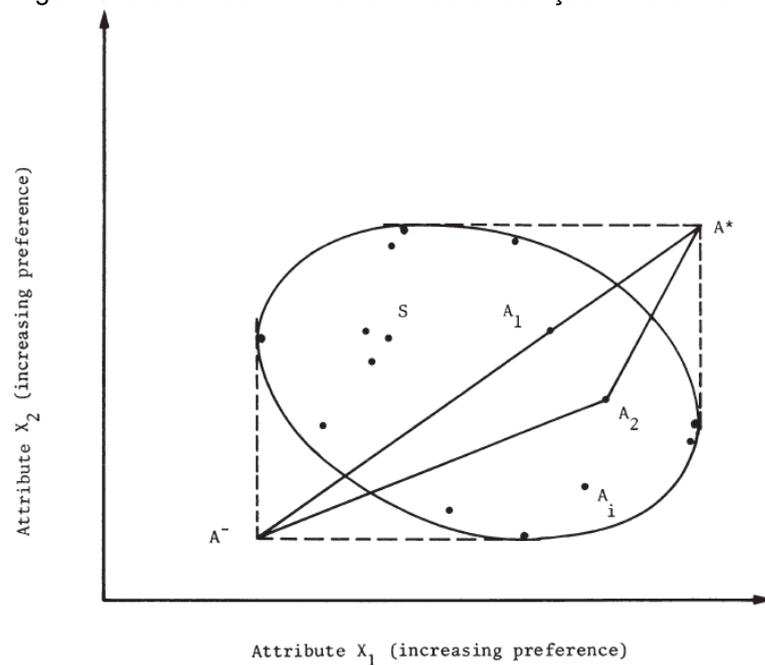
$$w_j = \frac{q_j}{\sum_{j=1}^n q_j} \quad (5)$$

onde  $w_j$  representa o valor do peso relativo do critério  $j$ .

### 2.2.4 Fuzzy TOPSIS

*Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution* (TOPSIS) foi desenvolvido por Hwang and Yoon (1981). É um método MCDM para resolver problemas no qual determina a melhor solução como aquela que apresenta a menor distância geométrica entre os critérios para a solução ideal positiva (*Positive Ideal Solution* - PIS), bem como a distância geométrica mais distante da solução ideal negativa (*Negative Ideal Solution* - NIS) (HWANG E YOON, 1981; VELASQUEZ, E HESTER, 2013). A Figura 3 apresenta as distâncias euclidianas das possíveis alternativas em relação a solução PIS e NIS, dentro do círculo estão as possíveis soluções (S), cada alternativa é representada por um ponto ( $A_1, A_2, \dots, A_i$ ),  $A^+$  e  $A^-$  representam a PIS e NIS respectivamente, para assim calcular as distâncias das alternativas às soluções ideal e anti-ideal.

Figura 3: Distâncias euclidianas entre as soluções PIS e NIS



Fonte: Hwang e Yoon (1981)

O método TOPSIS assume que cada critério tem uma tendência de aumentar ou diminuir a utilidade de maneira monótona. Portanto, é fácil definir soluções ideais e negativas ideais. A abordagem da distância euclidiana foi proposta para avaliar a proximidade relativa das alternativas à solução ideal. Assim, a ordem de preferência das alternativas pode ser derivada por uma série de comparações dessas distâncias relativas (TRIANANTAPHYLLOU, 2000).

A lógica TOPSIS é usada para a solução ideal para maximizar os benefícios e minimizar os custos. Em resumo, as soluções ideais positivas são os melhores valores atingíveis em todos os critérios; enquanto isso, a solução ideal negativa está compondo todos os piores valores possíveis dos critérios de decisão (HUSIN *et al.*, 2019).

O TOPSIS é classificado como um método de critério único de síntese, no qual utiliza lógica de critérios compensatórios e é utilizado para seleção e priorização de alternativas, já que sua aplicação é considerada simples e possibilitar a análise de diversos critérios e alternativas (FERREIRA *et al.*, 2018). Os métodos de critério único de síntese possibilitam a utilização de critérios qualitativos e quantitativos, no qual os critérios quantitativos podem ser mensurados e os critérios qualitativos relacionam-se a perspectiva subjetiva do decisor (MULLINER, SMALLBONE e MALIENE, 2013).

O TOPSIS tem sido usado no gerenciamento da cadeia de suprimentos, sistemas de design, engenharia e manufatura, gerenciamento de negócios e marketing, gerenciamento ambiental, gerenciamento de recursos humanos e gerenciamento de recursos hídricos. A sua vantagem está na simplicidade e na capacidade de manter a mesma quantidade de etapas, independentemente do tamanho do problema, o que permitiu que ele fosse utilizado rapidamente para revisar outros métodos ou se sustentar como uma ferramenta de tomada de decisão (VELASQUEZ E HESTER, 2013).

A combinação de *fuzzy* ao TOPSIS, por sua vez, torna possível modelar a imprecisão e a incerteza das avaliações dos decisores quanto aos critérios (TAN *et al.*, 2010). O *Fuzzy* TOPSIS resolve a incerteza inerente ao problema de seleção de política de manutenção (SIEW-HONG E KAMARUDDIN, 2012).

Segundo Wang e Chang (2007), a abordagem *fuzzy* TOPSIS é utilizada por quatro razões:

- a) Lógica TOPSIS é racional e compreensível;
- b) Os processos de computação são diretos;
- c) O conceito permite a busca de melhores alternativas para cada critério descrito de forma matemática simples, e;
- d) Os pesos de importância são incorporados nos procedimentos de comparação.

Dessa forma, o *fuzzy* TOPSIS é empregado para alcançar os resultados finais de ranking, já que evita um número excessivamente grande de comparações par a par.

Selim, Yunusoglu e Balaman (2015) utilizou o TOPSIS por considerar sua praticidade, pelo conceito racionalmente compreensível e pela alta eficiência computacional. E a combinação com *fuzzy* para tratar a incerteza no problema de planejamento de manutenção. Singh *et al.* (2016) identificou as principais barreiras no gerenciamento da manutenção e empregou o método TOPSIS para ranquear as estratégias mais efetivas.

Ouma, Opudo e Nyambenya (2015) utiliza o método AHP e *fuzzy* TOPSIS para priorizar manutenções no pavimento de rodovias. Ele realiza essa integração dos métodos porque segundo ele o TOPSIS não considera a correlação de atributos e dificulta a determinação dos pesos dos atributos de decisão.

Ighravwe e Oke (2017b) realiza um ranking de estratégias sustentáveis de manutenção em um sistema de manufatura utilizando *fuzzy axiomatic design* e *fuzzy* TOPSIS. Kirubakaran e Ilangkumaran (2015) seleciona a melhor estratégia de manutenção baseada na integração de ANP com o GRA-TOPSIS. Kirubakaran e Ilangkumaran (2016) também propõe a seleção da melhor estratégia de manutenção integrando *fuzzy* AHP ao GRA-TOPSIS.

As etapas para aplicação do método TOPSIS em conjunto com Números Triangulares *Fuzzy* segue a proposta de Chen (2000) e Singh e Benyoucef (2011):

1ª etapa: Com a matriz de decisão criada, deve-se construir a matriz de decisão *fuzzy*, através da transformação das siglas dadas aos critérios em seus respectivos números triangulares *fuzzy*.

2ª etapa: No caso de múltiplos decisores, é necessário agregar as matrizes de decisão de cada decisor. Conforme Yazdani *et al* (2017), a matriz de decisão *fuzzy* agregada poder ser calculada considerando  $\tilde{X}_{ij} = (a_{ij}, b_{ij}, c_{ij})$ , onde:

$$a = \text{Min}\{a_k\}; b = \frac{1}{n} \sum_{k=1}^n b_k; c = \text{Max}\{c_k\} \quad (6)$$

3ª etapa: Normalização da Matriz *Fuzzy* para que os números triangulares *fuzzy* pertençam ao intervalo  $[0, 1]$ , para obter a Matriz *Fuzzy* Normalizada:

$$\tilde{R} = [\tilde{r}_{ij}]$$

A partir dos seguintes cálculos para os critérios de benefício (B) e custo (C), respectivamente:

$$\tilde{r}_{ij} = \left( \frac{a_{ij}}{c_j^+}, \frac{b_{ij}}{c_j^+}, \frac{c_{ij}}{c_j^+} \right), j \in B \quad (7)$$

$$\tilde{r}_{ij} = \left( \frac{a_j^-}{c_{ij}}, \frac{a_j^-}{b_{ij}}, \frac{a_j^-}{a_{ij}} \right), j \in C \quad (8)$$

onde:

$\tilde{r}_{ij}$  = Matriz *fuzzy* normalizada

$c_j^+ = \max_i c_{ij}$ , se  $j \in B$ ; e

$a_j^- = \min_i a_{ij}$ , se  $j \in C$ .

4ª etapa: Ponderar a Matriz *Fuzzy* Normalizada, através do peso de cada critério calculado pelo método SWARA representado sob a perspectiva de número triangular *fuzzy*:

$$X_{ij} = (a_{ij}, b_{ij}, c_{ij})$$

onde:

$X_{ij}$  = Variáveis linguísticas

$a, b, c$  = Números triangulares *fuzzy* ( $i, j = 1, 2, \dots, n$ )

A equação para a obtenção da Matriz *Fuzzy* Normalizada Ponderada,  $\tilde{V} = [\tilde{v}_{ij}]_{m \times n}$ , onde  $i = 1, 2, \dots, m$ ;  $j = 1, 2, \dots, n$ , é dada por:

$$\tilde{v}_{ij} = \tilde{r}_{ij} * X_{ij} \quad (9)$$

5ª etapa: Definir a solução ideal *fuzzy* (FPIS,  $A^+$ ) e a solução anti-ideal *fuzzy* (FNIS,  $A^-$ ), de acordo com:

$$A^+ = (\tilde{v}_1^+, \tilde{v}_2^+, \dots, \tilde{v}_j^+) \quad (10)$$

$$A^- = (\tilde{v}_1^-, \tilde{v}_2^-, \dots, \tilde{v}_j^-) \quad (11)$$

onde:

$\tilde{v}_j^+ = \max_i v_{ij}$ ; e

$\tilde{v}_j^- = \min_i v_{ij}$

para  $i = 1, 2, \dots, m$ ;  $j = 1, 2, \dots, n$ .

Neste caso, considera-se  $\tilde{v}_j^+ = (1,1,1)$  como a solução ideal e  $\tilde{v}_j^- = (0,0,0)$  como a solução anti-ideal para  $j = 1,2, \dots, n$ .

6ª etapa: Determinar as distâncias das alternativas até a FPIS e a FNIS, conforme:

$$d_i^+ = \sum_{j=1}^n d_v(\tilde{v}_{ij}, \tilde{v}_j^+) \quad (12)$$

$$d_i^- = \sum_{j=1}^n d_v(\tilde{v}_{ij}, \tilde{v}_j^-) \quad (13)$$

para  $i = 1,2, \dots, m; j = 1,2, \dots, n$ .

onde:

$d_v(\cdot, \cdot)$  é a distância entre dois números *fuzzy*, calculado pela equação (2);

$d_i^+$  é a distância de  $A_i$  até FPIS; e

$d_i^-$  é a distância de  $A_i$  até FNIS.

7ª etapa: Calcular o coeficiente de proximidade ( $CC_i$ ) para cada alternativa, de acordo com:

$$CC_i = \frac{d_i^-}{d_i^+ + d_i^-}, i = (1,2, \dots, m) \quad (14)$$

Quanto mais próximo de 1 o valor de  $CC_i$ , mais próximo de FPIS e mais distante de FNIS a alternativa se encontra.

8ª etapa: Ordenar os  $CC_i$  das alternativas em ordem decrescente.

## 2.3 GESTÃO DA MANUTENÇÃO E CRITÉRIOS DE PRIORIZAÇÃO

Esta seção apresenta conceitos e definições de manutenção, assim como pesquisas realizadas na área envolvendo priorização de atividades, de falhas, seleção de estratégias de manutenção e, critérios relevantes utilizados nas recentes pesquisas.

A manutenção é definida como uma combinação de atividades para reter ou restaurar um componente em um estado no qual ele possa executar suas funções designadas (DHILLON, 2002). Manutenção é uma combinação de atividades destinadas a restaurar ativos ou mantê-los em seu estado original (EMOVON, NORMAN; MURPHY, 2018).

O objetivo da manutenção é maximizar a disponibilidade do equipamento em uma condição operacional que permita a quantidade e a qualidade desejadas (PINTELO; GELDERS, 1992). Os programas de manutenção precisam ser desenvolvidos para garantir que os ativos físicos continuem a cumprir suas funções pretendidas com um gasto mínimo de recursos (TSANG, 1995).

O planejamento ineficiente de manutenção pode reduzir o desempenho dos sistemas, tendo como resultado longos períodos de inatividade, altos custos e indução de falhas no sistema devido a erros cometidos durante intervenções de manutenção (ALMEIDA; FERREIRA; CAVALCANTE, 2015).

Uma estratégia de manutenção adequada não apenas atenua a probabilidade de falha do equipamento, mas também melhora a condição de trabalho. Falhas inesperadas podem resultar em custos substanciais de reparo ou substituição, perdas significativas de produção e riscos de segurança, como danos humanos e ambientais (SHAFIEE, 2015).

A manutenção é reconhecida como uma questão estratégica na organização. Os desenvolvimentos que contribuíram para essa mudança incluem: preocupações ambientais, questões de segurança, fatores de garantia e responsabilidade, assuntos regulatórios, instalações e equipamentos antigos, redução de custos e similares (TSANG, 1995).

Manutenção corretiva (CM) é uma das políticas de manutenção pelas quais ações de manutenção, como reparo ou substituição, são executadas em um sistema para restaurá-lo ao funcionamento necessário após a falha (PAZ; LEIGH, 1994). Essa é uma abordagem reativa para manutenção porque a ação é acionada pelo evento não programado de uma falha de equipamento (TSANG, 1995).

A manutenção corretiva ocorre porque embora todos os esforços sejam feitos para tornar os sistemas de engenharia tão confiáveis quanto possível através de projetos, manutenções preventivas e assim por diante, de tempos em tempos eles falham (DHILLON, 2002).

A manutenção preventiva foi introduzida após o reconhecimento da necessidade de evitar falhas. O princípio básico de um sistema de manutenção preventiva é aquele que envolve tarefas de manutenção predeterminadas que são derivadas das funcionalidades da máquina ou equipamento e da vida útil dos componentes. Assim, as tarefas são planejadas para alterar os componentes antes

que eles falhem e sejam programados durante as paralisações ou desligamentos da máquina (BASRI *et al.*, 2017).

Manutenção preventiva é a manutenção programada necessária para manter os itens em uma condição específica. Tarefas realizadas na manutenção preventiva incluem, por exemplo, inspeções periódicas, monitoramento de condições, substituições de itens críticos e requisitos de calibração e manutenção, como lubrificação e abastecimento (PAZ; LEIGH, 1994).

A manutenção preditiva é uma técnica que visa a reparação ou a substituição antes do colapso. Isso é feito com análise de monitoramento de máquinas, a fim de prever falhas em tempo suficiente para permitir que os reparos sejam feitos no momento mais adequado (PAZ; LEIGH, 1994).

Ela é um avanço da manutenção preventiva. Na manutenção preditiva, falhas repetitivas ou de alto risco são estudadas usando dados históricos no qual detalham as ocorrências de falhas operacionais de uma máquina e, em seguida, a manutenção é realizada durante sua operação, com base na condição do componente monitorado (BASRI *et al.*, 2017).

Análise de vibração, varredura infravermelha e instrumentos digitais de medição de temperatura são exemplos de ferramentas preditivas que podem ser usadas para determinar se um processo está se deslocando de seu padrão normal de variação (PAZ; LEIGH, 1994).

Em resumo, a manutenção preventiva e preditiva são abordagens de manutenção proativas e têm objetivos semelhantes, mas a manutenção preventiva é programada usando a teoria da confiabilidade ou dados históricos em máquinas semelhantes (PAZ; LEIGH, 1994). Assim como a manutenção preventiva é realizada enquanto a máquina está parada, e a manutenção preditiva é realizada enquanto a máquina continua em operação (BASRI *et al.*, 2017).

Um estudo realizado por Almeida, Ferreira e Cavalcante (2015) sobre o uso de método multicritérios na manutenção apontou que a maioria dos trabalhos realizados estão relacionados a manutenção preventiva (22,6%) e apenas 1,6% desses trabalhos realizam priorização de falhas. Esse mesmo estudo apresentou que quase metade dos trabalhos selecionados utilizam dois critérios, em torno de 30% utilizam três critérios, e os demais utilizam quatro ou mais.

Almeida, Ferreira e Cavalcante (2015) também mencionou quais os termos de critérios mais comumente utilizados nos estudos por eles pesquisados, entre eles, os principais são custos e confiabilidade. A Tabela 1 apresenta os critérios.

Sempre há uma variedade de critérios que podem ser levados em consideração ao selecionar estratégias de manutenção. Alguns desses critérios são quantitativos e mensuráveis (como custos de hardware, software e treinamento, confiabilidade e disponibilidade do equipamento), e outros são qualitativos e difíceis de medir (como segurança, flexibilidade, aceitação, qualidade). Outra forma de classificar os critérios pode ser no âmbito econômico, técnico, social e ambiental (SHAFIEE, 2015).

Tabela 1: Termos de critérios utilizados em manutenção

<b>Termos para critérios</b>	<b>Número de estudos</b>	<b>Representatividade (%)</b>
Custo	127	68,3
Confiabilidade	70	37,6
Disponibilidade	32	17,2
Tempo	22	11,8
Peso	15	8,1
Segurança	9	4,8
Risco	5	2,7

Fonte: Almeida, Ferreira e Cavalcante (2015)

No estudo realizado por Syan e Ramsoobag (2019) para problemas de manutenção, mais de 100 critérios diferentes foram observados em aplicações anteriores. O mais comum, com 61,3% de todas as aplicações consideradas, é custo. Seguido por disponibilidade com 28% e confiabilidade com 26%. Também foi observado que muitos dos critérios eram de natureza específica em relação à aplicação.

Escolher o tipo de estratégia de manutenção mais adequado para sistemas complexos requer vários critérios de decisão conflitantes que devem ser levados em consideração, como custo, confiabilidade, disponibilidade e segurança, o que torna a

análise de problemas de seleção da estratégia de manutenção crítica e complexa (EMOVON; NORMAN; MURPHY, 2018).

Lazakis, Turan e Olcer (2012) desenvolveu uma metodologia de seleção de estratégia de manutenção baseada em *Fuzzy* TOPSIS. O modelo propôs a comparação entre as estratégias de manutenção corretiva, preventiva e preditiva, dispondo de critérios de decisão, entre eles: custo de manutenção, eficiência/eficácia, confiabilidade do sistema, compromisso de gestão, treinamento, investimento, inventário de peças de reposição e perda de operação.

FMEA é uma técnica sistemática que é usada para análise de risco de sistemas complexos, identificando possíveis falhas futuras e sua priorização. A identificação de risco usando o FMEA é uma abordagem proativa que pode reduzir a perda de instalações, monetária e humana em caso de futura falha catastrófica. A abordagem do FMEA está sujeita a limitações intrínsecas, ela é uma atividade de grupo que depende da experiência, conhecimento e preferência da equipe multidisciplinar de especialistas. Há sempre uma chance de erro ou preconceito no julgamento que pode levar à incerteza (PANCHAL; SRIVASTAVA, 2019).

Uma versão mais detalhada do FMEA é conhecida como: FMECA (modo de falha, efeitos e análise de criticidade), onde três critérios são geralmente definidos para calcular o RPN (Risk Priority Number): severidade (S), ocorrência (O) e detectabilidade (D). Estes três critérios definem o RPN (Risk Priority Number) dado pela equação 15 (ALMEIDA *et al.*, 2015).

$$RPN = S \times O \times D \quad (15)$$

Diversos estudos combinam análises de confiabilidade e métodos de tomada de decisão multicritério para otimizar as atividades de manutenção de sistemas complexos. Geralmente é utilizado o método do FMEA para identificar as falhas e os métodos multicritérios servem para priorizar as ações de manutenção para as falhas identificadas.

Carpitella *et al.* (2018a) utilizou FMECA (modo de falha, efeitos e análise de criticidade) combinado com AHP para determinação de pesos e *Fuzzy* TOPSIS para classificar modos de falha previamente já identificados em um caso real para manutenção de veículos que realizam limpezas nas ruas.

O quadro 1 sintetiza estudos que utilizaram a combinação de FMEA e multicritério para priorizar falhas.

