

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO NORTE
CENTRO DE TECNOLOGIA
PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO

**MODELO MULTICRITÉRIO DE APOIO A DECISÃO: ESTUDO DE CASO
PARA AQUISIÇÃO DE EQUIPAMENTO DE REDUÇÃO DA
CONDUTIVIDADE DA ÁGUA EM UMA INDÚSTRIA DE MEDICAMENTOS**

AMANDA BRAGA MARQUES

NATAL-RN

2022

AMANDA BRAGA MARQUES

**MODELO MULTICRITÉRIO DE APOIO A DECISÃO: ESTUDO DE CASO
PARA AQUISIÇÃO DE EQUIPAMENTO DE REDUÇÃO DA
CONDUTIVIDADE DA ÁGUA EM UMA INDÚSTRIA DE MEDICAMENTOS**

Trabalho de defesa de Mestrado apresentado ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção da Universidade Federal do Rio Grande do Norte, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Engenharia de Produção.

Área de concentração: Engenharia de Produção

Subárea: Pesquisa Operacional e Logística

Orientador: Prof. Dr. Ricardo Pires de Souza

NATAL-RN

2022

ATA DIGITALIZADA

Reitor da Universidade Federal do Rio Grande do Norte

Prof. Dr. José Daniel Diniz Melo

Diretor do Centro de Tecnologia

Prof. Dr. Luiz Alessandro Pinheiro Câmara

Coordenador de Pós-Graduação de Engenharia de Produção

Prof. Dr^a. Mariana Rodrigues de Almeida

Orientação

Prof. Dr. Ricardo Pires de Souza

Universidade Federal do Rio Grande do Norte - UFRN
Sistema de Bibliotecas - SISBI
Catalogação de Publicação na Fonte. UFRN - Biblioteca Central Zila Mamede

Marques, Amanda Braga.

Modelo multicritério de apoio a decisão: estudo de caso para aquisição de equipamento de redução da condutividade da água em uma indústria de medicamentos / Amanda Braga Marques. - 2023.
72 f.: il.

Dissertação (mestrado) - Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Centro de Tecnologia, Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção. Natal, RN.

Orientador: Prof. Dr. Ricardo Pires de Sousa.

1. Engenharia de Produção - Dissertação. 2. Tomada de decisão - Dissertação. 3. Água purificada - Dissertação. 4. Indústria farmacêutica - Dissertação. I. Sousa, Ricardo Pires de. II. Título.

RN/UF/BCZM

CDU 658.526(043.3)

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Jeová por ter chegado a esse momento especial na minha vida, percebendo que sem ele nada disso aconteceria. Por me proporcionar força de vontade de sempre seguir em frente e ter permitido que eu concluísse mais uma etapa do meu sonho.

Aos meus pais, Anísio Teodoro e Liduina Braga, por todos os esforços investidos em minha educação. Por me ajudarem e entenderem todos os momentos passados até aqui. A minha avó, Maria José Braga, por me dar coragem para realizar meus sonhos e por simplesmente existir. A Bruno César, pelo seu apoio incondicional em todos os momentos de escalada dos meus sonhos. A Isnara Pollyana pela compreensão, assistência e todo apoio durante o mestrado.

Agradeço aos amigos que fiz durante o meu tempo de estudo na UFRN, são pessoas que estão presentes na minha vida na área pessoal e profissional. Agradeço especialmente a Aleson Belo, amigo e irmão que este caminho me apresentou.

Ao orientador Ricardo Pires sou grata pela paciência, dedicação e por ter despertado novos modos de observar a realidade ao transmitir seus conhecimentos.

“Estou absolutamente convencido de que os nossos sofrimentos do presente não podem ser comparados com a glória que em nós será revelada.”

Paulo aos Romanos

RESUMO

A água purificada é um elemento fundamental na composição de medicamentos, a sua produção deve estar em perfeito alinhamento desde o pré-tratamento até o armazenamento e circulação uma vez que a água deve ser armazenada e distribuída de forma a evitar a recontaminação microbiológica. A purificação da água pode ocorrer através de uma combinação de sistemas de purificação como troca iônica, osmose reversa, filtração profunda, ou outro processo que atenda às exigências da RDC n° 658 de março de 2022 e a Farmacopéia Brasileira 6ª edição, de 2019. Este trabalho tem como objetivo desenvolver um modelo multicritério de apoio à decisão para auxiliar na aquisição de um equipamento de redução de condutividade da água da estação de tratamento de água do Núcleo de Pesquisa em Alimentos e Medicamentos (NUPLAM), através de um estudo de caso desenvolvido nesta unidade suplementar integrante da Universidade Federal do Rio Grande do Norte (UFRN). A escolha é caracterizada nos conceitos de elicitação flexível do método FITradeoff (*Flexible and Interactive Tradeoff*). Os equipamentos que constituem qualquer etapa do processo da estação de tratamento de água possuem vida longa e altos custos de aquisição, sendo uma decisão de impacto duradouro. Como resultado, foi encontrado um modelo de apoio a decisão validado que auxilia a aquisição de maneira racional e segura, visto que toda a produção de água purificada desta estação é utilizada para a produção do Olanzapina 5 e 10mg, Cloridrato de Fingolimode 0,5mg e álcool 70 (álcool etílico hidratado 70° INPM), e qualquer variação em seus parâmetros de qualidade ou ineficiência acarretaria prejuízos inestimáveis diretamente ligados ao registro vigente de produção e distribuição junto à ANVISA.

Palavras-Chave: Tomada de decisão; Água purificada; Indústria farmacêutica, Análise de decisão multicritério.

ABSTRACT

Purified water is a fundamental element in the composition of medicines, its production must be in perfect alignment from pre-treatment to storage and circulation, since water must be stored and distributed in order to avoid microbiological recontamination. Water purification can occur through a combination of purification systems such as ion exchange, reverse osmosis, deep filtration, or another process that meets the requirements of RDC No. 658 of March 2022 and the Brazilian Pharmacopoeia 6th edition of 2019. This The objective of this work is to develop a multicriteria decision support model to assist in the acquisition of equipment to reduce the conductivity of water in the water treatment plant of the Nucleus for Research in Food and Medicines (NUPLAM), through a case study developed in this supplementary unit of the Federal University of Rio Grande do Norte (UFRN). The choice is characterized in the flexible elicitation concepts of the FITradeoff method (Flexible and Interactive Tradeoff). The equipment that constitutes any stage of the water treatment plant process has a long life and high acquisition costs, making it a decision with a lasting impact. As a result, a validated decision support model was found that helps the acquisition in a rational and safe way, since the entire production of purified water from this station is used to produce Olanzapine 5 and 10mg, Fingolimod Hydrochloride 0.5mg and alcohol 70 (hydrated ethyl alcohol 70° INPM), and any variation in its quality parameters or inefficiency would entail inestimable losses directly linked to the current registration of production and distribution with ANVISA.

Keywords: Decision making; Purified water; Pharmaceutical Industry, Multi-Criteria Decision Analysis.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Estrutura da Dissertação.....	22
Figura 2: Critérios mínimos a serem considerados na concepção da ETA.	25
Figura 3: Ilustração do processo de filtração.....	26
Figura 4: Ilustração das trocas iônicas.....	27
Figura 5: Ilustração da osmose reversa.....	29
Figura 6: Ilustração do processo de eletrodeionização.....	30
Figura 7: Ilustração do processo UV.	31
Figura 8: Sequência para tomada de decisão.....	33
Figura 9: Espaço de consequências no FITradeoff.....	38
Figura 10: Classificação da pesquisa.....	40
Figura 11: Faixada inicial do atual NUPLAM.	42
Figura 12: Faixada atual do NUPLAM.	43
Figura 13: Produção do álcool etílico 70% do NUPLAM envasamento (a) e rotulagem (b).	44
Figura 14: Estação de Tratamento de Água do NUPLAM.....	46
Figura 15: Supervisório Central de Automação do NUPLAM – ConecteFab.	48
Figura 16: Etapas de um Problema de Decisão.	49
Figura 17: Matriz de Decisão	53
Figura 18: Ordenação das Constantes de Escala	54
Figura 19: Processo de Elicitação.....	55
Figura 20: Tela de Resultado.....	56
Figura 21: Espaço de Pesos - Variação	56
Figura 22: Análise de Sensibilidade - Range	57
Figura 23: Avaliação Holística - Gráfico de Barras	58
Figura 24: Avaliação Holística - Gráfico de Bolhas.....	59

LISTA DE QUADROS

Quadro 1: Produção de Água Purificada por diferentes Farmacopeias.....	23
Quadro 2: Tipos de água para uso farmacêutico e parâmetros de qualidade.	24
Quadro 3: Tipos de atores.....	34
Quadro 4: Pontos de Coleta de Água Purificada na Indústria.....	48
Quadro 5: Decisores.	50
Quadro 6: Critérios estabelecidos.....	50
Quadro 7: Escala de Pontuação.	51

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Estudos identificados nas bases Scopus e PubMed.	18
---	----

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1: Publicações por ano utilizando o termo "Modelo Multicritério" e suas variações.	18
Gráfico 2: Publicações por país utilizando o termo "Modelo Multicritério" e suas variações.	19
Gráfico 3: Publicações por ano utilizando o termo "Água Purificada".....	20

LISTA DE SIGLAS

ANVISA - Agência Nacional de Vigilância Sanitária

ADMC - Análise da Decisão Multicritério

AHP - Analytic Hierarchy Process

ANP - Analytic Network Process

DEA - Data Envelopment Analysis

ELECTRE - Elimination Et Choix Traduisant la Réalité

ETA – Estação de Tratamento de Água

FITRADEOFF - Flexible and Interactive Tradeoff

MAUT - Multiattribute Utility Theory

NUPLAM – Núcleo de Pesquisa de Alimentos e Medicamentos

PROMETHEE - Preference Ranking Organisation Method for Enrichment Evaluations

RDC - Resolução da Diretoria Colegiada

RN - Rio Grande do Norte

TOPSIS - Technique for Order of Preference by Similarity to Ideal Solution

UFRN – Universidade Federal do Rio Grande do Norte

PPM – Partes por Milhão

PPB - Partes por Bilhão

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	14
1.1. Contextualização	14
1.2. Justificativa e relevância da pesquisa	16
1.3. Objetivos	20
1.3.1. Objetivo geral	20
1.3.2. Objetivos específicos	21
1.4. Estrutura do Trabalho	21
2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	22
2.1. Água na indústria farmacêutica	22
2.1.1. Estação de tratamento de água – ETA	25
2.1.2. Filtração de profundidade	26
2.1.3. Deionização	27
2.1.4. Osmose reserva	28
2.1.5. Eletrodeionização	30
2.1.6. Radiação ultravioleta (UV)	31
2.1.7. Distribuição, armazenamento e validação	32
2.2. Processos de decisão	32
2.2.1. Análise de decisão multicritérios – MCDA	34
2.2.2. Escolha de Equipamentos	35
2.2.3. Método FITradeoff	37
3. MÉTODOS DA PESQUISA	39
3.1. Classificação da pesquisa	39
3.2. Procedimentos Técnicos	41
4. ESTUDO DE CASO	42
4.1. Descrição do campo de estudo	42
4.2. Descrição do Processo da Estação de Tratamento de Água – ETA	45
5. RESULTADOS	49
5.1.1. Fase preliminar	49
5.1.2. Modelagem de preferências e escolha do método	52
5.1.3. Finalização	54
6. CONSIDERAÇÕES FINAIS	60
6.1 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	60

7. REFERÊNCIAS	62
ANEXOS	69

1. INTRODUÇÃO

Este capítulo tem como objetivo apresentar a pesquisa desenvolvida. Para isto, expõe-se aqui a contextualização do tema, a motivação deste trabalho por meio da sua justificativa e relevância, os objetivos estabelecidos para o desenvolvimento da pesquisa e a estruturação desta dissertação.

1.1. Contextualização

A água é amplamente usada no setor farmacêutico, sendo empregada nas mais diversas etapas do processo produtivo, seja como matéria prima ou mesmo na limpeza de utensílios e equipamentos (SUMANTH; MOIN, 2015).

A água purificada pode ser produzida a partir da água potável, através de uma combinação de sistemas de purificação como múltipla destilação, troca iônica, osmose reversa, eletrodeionização, ultra filtração, ou outro processo (ANVISA, 2019).

Em relação ao aspecto de empregabilidade industrial, a água purificada (AP) é utilizada para sintetizar fármacos, nas formulações e produção de medicamentos. Utilizada em formulações que não exijam pureza maior em sua aplicação, como é o caso das formas farmacêuticas não parentais e manipulações magistrais. A água purificada (AP) também é utilizada em laboratórios de ensaios e outras aplicações como limpeza de instrumentos e aparelhos de produção (VIEIRA, 2017).

A água para uso farmacêutico exige tratamento de alta pureza para assegurar que não haja interferência de contaminantes que afetem a qualidade dos medicamentos produzidos (GRELA, 2004). A qualidade é alcançada através de um apropriado sistema com seleção, instalação, validação e operação dos processos unitários de sua purificação, bem como dos sistemas de armazenagem e distribuição (MORETO; ZARDO, 1999).

Os sistemas de produção, armazenamento e distribuição de água para indústria farmacêutica devem ser projetados, instalados, comissionados, qualificados e mantidos para garantir a confiabilidade da produção da água adequadamente. É necessário verificar a água do processo de produção para garantir que a água gerada, armazenada e distribuída esteja dentro dos padrões e atenda as especificações legais. (ANVISA, 2019).

Dada a preocupação com os altos custos de aquisição, faz-se necessário desenvolver e implementar um processo confiável de compras para garantir a assertividade nos materiais, produtos, logística e negócios da organização, levando à melhoria de sua competitividade (SCOTT *et al.* 2015).

Para manter o sistema de purificação de água em uma indústria farmacêutica, é necessário, conhecer o comportamento dinâmico do sistema em si, sem o auxílio ou interferência dos controladores do sistema. A tarefa de projetar bem sistemas pode ser melhor realizada, se for baseada no conhecimento e familiarização do processo para entender suas limitações e pontos de maximização (CANIATO, 2006).

Com a globalização e a competitividade, as organizações buscam que seus processos de tomada de decisão consigam manter um nível de qualidade consistente e de melhoria contínua com maior ponderação e desenvolvimento de atributos relevantes para o direcionamento estratégico (BAI; SARKIS, 2010). Como resultado, diversas abordagens multicritério tem sido utilizadas para avaliar o desenvolvimento sustentável, com resultados positivos em aplicações práticas (CHANG; DONG, 2016).

Para De Almeida et al. (2016), o método FITradeoff (*Flexible Interactive Tradeoff*) é um método de tomada de decisão multicritério, com elicitação flexível e interativo que utiliza informações parciais do decisor, elevando seu potencial em relação a outros métodos de elicitação. Dessa maneira, o método FITradeoff pode apoiar o desenvolvimento de modelos que poderão apoiar o decisor em cenários complexos como a aquisição de um novo equipamento para redução da condutividade da água no NUPLAM - Núcleo de Pesquisa de Alimentos e Medicamentos.

O atual sistema que compõe a Estação de Tratamento de Água do NUPLAM – necessita de redimensionamento no estágio de pré-tratamento visto que não atende à demanda do passo seguinte. O equipamento de redução de condutividade da água não é capaz de atender a capacidade de produção da osmose reserva. Este gargalo ficou mais evidente no surgimento da necessidade de produção de álcool etílico 70% INPM para auxiliar no combate a pandemia causada pelo COVID-19 em 2020/2021. O álcool etílico 70 INPM é um desinfetante de média eficiência que contém 70% de álcool etílico e 30% de água, ou seja, uma solução aquosa de álcool. A quantidade de álcool pode ser avaliada segundo a fração em volume ou a fração em massa, a unidade do Instituto Nacional de Pesos e Medidas (INPM), mede o percentual em massa. É importante ressaltar que o álcool em concentrações superiores a 70% é ineficaz no combate ao coronavírus, porque evapora muito rápido (CFQ, 2020).

Diante do exposto, esta pesquisa apresenta a construção de um modelo multicritério de apoio a decisão para a seleção de um equipamento de troca iônica, levando em consideração a alternativa com melhor desempenho entre um conjunto de opções disponíveis para melhorar a eficiência do pré-tratamento da água.

1.2. Justificativa e relevância da pesquisa

A água na indústria farmacêutica é um dos principais elementos na composição de um medicamento. Para garantir a qualidade dele, a água deve ser analisada em sua composição, pois podem conter substância com potencial risco de contaminação, colocando em risco não apenas a qualidade do medicamento, mas também a vida útil dos sistemas de purificação de água. (OLIVEIRA; PELEGRINI, 2011).

A água purificada é baseada na eliminação de impurezas físico-químicas e microbiológicas. Esse deve obter níveis preestabelecidos pelas autoridades sanitárias. No Brasil, os requisitos de qualidade são estabelecidos em normas técnicas de Boas Práticas de Fabricação (BPF) para medicamentos na RDC n°658, de 30 de março de 2022 e também na Farmacopeia Brasileira, 6ª Edição – RDC n°298, de 19 de agosto de 2019 (ANVISA, 2019).

A osmose reversa é um processo em que se obtém água purificada por passagem através de membranas semipermeáveis por ação de uma bomba que exerce pressão mecânica. Neste processo todos os materiais particulados, microrganismos, material insolúvel e materiais orgânicos e inorgânicos são removidos da água. Com isso, hoje é considerado o melhor método de purificação de água e o mais utilizado (ANVISA, 2019).

Em uma etapa anterior ao processo de osmose reversa, acontece o processo de eletrodeionização. Neste processo, a água deionizada, obtida através de resinas iônicas sintéticas (primeiro as catiônicas, depois aniônicas) promovendo a troca de íons por cátions e ânions presentes como impurezas. Porém não elimina matéria orgânica, sendo considerada inferior a água destilada quando se compara a qualidade microbiológica (UNITED STATES PHARMACOPEIA, 2016).

As fases da estação de tratamento de água devem estar em perfeita sintonia com a capacidade requisitada e a qualidade mínima exigida, essas etapas podem existir ou não no processo dependendo da qualidade da água de origem. A escolha do melhor

equipamento de troca iônica no processo de tratamento da água leva em consideração os requisitos de qualidade do processo e eficiência gerencial.

A escolha do método leva em consideração o perfil do problema, os recursos necessários, o tempo disponível e o grau de assertividade que se espera, entendendo-se que quanto mais simples melhor. “O desafio é alocar um dado conjunto de características e os métodos, frente às necessidades do problema, os recursos e tempo que se dispõe, bem como o grau de risco da decisão” (DE ALMEIDA, 2013, p. 56).

Os métodos multicritérios propõem uma tratativa lógica e sistemática com uso de equações matemáticas, que vão desde as mais simples às mais complexas, mas, na perspectiva de selecionar a melhor alternativa, através de comparações que determinam os índices numéricos da avaliação. A análise desses índices auxilia o decisor a avaliar suas próprias decisões realizando comparações das alternativas por pares. “Os decisores escolhem suas alternativas de forma a balancear entre o esforço em tomar a decisão e a precisão desejada no processo” (DE ALMEIDA, 2013).

O redimensionamento de uma estação de tratamento de água ligada diretamente a produção de medicamentos de alto impacto na saúde pública caracteriza a importância e é um dos pontos de justificativa da elaboração deste estudo. Os medicamentos produzidos no NUPLAM são para tratamento de doenças psicóticas que exigem alto grau de validação junto a ANVISA em todo o seu processo de produção.

O NUPLAM também é qualificado como uma grande produtora de álcool etílico 70% INPM no Rio Grande do Norte, necessitando dessa forma de uma alteração eficiente e segura na sua estação de tratamento de água para atender a demanda solicitada junto ao Ministério da Saúde.

No sistema atual da Estação de Tratamento de Água - ETA, o processo é dividido em 3 etapas, são elas: pré-tratamento, tratamento, armazenamento e distribuição. A etapa de tratamento de água necessita de 3.000 litros (L) de água tratada por hora para produzir em média 900 litros (L) de água purificada. O atual equipamento do pré-tratamento, que realiza a redução de condutividade produz em média 1.000 litros (L) de água por hora. Deixando a etapa de tratamento com um gargalo de 3 horas até o tanque pulmão ter quantidade mínima suficiente para a produção da água purificada.

A demanda diária atual do NUPLAM está em média de 2.150 litros (L) de água purificada. A ETA está com a planta de produção segmentada, descontínua e não possui funcionamento pleno dos seus equipamentos. O processo precisa ser otimizado e para tanto a aquisição de um novo equipamento de redução de condutividade da água é

crucial para que o NUPLAM continue com suas atividades atendendo a demanda e descartando o risco de descredenciamento junto a ANVISA.

Para uma base sólida do presente estudo, buscou-se nas principais bases de pesquisas entender a temática e a evolução dos principais tópicos dessa pesquisa. A partir dos temas principais propostos, percebe-se uma evolução do número de publicações sobre os temas e variantes de “Modelo multicritério” e “Água purificada”, essas variações são apresentadas no gráfico 1.

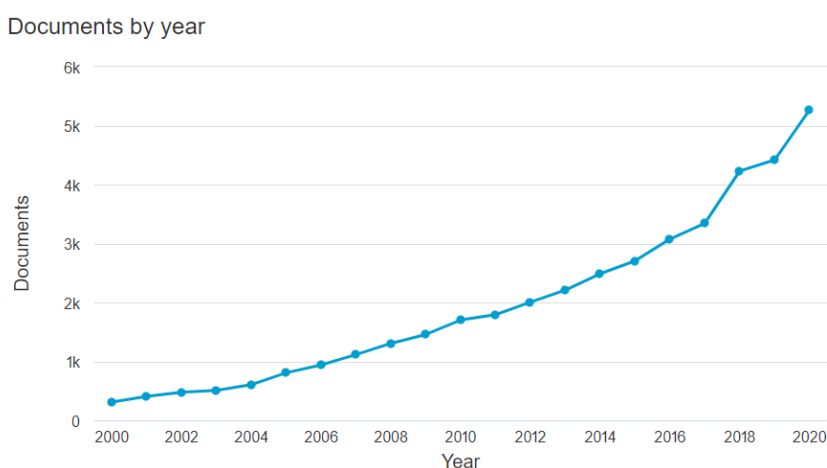
Tabela 1: Estudos identificados nas bases Scopus e PubMed.

PALAVRAS-CHAVE	Scopus	PubMed
<i>(multicriteria) or (multi-criteria) or (MCDA) or (multicriteria decision making)</i>	46.701	2.727
<i>(purified water)</i>	2.621	12.267
<i>(multicriteria) or (multi-criteria) or (MCDA) or (multicriteria decision making) and (purified water)</i>	1	0

Fonte: Autor (2022).

O resultado de uma pesquisa realizada na base de dados *Scopus*, com um período determinado do ano 2000 até 2020 (20 anos), mostra um crescente nas publicações com esses termos quando pesquisados separadamente.

Gráfico 1: Publicações por ano utilizando o termo "Modelo Multicritério" e suas variações.



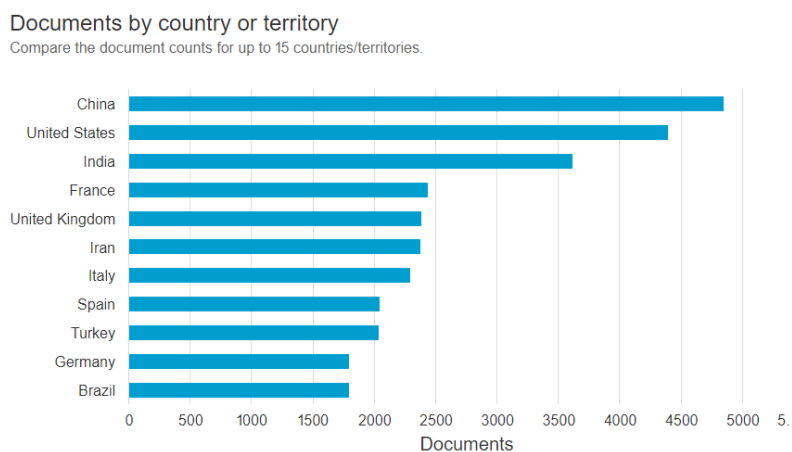
Fonte: Scopus (2022).

O crescimento de publicações que englobam o multicritério pode estar associado as mudanças nas concepções de decisões e inserção dos modelos matemáticos para

auxiliar nas decisões. A mudança da percepção dos gestores sobre essa inserção é um fator decisivo para o uso do multicritério ganhar espaço e apoiar decisões complexas.

Mesmo com um crescimento do uso de métodos e modelos multicritérios de decisão, percebe-se no Gráfico 2 que o Brasil tem grande espaço para crescimento em comparação com China e Estados Unidos.

Gráfico 2: Publicações por país utilizando o termo “Modelo Multicritério” e suas variações.

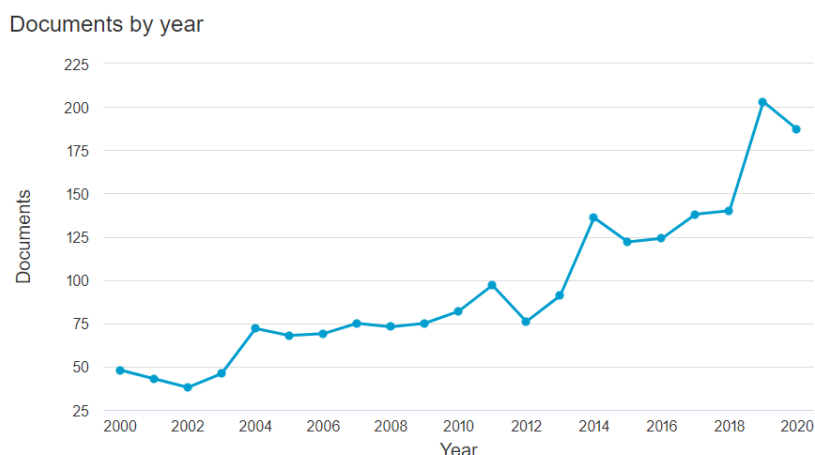


Fonte: Scopus (2022).