Quadro 1: Estudos híbridos entre FMEA e multicritério

Autores	Métodos	Critérios	Setor
Braglia (2000)	FMECA, AHP	C1 – Chance de falha; C2 – Chance de não detecção; C3 – Gravidade da falha; C4 – custo esperado.	Empresa de fabricação de refrigeradores
Liu <i>et al.</i> (2015)	FMEA, VIKOR, DAMATEL, AHP	C1 – Ocorrência; C2 - Detecção normal; C3 – Severidade.	Sistema de motor a diesel
Selim, Yunusoglu e Balaman (2015)	FMEA; <i>Fuzzy</i> TOPSIS	C1 - Ocorrência; C2 - Detecção; C3 - Severidade; C4 - Tecnologia atual; C5 - Substituibilidade; C6 - Capacidade de utilização; C7 - Contribuição para o lucro.	Indústria Alimentícia
Certa <i>et al.</i> (2017)	FMECA, ELECTRE TRI	C1 – Ocorrência; C2 - Detecção normal; C3 – Severidade.	Industrial de manufatura
Carpitella <i>et al.</i> (2018a)	FMECA; AHP; <i>Fuzzy</i> TOPSIS	C1 - Tempo de Operação; C2 - Modalidade da execução; C3 - Frequência da ocorrência.	Veículo de limpeza de ruas
Hu <i>et al.</i> (2018)	FMEA, GRA-TOPSIS	C1 – Ocorrência; C2 - Detecção normal; C3 – Severidade.	Saúde
Liu <i>et al.</i> (2018)	FMEA, cluster, entropia.	C1 – Ocorrência; C2 - Detecção normal; C3 – Severidade.	Saúde
Ghoushchi, Yousefi e Khazaeili (2019)	FMEA; BWM; ZMOORA	C1 – Ocorrência; C2 – Detecção; C3 – Severidade.	Indústria automotiva de peças de reposição
Gugaliya, Boral e Naikan (2019)	FMECA; AHP; ERVD	C1 – Ocorrência; C2 - Detecção normal; C3 – Severidade. C3.1 -Segurança; C3.2 – Saúde; C3.3 - Meio Ambiente; C3.4 - Intervalo P/F; C3.5 - Custo de reparação; C3.6 - Perda de produção; C3.7 - Idade do equipamento	Planta de motores de indução
Panchal e Srivastava (2019)	FMEA; GRA	C1 – Ocorrência; C2 – Não detecção; C3 – Severidade.	Sistema de distribuição de gás natural comprimido

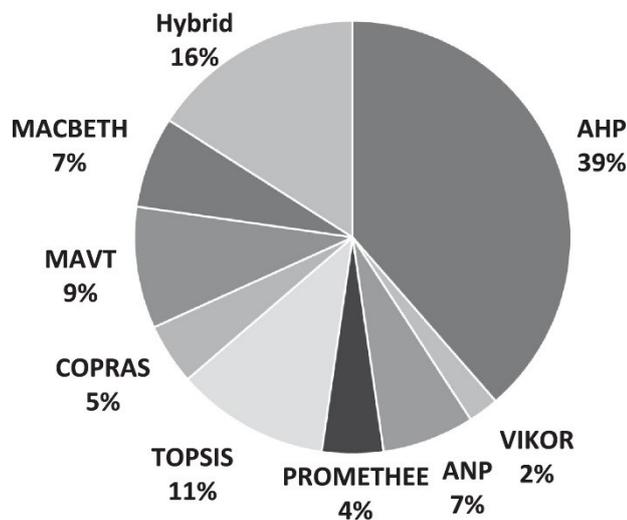
Fonte: Autor

### 2.3.1 Gestão Da Manutenção Com Utilização De Métodos Multicritério Para Apoiar Decisões

Na gestão da manutenção, as alternativas mais comumente aplicadas são um conjunto discreto de estratégias de manutenção, dentre elas a manutenção preventiva, manutenção corretiva, manutenção baseada em condições, e ações de frequência de manutenção, incluindo decisões de reparo, substituição e inspeção (SYAN; RAMSOOBAG, 2019).

Para as aplicações de seleção de estratégias de manutenção, as técnicas específicas e a porcentagem de publicações utilizadas são ilustradas na Figura 4. Pode-se observar que 39% das aplicações são abordadas usando AHP, 11% TOPSIS, 9% MAVT, 7% MACBETH, 7% ANP. A técnica multicritério mais amplamente aplicada para resolver problemas de seleção de estratégia é AHP (SYAN; RAMSOOBAG, 2019).

Figura 4: Ferramentas e técnicas específicas do MCDM aplicadas a problemas de seleção de estratégias de manutenção



Fonte: Syan e Ramssoobag, 2019

Erdogan e Kaya (2019) priorizaram falhas de manutenção corretiva no setor de transportes utilizando uma metodologia híbrida de Delphi, AHP e TOPSIS estocástico. A utilização de MCDM é apropriada para priorização de falhas com incertezas.

Husin *et al.* (2019), por exemplo, adotou o método MCDM para simplificar e aprimorar os procedimentos de avaliação de risco do FMECA tradicional, utilizou *fuzzy*

TOPSIS para resolver o problema da classificação de variáveis de risco, integrando conceitos difusos relacionados a variáveis linguísticas para resolver o problema.

Senthilkannan e Parameshwaran (2019) utilizaram uma abordagem mista de FMEA, Delphi, *fuzzy* AHP e *fuzzy* TOPSIS para identificar e priorizar falhas em uma indústria de papel. Piechnicki, Sola e Trojan (2015) aplicaram o método AHP para priorizar os fatores críticos de sucesso para a implementação do TPM (*total productive maintenance*). Mohamed e Saad (2016) aplicaram o método *fuzzy* AHP para selecionar políticas de manutenção na indústria de petróleo.

Cavalcante e Lopes (2015) utilizaram o método MAVT (*multi-attribute value theory*) para selecionar quais tarefas de manutenção necessitavam ser realizadas dentro de uma política de manutenção oportunista aplicada a um sistema de cogeração, no qual foram considerados mais de um critério de decisão. As políticas incluíam reparos mínimos, manutenção oportunista, manutenção preventiva, disponibilidade e custo.

Ozcan, Unlusoy e Eren (2017) combinaram TOPSIS e AHP para resolver o problema de seleção de estratégias de manutenção em usinas hidrelétricas, e atingiram uma melhoria de cerca de 77% nas paralisações após a implementação do método em relação ao período em que a empresa executava uma estratégia de manutenção inadequada.

El Kfita e Drissi-Kaitouni (2018) realizou a combinação de *fuzzy* DEMATEL e ANP (*analytic network process*) para realizar a gestão da manutenção e assim aumentar a disponibilidade da frota de veículos. Rastegari e Mobin (2016) utilizaram TOPSIS para auxiliar a gestão da manutenção e considerou os critérios de frequência de paradas, tempo de inatividade e custo de reparo.

Abdulgader, Eid e Rouyendegh (2018) empregou um método híbrido *fuzzy* DEMATEL-AHP-TOPSIS para escolher a melhor política e estratégia de manutenção para instalações industriais. Os critérios considerados foram segurança, custo, confiabilidade, disponibilidade, viabilidade e valor agregado.

Bertolini e Bevilaqua (2006) aplicaram a programação de metas em conjunto com AHP para decidir sobre uma ótima estratégia de manutenção para dez bombas em uma refinaria italiana. As bombas foram segmentadas de acordo com seus modos de falha efetivos e a estratégia relevante selecionada.

Ighravwe e Oke (2017a) aplicam uma técnica de *fuzzy* entropia e PROMETHEE para ranquear estratégias de manutenção sustentáveis em um sistema

de produção de cimento. Pode-se notar a grande utilização de métodos multicritérios para resolver problemas de manutenção que envolvem diversos critérios.

### 2.3.2 Gestão da Manutenção em Saneamento

Em uma rede de abastecimento de água ocorrem diversos problemas que envolvem diversas partes interessadas na análise de tomada de decisões complexas, como controle de perdas físicas e econômicas, desperdício e falta de um plano de manutenção. Assim, muitos estudos e modelos foram desenvolvidos para apoiar a tomada de decisão a fim de reduzir a exploração desnecessária da água e as perdas nas redes de distribuição de água (TROJAN; MORAIS, 2015).

Monte e de Almeida-Filho (2016) propõe um modelo de decisão multicritério baseado no MAUT para o planejamento da manutenção preventiva em sistemas de distribuição de água para comunidades de baixa renda. E considera que, além dos custos, outro objetivo é manter o sistema disponível.

Pietrucha-urbanik e Tchórzewska-cieślak (2018) utilizaram AHP para priorizar os riscos de falha em uma rede de distribuição de água. Trojan e Morais (2012) combinaram o método ELECTRE II e COPELAND para priorizar alternativas para a manutenção de redes de distribuição de água com o objetivo de reduzir custos e perdas de água.

Carpitella *et al.* (2018b) otimizaram o gerenciamento de manutenção de sistemas de abastecimento de água priorizando imagens de radar de penetração no solo (GPR) a fim de evitar possíveis falhas no sistema. Para tanto, foi utilizado *fuzzy* AHP e ELECTRE III.

Para evitar maiores consequências por falhas nas tubulações de esgoto, Vladeanu e Matthews (2018) aplicaram o método AHP para priorizar ações de manutenção de forma mais eficiente, levando em consideração o âmbito econômico, social e ambiental. Salehi, Ghazizadeh e Tabesh (2017) priorizaram os planos de reabilitação de rede de água utilizando o método *fuzzy* TOPSIS.

Heller, von Sperling e Heller (2009) priorizaram a qualidade tecnológica dos serviços de saneamento prestados por 4 municípios por indicadores de desempenho que são analisados sob o método TOPSIS. Vladeanu e Matthews (2019) utilizaram AHP para avaliar as consequências econômicas, sociais e ambientais da falha no tubo de águas residuais considerando 14 fatores característicos das tubulações.

### 3 METODOLOGIA

O presente capítulo descreve as etapas para a solução do problema de pesquisa e proposição de um modelo multicritério de apoio a decisão. Assim, torna-se possível a replicação do mesmo.

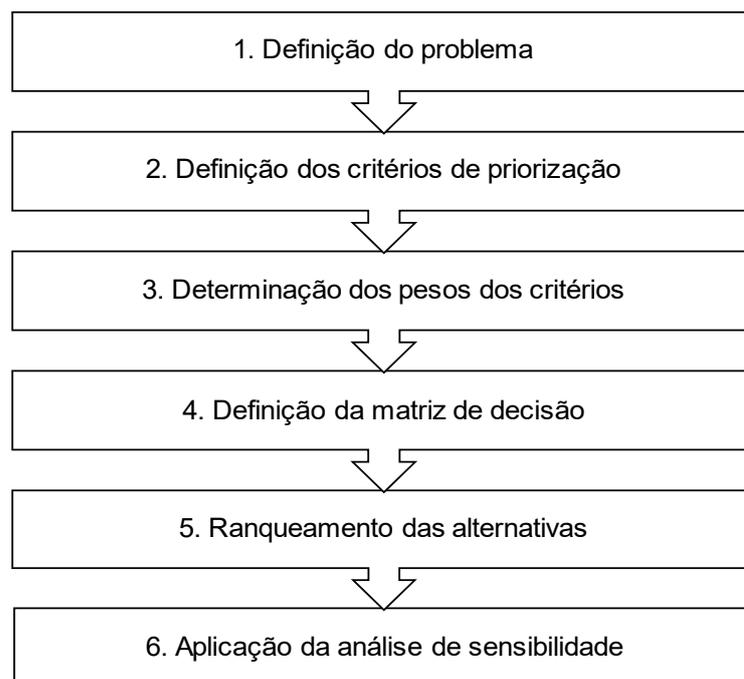
#### 3.1 ESTRUTURAÇÃO DO PROBLEMA

A proposta da pesquisa é atuar na etapa de classificação das ordens de serviço da empresa para auxiliar a priorização dessas atividades de manutenção corretiva, levando em conta critérios de importância conhecida ou não pelos decisores, mas que não são considerados atualmente devido à falta de um modelo de apoio a tomada de decisão.

Para isso, será proposto um modelo multicritério de apoio a tomada de decisão que integrará dois métodos multicritério, o método SWARA para determinar os pesos dos critérios de priorização e o método *Fuzzy* TOPSIS para priorizar as alternativas, que no caso serão as atividades de manutenção corretiva.

As etapas do processo de tomada de decisão definidas para este modelo estão representadas na Figura 5.

Figura 5: Etapas do modelo de priorização de manutenções corretivas



Fonte: Autor

### 3.2 DEFINIÇÃO DO PROBLEMA

A primeira etapa foi a caracterização do problema. Para realizar tal etapa foi necessário realizar uma entrevista semiestruturada (Apêndice A) com o setor de manutenção e visita na empresa para definir a pergunta problema, os objetivos iniciais da pesquisa e realizar a caracterização e o perfil da empresa.

Nessa etapa também foram definidos os decisores. Para Triantaphyllou (2000), supõe-se que o tomador de decisão seja capaz de expressar sua opinião sobre o desempenho de cada alternativa individual em termos de cada um dos critérios de decisão.

Caso a empresa optasse por ter mais de um decisor, cabe ter conhecimento de que a decisão do grupo envolve levar em consideração as diferentes necessidades, opiniões e pontos de vista dos vários tomadores de decisão, a fim de encontrar um acordo entre eles (GUARNIERI, 2015).

Assim como foram definidos os *stakeholders* da empresa, incluindo tanto os internos quanto os externos. Os *stakeholders* internos podem ser pessoas ou funcionários de outros departamentos que influenciem na opinião dos decisores, já os externos podem ser clientes, fornecedores, comunidade externa a empresa.

### 3.3 DEFINIÇÃO DOS CRITÉRIOS DE PRIORIZAÇÃO

A segunda etapa foi a definição dos critérios. A definição dos critérios em um processo de tomada de decisão pode ocorrer por meio da revisão de literatura, conversa com especialistas ou pela análise do processo do problema em questão. Ora pela combinação das três formas.

Para estabelecer os critérios dessa pesquisa foram utilizados como base artigos da revisão da literatura e análise do processo através de entrevista semiestruturada (Apêndice B) com a equipe de decisão e *stakeholders*. A revisão de literatura dá base para os critérios que mais são utilizados pelas pesquisas e assim fazer uma analogia com o problema desta pesquisa.

A análise do processo permite identificar critérios que não são citados pela literatura, mas são importantes para a realidade da empresa, assim como aqueles que condizem com a estratégia e a política da empresa. Em seguida, por meio de questionário, os critérios definidos foram verificados pelo decisores para checar se eles de fato condizem com a realidade e necessidade da empresa.

Os critérios foram organizados em até sete grupos com seus subcritérios correspondentes, já que em condições normais, o cérebro humano apresenta a capacidade de analisar aproximadamente sete informações ao mesmo tempo, por variadas limitações impostas à capacidade de processar informações sem a perda de qualidade (MILLER, 1956).

### 3.4 DETERMINAÇÃO DOS PESOS DOS CRITÉRIOS

A terceira etapa do modelo proposto foi a ponderação dos critérios através do método SWARA proposto por Kersulienė, Zavadskas e Turskis (2010). Esse método determina a importância de cada critério com base na informação, experiência e conhecimento implícito dos especialistas (ZOLFANI; BAHRAMI, 2014).

O método SWARA foi utilizado para determinação dos pesos porque realiza menor número de comparações entre os critérios comparado a outros métodos, e para Mardani *et al.* (2015) ao usar o SWARA, especialistas aplicam seu conhecimento implícito, experiências e informações de uma maneira muito eficiente, quando comparado a outros métodos MADM.

O cálculo dos pesos dos critérios expressa o grau de importância de cada critério definido pelos decisores e permite retratar quais características do problema possuem maior relevância para a empresa ao priorizar atividades de manutenção corretiva. Para realizar a ponderação dos critérios, os seguintes passos foram necessários:

Passo 1: Os critérios de priorização  $C_i$  e os subcritérios  $C_{ij}$  foram classificados e ordenados com base na opinião dos decisores. Como o método apresenta mais de um decisor, foi escolhido o método Borda para realizar essa ordenação. Ele classifica os critérios e elege um representante agregando a soma das pontuações de preferência ponderada de cada critério (BARAK; MOKFI, 2019; LIAO *et al.*, 2019).

Passo 1.1: Cada critério é classificado por cada decisor, no qual atribuem valores para esses critérios. Para isso, foi determinado o método *Direct Rating* no qual os decisores atribuem o grau de importância aos critérios utilizando escala de 0 a 100 pontos (ZARDARI *et al.*, 2015).

Passo 1.2: Determinar as pontuações de cada critério  $C_i$ , sendo  $i = (1, 2, \dots, n)$ .

$$C_i = n - r_i + 1 \quad (16)$$

onde,  $n$  é o número de critérios e  $r_i$  é a classificação do critério  $i$ .

Passo 1.3: Para cada critério realizar a soma de suas pontuações.

Passo 1.4: Com base na pontuação total dos critérios, calculada no passo 1.3, os critérios foram ordenados.

Passo 2: Assim que os critérios  $C_i$  estiverem ordenados, o valor da importância comparativa  $S_i$  é determinado para cada critério de seleção  $C_i$ . Começando pelo critério em segundo lugar na ordenação ( $C_{i=2}$ ), cada decisor expressa a importância relativa de cada critério em relação ao critério anterior na lista ordenada através do método Borda. Para determinar a importância relativa, o método *Direct Rating* foi utilizado.

Passo 3: Determinar o coeficiente  $k_j$  para cada critério e subcritério.

Passo 4: Determinar o peso relativo  $q_j$  para cada critério e subcritério.

Passo 5: Calcular os pesos dos critérios  $W_i$ .

Passo 6: Em caso de mais de um decisor, o peso total foi determinado pela média aritmética das opiniões dos decisores.

Passo 7: Transformar os pesos calculados em números *fuzzy*,  $\tilde{W}_i = (\tilde{a}_i, \tilde{b}_i, \tilde{c}_i)$ , sendo  $\tilde{a}_i = \tilde{b}_i = \tilde{c}_i$ .

### 3.5 DEFINIÇÃO DA MATRIZ DE DECISÃO

A partir da definição dos pesos dos critérios, a próxima etapa é a criação da matriz de decisão, distribuindo os pesos para seus respectivos critérios. Um problema de MCDM pode ser expresso em forma de matriz como onde  $A_j, j = (1, 2, \dots, m)$  são as possíveis alternativas entre as quais os decisores escolheram e  $C_j, j = (1, 2, \dots, n)$  são critérios (CHEN, 2000), da seguinte forma:

$$\tilde{D} = \begin{matrix} & \tilde{W}_1 & \cdots & \tilde{W}_n \\ & C_1 & \cdots & C_n \\ A_1 & \left[ \begin{matrix} \tilde{X}_{11} & \cdots & \tilde{X}_{1n} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ \tilde{X}_{m1} & \cdots & \tilde{X}_{mn} \end{matrix} \right] \\ \vdots & & & \\ A_m & & & \end{matrix}$$

Onde  $\tilde{X}_{ij} = (\tilde{a}_{ij}, \tilde{b}_{ij}, \tilde{c}_{ij})$  e  $\tilde{W}_i$  são números *fuzzy* triangular no qual são representados por variáveis linguísticas para lidar com a incerteza e a imprecisão que prevalecem durante o processo de decisão, sendo  $i = (1, 2, \dots, n)$  e  $j = (1, 2, \dots, m)$ . A  $\tilde{X}_{ij}$  representa a avaliação das alternativas e  $\tilde{W}_i$  o peso calculado de cada critério.

### 3.6 RANQUEAMENTO DAS ALTERNATIVAS

No caso de priorização das atividades de manutenção, as alternativas dependem das solicitações de manutenção realizadas pelos clientes, e essa informação resulta da situação empresa, a qual é atualizada diariamente, assim como o número de alternativas varia conforme a situação.

Para a aplicação desta pesquisa, foi retirada uma amostra aleatória dos pedidos de atividades de manutenção corretiva da empresa em um determinado período, como se fosse tirada uma foto das atividades de manutenção que deveriam ser executadas no dia da coleta dos dados. Assim, após a definição das alternativas, elas foram analisadas e avaliadas frente a todos os critérios pelos decisores.

O método *fuzzy* TOPSIS foi utilizado para priorizar as alternativas, já que ele apresenta a capacidade de manter a mesma quantidade de etapas independentemente do tamanho do problema (VELASQUEZ; HESTER, 2013). O uso da abordagem *fuzzy* integrada ao TOPSIS se dá pela capacidade de lidar com a incerteza dos problemas do mundo real (TEKEZ, 2018). Como foi utilizado por Siew-Hong e Kamaruddin (2012) para resolver a incerteza inerente à problemas de seleção de política de manutenção.

Desta forma, classificar falhas em classes de prioridades por especialistas usando variáveis linguísticas permite que os decisores se concentrem nos itens mais críticos, com uma classificação de prioridades mais robusta (TEKEZ, 2018).

O TOPSIS utiliza as informações de preferência cardinal no atributo, ou seja, é necessário um conjunto de pesos para os atributos. A solução depende do esquema de ponderação fornecido pelo decisor (HWANG; YOON, 1981). Neste caso o conjunto de pesos dos critérios foi definido pelo método SWARA.

Para o *fuzzy* TOPSIS, sugere-se que o decisor expresse sua opinião utilizando variáveis linguísticas baseadas em números *fuzzy* triangulares para estimar a importância de cada critério (CHAN; KUMAR, 2007). Para números *fuzzy*, pode-se utilizar números *fuzzy* triangulares, porque são mais simples quando comparados com números *fuzzy* trapezoidais mais complexos (TRANTAPHYLLOU, 2000). Como o problema é composto por mais de um decisor, a compilação de suas respostas pode representar números decimais, não inteiros, então o uso de números *fuzzy* também se justifica por isso.

A quinta etapa será realizar o ranqueamento das alternativas pelo método *Fuzzy* TOPSIS.

Passo 1: Determinar as variáveis linguísticas adequadas para avaliar as alternativas em relação aos critérios, em uma escala de 7 pontos apresentada na Tabela 2.

Tabela 2: Variáveis linguísticas de números fuzzy triangulares

Sigla	Variável Linguística	Números <i>fuzzy</i> triangulares
MB	Muito baixo	(1,1,2)
BX	Baixo	(1,2,4)
BM	Médio baixo	(2,4,6)
MD	Médio	(4,6,8)
AM	Médio alto	(6,8,10)
AT	Alto	(8,10,11)
MA	Muito alto	(10,11,11)

Fonte: Adaptado de Chen (2000)

Passo 2: Construir a matriz de decisão conforme seção 3.5.

Passo 3: Com a matriz de decisão criada, deve-se construir a matriz de decisão *fuzzy*, através da transformação das siglas dadas aos critérios em seus respectivos números triangulares *fuzzy*.

Passo 4: Agregar as matrizes de decisões dos dois decisores.

Passo 5: Normalizar a matriz de decisão.

Passo 6: Ponderar a Matriz *Fuzzy* Normalizada, através do peso de cada critério calculado pelo método SWARA representado sob a perspectiva de número *fuzzy*.

Passo 7: Definir a solução ideal *fuzzy* (FPIS,  $A^+$ ) e a solução anti-ideal *fuzzy* (FNIS,  $A^-$ ).

Passo 8: Determinar as distâncias das alternativas até a FPIS e a FNIS.

Passo 9: Calcular o coeficiente de proximidade ( $CC_i$ ) para cada alternativa.

Passo 10: Ordenar os  $CC_i$  das alternativas em ordem decrescente.

### 3.7 APLICAÇÃO DA ANÁLISE DE SENSIBILIDADE

A análise de sensibilidade é uma técnica que permite determinar o impacto da variação dos pesos dos critérios na ordem de priorização das alternativas (DIABY;

GOEREE, 2014). A análise de sensibilidade, com base na variação dos pesos dos critérios, examina as mudanças nos resultados e mostra a eficiência da abordagem proposta. Ela mostra o efeito no ranking de alternativas ao se alterar os pesos. A variação dos pesos dos critérios ajuda a mostrar a estabilidade do resultado do ranking. Resultados estáveis podem melhorar a decisão final para a seleção de alternativas adequadas (GHORABAE *et al.*, 2018).

A análise de sensibilidade utilizada foi baseada na proposta de Diaby e Goeree (2014). Desta forma, o peso de cada critério foi variado em intervalos de 10% e os pesos dos outros critérios foram recalculados obedecendo a proporção dos pesos determinados pelo SWARA. Os pesos obtidos em cada variação foram reinseridos no *fuzzy* TOPSIS para obter novos coeficientes de proximidade, conforme as seguintes etapas:

1ª etapa: Definir qual critério ( $C_n$ ) sofrerá variação, ou seja, receberá novos valores ( $W_{n\alpha}$ ), variando de 0 a 1.

2ª etapa: Calcular o novo peso proporcional ( $W_{n\beta}$ ) para os outros critérios, exceto o critério variado  $n$ , através de:

$$W_{n\beta} = (1 - W_{n\alpha}) * \frac{W_{\beta}}{(1 - W_n)} \quad (17)$$

onde  $W_n$  representa o peso inicial do critério  $n$  e  $W_{\beta}$  representa o peso calculado pelo SWARA para o critério tratado.

3ª etapa: Aplicar os novos pesos obtidos no *fuzzy* TOPSIS sem alterações nas avaliações realizadas para o cálculo dos novos coeficientes de proximidade ( $CC_i$ ) e definição do ranking.

4ª etapa: Plotar os gráficos com a variação dos pesos dos critérios e os novos valores de ( $CC_i$ ) para fazer a análise da variação do ranking.

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

### 4.1 CARACTERIZAÇÃO DA EMPRESA

A empresa estudada é uma sociedade de economia mista e de capital aberto, controlada pelo Estado do Paraná, que detém a concessão dos serviços públicos de saneamento básico. Ela atende 346 municípios e tem mais de 7 mil empregados.

A empresa dispõe mais de 54 mil quilômetros de tubulações utilizadas para distribuição de água potável, no qual atendem cerca de 3,9 milhões de ligações de água e mais de 35 mil quilômetros de rede coletora de esgoto, que atendem cerca de 2,8 milhões de ligações de esgoto. Ela fornece água tratada a 100% da população urbana dos municípios atendidos e coleta mais de 72,5% de esgoto, tratando 100% do esgoto coletado; a média nacional de coleta é de 59,7% e de tratamento é de 74,9%.

Na área de resíduos sólidos, a empresa opera aterros sanitários em três cidades. Em 2017, foram tratadas 64 mil toneladas de resíduos, beneficiando cerca de 290 mil pessoas.

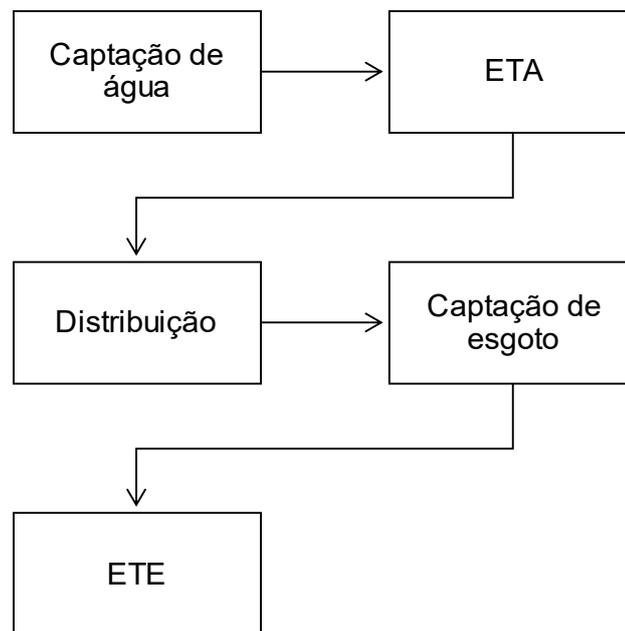
Sua missão é prestar serviços de saneamento ambiental de forma sustentável, contribuindo para a melhoria da qualidade de vida. E sua visão é ser uma empresa de excelência, comprometida com a universalização do Saneamento Ambiental. Ela possui quatro perspectivas para atingir os objetivos estratégicos, e leva em consideração a sustentabilidade, clientes, processos e pessoas.

O sistema geral de saneamento básico praticado pela empresa envolve desde a captação de água nos mananciais de abastecimento até a devolução do esgoto tratado ao corpo receptor. O sistema geral de saneamento básico segue o fluxograma indicado na Figura 6.

O processo inicia-se pela captação de água nos mananciais de abastecimento, entre eles rios e poços artesianos, essa água é conhecida como água bruta. Para que a água bruta chegue até a estação de tratamento de água (ETA), há estações elevatórias de água bruta (EEB) que bombeiam a água até estação. Após o tratamento da água bruta na ETA, a água tratada é distribuída para os usuários, a ETA geralmente está instalada em um ponto alto da cidade para que a distribuição de água tratada seja realizada por gravidade, mas para que a água tratada chegue aos pontos mais altos, há as estações elevatórias de água tratada (EET).

Após o uso da água pelos clientes, a empresa realiza a captação de esgoto para que o esgoto seja tratado nas estações de tratamento de efluentes (ETE). As ETE's geralmente estão instaladas em pontos baixos da cidade para que o esgoto chegue até ela pela gravidade, mas em regiões mais baixas há a necessidade de que estações elevatórias de esgoto (EEE) bombeiem o esgoto até a ETE, que trata e devolve o esgoto tratado ao corpo receptor, geralmente rios. Cada estação, seja de captação, tratamento ou elevatórias, representa uma unidade operacional.

Figura 6: Sistema de saneamento básico



Fonte: Autor

Em todas as etapas do sistema existem equipamentos e componentes eletromecânicos que precisam de manutenção para manter o sistema em funcionamento. Para atender a essa demanda, a empresa possui uma padronização dos serviços e procedimentos nas unidades de serviço de manutenção eletromecânica. A região atendida pela empresa está dividida em cinco gerências regionais de manutenção eletromecânica, que tem como foco principal atender as unidades operacionais e suas localidades, sendo que cada unidade é responsável por uma área de abrangência.

As atividades eletromecânicas realizadas pelas gerências são classificadas levando em consideração o estado operacional do equipamento e instalação eletromecânica. Tendo como enfoque o meio ambiente, operacional, segurança,

prevenção, melhorias e as consequências da não realização das atividades, como falta e perda d'água, extravasamento de esgoto, vazamentos, ruídos, vibrações entre outros, além de aspectos construtivos (implantações), de desenvolvimentos e serviços gerais.

Dentro das atividades de manutenção, há duas classificações mais utilizadas, entre elas as manutenções corretivas e as manutenções proativas, que incluem preventiva, preditiva e projetos e obras de melhorias, adequações e otimização.

#### 4.2 CARACTERIZAÇÃO DO PROCESSO DE MANUTENÇÃO

A Gerência Regional Eletromecânica Sudeste (GEMSD) é dividida em quatro outras gerências regionais. O presente trabalho atuou na área da Gerência Regional de Telêmaco Borba (GRTB), na qual abrange 13 cidades apresentadas na cor rosa no mapa da figura 7. As cidades atendidas são: Arapoti, Cândido de Abreu, Carambeí, Castro, Imbaú, Ortigueira, Piraí do Sul, Reserva, São José da Boa Vista, Sengés, Telêmaco Borba, Tibagi e Ventania.

Figura 7: Gerência Regional de Telêmaco Borba

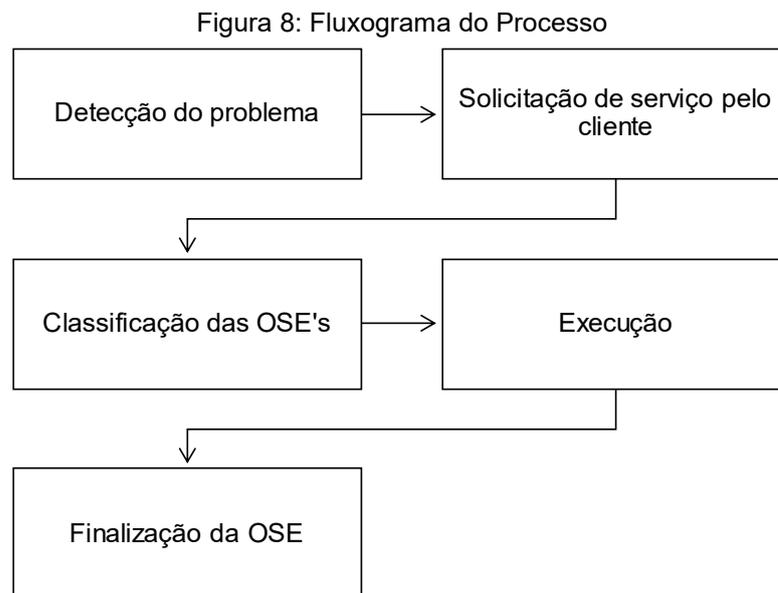


Fonte: Arquivo da empresa

A GBTB atende cerca de 94 mil ligações de água e 68 mil ligações de esgoto. Para atender a demanda, a regional apresenta 160 unidades operacionais, entre estações de captação de água, elevatórias e estações de tratamento de água e esgoto.

A GRTB conta com duas centrais de equipe de manutenção que realizam atividades de eletromecânica, uma situada na própria cidade de Telêmaco Borba e a outra na cidade de Castro. Essas equipes são responsáveis por todas as atividades de manutenção da região, mas caso a demanda seja aumentada no período, faz-se necessário realizar a contratação de empresas que prestam serviços terceirizados.

O atual fluxograma do processo, desde a ocorrência do problema até a solução do mesmo, é apresentado na figura 8.



Fonte: Autor

As falhas nas unidades atendidas são detectadas pelos clientes da manutenção, no caso, os operadores do sistema. Cada cidade da regional conta com pelo menos 1 operador do sistema. Os operadores do sistema são responsáveis pelo cuidado, conservação e limpeza das unidades operacionais.

O cliente realiza a solicitação de serviço via sistema através da solicitação eletrônica de serviços (HSS) e fornece as informações prévias sobre a unidade, localização, uma breve descrição, a possível causa da falha e o efeito do não atendimento do problema. As causas dos problemas de manutenção já foram mapeadas pela empresa.

A GRTB realiza a classificação e priorização das atividades de manutenção, representadas pelas ordens de serviços eletromecânicos (OSE) e designa sua equipe de técnicos de manutenção para o local de execução da atividade. Após a execução do serviço, a OSE é finalizada com informações adicionais pertinentes sobre o que realmente foi realizado na unidade. Em seguida, o cliente pode avaliar a qualidade do atendimento, do serviço e o prazo de atendimento como satisfeito, parcialmente satisfeito ou insatisfeito.

O presente trabalho foi realizado na etapa de classificação das OSE's, e assim pode auxiliar a GRTB a priorizar as atividades de manutenção corretiva. Atualmente, o único critério utilizado para priorizar as atividades de manutenção corretiva é a potência instalada nas unidades com falhas somada ao *feeling* do decisor. Porém essa priorização não está atendendo a demanda da empresa, não levando em conta diversos fatores para tomar a decisão, e a partir desses fatores foram selecionados os critérios que alimentaram o modelo proposto.

#### 4.3 DEFINIÇÃO DOS DECISORES

A equipe de decisores estabelecida para a aplicação do modelo foi definida a partir do envolvimento direto com a priorização das atividades de manutenção. Para isso foram definidos como decisores o gerente da unidade e o planejador de manutenção.

Os *stakeholders*, conhecidos como partes interessadas, também foram definidos. Eles são aqueles que impactam no processo de tomada de decisão. Nesse caso, os *stakeholders* são:

- *Stakeholders* interno: equipe de planejamento de manutenção, equipe de mantenedores, operadores do sistema, equipe de TI que recebe os chamados e montam as ordens de serviços.
- *Stakeholders* externo: população, mídia, prefeituras.

#### 4.4 DEFINIÇÃO DOS CRITÉRIOS

Com os critérios levantados na seção 2.3, a entrevista semiestruturada (Apêndice B) e a coleta de dados foi possível definir previamente quais são os critérios relevantes para o processo de priorização de atividades de manutenção corretiva. Em seguida foi aplicado questionário (Apêndice C) para verificação da aplicabilidade dos

critérios propostos, assim como se são critérios de maximização ou minimização. Os critérios definidos são os 7 listados abaixo:

- a) Prioridade (C1): está relacionada ao tipo de manutenção descrito na atividade, atualmente a empresa divide as manutenções corretivas em “corretiva emergencial” e “corretiva não emergencial”.
- b) Efeito do não atendimento (C2): diz respeito ao registro das consequências aparentes ocorridas ou que podem vir a ocorrer devido à não execução ou má execução de um determinado serviço. As consequências são apresentadas no Quadro 2.

Quadro 2: Consequências do não atendimento da solicitação de manutenção

<b>Consequência</b>	<b>Descrição</b>
Desperdício/Perdas	Desperdícios com energia elétrica, insumos, materiais e outros. Perda de água em poços de sucção, elevatórias e reservatórios.
Falta de água	Desabastecimento de forma total, parcial ou na iminência de ocorrer falta de água aos clientes.
Impacto Ambiental	É a alteração no meio ambiente (impactos diretos), que está ocorrendo ou na iminência de ocorrer, determinada pela falha em equipamentos e/ou instalações eletromecânicas. Dentre as consequências, as principais são poluição dos mananciais e erosão devido ao extravasamento de água e esgoto.
Indisponibilidade Operacional	Incapacidade de um equipamento e/ou instalação eletromecânica de desempenhar a sua função, estando, portanto, em estado de falha. Normalmente utilizado em situações em que há alternativas operacionais (equipamentos reservas, manobras e outros).
Segurança	Fatores de aspectos positivos (prevenção) ou negativos (riscos de acidentes), oriundos de atividades em equipamentos e/ou instalações eletromecânicas, colocando em risco a integridade física de pessoas, patrimônio da empresa, patrimônio de terceiros e meio ambiente.
Não Conformidade	É a ocorrência de uma situação onde não está de acordo com a especificação, normas, ou com os padrões de qualidade aceita.

Fonte: Dados da empresa

- c) Atendimento ao cliente (C3): expressado pela potência instalada na unidade operacional, representa a quantidade de clientes que seriam afetados pela falha.
- d) Distância (C4): representa a distância e a facilidade de acesso da equipe de manutentores à unidade operacional que realizou o chamado.
- e) Tempo estimado (C5): representa o tempo estimado para a realização do serviço.
- f) Custo estimado por terceiros (C6): refere-se ao custo estimado caso a demanda por serviços esteja alta e seja necessário realizar a contratação de terceiros para executar o serviço.
- g) Espera (C7): refere-se ao tempo em que a atividade está na espera para ser executada.

#### 4.5 CÁLCULO DOS PESOS DOS CRITÉRIOS

Na terceira etapa do trabalho foi realizado o cálculo dos pesos dos critérios utilizando o método SWARA conforme descrito na seção 3.4, seguindo 6 passos. Um questionário (Apêndice D) foi aplicado para que os critérios fossem ordenados com base na opinião dos decisores (Passo 1) pontuando cada critério de acordo com o método do Direct Rating (Passo 1.1). A Tabela 3 apresenta a pontuação dada por cada decisor.

Tabela 3: Pontuação dos decisores

Sigla	Critérios	Importância	
		Decisor 1	Decisor 2
<b>C1</b>	Prioridade	75	90
<b>C2</b>	Efeito do não atendimento	60	75
<b>C3</b>	Atendimento ao cliente	85	80
<b>C4</b>	Distância	25	60
<b>C5</b>	Tempo estimado	50	50
<b>C6</b>	Custo estimado por terceiros	10	10
<b>C7</b>	Espera	40	25

Fonte: Autor

Os critérios foram ordenados em ordem decrescente conforme a pontuação do método *Direct Rating*. Para cada critério uma nova pontuação foi calculada (Passo

1.2) e determinada uma nova classificação pelo método Borda (Passo 1.3) conforme Tabela 4.

Tabela 4: Classificação dos critérios pelo método Borda

Critérios	Ordenação Inicial		Borda		
	Decisor 1	Decisor 2	Decisor 1	Decisor 2	Classificação
<b>C1</b>	2	1	6	7	13
<b>C2</b>	3	3	5	5	10
<b>C3</b>	1	2	7	6	13
<b>C4</b>	6	4	2	4	6
<b>C5</b>	4	5	4	3	7
<b>C6</b>	7	7	1	1	2
<b>C7</b>	5	6	3	2	5

Fonte: Autor

Porém é possível notar que os critérios C1 e C3 ficaram empatados com as maiores pontuações. Uma possibilidade de desempate seria a soma das notas apresentadas no *Direct Rating*, mas ambas também apresentaram empate com o valor de 165. Então realizou-se uma reunião com os decisores para que discutissem qual critério era mais importante, concluindo que o atendimento ao cliente (C3) era o de maior importância. Assim a Tabela 5 apresenta a ordenação dos critérios (Passo 1).

Tabela 5: Critérios ordenados

Sigla	Critérios	Ordenação
<b>C3</b>	Atendimento ao cliente	1
<b>C1</b>	Prioridade	2
<b>C2</b>	Efeito do não atendimento	3
<b>C5</b>	Tempo estimado	4
<b>C4</b>	Distância	5
<b>C7</b>	Espera	6
<b>C6</b>	Custo estimado por terceiros	7

Fonte: Autor

Após ordenação, foi aplicado um questionário (Apêndice E) para definir a importância comparativa para cada critério pelo método *Direct Rating* (Passo 2), começando pela comparação do C2 em relação ao C1 e assim sucessivamente. Em seguida foram determinados os coeficientes  $k_j$  (Passo 3), os pesos relativos  $q_j$  (Passo 4) e calculados os pesos dos critérios  $W_i$  (Passo 5) com as notas de cada decisor. A Tabela 6 apresenta os pesos dos critérios definidos pelo Decisor 1.

Tabela 6: Pesos dos critérios do Decisor 1

<b>Critério</b>	<b>Critérios</b>	<b>Importância Comparativa</b>	<b>Sj</b>	<b>Kj</b>	<b>qj</b>	<b>wj</b>
<b>C3</b>	Atendimento ao cliente	0	0,000	1,000	1,000	0,307
<b>C1</b>	Prioridade	20	0,200	1,200	0,833	0,256
<b>C2</b>	Efeito do não atendimento	50	0,500	1,500	0,556	0,171
<b>C5</b>	Tempo estimado	75	0,750	1,750	0,317	0,098
<b>C4</b>	Distância	25	0,250	1,250	0,254	0,078
<b>C7</b>	Espera	35	0,350	1,350	0,188	0,058
<b>C6</b>	Custo estimado por terceiros	80	0,800	1,800	0,105	0,032

Fonte: Autor

A Tabela 7 apresenta os pesos dos critérios definidos pelo Decisor 2.