Vale a pena ressaltar nesta pesquisa que apesar de um número significativo de documentos retornados no *Scopus* com a *string* (*multicriteria* or “*multi-criteria*” or *MCDA* or “*multicriteria decision making*”), o Brasil não está entre os 10 países que mais contribuíram com esse número. Abrindo assim, uma maior oportunidade acadêmica para elaboração desse estudo.

O mesmo levantamento foi realizado nas principais bases de pesquisa com a temática de Água Purificada. A evolução das publicações no tempo é apresentada no Gráfico 3.

Gráfico 3: Publicações por ano utilizando o termo "Água Purificada".



Fonte: Scopus (2022).

O termo “Água purificada” teve um aumento significativo no ano de 2019, haja vista que nesse ano vivenciamos os primórdios do surgimento de um vírus que desencadeou uma pandemia. Estes fatos evidenciaram o aumento nos estudos envolvendo a produção de vacinas, medicamentos e antissépticos, produtos estes, utilizadores da água purificada.

No entanto, ao pesquisar esses termos (multicritério e água purificada) e suas variações em conjunto, fora encontrada apenas um documento na base de dados *Scopus* que tem como objetivo estudar as cianobactérias na promoção do crescimento vegetal, não estando alinhado aos objetivos deste estudo. E na base de dados *PubMed* não foram encontrados trabalhos indexados com essa combinação de termos. Sendo esse o ponto crucial na importância deste trabalho, visto que a indústria farmacêutica é um campo industrial com tecnologias de alto custo de aquisição e durabilidade em décadas, proporcional ao seu preço, levando assim, a necessidade de decisões cada vez mais assertivas.

1.3. Objetivos

1.3.1. Objetivo geral

O presente estudo tem o objetivo geral propor um modelo multicritério de apoio à decisão para aquisição de um equipamento de redução de condutividade da água buscando atender a demanda de produção da osmose reversa no NUPLAM – Núcleo de Pesquisas de Alimentos e Medicamentos.

1.3.2. Objetivos específicos

1. Estruturar o problema de decisão da troca do equipamento de redução de condutividade;
2. Selecionar e aplicar o método multicritério mais apropriado para encontrar o equipamento que seja a melhor opção para empresa.
3. Validar junto ao decisor a aplicação do modelo selecionado.

1.4. Estrutura do Trabalho

Este estudo está organizado em seis capítulos, de acordo com as etapas do processo de desenvolvimento, apresentadas no capítulo três. O primeiro deles apresenta de forma introdutória a área de imersão do trabalho, a problemática da pesquisa, a apresentação da justificativa e os seus objetivos.

No segundo e terceiro capítulos, encontra-se a apresentação de conceitos, questões da pesquisa, métodos e referências bibliográficas que abordam o assunto. Esse bloco de capítulos é de fundamental importância para que sejam alicerçados os conhecimentos básicos ao entendimento da pesquisa, assim como dará confiabilidade ao estudo e aos resultados alcançado.

O quarto capítulo, descreve todo o estudo de campo e levantamento de dados do processo e dados de entrada da pesquisa. O campo de estudo deste trabalho é a Estação de Tratamento de Água do Núcleo de Desenvolvimento de Alimentos e Medicamentos – NUPLAM da Universidade Federal do Rio Grande do Norte – UFRN.

No quinto capítulo serão abordadas todas as perspectivas de resultados que se espera alcançar durante o desenvolvimento da pesquisa.

Por fim, no capítulo 6, abordaremos as conclusões finais do trabalho, a discussão neste capítulo está voltada para o objetivo geral e objetivos específicos do trabalho.

Figura 1: Estrutura da Dissertação



Fonte: Autor (2022).

2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Este capítulo aborda algumas das principais contribuições da literatura sobre tratamento da água para que se entenda melhor o contexto do trabalho e ser usado como base de estudos. Em seguida, apresentaremos os principais conceitos sobre decisão multicritério e sistema de apoio a decisão.

2.1. Água na indústria farmacêutica

A água na indústria farmacêutica é um ingrediente-chave em muitos processos industriais, incluindo a preparação da maioria dos medicamentos (EISSA, 2016).

Para o uso farmacêutico, há basicamente três tipos de água: a água purificada (AP), a água para injetáveis (API) e a água ultrapurificada (AUP). A água purificada é a mais utilizada, pois é empregada como excipiente na produção de formas farmacêuticas, laboratórios de ensaios, hemodiálise e demais aplicações relacionadas à área da saúde (ANVISA, 2019).

Para a elaboração de medicamentos, cosméticos ou matérias-primas químico-farmacêuticas é preferível a utilização de água purificada, uma vez que é de pureza adequada para garantir a qualidade dos produtos em que é utilizada. A consistência da qualidade é alcançada através de apropriada seleção, instalação, validação e operação dos processos unitários de purificação da água, bem como dos sistemas de armazenagem e distribuição (ANSEL, 2000).

Os requisitos da produção da água purificada (AP) são definidos em diferentes farmacopeias e estabelece um padrão quanto a qualidade e como deve ser este sistema, buscando assim, um padrão global.

Quadro 1: Produção de Água Purificada por diferentes Farmacopeias.

Água Purificada é...	
Farmacopeia Brasileira (FB):	“...a escolha do sistema de purificação destina atender ao grau de pureza estabelecido.”
Farmacopeia dos EUA (USP):	“... obtido por um processo adequado”
Farmacopeia Europeia (EP):	“... preparado por destilação, por troca iônica, por osmose reversa ou por qualquer outro método adequado ”
Farmacopéia Japonesa (JP):	“... purificado por troca iônica, destilação, osmose reversa, ultrafiltração ou por uma combinação desses métodos ”
Farmacopéia Chinesa (CP):	“... obtido por destilação, por troca iônica ou por osmose reversa”
Farmacopéia Indiana (IP):	“... preparado por destilação, por meio de troca iônica ou por qualquer outro meio apropriado ”

Fonte: Adaptado de PHARMACEUTICAL WATER GUIDE, 2013.

Sendo a matéria-prima mais importante da indústria farmacêutica, precisa ser de alta pureza e é de grande importância para que seja realizada a análise da sua composição para identificar contaminantes que podem interferir em sua qualidade, comprometendo assim, a eficácia e qualidade dos medicamentos produzidos (ANVISA, 2019).

Os requisitos de qualidade da água dependerão de sua finalidade e emprego, e a escolha do sistema de purificação destina atender ao grau de pureza estabelecido. O usuário é responsável pela seleção do tipo de água adequado aos seus objetivos, bem como pelos controles e verificações necessários, em intervalos que garantam a

manutenção da qualidade desejada. Devendo assegurar que o sistema apresente desempenho adequado e capacidade para fornecer água com o nível de qualidade estabelecido para atender aos parâmetros especificados nas monografias individuais (ANVISA, 2019; UNITED STATES PHARMACOPEIA, 2016).

Quadro 2: Tipos de água para uso farmacêutico e parâmetros de qualidade.

Tipo de Água	Características	Parâmetros	Exemplos de Aplicação
Água purificada (AP)	Níveis variáveis de contaminação orgânica e bacteriana. Exige cuidados de forma a evitar a contaminação química e microbiológica. Pode ser obtida por osmose reversa ou por uma combinação de técnicas de purificação a partir da água potável.	Condutividade máxima de 1,3 $\mu\text{S}/\text{cm}$ a 25,0 °C (resistividade > 1,0 $\text{M}\Omega\text{-cm}$); COT \leq 0,50 mg/L; Contagem do número total de bactérias heterotróficas: no máximo, 100 UFC/ml; Ausência de <i>Pseudomonas sp</i> e coliformes.	Produção de medicamentos e cosméticos em geral, farmácias, lavagem de material, preparo de soluções reagentes, meios de cultura, tampões, diluições, microbiologia em geral, análises clínicas, técnicas por Elisa, radioimunoensaio, aplicações diversas na maioria dos laboratórios, principalmente em análises qualitativas ou quantitativas menos exigentes (em %). Em CLAE (em %).
Água para injetáveis (API)	Água purificada tratada por destilação ou processo similar.	Atende aos requisitos químicos da água purificada e exige controle de endotoxinas. Contagem do número total de bactérias heterotróficas: no máximo, 10 UFC/100 ml. Endotoxinas < 0,25 UE/ml. Ausência de <i>Pseudomonas sp</i> e coliformes.	Como veículo ou solvente de injetáveis, fabricação de princípios ativos de uso parenteral, lavagem final de equipamentos, tubulação e recipientes usados em preparações parenterais. Usada como diluente de preparações parenterais.
Água ultrapurificada (AUP)	Para análises que exigem mínima interferência e máxima precisão e exatidão. Baixa concentração iônica, baixa carga microbiana e baixo nível de carbono orgânico total. Água purificada tratada por processo complementar.	Condutividade máxima de 0,1 $\mu\text{S}/\text{cm}$ a 25,0 °C (resistividade > 18,0 $\text{M}\Omega\text{-cm}$); COT \leq 0,50 mg/L; Contagem do número total de bactérias heterotróficas: no máximo, 10 UFC/100 ml. Endotoxinas: < 0,25 UE/ml (quando alta qualidade biológica é requerida) Ausência de <i>Pseudomonas sp</i> e coliformes.	Dosagem de resíduos minerais ou orgânicos, endotoxinas, preparações de calibradores, controles, SQR, espectrometria de absorção atômica, ICP/IOS, ICP/MS, espectrometria de massa, procedimentos enzimáticos, cromatografia a gás, CLAE (ppm ou ppb), biologia molecular e cultivo celular etc. Eventualmente em preparações farmacêuticas que requeiram água de alta pureza.

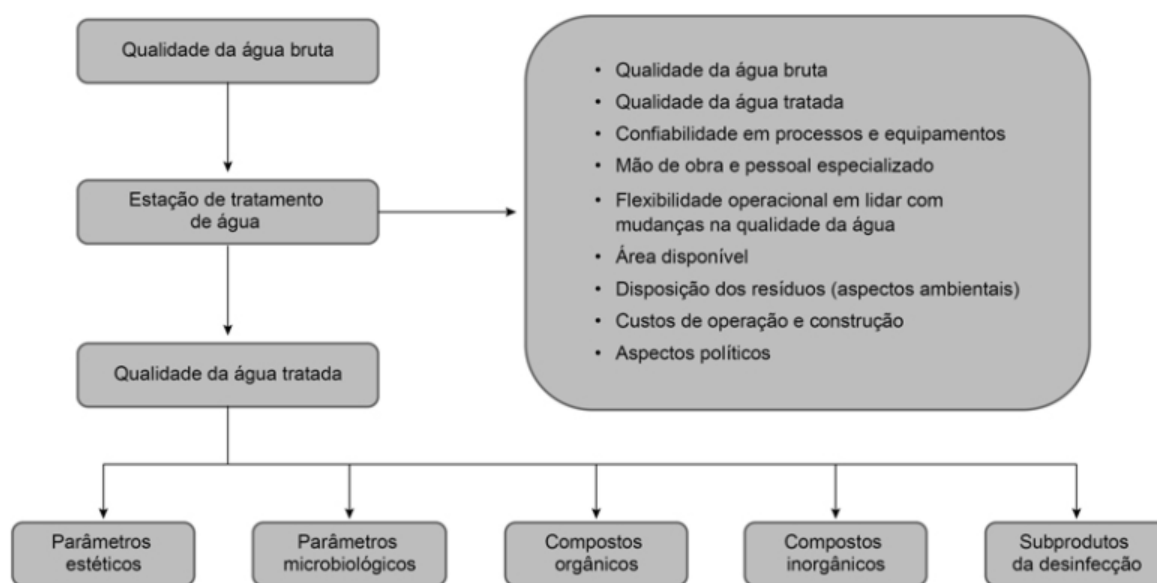
Fonte: Adaptado de ANVISA (2019).

2.1.1. Estação de tratamento de água – ETA

Os projetos, instalações e operação de sistemas para produção de água purificada (AP), água ultrapurificada (AUP) e a água para injetáveis (API) possuem componentes, controles e procedimentos similares. Os processos de obtenção empregam operações unitárias sequenciais – os estágios de purificação – que estão voltados à remoção de determinados contaminantes e à proteção de estágios de purificação subsequentes (ANVISA, 2019).