Tabela 7: Pesos dos critérios do Decisor 2

<b>Critério</b>	<b>Critérios</b>	<b>Importância Comparativa</b>	<b>Sj</b>	<b>Kj</b>	<b>qj</b>	<b>wj</b>
<b>C3</b>	Atendimento ao cliente	0	0,000	1,000	1,000	0,287
<b>C1</b>	Prioridade	25	0,250	1,250	0,800	0,230
<b>C2</b>	Efeito do não atendimento	10	0,100	1,100	0,727	0,209
<b>C5</b>	Tempo estimado	80	0,800	1,800	0,404	0,116
<b>C4</b>	Distância	40	0,400	1,400	0,289	0,083
<b>C7</b>	Espera	80	0,800	1,800	0,160	0,046
<b>C6</b>	Custo estimado por terceiros	60	0,600	1,600	0,100	0,029

Fonte: Autor

O peso total foi definido pela média aritmética das opiniões dos decisores (Passo 6). A Tabela 8 apresenta o peso total.

Tabela 8: Peso total dos critérios

<b>Critério</b>	<b>Critérios</b>	<b>wj (1)</b>	<b>wj (2)</b>	<b>Peso Total</b>
<b>C1</b>	Prioridade	0,256	0,230	0,243
<b>C2</b>	Efeito do não atendimento	0,171	0,209	0,190
<b>C3</b>	Atendimento ao cliente	0,307	0,287	0,297
<b>C4</b>	Distância	0,078	0,083	0,080
<b>C5</b>	Tempo estimado	0,098	0,116	0,107
<b>C6</b>	Custo estimado por terceiros	0,032	0,029	0,030
<b>C7</b>	Espera	0,058	0,046	0,052

Fonte: Autor

Por fim, os pesos foram transformados em números *fuzzy*  $\tilde{W}_i = (\tilde{a}_i, \tilde{b}_i, \tilde{c}_i)$  (Passo 7) conforme mostra a Tabela 9.

Tabela 9: Peso total em números *fuzzy*

Critério	Critérios	$\tilde{W}_i$		
		a	b	c
<b>C1</b>	Prioridade	0,243	0,243	0,243
<b>C2</b>	Efeito do não atendimento	0,190	0,190	0,190
<b>C3</b>	Atendimento ao cliente	0,297	0,297	0,297
<b>C4</b>	Distância	0,080	0,080	0,080
<b>C5</b>	Tempo estimado	0,107	0,107	0,107
<b>C6</b>	Custo estimado por terceiros	0,030	0,030	0,030
<b>C7</b>	Espera	0,052	0,052	0,052

Fonte: Autor

Dentre os critérios, percebe-se a importância que os decisores dão ao atendimento de seus clientes, mostrando que o problema deve ser priorizado levando em consideração o número de pessoas que seriam afetadas pelo problema em caso de não atendimento, sendo o critério (C3) de maior importância. Seguido pelo critério que considera a prioridade da manutenção emergencial e não emergencial (C1).

Como a empresa precisa resolver os problemas de manutenção corretiva de qualquer maneira, o custo estimado por terceiros (C6) acaba tendo a menor importância, assim como o tempo que a solicitação de manutenção fica na espera (C7) tem a segunda menor importância, já que problemas menores podem aguardar mais tempo do que os problemas maiores ou mais críticos.

#### 4.6 DEFINIÇÃO DA MATRIZ DE DECISÃO

Após a definição e cálculo dos pesos dos critérios, o número de alternativas foi definido com uma amostra da lista de atividades manutenções corretivas que estavam em espera para serem realizadas no dia da coleta, totalizando 10 atividades. Assim foi criada a matriz de decisão, baseada nas instruções presentes no Apêndice F, para a priorização de atividades de manutenção seguindo o exposto na seção 3.5. A Tabela 10 apresenta a matriz de decisão com as respostas do Decisor 1.

Tabela 10: Matriz de decisão do Decisor 1

Critérios Alternativas	+	+	+	-	-	+	+
	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7
	0,243	0,190	0,297	0,080	0,107	0,030	0,052
A1	MA	MA	500	MB	BM	BX	2
A2	MA	MA	85	MB	MD	BX	1
A3	MA	BM	20	AT	BX	BM	0
A4	MA	MD	40	MB	AM	MD	0
A5	AM	AT	38	MD	AM	BM	1
A6	AM	MD	6	MD	AM	BM	2
A7	AM	MD	11	MA	MD	BX	2
A8	MA	MA	40	AT	BM	AT	0
A9	AM	AT	10	MB	AM	BM	1
A10	AM	AT	40	AT	AT	MD	0

Fonte: Autor

A Tabela 11 apresenta a matriz de decisão com as respostas do Decisor 2.

Tabela 11: Matriz de decisão do Decisor 2

Critérios Alternativas	+	+	+	-	-	+	+
	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7
	0,243	0,190	0,297	0,080	0,107	0,030	0,052
A1	MA	MA	500	MB	BX	BX	2
A2	MA	MA	85	MB	AM	AM	1
A3	MA	AT	20	AT	BM	AM	0
A4	MA	MA	40	MB	MA	AM	0
A5	AT	AM	38	AT	BX	MD	1
A6	AT	MA	6	AT	MD	MD	2
A7	AT	MA	11	MA	BX	AM	2
A8	MA	MA	40	AM	AT	AM	0
A9	AT	AM	10	MB	BX	AT	1
A10	AT	MB	40	AM	AM	AM	0

Fonte: Autor

As linhas da matriz de decisão representam os critérios do C1 ao C7, onde os critérios C1, C2, C3, C6 e C7 são critérios de maximização e os critérios C4 e C5 de minimização, conforme representados na primeira linha da tabela. A terceira linha da tabela apresenta os pesos de cada critério. As colunas representam as alternativas (A1 à A10). Para o preenchimento da matriz, os critérios C1, C2, C4, C5 e C6 utilizaram-se de variáveis linguísticas para expressar seu valor, já o critério C3 é expresso em potência instalada e o critério C7 em dias.

#### 4.7 APLICAÇÃO DO FUZZY TOPSIS

Com a matriz de decisão criada e preenchida, foi construída a matriz de decisão *fuzzy* transformando as variáveis linguísticas em números *fuzzy* triangulares conforme Tabela 2. Essa etapa foi realizada para as matrizes dos dois decisores. A Tabela 12 apresenta a matriz *fuzzy* do decisor 1.

Tabela 12: Matriz de decisão *fuzzy* do decisor 1

Critérios Alternativas	C1			C2			C3			C4		
	a	b	c	a	b	c	a	b	c	a	b	c
<b>A1</b>	10	11	11	10	11	11	500	500	500	1	1	2
<b>A2</b>	10	11	11	10	11	11	85	85	85	1	1	2
<b>A3</b>	10	11	11	2	4	6	20	20	20	8	10	11
<b>A4</b>	10	11	11	4	6	8	40	40	40	1	1	2
<b>A5</b>	6	8	10	8	10	11	38	38	38	4	6	8
<b>A6</b>	6	8	10	4	6	8	6	6	6	4	6	8
<b>A7</b>	6	8	10	4	6	8	11	11	11	10	11	11
<b>A8</b>	10	11	11	10	11	11	40	40	40	8	10	11
<b>A9</b>	6	8	10	8	10	11	10	10	10	1	1	2
<b>A10</b>	6	8	10	8	10	11	40	40	40	8	10	11

(Continua)

Critérios Alternativas	C5			C6			C7		
	a	b	c	a	b	c	a	b	c
<b>A1</b>	2	4	6	1	2	4	2	2	2
<b>A2</b>	4	6	8	1	2	4	1	1	1
<b>A3</b>	1	2	4	2	4	6	0	0	0
<b>A4</b>	6	8	10	4	6	8	0	0	0
<b>A5</b>	6	8	10	2	4	6	1	1	1
<b>A6</b>	6	8	10	2	4	6	2	2	2
<b>A7</b>	4	6	8	1	2	4	2	2	2
<b>A8</b>	2	4	6	8	10	11	0	0	0
<b>A9</b>	6	8	10	2	4	6	1	1	1
<b>A10</b>	8	10	11	4	6	8	0	0	0

Fonte: Autor

(Conclusão)

A Tabela 13 apresenta a matriz *fuzzy* do decisor 2.

Tabela 13: Matriz de decisão *fuzzy* do decisor 2

Critérios \ Alternativas	C1			C2			C3			C4		
	a	b	c	a	b	c	a	b	c	a	b	c
A1	10	11	11	10	11	11	500	500	500	1	1	2
A2	10	11	11	10	11	11	85	85	85	1	1	2
A3	10	11	11	8	10	11	20	20	20	8	10	11
A4	10	11	11	10	11	11	40	40	40	1	1	2
A5	8	10	11	6	8	10	38	38	38	8	10	11
A6	8	10	11	10	11	11	6	6	6	8	10	11
A7	8	10	11	10	11	11	11	11	11	10	11	11
A8	10	11	11	10	11	11	40	40	40	6	8	10
A9	8	10	11	6	8	10	10	10	10	1	1	2
A10	8	10	11	1	1	2	40	40	40	6	8	10

(Continua)

Critérios \ Alternativas	C5			C6			C7		
	a	b	c	a	b	c	a	b	c
A1	1	2	4	1	2	4	2	2	2
A2	6	8	10	6	8	10	1	1	1
A3	2	4	6	6	8	10	0	0	0
A4	10	11	11	6	8	10	0	0	0
A5	1	2	4	4	6	8	1	1	1
A6	4	6	8	4	6	8	2	2	2
A7	1	2	4	6	8	10	2	2	2
A8	8	10	11	6	8	10	0	0	0
A9	1	2	4	8	10	11	1	1	1
A10	6	8	10	6	8	10	0	0	0

Fonte: Autor

(Conclusão)

As duas matrizes de decisão *fuzzy* foram agregadas em uma para a continuação dos cálculos conforme equação 6. A Tabela 14 apresenta a agregação das matrizes.

Tabela 14: Matriz de decisão *fuzzy* agregada

Critérios \ Alternativas	C1			C2			C3			C4		
	a	b	c	a	b	c	a	b	c	a	b	c
A1	10	11	11	10	11	11	500	500	500	1	1	2
A2	10	11	11	10	11	11	85	85	85	1	1	2
A3	10	11	11	2	7	11	20	20	20	8	10	11
A4	10	11	11	4	8,5	11	40	40	40	1	1	2
A5	6	9	11	6	9	11	38	38	38	4	8	11
A6	6	9	11	4	8,5	11	6	6	6	4	8	11

<b>A7</b>	6	9	11	4	8,5	11	11	11	11	10	11	11
<b>A8</b>	10	11	11	10	11	11	40	40	40	6	9	11
<b>A9</b>	6	9	11	6	9	11	10	10	10	1	1	2
<b>A10</b>	6	9	11	1	5,5	11	40	40	40	6	9	11

(Continua)

Critérios Alternativas	C5			C6			C7		
	a	b	c	a	b	c	a	b	c
<b>A1</b>	1	3	6	1	2	4	2	2	2
<b>A2</b>	4	7	10	1	5	10	1	1	1
<b>A3</b>	1	3	6	2	6	10	0	0	0
<b>A4</b>	6	9,5	11	4	7	10	0	0	0
<b>A5</b>	1	5	10	2	5	8	1	1	1
<b>A6</b>	4	7	10	2	5	8	2	2	2
<b>A7</b>	1	4	8	1	5	10	2	2	2
<b>A8</b>	2	7	11	6	9	11	0	0	0
<b>A9</b>	1	5	10	2	7	11	1	1	1
<b>A10</b>	6	9	11	4	7	10	0	0	0

Fonte: Autor

(Conclusão)

Seguindo as etapas propostas na metodologia, a seguir foi realizada a normalização da matriz de decisão levando em conta os critérios de maximização, entre eles os critérios C1, C2, C3, C6 e C7 e os critérios de minimização, sendo os critérios C4 e C5. A Tabela 15 apresenta a matriz de decisão *fuzzy* normalizada.

Tabela 15: Matriz de decisão *fuzzy* normalizada

Critérios Alternativas	C1			C2			C3			C4		
	a	b	c	a	b	c	a	b	c	a	b	c
<b>A1</b>	0,909	1,000	1,000	0,909	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	0,500	1,000	1,000
<b>A2</b>	0,909	1,000	1,000	0,909	1,000	1,000	0,170	0,170	0,170	0,500	1,000	1,000
<b>A3</b>	0,909	1,000	1,000	0,182	0,636	1,000	0,040	0,040	0,040	0,091	0,100	0,125
<b>A4</b>	0,909	1,000	1,000	0,364	0,773	1,000	0,080	0,080	0,080	0,500	1,000	1,000
<b>A5</b>	0,545	0,818	1,000	0,545	0,818	1,000	0,076	0,076	0,076	0,091	0,125	0,250
<b>A6</b>	0,545	0,818	1,000	0,364	0,773	1,000	0,012	0,012	0,012	0,091	0,125	0,250
<b>A7</b>	0,545	0,818	1,000	0,364	0,773	1,000	0,022	0,022	0,022	0,091	0,091	0,100
<b>A8</b>	0,909	1,000	1,000	0,909	1,000	1,000	0,080	0,080	0,080	0,091	0,111	0,167
<b>A9</b>	0,545	0,818	1,000	0,545	0,818	1,000	0,020	0,020	0,020	0,500	1,000	1,000
<b>A10</b>	0,545	0,818	1,000	0,091	0,500	1,000	0,080	0,080	0,080	0,091	0,111	0,167

(Continua)

Critérios Alternativas	C5			C6			C7		
	a	b	c	a	b	c	a	b	c
A1	0,167	0,333	1,000	0,091	0,182	0,364	1,000	1,000	1,000
A2	0,100	0,143	0,250	0,091	0,455	0,909	0,500	0,500	0,500
A3	0,167	0,333	1,000	0,182	0,545	0,909	0,000	0,000	0,000
A4	0,091	0,105	0,167	0,364	0,636	0,909	0,000	0,000	0,000
A5	0,100	0,200	1,000	0,182	0,455	0,727	0,500	0,500	0,500
A6	0,100	0,143	0,250	0,182	0,455	0,727	1,000	1,000	1,000
A7	0,125	0,250	1,000	0,091	0,455	0,909	1,000	1,000	1,000
A8	0,091	0,143	0,500	0,545	0,818	1,000	0,000	0,000	0,000
A9	0,100	0,200	1,000	0,182	0,636	1,000	0,500	0,500	0,500
A10	0,091	0,111	0,167	0,364	0,636	0,909	0,000	0,000	0,000

Fonte: Autor

(Conclusão)

Próximo passo foi a ponderação da matriz de decisão com os pesos de cada critério calculado pelo método SWARA representado sob a perspectiva de número fuzzy. A Tabela 16 apresenta a matriz de decisão *fuzzy* ponderada.

Tabela 16: Matriz de decisão *fuzzy* ponderada

Critérios Alternativas	C1			C2			C3			C4		
	a	b	c	a	b	c	a	b	c	a	b	c
A1	0,221	0,243	0,243	0,173	0,190	0,190	0,297	0,297	0,297	0,040	0,080	0,080
A2	0,221	0,243	0,243	0,173	0,190	0,190	0,051	0,051	0,051	0,040	0,080	0,080
A3	0,221	0,243	0,243	0,035	0,121	0,190	0,012	0,012	0,012	0,007	0,008	0,010
A4	0,221	0,243	0,243	0,069	0,147	0,190	0,024	0,024	0,024	0,040	0,080	0,080
A5	0,133	0,199	0,243	0,104	0,155	0,190	0,023	0,023	0,023	0,007	0,010	0,020
A6	0,133	0,199	0,243	0,069	0,147	0,190	0,004	0,004	0,004	0,007	0,010	0,020
A7	0,133	0,199	0,243	0,069	0,147	0,190	0,007	0,007	0,007	0,007	0,007	0,008
A8	0,221	0,243	0,243	0,173	0,190	0,190	0,024	0,024	0,024	0,007	0,009	0,013
A9	0,133	0,199	0,243	0,104	0,155	0,190	0,006	0,006	0,006	0,040	0,080	0,080
A10	0,133	0,199	0,243	0,017	0,095	0,190	0,024	0,024	0,024	0,007	0,009	0,013

(Continua)

Critérios Alternativas	C5			C6			C7		
	a	b	c	a	b	c	a	b	c
A1	0,018	0,036	0,107	0,003	0,006	0,011	0,052	0,052	0,052
A2	0,011	0,015	0,027	0,003	0,014	0,028	0,026	0,026	0,026
A3	0,018	0,036	0,107	0,006	0,017	0,028	0,000	0,000	0,000
A4	0,010	0,011	0,018	0,011	0,019	0,028	0,000	0,000	0,000
A5	0,011	0,021	0,107	0,006	0,014	0,022	0,026	0,026	0,026
A6	0,011	0,015	0,027	0,006	0,014	0,022	0,052	0,052	0,052
A7	0,013	0,027	0,107	0,003	0,014	0,028	0,052	0,052	0,052

<b>A8</b>	0,010	0,015	0,053	0,017	0,025	0,030	0,000	0,000	0,000
<b>A9</b>	0,011	0,021	0,107	0,006	0,019	0,030	0,026	0,026	0,026
<b>A10</b>	0,010	0,012	0,018	0,011	0,019	0,028	0,000	0,000	0,000

Fonte: Autor

(Conclusão)

Em seguida, foi definida a solução ideal (FPIS,  $A^+$ ) como  $\vec{v}_j^+ = (1,1,1)$  e a solução anti-ideal (FNIS,  $A^-$ ) como  $\vec{v}_j^- = (0,0,0)$ . A partir disso, foi determinada as distâncias das alternativas até a solução ideal FPIS ( $d_i^+$ ) e a solução anti-ideal FNIS ( $d_i^-$ ), conforme as equações (13) e (14). A Tabela 17 apresenta as distâncias FPIS ( $d_i^+$ ) de cada alternativa em relação a solução ideal.

Tabela 17: Distância FPIS ( $d_i^+$ )

Alternativas	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	$d_i^+$
<b>A1</b>	1,324	1,413	1,217	0,121	0,114	1,721	1,642	7,552
<b>A2</b>	1,324	1,413	1,644	0,121	0,033	1,707	1,687	7,929
<b>A3</b>	1,324	1,537	1,711	0,015	0,114	1,703	1,732	8,136
<b>A4</b>	1,324	1,500	1,691	0,121	0,023	1,699	1,732	8,090
<b>A5</b>	1,403	1,474	1,693	0,024	0,109	1,708	1,687	8,098
<b>A6</b>	1,403	1,500	1,726	0,024	0,033	1,708	1,642	8,035
<b>A7</b>	1,403	1,500	1,721	0,013	0,111	1,707	1,642	8,096
<b>A8</b>	1,324	1,413	1,691	0,018	0,056	1,691	1,732	7,925
<b>A9</b>	1,403	1,474	1,722	0,121	0,109	1,700	1,687	8,216
<b>A10</b>	1,403	1,562	1,691	0,018	0,024	1,699	1,732	8,128

Fonte: Autor

A Tabela 18 apresenta as distâncias FNIS ( $d_i^-$ ) de cada alternativa em relação a anti-solução ideal.

Tabela 18: Distância FNIS ( $d_i^-$ )

Alternativas	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	$d_i^-$
<b>A1</b>	0,409	0,319	0,515	1,616	1,641	0,013	0,090	4,603
<b>A2</b>	0,409	0,319	0,088	1,616	1,702	0,031	0,045	4,209
<b>A3</b>	0,409	0,228	0,021	1,717	1,641	0,033	0,000	4,048
<b>A4</b>	0,409	0,250	0,041	1,616	1,710	0,036	0,000	4,061
<b>A5</b>	0,341	0,266	0,039	1,710	1,654	0,027	0,045	4,082
<b>A6</b>	0,341	0,250	0,006	1,710	1,702	0,027	0,090	4,125
<b>A7</b>	0,341	0,250	0,011	1,719	1,649	0,031	0,090	4,091
<b>A8</b>	0,409	0,319	0,041	1,715	1,687	0,043	0,000	4,214
<b>A9</b>	0,341	0,266	0,010	1,616	1,654	0,037	0,045	3,969
<b>A10</b>	0,341	0,213	0,041	1,715	1,709	0,036	0,000	4,055

Fonte: Autor

O próximo passo foi calcular o coeficiente de proximidade ( $CC_i$ ) para cada alternativa de acordo com a equação (14), sendo que quanto mais próximo de 1 o valor de  $CC_i$ , mais próximo de FPIS e mais distante de FNIS a alternativa se encontra. A Tabela 19 apresenta o Coeficiente de proximidade ( $CC_i$ ) de cada alternativa.

Tabela 19: Coeficiente de proximidade ( $CC_i$ ) das alternativas

Alternativas	$d_i^+$	$d_i^-$	$CC_i$
<b>A1</b>	7,552	4,603	0,3787
<b>A2</b>	7,929	4,209	0,3468
<b>A3</b>	8,136	4,048	0,3322
<b>A4</b>	8,090	4,061	0,3342
<b>A5</b>	8,098	4,082	0,3351
<b>A6</b>	8,035	4,125	0,3392
<b>A7</b>	8,096	4,091	0,3357
<b>A8</b>	7,925	4,214	0,3471
<b>A9</b>	8,216	3,969	0,3257
<b>A10</b>	8,128	4,055	0,3328

Fonte: Autor

Em seguida foram ordenados de forma decrescente os  $CC_i$ , conforme Tabela 20, para obter o ranqueamento das alternativas.

Tabela 20: Ranqueamento das alternativas

Alternativas	$CC$	Ranking
<b>A1</b>	0,3787	1
<b>A8</b>	0,3471	2
<b>A2</b>	0,3468	3
<b>A6</b>	0,3392	4
<b>A7</b>	0,3357	5
<b>A5</b>	0,3351	6
<b>A4</b>	0,3342	7
<b>A10</b>	0,3328	8
<b>A3</b>	0,3322	9
<b>A9</b>	0,3257	10

Fonte: Autor

O ranqueamento apresentado na Tabela 20 é o resultado do modelo multicritério híbrido de apoio a decisão proposto neste trabalho. Anteriormente, a empresa estudada utilizava o critério “C3: Atendimento ao cliente” como o único critério para priorizar suas atividades de manutenção (alternativas) somado ao *feeling*

do decisor. O critério C3 é expresso pela potência instalada e a Tabela 21 mostra como seria o ranqueamento das atividades realizado antes pela empresa.

Tabela 21: Ranqueamento pelo antigo método

Potência	Alternativas	Ranking
500	A1	1
85	A2	2
40	A4	3
40	A8	4
40	A10	5
38	A5	6
20	A3	7
11	A7	8
10	A9	9
6	A6	10

Fonte: Autor

Comparando os dois ranqueamento, entre o método antigo e o novo proposto neste trabalho (Tabela 22), pode-se observar uma grande diferença no resultado. Das 10 alternativas elencadas, apenas 2 alternativas (A1 e A5) mantêm a posição no ranqueamento. Do lado oposto, a alternativa A6 ocupa a décima posição no método antigo que levava em conta apenas a potência instalada, e com o novo método, que leva em conta 7 critérios relevantes, ocupa a quarta posição.

Tabela 22: Comparação entre os métodos

Alternativas	Método Antigo	SWARA Fuzzy-TOPSIS
A1	1	1
A2	2	3
A3	7	9
A4	3	7
A5	6	6
A6	10	4
A7	8	5
A8	4	2
A9	9	10
A10	5	8

Fonte: Autor

#### 4.8 ANÁLISE DE SENSIBILIDADE

A análise de sensibilidade foi realizada para verificar o impacto da variação dos pesos dos critérios na ordem de priorização das alternativas seguindo as etapas descritas na seção 3.7. Todos os critérios foram selecionados para a variação dos pesos. Conforme a segunda etapa, as Tabelas 23 a 29 apresentam os novos pesos proporcionais dos critérios.

Tabela 23: Variação dos pesos de 0 a 1 do critério C1: Prioridade

<b>C1</b>	<b>0</b>	<b>0,1</b>	<b>0,2</b>	<b>0,3</b>	<b>0,4</b>	<b>0,5</b>	<b>0,6</b>	<b>0,7</b>	<b>0,8</b>	<b>0,9</b>	<b>1</b>
<b>C2</b>	0,251	0,226	0,201	0,176	0,150	0,125	0,100	0,075	0,050	0,025	0,000
<b>C3</b>	0,393	0,354	0,314	0,275	0,236	0,196	0,157	0,118	0,079	0,039	0,000
<b>C4</b>	0,106	0,096	0,085	0,074	0,064	0,053	0,043	0,032	0,021	0,011	0,000
<b>C5</b>	0,141	0,127	0,113	0,099	0,085	0,071	0,056	0,042	0,028	0,014	0,000
<b>C6</b>	0,040	0,036	0,032	0,028	0,024	0,020	0,016	0,012	0,008	0,004	0,000
<b>C7</b>	0,069	0,062	0,055	0,048	0,041	0,034	0,027	0,021	0,014	0,007	0,000

Fonte: Autor

Tabela 24: Variação dos pesos de 0 a 1 do critério C2: Efeito do não atendimento

<b>C1</b>	<b>0</b>	<b>0,1</b>	<b>0,2</b>	<b>0,3</b>	<b>0,4</b>	<b>0,5</b>	<b>0,6</b>	<b>0,7</b>	<b>0,8</b>	<b>0,9</b>	<b>1</b>
<b>C2</b>	0,300	0,270	0,240	0,210	0,180	0,150	0,120	0,090	0,060	0,030	0,000
<b>C3</b>	0,367	0,330	0,294	0,257	0,220	0,184	0,147	0,110	0,073	0,037	0,000
<b>C4</b>	0,099	0,089	0,079	0,070	0,060	0,050	0,040	0,030	0,020	0,010	0,000
<b>C5</b>	0,132	0,119	0,106	0,092	0,079	0,066	0,053	0,040	0,026	0,013	0,000
<b>C6</b>	0,038	0,034	0,030	0,026	0,023	0,019	0,015	0,011	0,008	0,004	0,000
<b>C7</b>	0,064	0,058	0,051	0,045	0,038	0,032	0,026	0,019	0,013	0,006	0,000

Fonte: Autor

Tabela 25: Variação dos pesos de 0 a 1 do critério C3: Atendimento ao cliente

<b>C1</b>	<b>0</b>	<b>0,1</b>	<b>0,2</b>	<b>0,3</b>	<b>0,4</b>	<b>0,5</b>	<b>0,6</b>	<b>0,7</b>	<b>0,8</b>	<b>0,9</b>	<b>1</b>
<b>C2</b>	0,346	0,311	0,277	0,242	0,208	0,173	0,138	0,104	0,069	0,035	0,000
<b>C3</b>	0,270	0,243	0,216	0,189	0,162	0,135	0,108	0,081	0,054	0,027	0,000
<b>C4</b>	0,115	0,103	0,092	0,080	0,069	0,057	0,046	0,034	0,023	0,011	0,000
<b>C5</b>	0,152	0,137	0,122	0,106	0,091	0,076	0,061	0,046	0,030	0,015	0,000
<b>C6</b>	0,043	0,039	0,035	0,030	0,026	0,022	0,017	0,013	0,009	0,004	0,000
<b>C7</b>	0,074	0,067	0,059	0,052	0,044	0,037	0,030	0,022	0,015	0,007	0,000

Fonte: Autor

Tabela 26: Variação dos pesos de 0 a 1 do critério C4: Distância

<b>C1</b>	0,264	0,238	0,211	0,185	0,159	0,132	0,106	0,079	0,053	0,026	0,000
<b>C2</b>	0,206	0,186	0,165	0,145	0,124	0,103	0,083	0,062	0,041	0,021	0,000
<b>C3</b>	0,323	0,291	0,259	0,226	0,194	0,162	0,129	0,097	0,065	0,032	0,000
<b>C4</b>	<b>0</b>	<b>0,1</b>	<b>0,2</b>	<b>0,3</b>	<b>0,4</b>	<b>0,5</b>	<b>0,6</b>	<b>0,7</b>	<b>0,8</b>	<b>0,9</b>	<b>1</b>
<b>C5</b>	0,116	0,105	0,093	0,081	0,070	0,058	0,046	0,035	0,023	0,012	0,000
<b>C6</b>	0,033	0,030	0,027	0,023	0,020	0,017	0,013	0,010	0,007	0,003	0,000
<b>C7</b>	0,056	0,051	0,045	0,040	0,034	0,028	0,023	0,017	0,011	0,006	0,000

Fonte: Autor

Tabela 27: Variação dos pesos de 0 a 1 do critério C5: Tempo estimado

<b>C1</b>	0,272	0,245	0,218	0,190	0,163	0,136	0,109	0,082	0,054	0,027	0,000
<b>C2</b>	0,213	0,191	0,170	0,149	0,128	0,106	0,085	0,064	0,043	0,021	0,000
<b>C3</b>	0,333	0,300	0,266	0,233	0,200	0,166	0,133	0,100	0,067	0,033	0,000
<b>C4</b>	0,090	0,081	0,072	0,063	0,054	0,045	0,036	0,027	0,018	0,009	0,000
<b>C5</b>	<b>0</b>	<b>0,1</b>	<b>0,2</b>	<b>0,3</b>	<b>0,4</b>	<b>0,5</b>	<b>0,6</b>	<b>0,7</b>	<b>0,8</b>	<b>0,9</b>	<b>1</b>
<b>C6</b>	0,034	0,031	0,027	0,024	0,020	0,017	0,014	0,010	0,007	0,003	0,000
<b>C7</b>	0,058	0,052	0,047	0,041	0,035	0,029	0,023	0,017	0,012	0,006	0,000

Fonte: Autor

Tabela 28: Variação dos pesos de 0 a 1 do critério C6: Custo estimado por terceiros

<b>C1</b>	0,251	0,226	0,201	0,175	0,150	0,125	0,100	0,075	0,050	0,025	0,000
<b>C2</b>	0,196	0,176	0,157	0,137	0,118	0,098	0,078	0,059	0,039	0,020	0,000
<b>C3</b>	0,307	0,276	0,245	0,215	0,184	0,153	0,123	0,092	0,061	0,031	0,000
<b>C4</b>	0,083	0,075	0,066	0,058	0,050	0,042	0,033	0,025	0,017	0,008	0,000
<b>C5</b>	0,110	0,099	0,088	0,077	0,066	0,055	0,044	0,033	0,022	0,011	0,000
<b>C6</b>	<b>0</b>	<b>0,1</b>	<b>0,2</b>	<b>0,3</b>	<b>0,4</b>	<b>0,5</b>	<b>0,6</b>	<b>0,7</b>	<b>0,8</b>	<b>0,9</b>	<b>1</b>
<b>C7</b>	0,054	0,048	0,043	0,038	0,032	0,027	0,021	0,016	0,011	0,005	0,000

Fonte: Autor

Tabela 29: Variação dos pesos de 0 a 1 do critério C7: Espera

<b>C1</b>	0,256	0,231	0,205	0,179	0,154	0,128	0,103	0,077	0,051	0,026	0,000
<b>C2</b>	0,200	0,180	0,160	0,140	0,120	0,100	0,080	0,060	0,040	0,020	0,000
<b>C3</b>	0,314	0,282	0,251	0,220	0,188	0,157	0,125	0,094	0,063	0,031	0,000
<b>C4</b>	0,085	0,076	0,068	0,059	0,051	0,042	0,034	0,025	0,017	0,008	0,000
<b>C5</b>	0,113	0,101	0,090	0,079	0,068	0,056	0,045	0,034	0,023	0,011	0,000
<b>C6</b>	0,032	0,029	0,026	0,022	0,019	0,016	0,013	0,010	0,006	0,003	0,000
<b>C7</b>	<b>0</b>	<b>0,1</b>	<b>0,2</b>	<b>0,3</b>	<b>0,4</b>	<b>0,5</b>	<b>0,6</b>	<b>0,7</b>	<b>0,8</b>	<b>0,9</b>	<b>1</b>

Fonte: Autor

As Tabelas 30 a 36 apresentam os novos coeficientes de proximidade ( $CC_i$ ), conforme indicado na terceira etapa.

Tabela 30: Novos  $CC_i$  com variações dos pesos do C1

	$W_1=0$	$W_1=0,1$	$W_1=0,2$	$W_1=0,3$	$W_1=0,4$	$W_1=0,5$	$W_1=0,6$	$W_1=0,7$	$W_1=0,8$	$W_1=0,9$	$W_1=1$
<b>A1</b>	0,364	0,370	0,376	0,382	0,388	0,394	0,400	0,406	0,412	0,418	0,423
<b>A2</b>	0,322	0,332	0,342	0,353	0,363	0,373	0,383	0,393	0,404	0,414	0,423
<b>A3</b>	0,303	0,315	0,327	0,339	0,351	0,363	0,376	0,388	0,400	0,412	0,423
<b>A4</b>	0,305	0,317	0,329	0,341	0,353	0,365	0,377	0,389	0,400	0,412	0,423
<b>A5</b>	0,314	0,323	0,331	0,340	0,348	0,357	0,365	0,373	0,381	0,389	0,396
<b>A6</b>	0,320	0,328	0,336	0,344	0,352	0,360	0,367	0,375	0,383	0,390	0,396
<b>A7</b>	0,315	0,324	0,332	0,340	0,349	0,357	0,365	0,374	0,382	0,389	0,396
<b>A8</b>	0,322	0,333	0,343	0,353	0,363	0,373	0,383	0,394	0,404	0,414	0,423
<b>A9</b>	0,302	0,312	0,322	0,331	0,341	0,351	0,360	0,370	0,379	0,388	0,396
<b>A10</b>	0,311	0,320	0,329	0,338	0,347	0,355	0,364	0,373	0,381	0,389	0,396

Fonte: Autor

Tabela 31: Novos  $CC_i$  com variações dos pesos do C2

	$W_2=0$	$W_2=0,1$	$W_2=0,2$	$W_2=0,3$	$W_2=0,4$	$W_2=0,5$	$W_2=0,6$	$W_2=0,7$	$W_2=0,8$	$W_2=0,9$	$W_2=1$
<b>A1</b>	0,368	0,374	0,379	0,385	0,390	0,396	0,402	0,407	0,413	0,418	0,423
<b>A2</b>	0,329	0,338	0,348	0,357	0,367	0,376	0,386	0,396	0,405	0,414	0,423
<b>A3</b>	0,321	0,327	0,333	0,339	0,344	0,350	0,355	0,360	0,365	0,369	0,373
<b>A4</b>	0,321	0,328	0,335	0,342	0,349	0,356	0,362	0,369	0,375	0,381	0,386
<b>A5</b>	0,320	0,328	0,336	0,344	0,352	0,360	0,367	0,375	0,382	0,390	0,396
<b>A6</b>	0,327	0,333	0,340	0,346	0,353	0,359	0,365	0,371	0,376	0,381	0,386
<b>A7</b>	0,323	0,330	0,336	0,343	0,350	0,356	0,363	0,369	0,375	0,381	0,386
<b>A8</b>	0,329	0,339	0,348	0,358	0,367	0,377	0,386	0,396	0,405	0,414	0,423
<b>A9</b>	0,308	0,318	0,327	0,336	0,345	0,354	0,363	0,372	0,380	0,388	0,396
<b>A10</b>	0,324	0,329	0,333	0,338	0,343	0,347	0,351	0,355	0,359	0,362	0,365

Fonte: Autor

Tabela 32: Novos  $CC_i$  com variações dos pesos do C3

	$W_3=0$	$W_3=0,1$	$W_3=0,2$	$W_3=0,3$	$W_3=0,4$	$W_3=0,5$	$W_3=0,6$	$W_3=0,7$	$W_3=0,8$	$W_3=0,9$	$W_3=1$
<b>A1</b>	0,358	0,365	0,372	0,379	0,386	0,393	0,400	0,407	0,414	0,421	0,429
<b>A2</b>	0,362	0,357	0,352	0,347	0,341	0,336	0,331	0,326	0,320	0,315	0,310
<b>A3</b>	0,349	0,344	0,338	0,332	0,326	0,321	0,315	0,309	0,303	0,297	0,291
<b>A4</b>	0,350	0,345	0,339	0,334	0,329	0,324	0,318	0,313	0,308	0,302	0,297
<b>A5</b>	0,351	0,346	0,340	0,335	0,330	0,324	0,319	0,313	0,308	0,302	0,297
<b>A6</b>	0,361	0,354	0,346	0,339	0,332	0,324	0,317	0,310	0,302	0,295	0,287
<b>A7</b>	0,355	0,349	0,342	0,335	0,329	0,322	0,316	0,309	0,302	0,296	0,289
<b>A8</b>	0,368	0,361	0,354	0,347	0,340	0,333	0,326	0,319	0,311	0,304	0,297
<b>A9</b>	0,341	0,336	0,331	0,326	0,320	0,315	0,310	0,304	0,299	0,294	0,289
<b>A10</b>	0,348	0,343	0,338	0,333	0,328	0,323	0,318	0,312	0,307	0,302	0,297

Fonte: Autor

Tabela 33: Novos  $CC_i$  com variações dos pesos do C4

	$W_4=0$	$W_4=0,1$	$W_4=0,2$	$W_4=0,3$	$W_4=0,4$	$W_4=0,5$	$W_4=0,6$	$W_4=0,7$	$W_4=0,8$	$W_4=0,9$	$W_4=1$
<b>A1</b>	0,397	0,374	0,351	0,328	0,305	0,283	0,260	0,239	0,218	0,198	0,180
<b>A2</b>	0,363	0,343	0,323	0,304	0,284	0,265	0,247	0,228	0,211	0,194	0,180
<b>A3</b>	0,338	0,331	0,324	0,318	0,311	0,304	0,298	0,291	0,284	0,277	0,271
<b>A4</b>	0,349	0,331	0,312	0,294	0,276	0,259	0,241	0,224	0,208	0,193	0,180
<b>A5</b>	0,341	0,334	0,326	0,318	0,310	0,302	0,295	0,287	0,279	0,271	0,263
<b>A6</b>	0,346	0,338	0,329	0,321	0,313	0,305	0,296	0,288	0,280	0,272	0,263
<b>A7</b>	0,341	0,334	0,327	0,321	0,314	0,307	0,300	0,293	0,286	0,279	0,272
<b>A8</b>	0,354	0,345	0,337	0,328	0,320	0,311	0,302	0,294	0,285	0,277	0,268
<b>A9</b>	0,340	0,322	0,305	0,288	0,271	0,254	0,238	0,222	0,206	0,192	0,180
<b>A10</b>	0,338	0,331	0,324	0,317	0,310	0,303	0,296	0,289	0,282	0,275	0,268

Fonte: Autor

Tabela 34: Novos  $CC_i$  com variações dos pesos do C5

	$W_5=0$	$W_5=0,1$	$W_5=0,2$	$W_5=0,3$	$W_5=0,4$	$W_5=0,5$	$W_5=0,6$	$W_5=0,7$	$W_5=0,8$	$W_5=0,9$	$W_5=1$
<b>A1</b>	0,399	0,380	0,361	0,343	0,324	0,306	0,289	0,271	0,255	0,239	0,223
<b>A2</b>	0,357	0,347	0,338	0,328	0,319	0,309	0,300	0,290	0,281	0,272	0,262
<b>A3</b>	0,347	0,333	0,320	0,306	0,293	0,281	0,268	0,256	0,245	0,234	0,223
<b>A4</b>	0,342	0,335	0,327	0,320	0,313	0,305	0,298	0,290	0,283	0,276	0,268
<b>A5</b>	0,349	0,336	0,323	0,310	0,298	0,286	0,274	0,263	0,252	0,242	0,233
<b>A6</b>	0,348	0,340	0,331	0,323	0,314	0,305	0,297	0,288	0,279	0,271	0,262
<b>A7</b>	0,350	0,337	0,323	0,310	0,297	0,285	0,273	0,261	0,250	0,239	0,229
<b>A8</b>	0,359	0,348	0,337	0,326	0,315	0,304	0,293	0,283	0,272	0,261	0,251
<b>A9</b>	0,339	0,327	0,315	0,303	0,292	0,281	0,270	0,260	0,250	0,241	0,233
<b>A10</b>	0,341	0,333	0,326	0,319	0,312	0,304	0,297	0,290	0,283	0,275	0,268

Fonte: Autor

Tabela 35: Novos  $CC_i$  com variações dos pesos do C6

	$W_6=0$	$W_6=0,1$	$W_6=0,2$	$W_6=0,3$	$W_6=0,4$	$W_6=0,5$	$W_6=0,6$	$W_6=0,7$	$W_6=0,8$	$W_6=0,9$	$W_6=1$
<b>A1</b>	0,381	0,374	0,368	0,362	0,356	0,350	0,343	0,337	0,331	0,325	0,318
<b>A2</b>	0,346	0,348	0,350	0,351	0,353	0,354	0,356	0,357	0,358	0,359	0,359
<b>A3</b>	0,331	0,335	0,339	0,343	0,346	0,350	0,354	0,357	0,360	0,363	0,366
<b>A4</b>	0,333	0,337	0,342	0,347	0,351	0,356	0,360	0,365	0,369	0,373	0,377
<b>A5</b>	0,334	0,337	0,339	0,341	0,343	0,345	0,346	0,348	0,350	0,352	0,353
<b>A6</b>	0,339	0,340	0,342	0,344	0,345	0,347	0,348	0,350	0,351	0,352	0,353
<b>A7</b>	0,335	0,338	0,341	0,343	0,346	0,349	0,351	0,354	0,356	0,358	0,359
<b>A8</b>	0,345	0,351	0,356	0,362	0,367	0,372	0,378	0,383	0,388	0,392	0,396
<b>A9</b>	0,324	0,330	0,335	0,341	0,346	0,351	0,356	0,361	0,365	0,370	0,373
<b>A10</b>	0,331	0,336	0,341	0,346	0,351	0,355	0,360	0,364	0,369	0,373	0,377