A principal finalidade de uma estação de tratamento de água é a elevação do padrão de qualidade da água, de maneira que seja possível atender a um padrão de qualidade acima de determinado valor de referência. (SECKLER,2017).

Figura 2: Critérios mínimos a serem considerados na concepção da ETA.



Fonte: SECKLER, (2017).

Mesmo com toda eficiência dos novos equipamentos para tratamento de água, é imprescindível mão de obra especializada para operação desses equipamentos.

Caso não haja um perfeito casamento entre a tecnologia de tratamento e mão de obra requerida para sua operação, corre-se um sério risco de má operação dos processos e equipamentos, o que poderá levar a uma completa falha do sistema concebido e construído (SECKLER,2017).

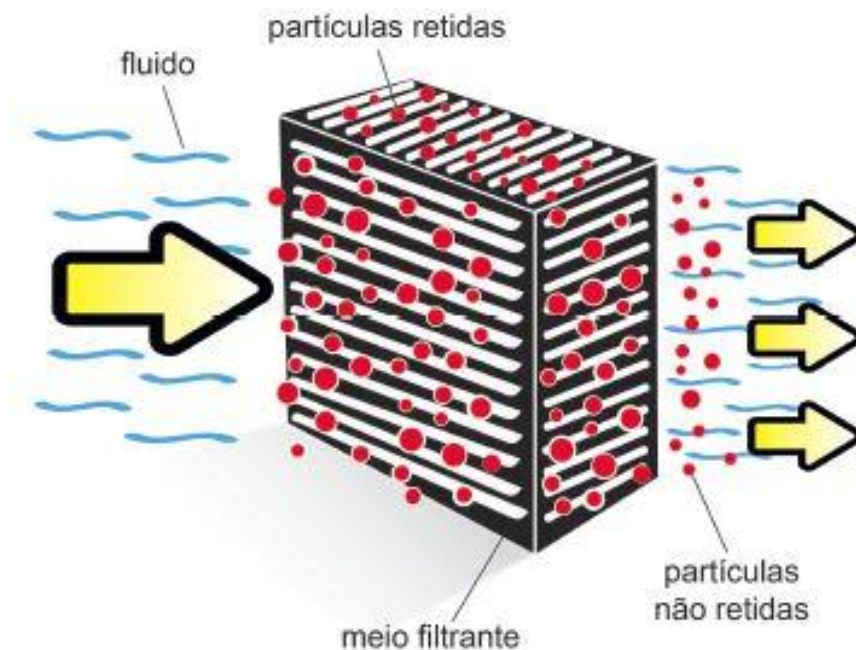
Quando se concebe e projeta-se uma estação de tratamento de água deve-se ter em mente que sua vida útil se situa em torno de 30 a 50 anos e que, neste período, a obra deve oferecer todas as condições de segurança, a fim de que sua operação possa transcorrer de maneira segura e confiável (SECKLER, 2017).

As tecnologias de purificação destinam-se à remoção de contaminantes nos diversos estágios da sequência de purificação. As principais tecnologias apresentadas a seguir estão em uma ordem sequencial lógica, porém a escolha de quais serão utilizadas e a ordem em que são aplicadas dependerão da qualidade da água de entrada e do tipo de água que se busca obter (ANVISA, 2019).

2.1.2. Filtração de profundidade

Também conhecida como pré-filtração ou filtração inicial, destina-se a remover contaminantes particulados na faixa de tamanho entre 5 e 10 micrómetros (μm), essencialmente para proteger as tecnologias subsequentes, utilizando filtros de areia ou combinação de filtros (ANVISA, 2019). De acordo com o tamanho das partículas, tem-se a filtração, a microfiltração, e a ultrafiltração e retém partículas de 0,002 milímetros (mm) a 0,0003 milímetros (mm) (LE HIR, 1997).

Figura 3: Ilustração do processo de filtração.



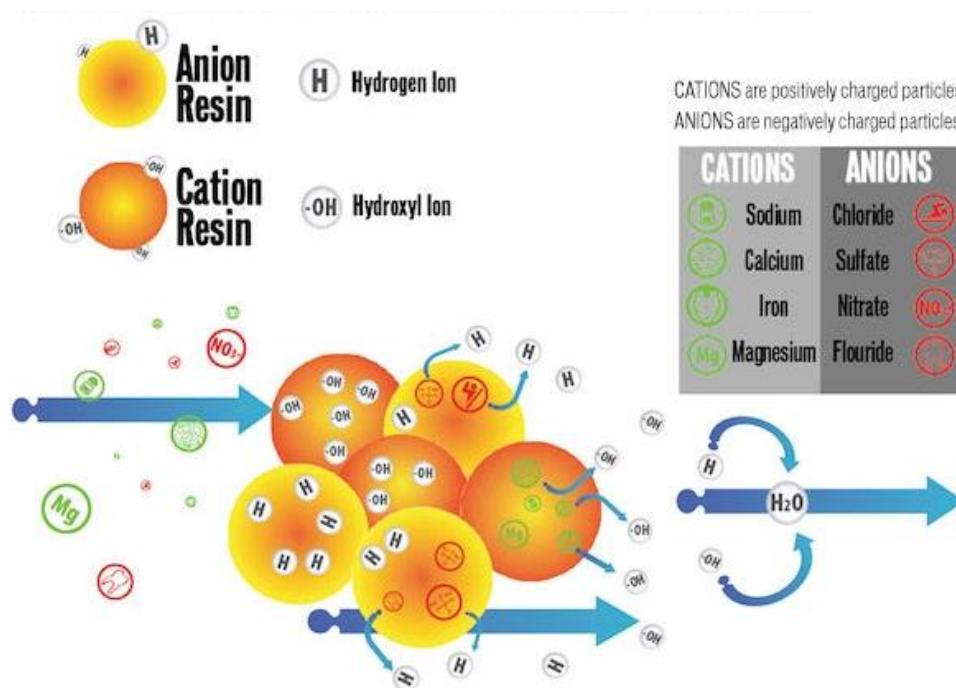
Fonte: Adaptado de REVISTA MEIO FILTRANTE, (2016).

Sua função é proteger os processos seguintes. Geralmente, o filtro é utilizado antes dos processos de purificação com o objetivo de evitar a saturação das resinas e membranas pela presença do cloro residual. No caso da deionização e osmose reversa o acúmulo de partículas no processo de destilação ocasiona o superaquecimento da caldeira e diminuição do tempo de vida das membranas, diminuindo assim a eficiência dos processos de purificação da água (MACÊDO, 2001).

2.1.3. Deionização

A deionização é uma tecnologia eficaz para a remoção de sais inorgânicos dissolvidos. Os sistemas de deionização, também conhecidos como deionização convencional, produzem água purificada de uso rotineiro, por meio de resinas de troca iônica específicas para cátions ou para ânions. São polímeros orgânicos, geralmente sulfonados, na forma de pequenas partículas. As resinas catiônicas capturam os íons liberando o íon de hidrogênio (H^+) na água e as aniônicas liberam íons de hidroxila (OH^-). São regeneráveis com ácidos e bases, respectivamente. Esse processo isolado não produz água de alta pureza, por haver fuga de pequenos fragmentos da resina, facilidade de crescimento microbiano e por haver baixa remoção de orgânicos (ANVISA, 2019).

Figura 4: Ilustração das trocas iônicas.



Fonte: Adaptado de NACIENTIFICO, (2021).

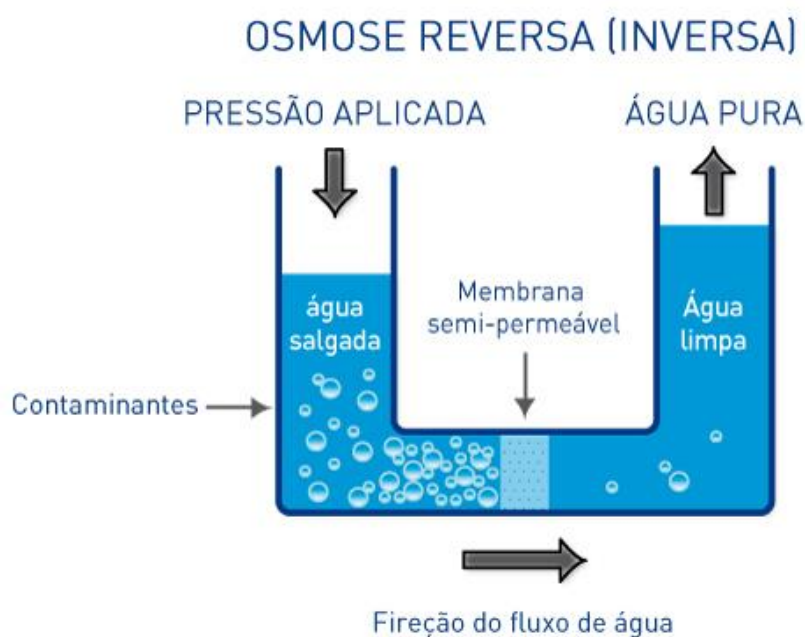
As resinas catiônicas trocam seus íons de hidrogênio (H^+) por contaminantes catiônicos (cálcio, magnésio, cobre, alumínio, ferro e outros metais e cátions diversos). Enquanto, as resinas aniônicas trocam seus íons de hidroxila (OH^-) por contaminantes aniônicos (sílica, sulfato, sulfito, fosfato, nitrato, cloreto e outros ânions). As resinas se ligam a quaisquer sais minerais no líquido para separá-los da água, portanto, apenas água limpa sai do tanque. Os tanques de deionização produzem níveis variados de purificação dependendo da resina e do tipo exato de processo de deionização, por isso é importante escolher a solução adequada para cada caso particular (CULLIGAN, 2020; CESARIO, 2013).

2.1.4. Osmose reserva

A osmose reversa é uma tecnologia de purificação baseada em membranas semipermeáveis e com propriedades especiais de remoção de íons, microrganismos e endotoxinas bacterianas. Remove 90 a 99% da maioria dos contaminantes (ANVISA, 2019).

O processo é baseado no fenômeno natural de osmose, onde a água passa de uma solução salina menos concentrada para uma mais concentrada, através de uma membrana semipermeável. Aplicando uma pressão para reverter o fluxo da água, de forma que a água passe por uma membrana e por filtros de carbono, passando parte da água do meio concentrado para o meio mais diluído (MIERZWA, 2000).

Figura 5: Ilustração da osmose reversa.



Fonte: Adaptado de PENTAIR, (2021).

A osmose reversa é um processo no qual um solvente passa de uma solução diluída para uma solução mais concentrada, através de uma membrana semipermeável, que permite a passagem desse solvente, mas impede a migração do soluto. A osmose aplica-se a todos os solventes, não somente a água e a todos os solutos, não somente os sais inorgânicos (SALES, 2016).

Existem também os sistemas de osmose reversa de duplo passo (ou membrana de dois estágios), em que a água purificada passa pelo primeiro estágio e alimenta o segundo estágio, incrementando e complementando a purificação. A osmose reversa de duplo passo é adotada para melhor rejeição de soluto, duplicando a purificação (ANVISA, 2019; CHEE et al, 2018).

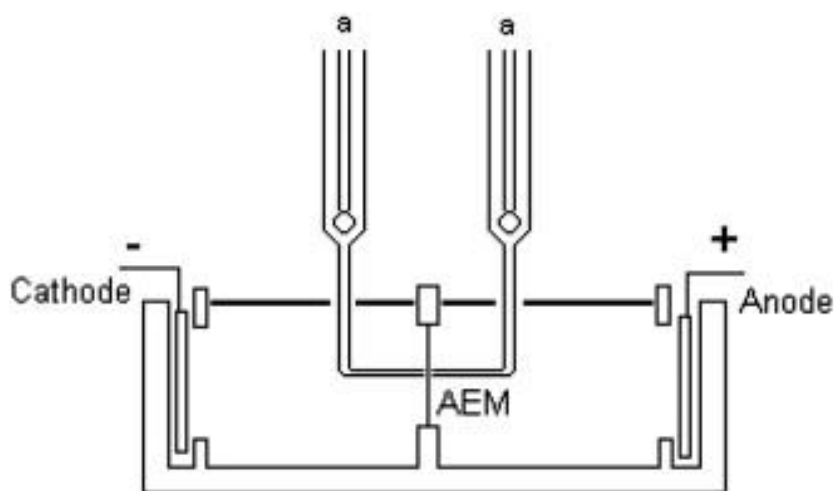
Nesse arranjo as membranas são dispostas de tal modo que o permeado liberado pelo primeiro conjunto de membranas é utilizado como água de alimentação de um segundo conjunto. Esse modelo confere à água tratada um grau de pureza ainda mais elevado. Atualmente essa configuração em série é reconhecida como o sistema mais eficiente na purificação de água no setor farmacêutico (SALES, 2016).

É imprescindível instalar um sistema de pré-tratamento antes da osmose reversa, que remova partículas e agentes oxidantes, e, em paralelo, deve-se fazer, periodicamente, a sanitização do sistema. Essa prática ajuda a aumentar a vida útil das membranas e reduz a frequência de sua regeneração (ANVISA, 2019).

2.1.5. Eletrodeionização

Eletrodeionização (EDI) é uma tecnologia que combina duas técnicas de purificação de água: eletrodialise e troca iônica. Embora a eletrodeionização tenha sido descrita já em 1957 por Kollsman, só em 1987 ela foi usada nos processos de fornecimento de água de alta pureza para as indústrias farmacêutica, microeletrônica e de produção de energia em caldeiras de alta pressão (VÁSQUEZ-GARZÓN et al. 2011).

Figura 6: Ilustração do processo de eletrodeionização.



Fonte: Adaptado VÁSQUEZ-GARZÓN et al., (2011).

Os sistemas de eletrodeionização contínua combinam resinas catiônicas e aniônicas com membranas semipermeáveis e a aplicação de um campo elétrico, promovendo a remoção de íons de forma contínua, isto é, sem necessidade de parada para regeneração (ANVISA, 2019).

É o processo de tratamento da água baseado na diferença de potencial, onde se obtém a separação de compostos iônicos ou ionizáveis, devido à ação de uma corrente elétrica aplicada em eletrodos, entre os quais estão acondicionadas duas membranas íon seletivas e resinas de troca iônica. Como na osmose reversa, deve ser adotado um processo de pré-tratamento da água que entra no sistema com o objetivo de proteger o equipamento e manter o grau de qualidade da água (MIERZWA, 2000).

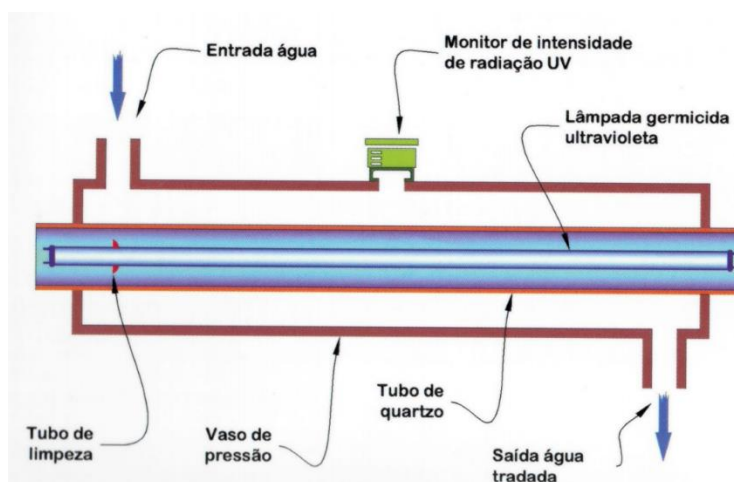
2.1.6. Radiação ultravioleta (UV)

A radiação UV é utilizada em sistemas de purificação de água em dois comprimentos de onda, 185 nanômetros (nm) e 254 nanômetros (nm), promovendo dois efeitos:

- 185 nanômetros (nm) e 254 nanômetros (nm) – Oxidação de compostos orgânicos e consequente redução de sua concentração, para atender aos limites da AP, AUP e API;
- 254 nanômetros (nm) – Ação germicida nos diversos pontos da sequência de purificação, para reduzir a contagem microbiana.

Para a oxidação de orgânicos a água deve estar no estágio final da purificação, e essa remoção será mais efetiva quanto menor for a carga de contaminantes. Deve-se monitorar a intensidade da lâmpada e considerar a profundidade e espessura do leito e o fluxo de água no local da radiação (ANVISA, 2019).

Figura 7: Ilustração do processo UV.



Fonte: SALES (2016, p.73).

É utilizada principalmente como uma técnica complementar aos processos de tratamento descritos anteriormente, ou para evitar a proliferação de microrganismos nos recipientes de armazenagem da água tratada. A radiação ultravioleta (UV) consegue inativar a maioria dos microrganismos e assim, mantém a água armazenada dentro dos parâmetros de purificação por mais tempo (MIERZWA, 2000).

2.1.7. Distribuição, armazenamento e validação

O desenho do sistema de distribuição deve levar em consideração a recirculação constante da água purificada e da água para injetáveis e a manutenção da temperatura da água contida no tanque. Caso necessário, deverá conter um trocador de calor para fornecer água mais fria aos pontos de uso. Tubulações, válvulas, instrumentos e outros dispositivos devem ter construção e acabamento sanitário, de forma a não contribuírem para que ocorra a contaminação microbiana. Não devem ser utilizados filtros de retenção microbiológica na saída, ou no retorno dos sistemas de distribuição, pois são repositórios de microrganismos retidos e, portanto, uma fonte crítica para a formação de endotoxinas. Os pontos de uso devem ser projetados de forma a evitar volumes mortos e possibilitar que a água circule e retorne totalmente neles quando estiverem fechados (ANVISA, 2019).

As condições de estocagem devem ser adequadas à qualidade da água. A diretriz fundamental para o armazenamento da água purificada, da água ultrapurificada ou da água para injetáveis é ponderar que, quanto maior o grau de purificação da água, mais rapidamente ela tende a se recontaminar. Sendo assim, a água deve ser mantida em recirculação constante, por meio de seu sistema de distribuição, sempre que aplicável. As primeiras porções de água produzida por um sistema de purificação que tenha ficado inativo por mais de quatro horas devem ser desprezadas proporcionalmente ao volume morto do recipiente. Essas variáveis devem ser validadas para as condições específicas de cada sistema bem como devem ser estabelecidos os parâmetros a serem considerados na validação (ANVISA, 2019).

O propósito fundamental da validação é assegurar a confiabilidade de um sistema de purificação de água, envolvendo sua obtenção, armazenamento, distribuição e qualidade no ponto de uso. A validação inclui a qualificação da instalação (QI); da operação (QO) e do desempenho (QD). Os protocolos de qualificação devem estar previamente aprovados antes de sua execução (ANVISA, 2019).

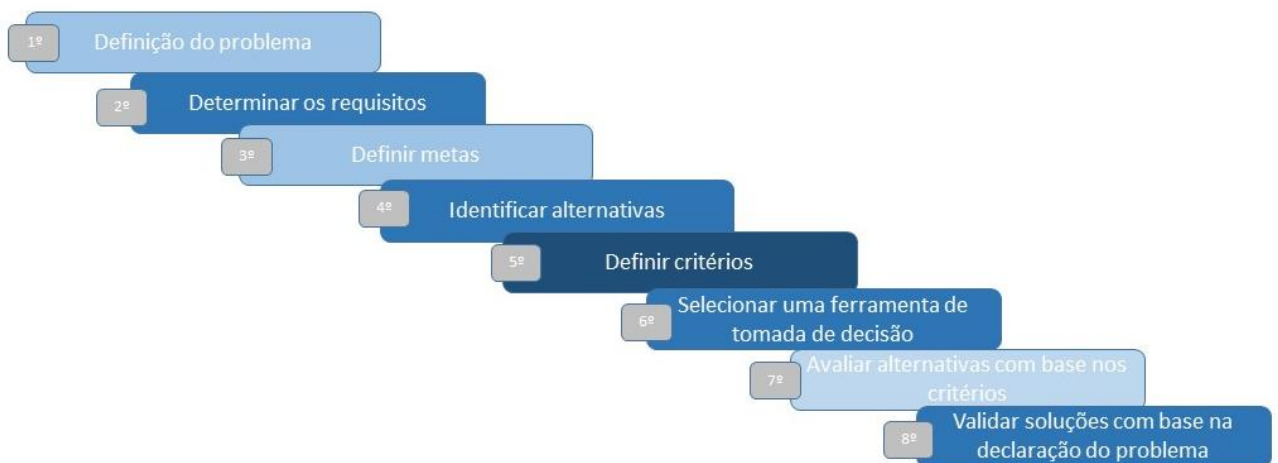
2.2. Processos de decisão

Assim como na nossa vida, decisões são tomadas a todo o momento nas organizações. É preciso sempre tentar tomar a decisão mais assertiva. Neste contexto que entra o processo decisório que é o processo onde os gestores tomam suas decisões.

Para se chegar à decisão adequada em uma organização é preciso fazer uma análise do sistema considerando todas as possíveis variáveis de todos os elementos e todas as relações que eles possam ter entre si, além de todas as relações do sistema com o meio ambiente. Tanto para a organização quanto para os indivíduos, toda a decisão envolve riscos e incertezas (LACOMBE; HEILBORN, 2003).

A tomada de decisão causa um impacto que vai além do resultado imediato. Na realidade, as decisões tomadas hoje se direcionam muito mais ao futuro, que é fruto das idealizações nas quais as decisões são baseadas. O estudo do processo decisório tem evoluído desde os anos de 1940. Isso se deve, principalmente, ao crescente conhecimento dos problemas aplicados no desenvolvimento de novas técnicas administrativas, informações e na absorção de novos procedimentos quantitativos oriundos da Matemática e da Pesquisa Operacional. A tomada de decisão pode ser dividida nos seguintes passos, conforme: (FULOP, 2005).

Figura 8: Sequência para tomada de decisão.



Fonte: Adaptado de Fulop (2005)

O interesse empresarial em relacionamentos de longo prazo e em decisões sustentáveis são algumas das ocasiões que motivam decisões nas quais não é comum haver uma única solução ideal que seja capaz de atender a todos os critérios (CAMPOS, 2006; MACHADO *et al*, 2003).

Um processo de decisão começa com a identificação dos atores responsáveis pela tomada de decisão e das partes interessadas neste processo. No processo decisório há o envolvimento de diversos atores, sendo o principal deles o decisor ou agente de decisão, que é o responsável pela escolha a ser tomada, possuindo o papel mais

importante no processo de tomada de decisão. O decisor deve avaliar as alternativas do problema de acordo com sua preferência (DE ALMEIDA, 2013; CAMPOS, 2006). Os atores podem ser agrupados em três grupos, conforme o Quadro 1:

Quadro 3: Tipos de atores

Decisor	Representado pela alta gestão. Aquele que responde legalmente pelas decisões e suas consequências.
Especialista	São atores de outros subsistemas. Que podem contribuir e auxiliar na escolha do decisor.
Analista	Atua como um facilitador. É responsável pela aplicação do método, a modelagem do problema e a organização dos fatores e atores.

Fonte: Adaptado de De Almeida, (2013).

Outros atores importantes incluem: o analista, que apoia o processo decisório, podendo auxiliar no desenvolvimento do modelo e o especialista, que informa os outros atores sobre o ambiente examinado (DE ALMEIDA, 2013).

Muitos dos problemas de decisão possuem mais de um objetivo a ser atingido, sendo esses objetivos denominados critérios ou atributos, que podem ter caráter qualitativo ou quantitativo. Esses critérios precisam ser considerados para efetuar uma ação, sendo utilizados como parâmetros de avaliação para o conjunto de alternativas (CAMPOS, 2006; DE ALMEIDA, 2013).

Um problema de decisão pode ser caracterizado pela necessidade de se estabelecer uma escolha dentre um número finito de alternativas possíveis, através de priorização, ordenação ou classificação, dependendo do objetivo (MACHADO *et al*, 2003).

Para lidar com as problemáticas e fornecer apoio para lidar com as incertezas foi criado um conjunto de técnicas e ferramentas de avaliação para escolhas estratégicas, sendo uma dessas a Metodologia Multicritério de Apoio à Decisão (ZOPOUDINIS; PARDALOS, 2010).

2.2.1. Análise de decisão multicritérios – MCDA

O *Multi-criteria decision analysis* (Análise de decisão multicritérios - MCDA) é um termo amplo utilizado para descrever um processo decisório, que auxilia uma tomada de decisão, também conhecido pelas terminologias “*Multi-criteria decision*

making” (Tomada de decisão multicritérios – MCDM) ou “*Multi-attribute decision analysis*” (Análise de decisão multiatributos – MADA). O MCDA é um conjunto de métodos e abordagens (quantitativa e qualitativa) que busca ordenar os vários critérios explícitos, os quais possuem cada um, uma importância relativa distinta, sendo, portanto, atribuídos pesos diferentes (DE ALMEIDA, 2005; BELTON, 2002).

De acordo com Gomes (2002), a MCDA está firmemente enraizada nos conceitos de otimização alternativa, onde múltiplos (ao invés de únicos) critérios caracterizam a noção de “o melhor” (ou ótimo), como é predominante nas áreas de economia, engenharia, gestão e negócios.

A MCDA envolve outros aspectos além do tratamento adequado para problemas multicritério. Segundo Roy (1996), o apoio à decisão é a atividade que ajuda a detectar os elementos que respondem a questões levantadas pelas partes interessadas na tomada de decisões. Esses elementos ajudam a tornar a decisão mais clara e recomendar um comportamento que aumente a consistência entre a evolução do processo e objetivos e valores do sistema das partes interessadas.