Fonte: Autor

Tabela 36: Novos  $CC_i$  com variações dos pesos do C7

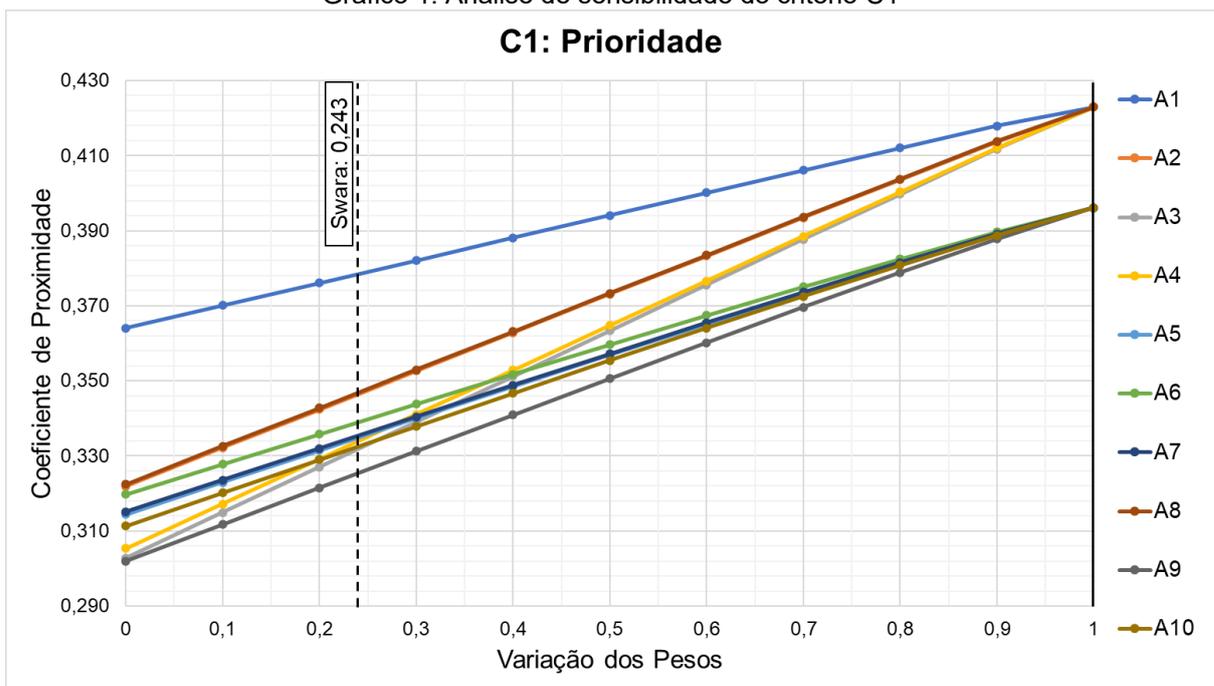
	$W_7=0$	$W_7=0,1$	$W_7=0,2$	$W_7=0,3$	$W_7=0,4$	$W_7=0,5$	$W_7=0,6$	$W_7=0,7$	$W_7=0,8$	$W_7=0,9$	$W_7=1$
<b>A1</b>	0,376	0,381	0,386	0,392	0,397	0,402	0,407	0,413	0,418	0,423	0,429
<b>A2</b>	0,346	0,347	0,348	0,349	0,351	0,352	0,353	0,354	0,355	0,356	0,357
<b>A3</b>	0,335	0,330	0,325	0,320	0,315	0,310	0,305	0,300	0,296	0,291	0,286
<b>A4</b>	0,337	0,332	0,327	0,322	0,316	0,311	0,306	0,301	0,296	0,291	0,286
<b>A5</b>	0,334	0,336	0,339	0,341	0,343	0,346	0,348	0,350	0,352	0,355	0,357
<b>A6</b>	0,334	0,344	0,353	0,363	0,372	0,381	0,391	0,400	0,410	0,419	0,429
<b>A7</b>	0,331	0,340	0,350	0,360	0,370	0,379	0,389	0,399	0,409	0,419	0,429
<b>A8</b>	0,351	0,344	0,338	0,331	0,325	0,318	0,312	0,305	0,299	0,292	0,286
<b>A9</b>	0,324	0,327	0,331	0,334	0,337	0,341	0,344	0,347	0,350	0,354	0,357
<b>A10</b>	0,335	0,330	0,326	0,321	0,316	0,311	0,306	0,301	0,296	0,291	0,286

Fonte: Autor

A última etapa da análise de sensibilidade envolve a plotagem dos gráficos para verificar o comportamento do ranqueamento das alternativas. Os Gráficos 1 a 7 apresentam a análise de sensibilidade de cada critério, onde no eixo x encontra-se a variação dos pesos de cada critério e no eixo y estão os coeficientes de proximidade ( $CC_i$ ). A linha tracejada representa o valor original do peso calculado pelo SWARA e a linha contínua indica a mudança no ranqueamento das alternativas.

O Gráfico 1 apresenta a análise de sensibilidade do critério C1: Prioridade.

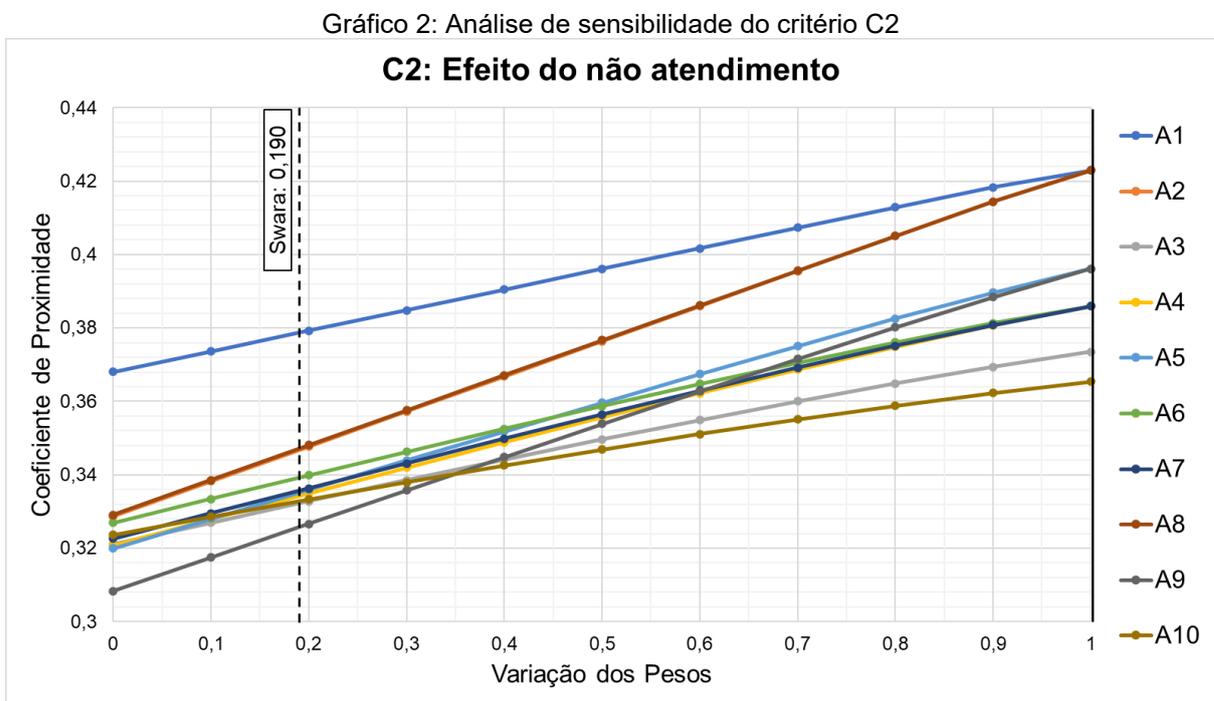
Gráfico 1: Análise de sensibilidade do critério C1



Fonte: Autor

O critério C1: Prioridade se comporta de maneira estável e robusta, as alternativas A1, A8 e A2 permanecem na primeira, segunda e terceira posição do ranking independentemente da variação dos pesos. Quando o peso do critério C1 for menor que 0,2, há alteração do ranqueamento apenas nas alternativas A4 e A10, permanecendo as demais posições inalteradas. As demais alternativas apresentam sensíveis a pesos maiores que 0,3 e menores que 0,5.

O Gráfico 2 apresenta a análise de sensibilidade do critério C2: Efeito do não atendimento.



Fonte: Autor

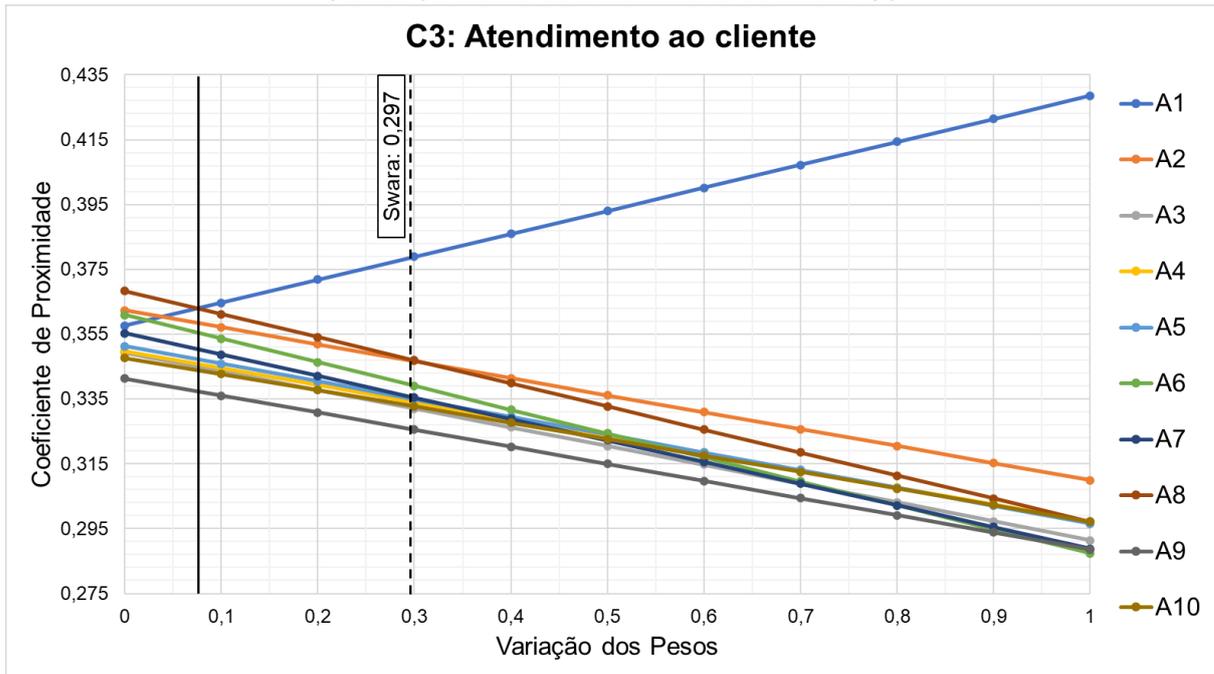
O mesmo comportamento estável e robusto se repete com o critério C2: Efeito do não atendimento, onde as alternativas A1, A8 e A2 permanecem na primeira, segunda e terceira posição do ranking independentemente da variação dos pesos. A alternativa A6 permanece na quarta posição para pesos menores que 0,4. As demais alternativas sofrem variações no ranqueamento com a variação dos pesos.

O Gráfico 3 apresenta a análise de sensibilidade do critério C3: Atendimento ao cliente. Como pode ser observado na análise do critério C3: Atendimento ao cliente, a alternativa A1 lidera o ranking quando os pesos estão entre 0,1 a 1, essa alternativa perde a primeira posição do ranking para a alternativa A8 apenas quando peso do critério C3 é igual a 0. As alternativas A8 e A2 permanecem inalteradas quando os

pesos estão entre 0,1 e 0,3 e invertem suas posições quando o peso do critério C3 é maior que 0,4.

O critério C3 é o critério que possui maior peso entre os demais critérios quando calculado pelo método SWARA e pode-se observar certa sensibilidade a mudança dos pesos.

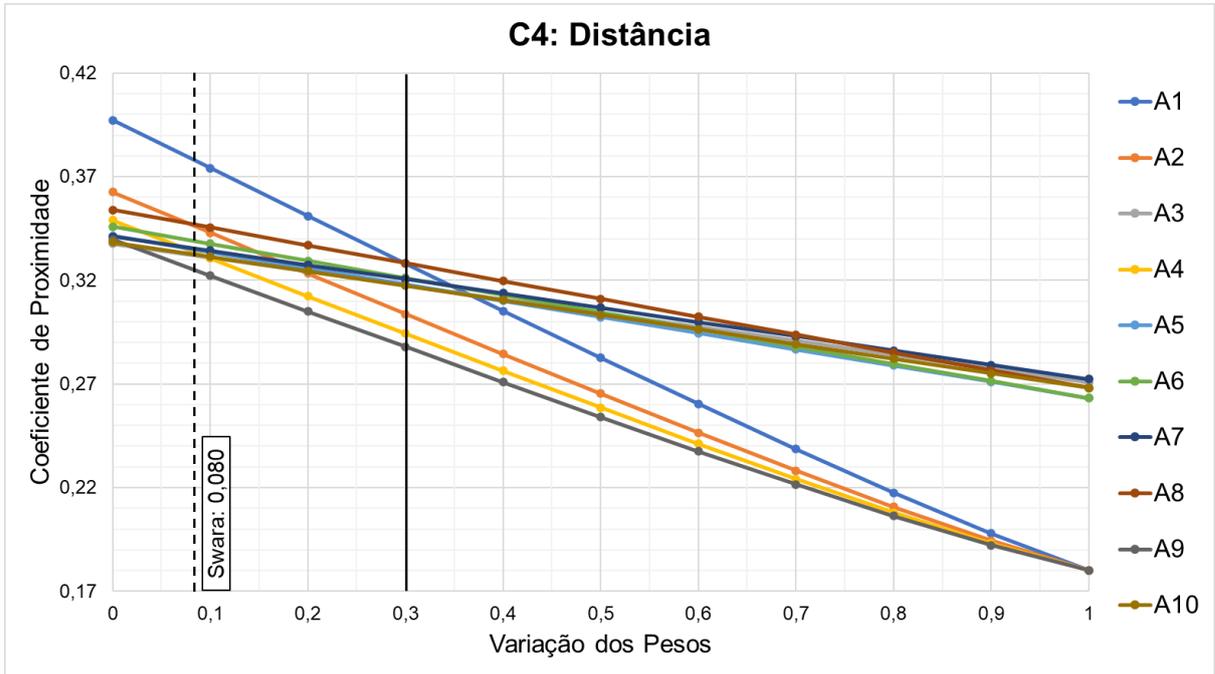
Gráfico 3: Análise de sensibilidade do critério C3



Fonte: Autor

O Gráfico 4 apresenta a análise de sensibilidade do critério C4: Distância. Analisando a variação do critério C4, pode-se verificar que esse critério apresenta considerável sensibilidade a variação de pesos, onde a alternativa A1 está na primeira posição do ranking na ponderação original do SWARA, mas cai para sétima posição conforme vai ocorrendo a variação dos pesos. A primeira posição do ranking é ocupada pela A1 entre os pesos 0 e 0,2, pela alternativa A8 entre os pesos 0,3 e 0,7 e pela alternativa A7 entre os pesos 0,8 e 1.

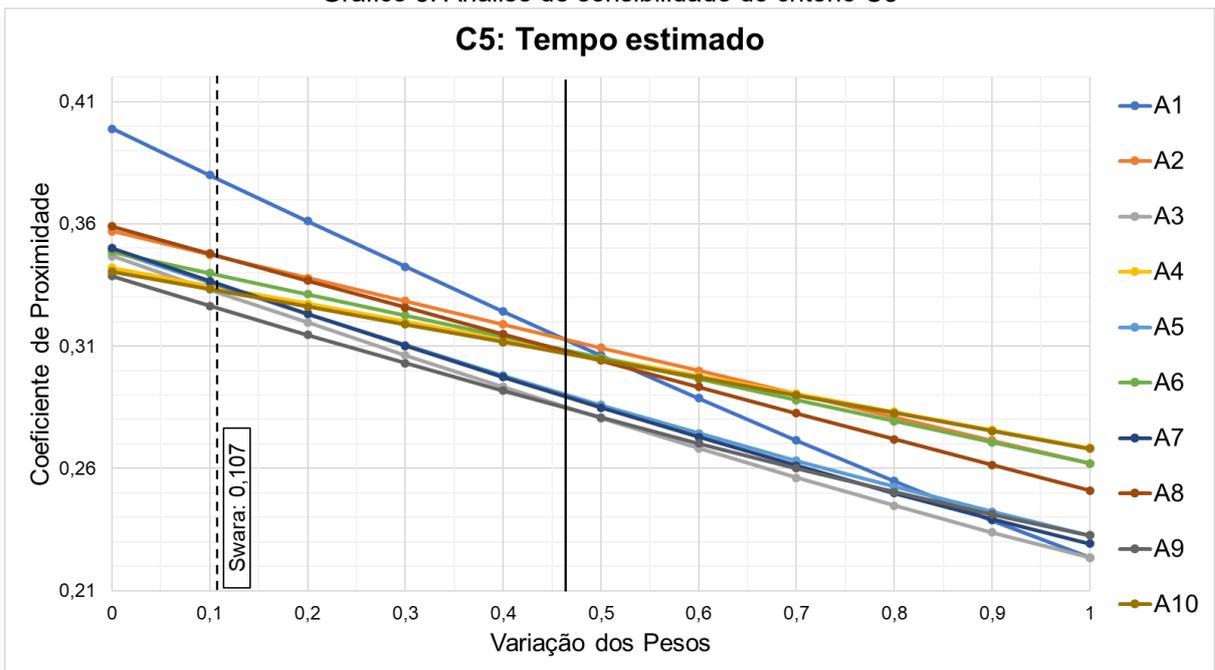
Gráfico 4: Análise de sensibilidade do critério C4



Fonte: Autor

O Gráfico 5 apresenta a análise de sensibilidade do critério C5: Tempo estimado.

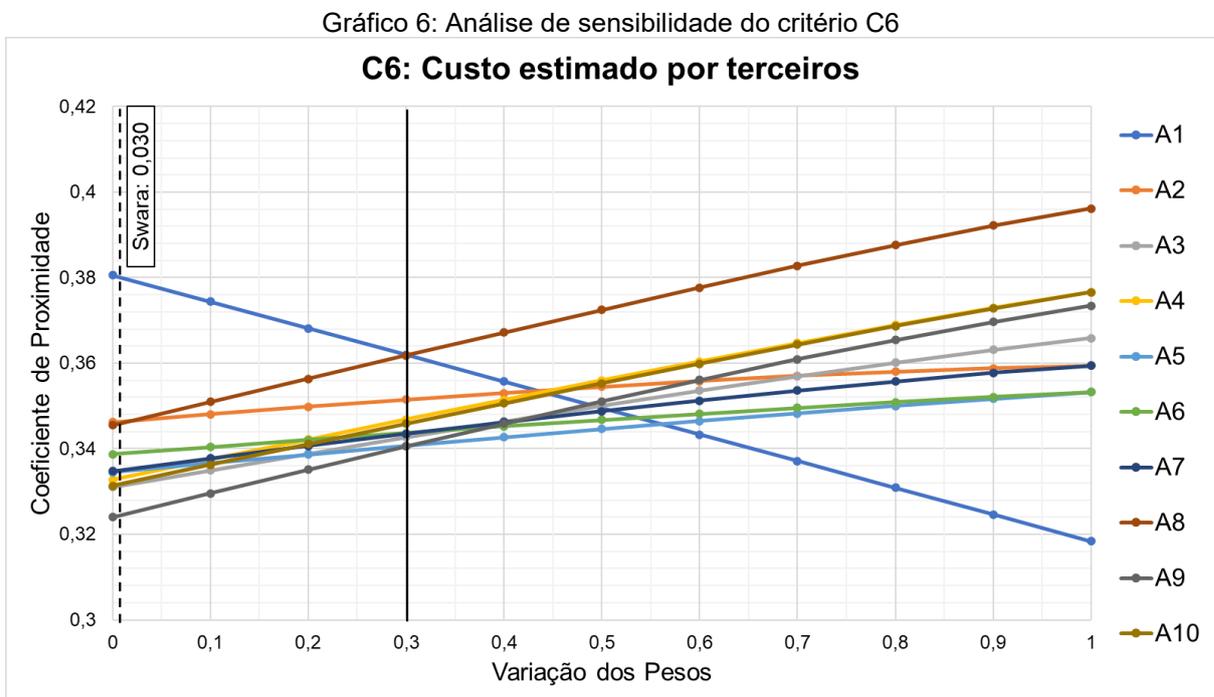
Gráfico 5: Análise de sensibilidade do critério C5



Fonte: Autor

Assim como o critério C4, o critério C5: Tempo estimado sofre considerável variação no ranqueamento das alternativas. A alternativa A1 está na primeira posição do ranking na ponderação original do SWARA e mantém essa posição quando os pesos variam de 0 a 0,4, porém acima de 0,5 a alternativa A1 sofre variação para segunda, sexta e nona posição.