No contexto de métodos multicritério de apoio à decisão (MCDA), caracterizado por decisores que possuem mais de um objetivo, normalmente conflitantes entre si, destaca-se o uso dos métodos de decisão multicritério, os quais apresentam forte presença do decisor através do seu julgamento, consideram a estrutura de preferência do decisor, e buscam selecionar as melhores alternativas, analisando-as, simultaneamente, em relação a todos os critérios (DE ALMEIDA, 2013; DE ALMEIDA *et al.*, 2015).

2.2.2. Escolha de Equipamentos

Muitas decisões podem ser consideradas como um desafio, uma vez que podem não existir a possibilidade de recuo ou interrupção, ou até mesmo resultar em altos custos ou penalidades quando não efetuadas da melhor maneira. No setor público isto é ainda mais expressivo, pois também envolve custos sociais graves advindos de uma política inadequada e dispendiosa na aplicação de recursos cada vez mais escassos. A vantagem da aplicação de métodos que auxiliam nos processos decisórios é que estes não estão sujeitos às distorções tendenciosas que surgem em julgamentos baseados puramente em crenças e valores particulares (MACHADO *et al.*, 2003).

Muitas empresas enfrentam problemas com a gestão descentralizada, falhas nos procedimentos, funções pouco claras, falta de comunicação e fiscalização ineficaz no curso da compra, que afetam a qualidade e eficiência da aquisição de equipamentos,

fazendo necessário fortalecer a gestão padronizada dos procedimentos envolvidos (HU *et al.*, 2012).

Um dos principais problemas enfrentados durante a configuração ou reconfiguração de sistemas é classificar projetos alternativos tomando em consideração todos os diferentes aspectos envolvidos (MANASSERO; SEMERARO; TOLIO, 2004).

Perseguir cegamente produtos de alta tecnologia, ignorando sua praticidade e adaptabilidade faz com que os equipamentos fiquem parados. Falta de compartilhamento de recursos resulta em compra de equipamento repetido. Falta de mecanismos de avaliação resultam em benefícios econômicos que não condizem com o valor do equipamento e a falta de critérios restritos para aceitação de um equipamento, resulta em um embaralhamento mútuo (HU *et al.*, 2012).

Os primeiros estágios de configuração de um sistema são caracterizados por informações imprecisas e incompletas sobre os recursos e as propriedades do produto. A seleção de equipamentos utilizando métodos de decisão auxilia na configuração de um sistema eficaz. Além disso, a seleção de um equipamento inadequado pode afetar negativamente o desempenho geral e a produtividade de um sistema de manufatura. Somado a isso, a seleção de equipamentos tem um grande efeito na competitividade global das empresas (DAGDEVIREN, 2008).

A seleção de equipamentos sob condições operacionais restritas é uma tarefa complicada, devido a muitas alternativas viáveis e objetivos conflitantes (CHAKRABORTY & BANIK, 2006). Além disso, como uma grande variedade de equipamentos está disponível hoje, cada um com características e custos distintos, a determinação do equipamento adequado para um sistema projetado é uma decisão muito complexa (KULAK *et al.*, 2005).

O uso de equipamentos adequados pode melhorar o processo de produção, melhorar a utilização da mão de obra, aumentar a produção e aumentar a flexibilidade do sistema (DAGDEVIREN, 2008).

Na literatura, o problema de seleção de equipamentos é examinado com o emprego de diferentes métodos. Kulak (2005), empregou o método fuzzy e o método AHP para o desenvolvimento de um sistema que recomenda o melhor equipamento de manuseio de material. Yavuz (2016), utilizou o método Fuzzy-TOPSIS, adaptação do método TOPSIS, para auxiliar na escolha de caminhões para operar em minas na Turquia. Horri e Moradi (2013), apresentaram uma classificação de diferentes equipamentos de fabricação baseado na implementação do PROMETHEE e AHP.

Por fim, destaca-se os critérios considerados na seleção de um equipamento, categorizados em dois grupos, são eles: custos e características técnicas (KULAK et al., 2005). Portanto, a junção desses critérios pode tornar o processo de escolha uma tarefa complexa tanto para engenheiros, gestores ou até mesmo o especialista do equipamento.

2.2.3. Método FITradeoff

O FITradeoff é um procedimento flexível e interativo de elicitación de *tradeoff* para modelos aditivos multicritério criado inicialmente para situações de escolha. O objetivo é fornecer um processo de elicitación que permita que um processo de decisão seja construído com menos informações do que o exigido pelos procedimentos de troca padrão (DE ALMEIDA et al., 2016).

Conforme apresenta, Frej (2017), o método de elicitación por Tradeoff Interativo e Flexível, ou FITradeoff, possuem duas vantagens sobre o tradeoff tradicional: primeiro, reduz a informação requerida por parte do decisor; segundo, a informação requerida é cognitivamente mais fácil de ser requerida pelo decisor. Ou seja, o processo de escolher entre os critérios de preferência, de maneira cognitiva, é menos exaustivo do que informar quais critérios são indiferentes uns aos outros.

Fornecer a informação precisa exigida por métodos tradicionais não é uma tarefa fácil para o decisor. Ele pode não ser capaz de fornecer tais informações de forma consistente, no nível de detalhe exigido por estes métodos (WEBER, 1987; BELTON E STEWART, 2002). O alto esforço cognitivo demandado do decisor na elicitación também leva a uma alta taxa de inconsistências no processo, 67% utilizando o TRADEOFF, de acordo com estudos comportamentais (BURCHERDING, 1991).

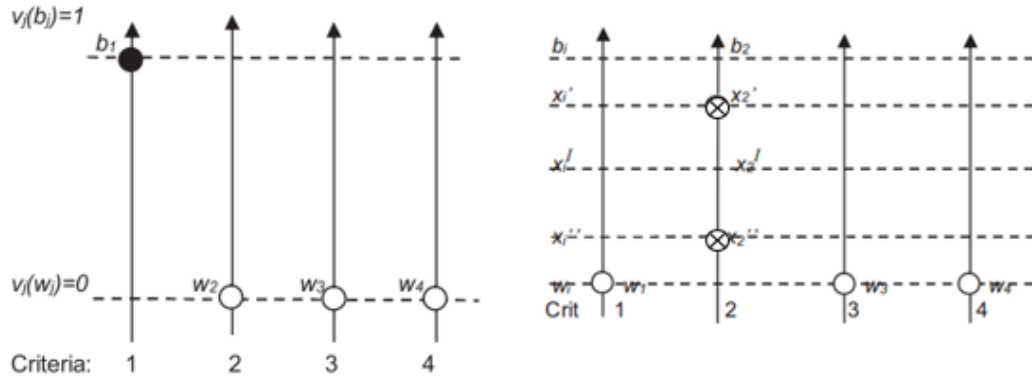
Ao longo da etapa FITradeoff, é considerado um espaço vetorial de pesos, que é atualizado com as escolhas do decisor a fim de reduzir o subconjunto de alternativas potencialmente ótimas (DE ALMEIDA et al., 2016).

O FITradeoff é um método mais recente que, por ser categorizado dentro dos modelos aditivos, traz um diferencial proposto para o procedimento de elicitación das constantes de escalas, uma vez que estas se tornam uma questão relevante quando o objetivo é gerar um critério único de síntese (DE ALMEIDA et al., 2016).

O método é baseado no procedimento de elicitación tradicional (Tradeoff) e por esse motivo também apresenta uma estrutura axiomática bem definida. Ambos assumem que as consequências consideradas no processo de elicitación variam entre b_i (melhor desempenho, $v_i(b_i) = 1$) e w_i (pior desempenho, $v_i(w_i) = 0$), sendo esta a razão

de o modelo de agregação aditivo ser aplicado juntamente com o procedimento de elicitação de pesos do FITradeoff (DE ALMEIDA et al. 2016). Na figura abaixo, podemos visualizar um espaço de consequências para escolha de preferências:

Figura 9: Espaço de consequências no FITradeoff.



Fonte: Adaptado de Frej (2017)

A consequência A tem um melhor resultado (b_i) para o critério 1 (representado na Fig.8 com o círculo preto) e o pior resultado (w_i), para os outros (representados na Fig. 8 por círculos brancos). O x_2^l na consequência B, possui um valor entre 0 e 1, o melhor e o pior dentro dos seus limites. Por exemplo, se o ponto x_2^l for o ponto de indiferença entre as duas consequências, o decisor irá declarar preferência pela consequência B, caso $x^2 = x^{2'}$, de forma que o valor da consequência B, neste caso, será maior do que o valor da consequência A. Esses valores serão utilizados para montar as inequações dentro do FITradeoff.

$$k_2 v_2(x_2^l) > k_3 ,$$

$$k_2 v_2(x_2^{ll}) < k_3$$

A partir dessas inequações, o espaço de pesos da equação é obtido:

$$\varphi_n = \left\{ (k_1, k_2, k_3, \dots, k_n) \mid \begin{array}{l} \sum_{i=1}^n k_i = 1 \quad k_i \geq 0 \\ k_1 v_1(x_1^{ll}) < k_2 < k_1 v_1(x_1^l); \dots ; \dots \\ k_i v_1(x_i^{ll}) < k_{i+1} < k_i v_1(x_i^l); \dots ; \dots \\ k_{n-1} v_1(x_{n-1}^{ll}) < k_n < k_{n-1} v_1(x_{n-1}^l) \end{array} \right\}$$

De Almeida et al. (2016) estabelecem que o espaço de pesos é definido como um conjunto de valores viáveis que as constantes de escala k podem assumir, sendo obtido

pelas desigualdades definidas a partir das declarações de preferência do decisor. A cada nova variação dos espaços de pesos, é verificado se uma alternativa ótima foi encontrada. Ainda de acordo com De Almeida et al. (2016), uma alternativa ótima é aquela que possui o melhor valor dentro do espaço global de alternativas.

Os métodos de análise de decisão multicritérios – MCDA usam dois paradigmas básicos para modelagem de preferências: avaliação holística ou elicitação por decomposição. Normalmente, cada método é baseado em umas dessas abordagens. No entanto, o método FITradeoff já tem a flexibilidade de considerar esses dois paradigmas para modelagem de preferências (MENDES et al. 2020).

O método FITradeoff foi aplicado a partir do software disponível no site cdsid.org.br/fitradeoff/.

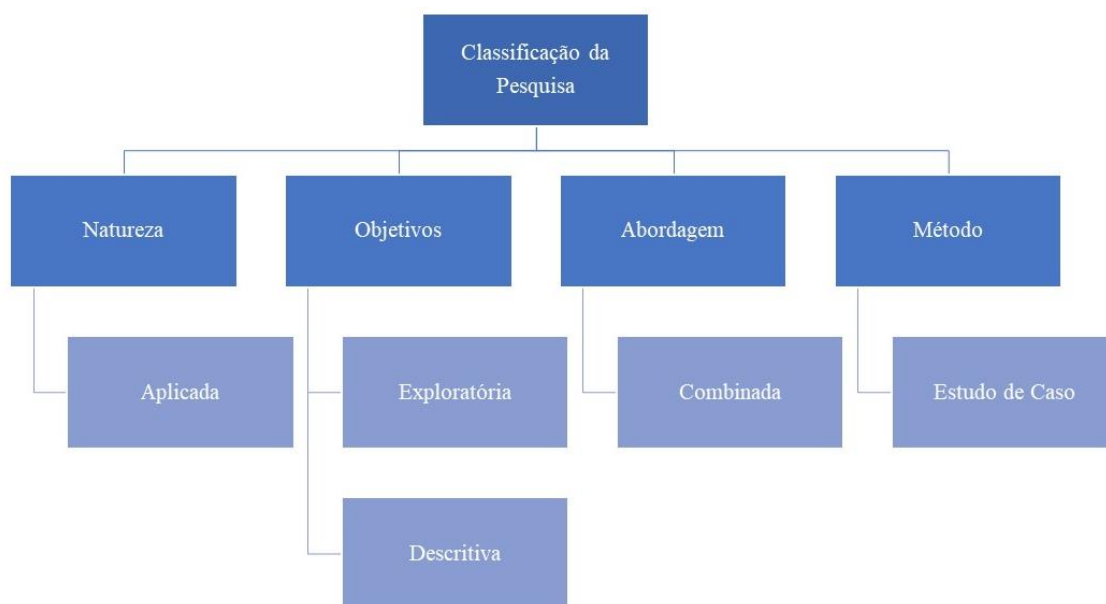
3. MÉTODOS DA PESQUISA

O presente capítulo tem como objetivo discorrer sobre os procedimentos metodológicos utilizados para realização do estudo. O capítulo está dividido em duas seções. A primeira seção, aborda a classificação da pesquisa quanto a natureza, os objetivos, procedimentos técnicos e da abordagem dos problemas. Na segunda seção, serão apresentadas as etapas que compõem o estudo e as etapas de construção do modelo de decisão.