Por conseguinte, a primeira posição do ranking é ocupada pela alternativa A2 quando os pesos variam de 0,5 a 0,6, e pela alternativa A4 para os pesos acima de 0,7. O Gráfico 6 apresenta a análise de sensibilidade do critério C6: Custo estimado por terceiros.

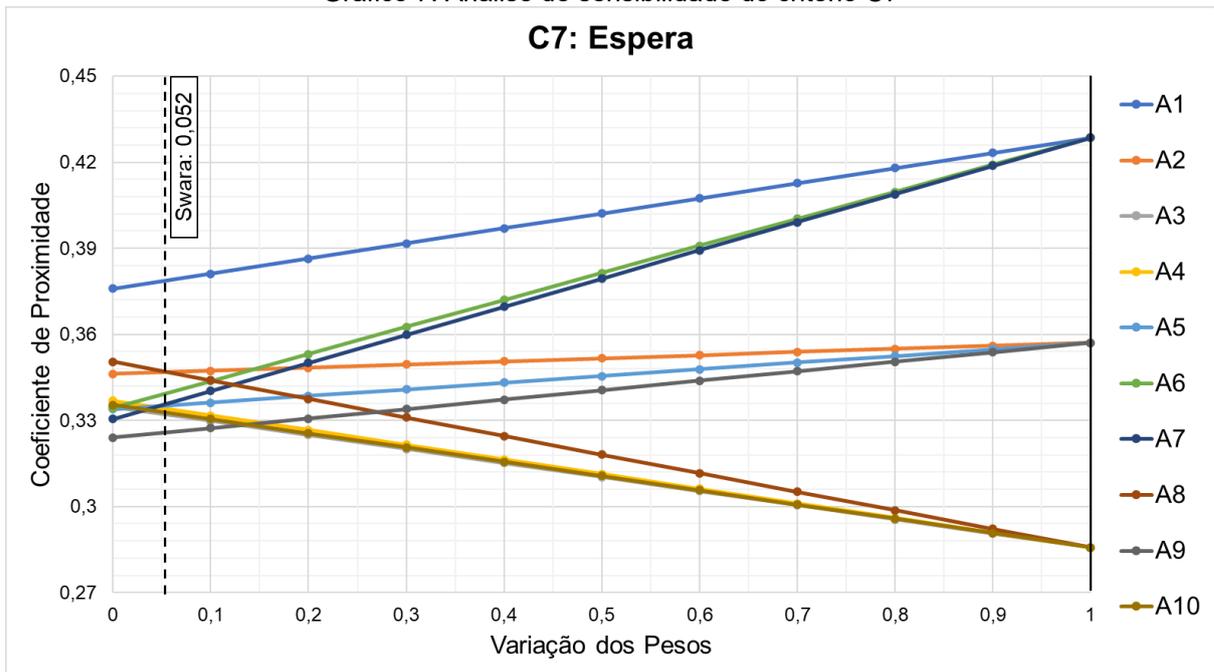


Fonte: Autor

Na variação de pesos do critério C6: Custo estimado por terceiros, a alternativa A1 permanece na primeira posição do ranking entre os pesos de 0 a 0,3, a partir desse peso, ela decai para segunda, sétima e décima posição. A primeira posição do ranking é ocupada pela alternativa A8 para os pesos acima de 0,4.

O Gráfico 7 apresenta a análise de sensibilidade do critério C7: Espera.

Gráfico 7: Análise de sensibilidade do critério C7



Fonte: Autor

As primeiras posições do ranqueamento tem comportamento estável por quase toda a variação dos pesos. A alternativa A1 permanece na primeira posição do ranking independentemente da variação dos pesos. As alternativas A6 e A7 permanecem como segunda e terceira posição entre os pesos de 0,2 a 0,9.

Com a análise de sensibilidade percebe-se o comportamento das alternativas frente a variação dos pesos. No ranking gerado originalmente pelo método do *fuzzy* TOPSIS com os pesos calculados pelo método SWARA, as alternativas A1 e A8 ocuparam a primeira e segunda posição sucessivamente.

A alternativa A1 manteve-se na primeira posição do ranking na maioria dos casos, sendo estável nas variações dos pesos dos critérios C1, C2 e C7 e, apresentando pouca variação no critério C3. Confirmando que ela é a melhor alternativa para a maioria dos critérios. Quando a alternativa A1 não é a primeira no ranking, a alternativa A8 é a segunda alternativa que mais aparece como preferida.

É possível observar como o ranqueamento das alternativas é sensível a variação dos pesos devido a variação da importância de cada critério. Isso reforça a necessidade de estabelecer corretamente os pesos para cada critério. O desafio está em representar a atual necessidade da empresa, já que uma pequena variação pode apresentar grande impacto no ranqueamento final e consequentemente no processo de tomada de decisão.

## 5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Manter o sistema de saneamento básico em constante funcionamento é um desafio para as empresas responsáveis por esse serviço. Independente da causa dos problemas, é de responsabilidade da empresa manter seu sistema de abastecimento e esgotamento em funcionamento, executando as devidas manutenções no sistema, nas quais envolvem diversos fatores críticos e precisam evitar a falta de água à população ou o extravasamento de esgoto sanitário, por exemplo.

Estudos anteriores em priorização de manutenção não levaram em consideração os diversos e importantes critérios que podem ser envolvidos na tomada de decisão. Neste trabalho foi desenvolvido um modelo multicritério híbrido de apoio a decisão para priorizar a manutenção corretiva de uma empresa de saneamento com objetivo de tornar mais eficiente e confiável a ordenação das atividades de manutenção.

O trabalho levou em conta 7 critérios definidos em conjunto com a empresa, considerando os aspectos importantes e relevantes estabelecido pelos decisores. Esses critérios não eram levados em conta pela falta de uma ferramenta adequada que os incorporasse, como exemplo no caso do critério “C2: Efeito do não atendimento”, no qual avalia as consequências de não atender ao chamado de manutenção e pode desencadear impactos ambientais ou a falta de água que afeta diretamente o cliente. Avaliando isso, os critérios “C3: Atendimento ao cliente” e “C1: Prioridade” com os critérios com maiores pesos no processo de decisão atual.

O método SWARA foi utilizado devido ao número de comparações necessárias ser significativamente menor do que outros métodos, o que facilita a avaliação das ideias dos especialistas. Já a utilização do *fuzzy* aliado ao TOPSIS serviu para reduzir as incertezas inerentes das respostas coletadas e permitir expressar a importância dos critérios subjetivos, maximizando os critérios de benefício e minimizando os critérios de custo.

O presente trabalho atingiu seu objetivo e se mostrou um modelo flexível para realizar a variação dos pesos dos critérios e alteração do número de alternativas. O mesmo apresenta uma resposta de ranqueamento confiável, que auxilia os decisores na tomada de decisão, além de apresentar contribuição prática ao resolver o problema da empresa. Sua contribuição científica se deve a combinação dos dois métodos multicritério ainda não utilizada na resolução deste tipo de problema.

A análise de sensibilidade mostra como outras alternativas podem assumir o topo do ranking e ser levadas em conta na tomada de decisão quando há variação nos pesos dos critérios. Em suma, o modelo se mostra útil para resolver problemas de ordenação de alternativas e atende às necessidades da empresa.

Para trabalhos futuros, indica-se aplicar o questionário de avaliação dos critérios a pessoas que estejam envolvidas indiretamente no processo de tomada de decisão, mas que possam influenciar no resultado. Em problemas com mais de um decisor, agregar as respostas dos decisores utilizando média ponderada, diferenciando o peso da resposta de cada decisor. Outra indicação é a aplicação do modelo em empresas de diferentes setores. E também, pode-se implantar o modelo proposto em um software para tornar o processo mais rápido e dinâmico.

## REFERÊNCIAS

- ABDULGADER, F. S.; EID, R.; ROUYENDEGH, B. D. Development of decision support model for selecting a maintenance plan using a *fuzzy* MCDM approach: A theoretical framework. **Applied Computational Intelligence and Soft Computing**, v. 2018, p.1-14, 2018.
- ACKOFF, R.L.; SASIENI, M.W. **Fundamentos de investigación de operaciones**. Limusa-Wiley, Mexico, 1971.
- ALBUQUERQUE, C. **Sustainable Water and Sanitation Services**. London: Routledge, 2013. 360 p.
- ALMEIDA, A. T.; FERREIRA, R. J. P.; CAVALCANTE, C. A. V. A review of the use of multicriteria and multi-objective models in maintenance and reliability. **IMA Journal of Management Mathematics**, v. 26, n. 3, p. 249-271, 2015.
- ALMEIDA, A. T. *et al.* **Multicriteria and Multiobjective Models for Risk, Reliability and Maintenance Decision Analysis**. Switzerland: Springer, 2015.
- ARGYROPOULOU, K.; ILIOPOULOU, C.; KEPAPTSOGLU, K. Model for Corrective Maintenance Scheduling of Rail Transit Networks: Application to Athens Metro. **Journal of Infrastructure Systems**, v. 25, n. 1, 2019.
- AZADEH, A.; SHEIKHALISHAHI, M.; MONSHI, F.. Selecting optimum maintenance activity plans by a unique simulation-multivariate approach. **International Journal Of Computer Integrated Manufacturing**, p.1-15, 2015.
- BANA E COSTA, C. A.; VANSNICK, J. C. MACBETH - An interactive path towards the construction of cardinal value functions. **International transactions in operational Research**, v. 1, n. 4, p. 489-500, 1994.
- BARAK, S.; MOKFI, T. Evaluation and selection of clustering methods using a hybrid group MCDM. **Expert Systems With Applications**, v. 138, 112817, 2019.
- BASRI, E. I. *et al.* Preventive maintenance (PM) planning: a review. **Journal of Quality in Maintenance Engineering**, v. 23, n. 2, p. 114-143, 2017.

BERTOLINI, M.; BEVILACQUA, M. A combined goal programming—AHP approach to maintenance selection problem. **Reliability Engineering & System Safety**, v. 91, n. 7, p.839-848, 2006.

BIDKHORI, M. *et al.* The influence of the use of improved sanitation facilities and improved drinking-water sources on the diarrhea-associated deaths in children under 5 years. **Human And Ecological Risk Assessment: An International Journal**, v. 25, n. 5, p.1234-1241, 2018.

BRAGLIA, M. MAFMA: multi-attribute failure mode analysis. **International Journal Of Quality & Reliability Management**, v. 17, n. 9, p.1017-1033, 2000.

BRANS, J. P. **L'ingénierie de la décision: l'élaboration d'instruments d'aide a la décision**. Université Laval, Faculté des sciences de l'administration, 1982.

Brasil. Lei nº 11.445 de 5 de janeiro de 2007. **Estabelece diretrizes nacionais para o saneamento básico**. DOU, Brasília, 2007. Disponível em: [http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/\\_Ato2007-2010/2007/Lei/L11445.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2007-2010/2007/Lei/L11445.htm) Acesso em junho de 2019.

BUDAI, G.; DEKKER, R.; NICOLAI, R. P. Maintenance and Production: A Review of Planning Models. In: KOBACZY, K. A. H.; MURTHY, D. N. P. (Ed.). **Complex System Maintenance Handbook**. Springer, London: 2008.

CARPITELLA, S. *et al.* A combined multi-criteria approach to support FMECA analyses: A real-world case. **Reliability Engineering & System Safety**, v. 169, p. 394-402, 2018a.

CARPITELLA, S. *et al.* A hybrid multi-criteria approach to GPR image mining applied to water supply system maintenance. **Journal of Applied Geophysics**, v. 159, p. 754-764, 2018b.

CAVALCANTE, C. A. V.; LOPES, R. S. Multi-criteria model to support the definition of opportunistic maintenance policy: A study in a cogeneration system. **Energy**, v. 80, p. 32-40, 2015.

CERTA, A. *et al.* ELECTRE TRI-based approach to the failure modes classification on the basis of risk parameters: An alternative to the risk priority number. **Computers & Industrial Engineering**, v. 108, p.100-110, jun. 2017.

CETRULO, T. B.; MARQUES, R. C.; MALHEIROS, T. F.. An analytical review of the efficiency of water and sanitation utilities in developing countries. **Water Research**, v. 161, p.372-380, 2019.

CHAN, F. T.; KUMAR, N. Global supplier development considering risk factors using *fuzzy* extended AHP-based approach. **Omega**, v. 35, n. 4, p. 417–431, 2007.

CHEN, C. Extensions of the TOPSIS for group decision-making under *fuzzy* environment. **Fuzzy Sets And Systems**, v. 114, n. 1, p.1-9, ago. 2000.

CHEN, C. B; KLEIN, C. M. An efficient approach to solving *fuzzy* MADM problems. **Fuzzy Sets and Systems**, v. 88, p. 51-67, 1997.

CHEN, C. T.; LIN, C. T.; HUANG, S. F. A *fuzzy* approach for supplier evaluation and selection in supply chain management. **International Journal of Production Economics**, v. 102, n. 02, p. 289-301, 2006.

CHEN, S. J.; HWANG, C. L. **Fuzzy multiple attribute decision making methods**. Springer, Berlin, Heidelberg, 1992.

DAGDEVIREN, M.; YAVUZ, S.; KILINÇ, N. Weapon selection using the AHP and TOPSIS methods under *fuzzy* environment. **Expert Systems With Applications**, v. 36, n. 4, p.8143-8151, 2009.

DHILLON, B. S. **Engineering maintenance: A modern approach**. Florida: CRC Press, 2002.

DIABY, V.; GOEREE, R. How to use multi-criteria decision analysis methods for reimbursement decision-making in healthcare: a step-by-step guide. **Expert Review of Pharmacoeconomics & Outcomes Research**, v.14, p. 81-99, 2014.

DING, S.; KAMARUDDIN, S. Maintenance policy optimization—literature review and directions. **The International Journal Of Advanced Manufacturing Technology**, v. 76, n. 5-8, p.1263-1283, 2014.

DONG, F. *et al.* Uncertainty-Based Multi-Objective Decision Making with Hierarchical Reliability Analysis Under Water Resources and Environmental Constraints. **Water Resources Management**, v. 30, n. 2, p. 805-822, 2015.

- EDWARDS, W. How to use multiattribute utility measurement for social decisionmaking. **IEEE transactions on systems, man, and cybernetics**, v. 7, n. 5, p. 326-340, 1977.
- EL KFITA, A.; DRISSE-KAITOUNI, O. A hybrid *fuzzy* MCDM approach based on *fuzzy* revised DEMATEL and ANP to evaluate fleet maintenance management. **International Journal of Applied Management Science**, v. 10, n. 3, p. 217-246, 2018.
- EMOVON, I.; NORMAN, R. A.; MURPHY, A. J. Hybrid MCDM based methodology for selecting the optimum maintenance strategy for ship machinery systems. **Journal of Intelligent Manufacturing**, v. 29, n. 3, p. 519-531, 2018.
- ERDOGAN, M.; KAYA, I.. Prioritizing failures by using hybrid multi criteria decision making methodology with a real case application. **Sustainable Cities And Society**, v. 45, p.117-130, 2019.
- FERREIRA, L. *et al.* A *fuzzy* hybrid integrated framework for portfolio optimization in private banking. **Expert Systems with Applications**, v. 92, p. 350-362, 2018.
- GINEVICIUS, R. A new determining method for the criteria weights in multicriteria evaluation. **International Journal of Information Technology & Decision Making**, v. 10, n. 06, p. 1067–1095, 2011.
- GHORABAE, M. K. *et al.* A new hybrid *fuzzy* MCDM approach for evaluation of construction equipment with sustainability considerations. **Archives Of Civil And Mechanical Engineering**, v. 18, n. 1, p.32-49, 2018.
- GHOUSHCHI, S. J.; YOUSEFI, S.; KHAZAEILI, M. An extended FMEA approach based on the Z-MOORA and *fuzzy* BWM for prioritization of failures. **Applied Soft Computing Journal**, v. 81, 2019.
- GOLBASI, O; TURAN, M O. A discrete-event simulation algorithm for the optimization of multi-scenario maintenance policies. **Computers & Industrial Engineering**, v. 145, p. 106514, 2020.
- GUARNIERI, P. **Decision Models in Engineering and Management**. Springer, 2015.

GUGALIYA, A.; BORAL, S.; NAIKAN, V. N. A. A hybrid decision making framework for modified failure mode effects and criticality analysis: A case study on process plant induction motors. **International Journal of Quality and Reliability Management**, 2019.

GUITOUNI, A.; MARTEL, J. M. Tentative guidelines to help choosing an appropriate MCDA method. **European Journal of Operational Research**, 109, 501–521, 1998.

HAIKOWICZ, S. A.; HIGGINS, A. J. A comparison of multiple criteria analysis techniques for water resource management. **European Journal of Operational Research**, 184(1), 255–265, 2008.

HATSEY, N. H.; BIRKIE, S. E. Total cost optimization of submersible irrigation pump maintenance using simulation. **Journal of Quality in Maintenance Engineering**, Vol. ahead-of-print, 2020.

HELLER L. Interfaces and Inter-Sector Approaches: Water, Sanitation and Public Health. In: Castro, J. E.; Heller, L. **Water and Sanitation Services: Public Policy and Management**. Londres e Sterling: Earthscan, 2009.

HELLER, P. G. B.; VON SPERLING, M.; HELLER, L. Desempenho tecnológico dos serviços de abastecimento de água e esgotamento sanitário em quatro municípios de Minas Gerais: uma análise comparativa. **Engenharia Sanitaria e Ambiental**, v. 14, n. 1, p.109-118, 2009.

HU, Y. *et al.* An integrated approach for failure mode and effect analysis based on uncertain linguistic GRA–TOPSIS method. **Soft Computing**, v. 23, n. 18, p.8801-8814, 2018.

HUSIN, S. *et al.* Implementing Fuzzy TOPSIS on Project Risk Variable Ranking. **Advances In Civil Engineering**, v. 2019, p.1-10, 2019.

HWANG, C.L.; YOON, K. Multiple attributes decision making: methods and applications. Springer, Verlag, New York, 1981.

IBGE. **Características gerais dos domicílios e dos moradores: 2018**. Rio de Janeiro, Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística IBGE, 8 p. 2018.

IGHRAVWE, D. E.; OKE, S. A. A multi-hierarchical framework for ranking maintenance sustainability strategies using PROMETHEE and *fuzzy* entropy methods. **Journal Of Building Pathology And Rehabilitation**, v. 2, n. 1, p.2-9, 2017a.

IGHRAVWE, D. E.; OKE, S. A. Ranking maintenance strategies for sustainable maintenance plan in manufacturing systems using *fuzzy* axiomatic design principle and *fuzzy*-TOPSIS. **Journal Of Manufacturing Technology Management**, v. 28, n. 7, p.961-992, 2017b.

IGHRAVWE, D. E.; OKE, S. A. A multi-criteria decision-making framework for selecting a suitable maintenance strategy for public buildings using sustainability criteria. **Journal of Building Engineering**, v. 24, p. 100753, 2019.

KEENEY, R. L.; GREGORY, R. S. Selecting attributes to measure the achievement of objectives. **Operations Research**, v. 53, n. 1, p. 1-11, 2005.

KEENEY, R. L.; RAIFFA, H. Decision analysis with multiple conflicting objectives. **Wiley& Sons**, New York, 1976.

KERSULIENE, V.; ZAVADSKAS, E. K.; TURSKIS, Z. Selection of rational dispute resolution method by applying new step-wise weight assessment ratio analysis (SWARA). **Journal of business economics and management**, v. 11, n. 2, p. 243–258, 2010.

KERSULIENE, V.; TURSKIS, Z. Integrated Fuzzy Multiple Criteria Decision Making Model For Architect Selection. **Technological And Economic Development Of Economy**, v. 17, n. 4, p.645-666, 2011.

KIRUBAKARAN, B.; ILANGKUMARAN, M.. The selection of optimum maintenance strategy based on ANP integrated with GRA-TOPSIS. **Journal For Global Business Advancement**, v. 8, n. 2, p.190-215, 2015.

KIRUBAKARAN, B.; ILANGKUMARAN, M. Selection of optimum maintenance strategy based on FAHP integrated with GRA-TOPSIS. **Annals of Operations Research**, v. 245, n. 1-2, p. 285-313, 2016.

KRYLOVAS, A. *et al.* New KEMIRA Method for Determining Criteria Priority and Weights in Solving MCDM Problem. **International Journal Of Information Technology & Decision Making**, v. 13, n. 06, p.1119-1133, 2014.