3.1.1. Classificação da pesquisa

As publicações abordam diferentes modelos classificatórios da pesquisa científica. Para este trabalho será utilizado como referência o modelo de classificação utilizado por Turrioni e Mello (2012), como apresentado na Figura 10.

Figura 10: Classificação da pesquisa



Fonte: Adaptado de Turrioni e Mello, (2012).

No que tange à natureza da pesquisa, como apresentado na Figura 9 a classificação pode ser de duas formas, básica ou aplicada. Desse modo, o presente trabalho tem sua classificação, quanto à natureza, de pesquisa do tipo aplicada, pois a aplicação está diretamente relacionada à resolução de uma situação problema que diz respeito a um investimento em estação de tratamento de água para produção de medicamentos. Ademais, o estudo tem como uma de suas finalidades auxiliar na tomada de decisões estratégicas aos interesses comerciais da organização, enquadrando-se, na definição proposta por Appolinário (2006), que entende que a pesquisa aplicada tem um viés comercial, fazendo com que o estudo seja orientado para o desenvolvimento de novos produtos, processos ou atendimento de necessidades mercadológicas.

Quanto aos objetivos, Turrioni e Mello (2012) dividem a classificação em exploratória, descritiva, explicativa e normativa. Esta pesquisa tem características de dois dos quatro itens classificatórios; são elas: exploratório e descritiva. Os autores definem que a pesquisa exploratória envolve levantamento bibliográfico, entrevista com pessoas que possuem experiência prática e análise de exemplos que estimulem a compreensão.

Tais características estão presentes neste trabalho, com o levantamento bibliográfico e a coleta de dados, fundamentais para o embasamento teórico do problema e entrevistas com pessoas que atuaram ou vivenciaram experiências práticas

com a temática estudada. A segunda é a descritiva, caracterizada por Turrioni e Mello (2012) como sendo a pesquisa cuja finalidade é estabelecer relações entre variáveis ou estabelecer características de determinada população ou fenômeno.

Em relação à abordagem, Turrioni e Mello (2012) classificam uma pesquisa em quantitativa, qualitativa ou combinada. Este estudo enquadra-se nas características de uma investigação combinada, tendo em vista que foram abordados aspectos qualitativos e quantitativos durante o estudo.

Quanto ao método, a pesquisa é classificada como um estudo de caso. O estudo de caso é caracterizado por uma pesquisa de cunho aprofundado quando se tem um ou poucos objetos que permita um estudo amplo e detalhado (TURRIONI; MELLO, 2012).

3.2. Procedimentos Técnicos

A construção do modelo de decisão multicritério proposto neste trabalho é descrito por de Almeida (2013), onde este é composto por três fases principais. A primeira fase é nomeada de fase preliminar.

O estágio preliminar desta pesquisa foi delimitado durante visitas a estação de tratamento de água, sendo possível identificar o problema de decisão multicritério. O decisor também foi definido nesta etapa, com envolvimento direto, sendo o diretor da indústria. Ele será apoiado na decisão de compra do equipamento por toda sua equipe: chefe da estação de tratamento de água, engenheiro mecânico responsável pela manutenção da estação de tratamento de água, farmacêutica chefe do setor de validação com larga experiência.

Ainda a respeito dos indivíduos envolvidos ao longo do fluxo de tomada de decisão faz-se importante destacar que, mesmo que a responsabilidade da decisão esteja claramente definida e atribuída a um único decisor, é comum que o processo decisório na verdade seja o produto da interação das preferências dos atores envolvidos (ROY, 1996).

De acordo com Turrioni e Mello (2012), das técnicas existentes de coletas de dados, o processo de observatório não-participante é uma maneira onde o pesquisador observa o objeto sem nenhuma interferência, técnica utilizada nesta pesquisa.

Na segunda fase, fase de modelagem de preferências e escolha do método, suas etapas devem ter um sequenciamento mais flexível do que em outros casos e ao final dessa fase o método de decisão é escolhido e o modelo de decisão é construído, estando pronto para ser utilizado, embora revisões sejam possíveis (ALMEIDA, 2013).

Na terceira e última fase, finalização, é possível encontrar um resultado e analisar. Os detalhes deste estão descritos no capítulo 5.

Por fim, efetuar uma análise de sensibilidade de um critério ou de todos e assim avaliar a robustez do resultado encontrado. Nesta etapa também é elaborado um relatório de implementação dos resultados. Neste momento, a indústria deve considerar as recomendações.

4. ESTUDO DE CASO

O presente capítulo procura caracterizar o objeto de estudo deste trabalho, expondo seu histórico, seu processo e apresentando o contexto na qual o problema está inserido.

4.1.1. Descrição do campo de estudo

Originário do Laboratório Farmacêutico de Produção Industrial (LAFAPI), o Núcleo Industrial Químico Farmacêutico (NIQUIFAR) foi criado em 1972 como Unidade suplementar da Universidade Federal do Rio Grande do Norte. Sempre integrou o sistema de Laboratórios Oficiais do Brasil produtores de medicamentos para o Ministério da Saúde.

Figura 11: Faixada inicial do atual NUPLAM.



Fonte: Acervo do NUPLAM (2022).

Através da Resolução nº 49/77 CONSUNI, de 1º de novembro de 1977, o NIQUIFAR tornou-se fundação, passando a se chamar Fundação Universitária do Alimento e do Medicamento (FUNAM). Com a Portaria nº 567/91-R, de 30 de abril de

1991, foi extinta a FUNAM e criado o Núcleo de Pesquisa em Alimentos e Medicamentos (NUPLAM), que passou a integrar a estrutura orgânica da UFRN como órgão suplementar vinculado à Reitoria.

Localizado no Campus Universitário da UFRN, em área aproximada de 27.000 metros quadrados (m²), o NUPLAM desenvolve atividades de produção de medicamentos para apoio ao Sistema Único de Saúde, e constitui campo de estágios supervisionados específicos e relativos a diferentes cursos de graduação. Desde 1999 o NUPLAM disponibiliza a sua linha própria de medicamentos básicos para órgãos públicos de assistência farmacêutica vinculada ao Sistema Único de Saúde de todos os estados do Brasil.

A partir de 2003, o NUPLAM e diversos cursos da UFRN como Farmácia, Engenharia de Produção, Química, etc., reiniciam sua parceria estabelecendo projetos inovadores em que o ensino, a pesquisa e a extensão estejam dissociados. Assim, o NUPLAM transforma-se em espaço acadêmico privilegiado, onde o conhecimento seja produzido e difundido em função e através das atividades de fabricação e distribuição de medicamentos.

Figura 12: Faixada atual do NUPLAM.



Fonte: Autor (2022).

Atualmente, o NUPLAM possui registro vigente de produção de dois medicamentos, Olanzapina 5 e 10 miligramas (mg) e o Cloridrato de Fingolimode 0,5 miligramas (mg) cápsulas. De acordo com a indústria EMS - Emiliano Sanchez (2021), o olanzapina é indicado para o tratamento agudo e de manutenção da esquizofrenia e outros transtornos mentais (psicoses) onde sintomas positivos (ex.: delírios, alucinações,

alterações de pensamento, hostilidade e desconfiança) e/ou sintomas negativos (ex.: afeto diminuído, isolamento emocional/social e pobreza de linguagem) são proeminentes. O olanzapina alivia também os sintomas afetivos secundários na esquizofrenia e transtornos relacionados (EMS, 2021).

O Cloridrato de Fingolimode é utilizado para tratar esclerose múltipla remitente recorrente. O cloridrato de fingolimode não cura a esclerose múltipla, mas ajuda a reduzir o número de recidivas que ocorrem e diminuir o acúmulo de problemas médicos devido à esclerose múltipla (progressão da doença) (EMS, 2021).

O NUPLAM também passou a produzir álcool etílico 70% INPM em 2020. Em abril de 2020 foram produzidos os primeiros litros (L) de álcool etílico 70% INPM para auxiliar as unidades de saúde no combate ao COVID-19. Fator relevante para o redimensionamento da estação de tratamento de água visto que para produzir 1 mil litros (L) de álcool etílico 70% INPM por dia, é necessário em média 700 litros (L) de água purificada.

Figura 13: Produção do álcool etílico 70% do NUPLAM envasamento (a) e rotulagem (b).



Fonte: Acervo do NUPLAM (2022).

Neste momento, o NUPLAM produz diariamente 2.000 litros (L) de álcool etílico 70% INPM por dia, exigindo um consumo de 1.400 litros (L) de água purificada diariamente. O setor de produção de álcool etílico 70% INPM está sendo

redimensionado para além da sua produção atual produzir álcool em gel e outras derivações deste antisséptico. Elevando a demanda de água purificada.

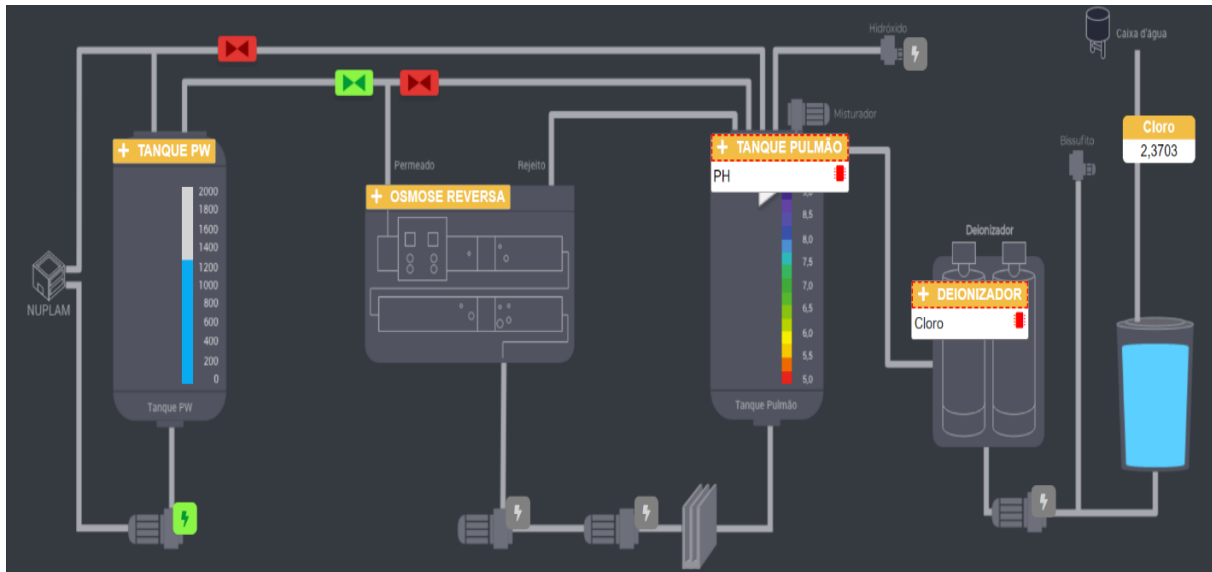
No setor produtivo de medicamentos do NUPLAM é utilizado em média 500 litros (L) de água purificada (AP) por dia na produção de Olanzapina, independente da sua gramatura. Esse valor está dimensionado para produção de 100 quilogramas (Kg) de comprimidos de Olanzapina, que são 500 mil comprimidos de 0,5 miligramas (mg) ou 250 mil comprimidos de 10 miligramas (mg). A água purificada é utilizada na etapa de gramatura e na etapa de revestimento do olanzapina. O processo de revestimento do fármaco necessita de mais água purificada de acordo com as determinações da campanha do lote, por exemplo, para camuflar o sabor, retardar a absorção ou para fins estéticos.

Para a produção do cloridato de fingolimode, 250 litros (L) de água purificada (AP) são necessários diariamente. Para a produção de cloridato de fingolimode o valor da água purificada (AP) independe do tamanho do lote pois é usada apenas na limpeza dos equipamentos ao final do ciclo.

4.1.2. Descrição do Processo da Estação de Tratamento de Água – ETA

O sistema da estação de tratamento de água do NUPLAM é composto por três etapas bem definidas, são elas: pré-tratamento, tratamento, armazenamento e distribuição. A água de abastecimento da ETA vem do poço artesanal localizado no Centro de Biociências da UFRN. A etapa de pré-tratamento da ETA é constituída por uma série de equipamentos e acessórios ligados em linha, com o objetivo de realizar o tratamento prévio da água de abastecimento e seu monitoramento para que os parâmetros apropriados para a etapa seguinte, do tratamento, através da osmose reversa de duplo passo, sejam atingidos.

Figura 14: Estação de Tratamento de Água do NUPLAM.



Fonte: Acervo do NUPLAM (2022).