KWIETNIEWSKI, M. Reliability modelling of Water Distribution System (WDS) for operation and maintenance needs. **Archives Of Hydroengineering And Environmental Mechanics**, v. 1, n. 51, p.85-92, 2004.

LAZAKIS, I.; TURAN, O.; OLCER, A. I. Determination of the optimum ship maintenance strategy through multi attribute decision making. In: **11th International Marine design conference**. p. 473-487. 2012.

LIAO, H. *et al.* Novel operations of PLTSs based on the disparity degrees of linguistic terms and their use in designing the probabilistic linguistic ELECTRE III method. **Applied Soft Computing**, v. 80, p.450-464, 2019.

LIDÉN, T. Railway infrastructure maintenance-a survey of planning problems and conducted research. **Transportation Research Procedia**, v. 10, p. 574-583, 2015.

LIU, H. *et al.* Improving risk evaluation in FMEA with a hybrid multiple criteria decision making method. **International Journal Of Quality & Reliability Management**, v. 32, n. 7, p.763-782, 2015.

LIU, H. *et al.* An improved approach for failure mode and effect analysis involving large group of experts: An application to the healthcare field. **Quality Engineering**, v. 30, n. 4, p.762-775, 2018.

MARDANI, A. *et al.* Multiple criteria decision-making techniques and their applications - A review of the literature from 2000 to 2014. **Economic Research-Ekonomska Istrazivanja**, v. 28, n. 1, p. 516-571, 2015.

MILLER, G.A. The magical number seven, plus or minus two: some limits on our capacity for processing information. **Psychological Review**, v. 63, p. 81-97, 1956.

MOHAMED, A. M.; SAAD, S. M. Fuzzy analytic hierarchy process for the selection of maintenance policies within petroleum industry. **Advances in Transdisciplinary Engineering**, p.529-534, 2016.

MONTE, M. B. S.; DE ALMEIDA-FILHO, A. T. A Multicriteria Approach Using MAUT to Assist the Maintenance of a Water Supply System Located in a Low-Income Community. **Water Resources Management**, v. 30, n. 9, p. 3093-3106, 2016.

MULLINER, E.; MALYS, N.; MALIENE, V. Comparative analysis of MCDM methods for the assessment of sustainable housing affordability. **Omega**, v. 59, p. 146-156, 2016.

MULLINER, E., SMALLBONE, K.; MALIENE, V. An assessment of sustainable housing affordability using a multiple criteria decision making method. **Omega**, v. 41, n.02, p. 270-279, 2013.

NADABAN, S.; DZITAC, S.; DZITAC, I. Fuzzy TOPSIS: A General View. **Procedia Computer Science**, v. 91, p. 823-831, 2016.

ONU. Financing Universal Water, Sanitation And Hygiene Under The Sustainable Development Goals. **UN-Water Global Analysis and Assessment of Sanitation and Drinking-Water (GLAAS)**. Report. Geneva. 2017.

OUMA, Y. O.; OPUDO, J.; NYAMBENYA, S.. Comparison of Fuzzy AHP and Fuzzy TOPSIS for Road Pavement Maintenance Prioritization: Methodological Exposition and Case Study. **Advances In Civil Engineering**, v. 2015, p.1-17, 2015.

OZCAN, E. C.; UNLUSOY, S.; EREN, T. A combined goal programming – AHP approach supported with TOPSIS for maintenance strategy selection in hydroelectric power plants. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 78, p. 1410-1423, 2017.

PANCHAL, D.; SRIVASTAVA, P. Qualitative analysis of CNG dispensing system using *fuzzy* FMEA–GRA integrated approach. **International Journal of Systems Assurance Engineering and Management**, v. 10, n. 1, p. 44-56, 2019.

PAZ, N. M.; LEIGH, W. Maintenance scheduling: issues, results and research needs. **International Journal of Operations & Production Management**, v. 14, n. 8, p. 47-69, 1994.

PIECHNICKI, A. S.; SOLA, A. V. H.; TROJAN, F. Decision-making towards achieving world-class total productive maintenance. **International Journal of Operations and Production Management**, v. 35, n. 12, p. 1594-1621, 2015.

PIETRUCHA-URBANIK, K.; TCHÓRZEWSKA-CIEŚLAK, B. Approaches to failure risk analysis of the water distribution network with regard to the safety of consumers. **Water (Switzerland)**, v. 10, n. 11, 2018.

PINTELON, L.M.; GELDERS, L.F. Maintenance management decision making. **European Journal Of Operational Research**, v. 58, n. 3, p.301-317, 1992.

RASTEGARI, A.; MOBIN, M. Maintenance decision making, supported by computerized maintenance management system. **Proceedings - Annual Reliability and Maintainability Symposium**, 2016.

REZAEI, J. Best-worst multi-criteria decision-making method. **Omega-International Journal of Management Science**, v. 53, p. 49-57, 2015.

RODRIGUES, A. B. *et al.* Municipal basic sanitation planning: a methodology of support for local public management and a case. **Periodico Tche Quimica**, v. 15, n. 29, p. 319-332, 2018.

ROY, B. Classement et choix en présence de points de vue multiples. **Revue française d'informatique et de recherche opérationnelle**, v. 2, n. 8, p. 57-75, 1968.

ROY, B. **Multicriteria Methodology for Decision Aiding**. Kluwer, Dordrecht, Netherlands, 1996.

SAATY, T. L. **The Analytic Hierarchy Process**. McGraw-Hill, New York, 1980.

SAATY, T. L. **Decision making with dependence and feedback**. The analytic network process, 2001.

SALEHI, S.; GHAZIZADEH, M. J.; TABESH, M. A comprehensive criteria-based multi-attribute decision-making model for rehabilitation of water distribution systems. **Structure And Infrastructure Engineering**, v. 14, n. 6, p.743-765, 2017.

SAVSAR, M. Modeling and simulation of maintenance operations at Kuwait public transport company. **Kuwait Journal of Science**, v. 40, n. 2, 2013.

SELIM, H.; YUNUSOGLU, M. G.; BALAMAN, S. Y. A Dynamic Maintenance Planning Framework Based on Fuzzy TOPSIS and FMEA: Application in an International Food Company. **Quality And Reliability Engineering International**, v. 32, n. 3, p.795-804, 2015.

SENTHILKANNAN, N.; PARAMESHWARAN, R.. Performance analysis and quality improvement using *fuzzy* MCDM and lean tools in a paper industry. **International Journal Of Integrated Supply Management**, v. 12, n. 3, p.205-229, 2019.

SHAFIEE, M. Maintenance strategy selection problem: An MCDM overview. **Journal of Quality in Maintenance Engineering**, v. 21, n. 4, p. 378-402, 2015.

SHANNON, C. E. A note on the concept of entropy. **Bell System Tech. J**, v. 27, n. 3, p. 379-423, 1948.

SIEW-HONG, D.; KAMARUDDIN, S. Selection of optimal maintenance policy by using *fuzzy* multi criteria decision making method. In: **Proceedings of the International Conference on Industrial Engineering and Operations Management Istanbul**, Istanbul, Turkey. p. 3-6. 2012.

SINGH, R. K. *et al.* Ranking of barriers for effective maintenance by using TOPSIS approach. **Journal Of Quality In Maintenance Engineering**, v. 22, n. 1, p.18-34, 2016.

SINGH, R.K.; BENYOUCEF, L. A *fuzzy* TOPSIS based approach for e-sourcing. **Engineering Applications of Artificial Intelligence**, v. 24, n. 03, p. 437-448, 2011.

SYAN, C. S.; RAMSOOBAG, G. Maintenance applications of multi-criteria optimization: A review. **Reliability Engineering and System Safety**, v. 190, 2019.

TAN, Y. *et al.* Construction project selection using *fuzzy* TOPSIS approach. **Journal of modelling in management**, v. 5, n. 3, p. 302-315, 2010.

TEKEZ, E. K. Failure modes and effects analysis using *fuzzy* topsis in knitting process. **Tekstil ve Konfeksiyon**, v. 28, n. 1, p. 21-26, 2018.

TONG, L.; PU, Z.; MA, J. Maintenance Supplier Evaluation and Selection for Safe and Sustainable Production in the Chemical Industry: A Case Study. **Sustainability**, v. 11, n. 6, p.1533, 2019.

TRIANAPHYLLOU, E. **Multi-criteria decision making methods**: a comparative study. 4<sup>o</sup> ed., Springer, Boston, 2000.

TROJAN, F.; MORAIS, D. C. Prioritising alternatives for maintenance of water distribution networks: A group decision approach. **Water Sa**, v. 38, n. 4, p. 555-564, 2012.

TROJAN, F.; MORAIS, D. C. Multicriteria Decision Analysis Applied to Water Supply Network. In: GUARNIERI, Patricia (Ed.). **Decision Models in Engineering and Management**. Brasília: Springer International Publishing, 2015.

TSANG, A. H. Condition-based maintenance: tools and decision making. **Journal Of Quality In Maintenance Engineering**, v. 1, n. 3, p.3-17, 1995.

VALIPOUR, A. *et al.* A Swara-Copras Approach to the Allocation of Risk in Water and Sewerage Public–Private Partnership Projects In Malaysia. **International Journal Of Strategic Property Management**, v. 23, n. 4, p.269-283, 2019.

VELASQUEZ, M.; HESTER, P. T. An analysis of multi-criteria decision making methods. **International Journal of Operations Research**, v. 10, n. 2, p. 56-66, 2013.

VLADANU, G. J.; MATTHEWS, J. Consequence of failure of sewers (COFS) model for risk-based asset management using analytical hierarchy process. **Pipelines 2018: Condition Assessment, Construction, and Rehabilitation** - Proceedings of Sessions of the Pipelines 2018 Conference, p.95-104, 2018.

VLADANU, G. J.; MATTHEWS, J. C. Consequence-of-failure model for risk-based asset management of wastewater pipes using AHP. **Journal of Pipeline Systems Engineering and Practice**, v. 10, n. 2, 2019.

WANG, T.; CHANG, T. Application of TOPSIS in evaluating initial training aircraft under a *fuzzy* environment. **Expert Systems With Applications**, v. 33, n. 4, p.870-880, 2007.

YAZDANI, M. *et al.* A group decision making support system in logistics and supply chain management. **Expert Systems with Applications**, v. 88, p. 376–392, 2017.

ZADEH, L.A. Fuzzy sets. **Information and Control**, v. 8, p. 338-53, 1965.

ZARBAKHSHNIA, N.; SOLEIMANI, H.; GHADERI, H. Sustainable third-party reverse logistics provider evaluation and selection using *fuzzy* SWARA and developed *fuzzy* COPRAS in the presence of risk criteria. **Applied Soft Computing**, v. 65, p. 307-319, 2018.

ZARDARI, N. H. *et al.* Weighting Methods and their Effects on Multi-Criteria Decision Making Model Outcomes in Water Resources Management. **Springerbriefs In Water Science And Technology**, p.1-173, 2015.

ZAVADSKAS, E. K. *et al.* A Novel Multicriteria Approach–Rough Step-Wise Weight Assessment Ratio Analysis Method (R-SWARA) and Its Application in Logistics. **Studies in Informatics and Control**, v. 27, n. 1, p. 97–106, 2018.

ZOLFANI, S. H.; BAHRAMI, M. Investment Prioritizing In High Tech Industries Based On SWARA-COPRAS Approach. **Technological And Economic Development Of Economy**, v. 20, n. 3, p.534-533, 2014.

ZOLFANI, S. H.; SAPARAUSKAS, J. New Application of SWARA Method in Prioritizing Sustainability Assessment Indicators of Energy System. **Engineering Economics**, v. 24, n. 5, p.408-414, 2013.

ZOLFANI, S. H.; YAZDANI, M.; ZAVADSKAS, E. K. An extended stepwise weight assessment ratio analysis (SWARA) method for improving criteria prioritization process. **Soft Computing**, v. 22, n. 22, p. 7399-7405, 2018.

ZUO, J.; GAN, L. Water and Sanitation Services in China: Current Problems and Potential Solutions. In: CASTRO, José Esteban; HELLER, Léo (Ed.). **Water and sanitation services: public policy and management**. London: Earthscan, 2009.

## **APÊNDICE A – Entrevista semiestruturada para caracterização do problema**

## Entrevista semiestruturada

### Identificação do problema de pesquisa e caracterização da empresa

Objetivo: Esta entrevista tem como objetivo principal o levantamento de dados e informações e a descrição da empresa e do problema no qual a empresa deseja que seja resolvido.

Respondente: \_\_\_\_\_

Data: \_\_\_/\_\_\_/\_\_\_

Local: \_\_\_\_\_

1. Quais são as atividades da empresa?

---

---

2. Qual o tamanho/abrangência/cobertura da empresa?

---

---

3. Quantos funcionários a empresa possui?

---

---

4. A empresa possui uma política empresarial a ser seguida? Se sim, qual?

---

---

5. Quais problemas a empresa está enfrentando relacionados a tomada de decisão?

---

---

6. Quais objetivos desejam ser atingidos?

---

---

7. Qual o fluxo do processo do problema escolhido?

---

---

**APÊNDICE B – Entrevista semiestruturada para caracterização do processo de tomada de decisão**

## Entrevista semiestruturada

### Identificação do problema de pesquisa e caracterização da empresa

Objetivo: Esta entrevista tem como objetivo principal o levantamento de dados e informações e a descrição do processo de tomada de decisão, ou seja, identificação dos decisores, do método atual de priorização de manutenção e dos critérios relevantes. Os dados coletados serão repassados e validados com o(s) respondente(s) para utilização na modelagem do problema.

Respondente: \_\_\_\_\_

Data: \_\_\_ / \_\_\_ / \_\_\_\_

Local: \_\_\_\_\_

1. Quais os tipos de manutenção realizadas?

---

---

2. Quem são os responsáveis pela tomada de decisão (decisores)?

---

---

3. Quem influencia no processo de tomada de decisão?

---

---

4. Quais as dificuldades encontradas no processo de tomada de decisão?

---

---

5. Cada decisor apresenta o mesmo grau de importância? Se não, qual a importância de cada um?

---

---

6. Como é o fluxo de informações desde a identificação da falha até a finalização da manutenção?

---

---

7. Como são recebidas as solicitações de manutenção?

---

---

8. Quais os objetivos ao atender as solicitações de manutenção?

---

---

9. Como é realizado o processo de priorização de manutenções corretivas atualmente?

---

---

10. Há diferença de importância entre as unidades operacionais solicitantes?

---

---

11. Quais os critérios considerados atualmente para realizar a priorização de manutenções corretivas?

---

---

## **APÊNDICE C – Questionário para validação dos critérios**

### Questionário para validação dos critérios

Objetivo: Este questionário tem como objetivo principal validar se os critérios propostos se aplicam ou não para a realidade da empresa, e se os respectivos critérios são critérios de maximização ou minimização.

Respondente: \_\_\_\_\_

Data: \_\_\_ / \_\_\_ / \_\_\_

Local: \_\_\_\_\_

Para cada critério, marque com um X se o critério “se aplica” ou “não se aplica” na empresa e, se o critério for um critério de maximização preencha com o termo “Max.” u se o critério for de minimização preencha com o termo “Min.”

Sigla	Critérios	Descrição	Validação dos critérios		
			Se aplica	Não se aplica	Maximização ou Minimização
C1	Prioridade	Está relacionada ao tipo de manutenção descrito na atividade, atualmente a empresa divide as manutenções corretivas em corretiva emergencial e corretiva não emergencial.	X		Max.
C2	Efeito do não atendimento	Diz respeito ao registro das consequências aparentes ocorridas ou que podem vir a ocorrer devido à não execução ou má execução de um determinado serviço.	X		Max.
C3	Atendimento ao cliente	Expressado pela potência instalada na unidade operacional, representa a quantidade de clientes que seriam afetados pela falha.	X		Max.
C4	Distância	Representa a distância da equipe de manutentores à unidade operacional que realizou o chamado.	X		Min.
C5	Tempo estimado	Representa o tempo estimado para a realização do serviço.	X		Min.
C6	Custo estimado por terceiros	Refere-se ao custo estimado caso a demanda por serviços esteja alta e seja necessário realizar a contratação de terceiros para executar o serviço.	X		Max.
C7	Espera	Refere-se ao tempo em que a atividade está na espera para ser executada.	X		Max.
C8	Causas	Refere-se as causas dos problemas de manutenção.		X	

## **APÊNDICE D – Questionário para ordenação dos critérios**

## Questionário

### Questionário para ordenação dos critérios

Objetivo: Este questionário tem como objetivo principal realizar a ordenação dos critérios validados através do método *Direct Rating* no qual os decisores atribuem o grau de importância aos critérios utilizando escala de 0 a 100 pontos.

Respondente: \_\_\_\_\_

Data: \_\_/\_\_/\_\_

Local: \_\_\_\_\_

Para cada critério, pontue um valor de importância entre 0 e 100, onde 0 é considerado o valor de menor importância e 100 é considerado o valor de maior importância. Uma vez pontuado um valor para um critério, o mesmo não pode ser repetido nos demais critérios.

Sigla	Crítérios	Importância
<b>C1</b>	Prioridade	
<b>C2</b>	Efeito do não atendimento	
<b>C3</b>	Atendimento ao cliente	
<b>C4</b>	Distância	
<b>C5</b>	Tempo estimado	
<b>C6</b>	Custo estimado por terceiros	
<b>C7</b>	Espera	

**APÊNDICE E – Questionário para definir a importância comparativa para cada critério**

## Questionário

### Questionário para definir a importância comparativa para cada critério

Objetivo: Este questionário tem como objetivo principal realizar a comparação entre os critérios para definir a importância comparativa de cada critério em relação ao critério anterior na lista ordenada através do método Borda. Para determinar a importância relativa, o método Direct Rating foi utilizado.

Respondente: \_\_\_\_\_

Data: \_\_\_/\_\_\_/\_\_\_

Local: \_\_\_\_\_

Para cada pergunta de comparação, pontue um valor de importância entre 0 e 100, onde 0 é considerado o valor de pouca importância e 100 é considerado o valor de muita importância.

- 1) Quanto o critério “Prioridade” é menos importante que o critério “Atendimento ao cliente”? \_\_\_\_\_
- 2) Quanto o critério “Efeito do não atendimento” é menos importante que o critério “Prioridade”? \_\_\_\_\_
- 3) Quanto o critério “Tempo estimado” é menos importante que o critério “Efeito do não atendimento”? \_\_\_\_\_
- 4) Quanto o critério “Distância” é menos importante que o critério “Tempo estimado”? \_\_\_\_\_
- 5) Quanto o critério “Espera” é menos importante que o critério “Distância”? \_\_\_\_\_
- 6) Quanto o critério “Custo estimado por terceiros” é menos importante que o critério “Distância”? \_\_\_\_\_

## **APÊNDICE F – Instruções para Preenchimento da Matriz de Decisão**

## Instruções para o preenchimento da matriz de decisão

Objetivo: Este documento tem como objetivo principal instruir sobre o correto preenchimento da matriz de decisão.

### Instruções para Preenchimento da Matriz de Decisão para priorização das atividades de manutenção

Cada alternativa deve ser avaliada levando em conta todos os critérios. Os critérios C1, C2, C4, C5 e C6 serão avaliados por meio de variáveis linguísticas apresentadas na tabela abaixo para expressar seu valor. Já o critério C3 é expresso em potência instalada e o critério C7 é expresso em dias.

Variável Linguística	Sigla
Muito baixo	MB
Baixo	BX
Médio baixo	BM
Médio	MD
Médio alto	AM
Alto	AT
Muito alto	MA

Para facilitar o preenchimento da matriz, utilize os seguintes questionamentos:

Sigla	Crítérios	Descrição	Questão
<b>C1</b>	Prioridade	Está relacionada ao tipo de manutenção descrito na atividade, atualmente a empresa divide as manutenções corretivas em corretiva emergencial e corretiva não emergencial.	Qual é o nível de prioridade deste tipo de manutenção?
<b>C2</b>	Efeito do não atendimento	Diz respeito ao registro das consequências aparentes ocorridas ou que podem vir a ocorrer devido à não execução ou má execução de um determinado serviço.	Qual é o nível de risco/consequência do não atendimento desta ocorrência?
<b>C3</b>	Atendimento ao cliente	Expressado pela potência instalada na unidade operacional, representa a quantidade de clientes que seriam afetados pela falha.	Qual é o valor da potência instalada?
<b>C4</b>	Distância	Representa a distância da equipe de manutentores à unidade operacional que realizou o chamado.	Quão distante é o local do chamado em relação a equipe de manutentores?

<b>C5</b>	Tempo estimado	Representa o tempo estimado para a realização do serviço.	Qual é a estimativa de tempo para a realização do serviço?
<b>C6</b>	Custo estimado por terceiros	Refere-se ao custo estimado caso a demanda por serviços esteja alta e seja necessário realizar a contratação de terceiros para executar o serviço.	Qual é a estimativa de custo do serviço se o mesmo for terceirizado?
<b>C7</b>	Espera	Refere-se ao tempo em que a atividade está na espera para ser executada.	Há quantos dias foi solicitada a HSS?