A partir do fluxograma de água da ETA esquematizado na figura 13 podemos visualizar o processo. Inicialmente, a água é submetida ao processo de cloração em linha de forma manual, com a adição de hipoclorito de sódio para diminuir a carga microbiana. Após a cloração, a água passa por uma válvula elétrica solenoide que visa diminuir a sua pressão de entrada, através do controle da vazão. Essa água passa por um filtro de areia, responsável pela filtração inicial, com o objetivo de retirar as impurezas mais grosserias e então é enviada à caixa d'água para armazenamento.

Em seguida, é direcionada para a ETA, onde o primeiro passo é passar por um analisador de cloro para verificar se está dentro dos parâmetros e em seguida passa por um filtro de 5 micrômetro (μm), visando reduzir ainda mais as impurezas. Então a água chega ao tanque de abastecimento do deionizador, onde é submetida a um tratamento para a retirada do cloro, através de uma reação química com bissulfeto de sódio, injetado por meio de uma bomba. Após isso, a água é impulsionada pela bomba centrífuga de alimentação do deionizador, onde entra em contato com as resinas de troca iônica do deionizador (catiônica e aniônica, dispostas nessa sequência), com a finalidade de reduzir a carga de íons, tendo em vista que a água de abastecimento da ETA possui elevada condutividade, conforme está descrito no Anexo - A.

Após a passagem pelo deionizador, a água passa pelo filtro de 1 micrômetro (μm) e segue para o tanque pulmão de alimentação da osmose reversa, onde é realizada a análise e o ajuste automático do potencial hidrogeniônico (pH) da água através da

injeção de solução de hidróxido de sódio por meio de uma bomba injetora. O tanque pulmão, também recebe a água de recirculação, que sai do rejeito do primeiro e segundo passo da osmose reversa que passa por um gerador de ozônio com lâmpadas ultravioleta (UV) para garantir a desativação de agentes patogênicos como bactérias, vírus e protozoários. Posteriormente, essa água segue para a osmose reversa, onde será iniciada a fase de tratamento da água em processo.

Ainda existe distribuídos por toda etapa de pré-tratamento, os pontos de coleta da água para monitoramento por meio da análise físico-química e microbiológica. A etapa de tratamento da água inicia com a saída da água em processo do tanque pulmão para abastecer a osmose reversa de duplo passo. Antes de entrar na osmose reversa, a água é resfriada por um trocador de calor que controla a temperatura abaixo de 30° Celsius (°C), que é a recomendação de trabalho do fabricante das membranas que compõe a osmose reversa. Essa temperatura é monitorada através de termômetros analógicos e digitais localizados antes e depois do trocador de calor.

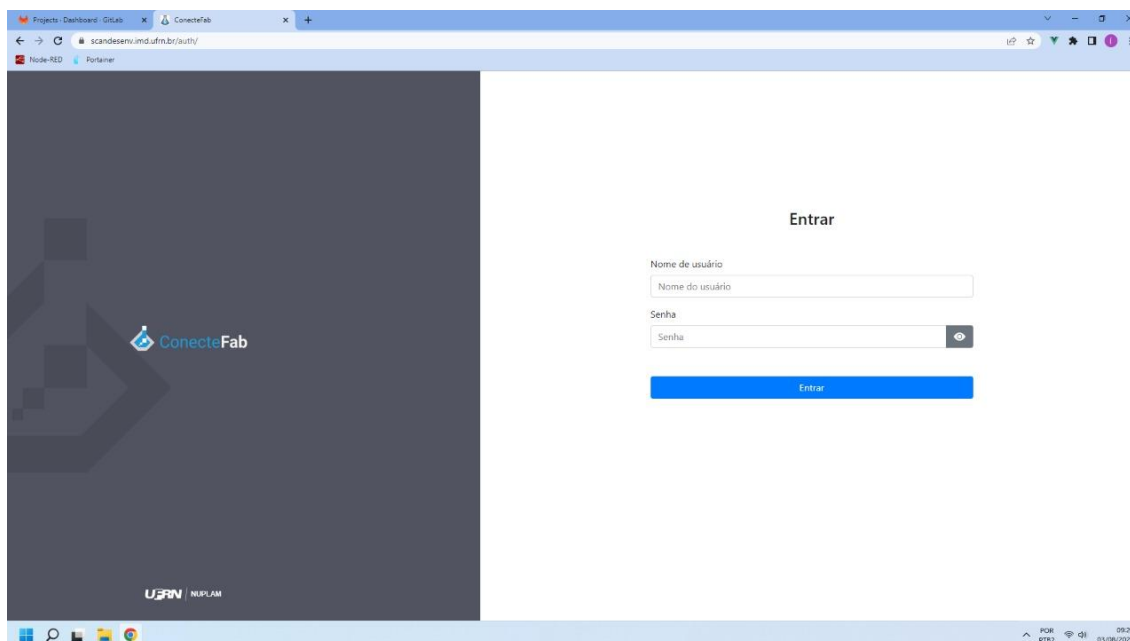
Através de elevada pressão a água passa do meio mais concentrado para o menos concentrado, processo que ocorre nas membranas do primeiro e segundo passo, resultando na água purificada. Após a purificação, a água passa através da válvula de saída do permeado e é encaminhada para o tanque quando atingir o valor especificado de condutividade. Quando a condutividade especificada não for atingida, durante a produção de água purificada, a mesma retorna para o tanque pulmão através da válvula de descarte do permeado.

Para a realização da limpeza e sanitização do sistema de osmose reversa e sua tubulação, é utilizado o sistema de limpeza automatizada através de CIP (*Clean in place*) e elementos auxiliares da osmose reversa de duplo passo.

A etapa de armazenamento e distribuição da ETA é constituída por uma série de equipamentos e acessórios ligados em linha por todas os setores do NUPLAM, com o objetivo de distribuir, armazenar e monitorar a água purificada produzida a fim de manter os parâmetros apropriados para a utilização. Quando o tanque de água purificada atinge o seu volume máximo de trabalho (1.300 L), o modo “RECIRCULAÇÃO” é acionado (por válvula elétrica diafragma) para que o volume excedente de água purificada retorne ao tanque pulmão.

O monitoramento é feito por um sistema customizado desenvolvido para atender as necessidades do NUPLAM. O ConecteFab é responsável por monitorar os dados das máquinas instaladas na ETA.

Figura 15: Supervisório Central de Automação do NUPLAM – ConecteFab.



Fonte: Acervo do NUPLAM (2022).

O *software* carrega os dados das máquinas através dos seus sistemas e Controlador Lógico Programável (CLP's), em tempo integral, atualizando a cada 10 segundos, criando um banco de dados com todos os parâmetros de cada etapa do sistema. Além de monitorar os dados e exibir mensagens de notificação sempre que algum parâmetro sair do controle.

Há pontos de coleta de água nos setores do NUPLAM, sendo eles denominados como PW 05 (ETA - saída da osmose reversa), PW 06 (COQ), PW 07 e PW 08 (PMS) e o PW 09 (ETA - no retorno do *looping*). Destes pontos, fazem parte do anel de distribuição apenas os pontos PW 06, PW 07, PW 08 e PW 09.

Quadro 4: Pontos de Coleta de Água Purificada na Indústria

Nº DO PONTO	SETOR/BLOCO	NOME DO PONTO	TIPO DE ÁGUA
PW 05	ETA	Saída da Osmose Reversa	Água Purificada
PW 06	COQ	<i>Looping</i> (COQ)	Água Purificada
PW 07	PMS	<i>Looping</i> (Sala de Granulação)	Água Purificada
PW 08	PMS	<i>Looping</i> (Sala de lavagem de bins)	Água Purificada
PW 09	ETA	Retorno do <i>Looping</i>	Água Purificada

Fonte: Autor (2022).

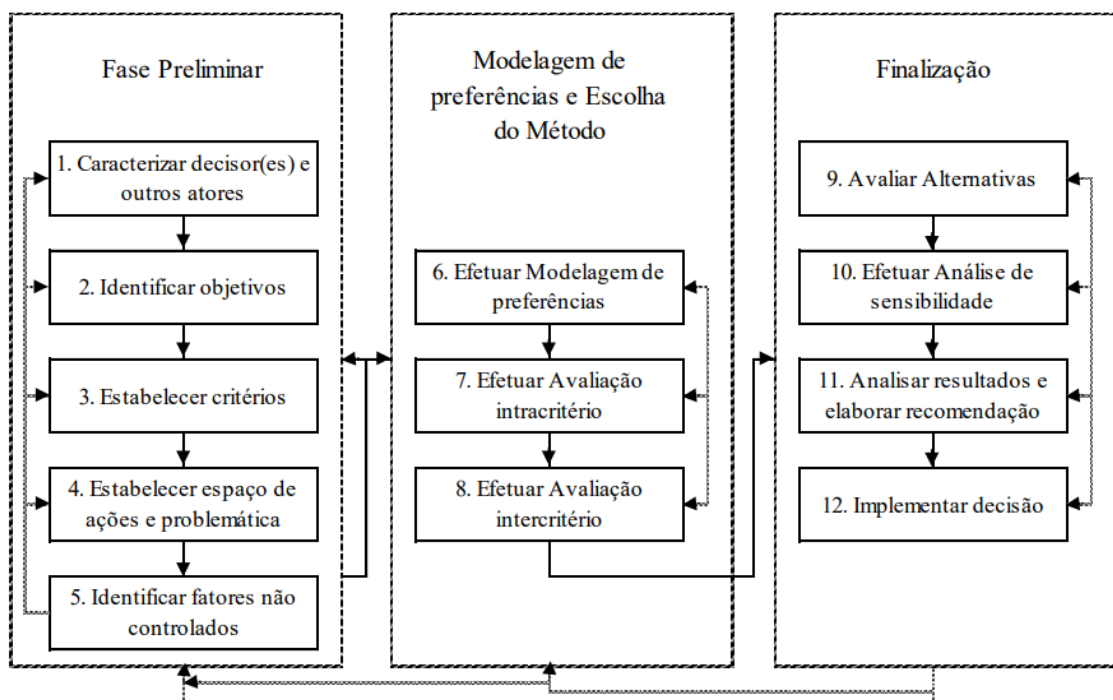
O ponto PW 05 é o ponto de saída da osmose reversa, servindo apenas para monitoramento da água produzida. Não é considerado ponto de uso, e, só após passar por ele, a água segue para o tanque de armazenamento e anel de distribuição.

5. RESULTADOS

Esta seção se propõe a construir um modelo de decisão de múltiplos critérios baseados em um método de apoio a tomada de decisão a fim de resolver um problema de aquisição de equipamento para a estação de tratamento de água de uma indústria de medicamentos.

A escolha do método multicritério está relacionada às características do problema, analisar os fatores e comparar as características com os métodos. A construção do modelo de decisão multicritério deste estudo segue as etapas de De Almeida (2013), representado na Figura 10.

Figura 16: Etapas de um Problema de Decisão.



Fonte: De Almeida (2013, p.165).

5.1.1. Fase preliminar

Após analisar os elementos que compõe o objeto de estudo, caracterizamos o decisor e outros atores do processo de tomada de decisão. De acordo com a atual gestão

da unidade de estudo, foram identificados quatro tipos de atores que estarão diretamente ligados ao processo de decisão, conforme apresentado no quadro 2.

Quadro 5: Decisores.

ATOR	FUNÇÃO NA ORGANIZAÇÃO
Decisor	Diretor Geral
Especialista	Chefe da Estação de Tratamento de Água
Especialista	Coordenador de Automação
Especialista	Farmacêutica Chefe da Validação
Analista	Pesquisador

Fonte: Autor (2022).

O decisor é influenciado pelas informações dos outros atores. Em seguida, após a identificação e análise dos objetivos, o conjunto de equipamentos em potencial é avaliado buscando atingir o objetivo principal de tal forma a garantir a qualidade do processo decisório. Os critérios devem cumprir os requisitos nacionais de qualidade, saúde, segurança e são considerados de extrema importância para o decisor. Posto isso, o conjunto de critérios é definido e avaliado pelo decisor e analistas, estes critérios estão listados no quadro 3.

Quadro 6: Critérios estabelecidos.

CRITÉRIO	DESCRIÇÃO	UNIDADE	OBJETIVO
Range Máximo	↑ Produção de água deionizada. Valores que definem os limites superior e inferior da capacidade de produção	m ³ /h	Maximizar
Preço	↓ Preço do equipamento com instalação.	Real (R\$)	Minimizar
Qualidade	↑ Atrelado diretamente a horas trabalhadas, com eficiência, sem reparos.	Pontuação	Maximizar
Reputação	↑ Relacionado a qualificação de fornecedor e prazo de entrega.	Pontuação	Maximizar
Suporte Técnico	↑ Prazo para um técnico qualificado realizar reparos, treinamentos e manutenção quando solicitado.	Horas	Maximizar
Garantia	↑ Tempo calculado a partir da data de recebimento do equipamento.	Anos	Maximizar
Condições de Pagamento	↑ Relacionado a flexibilidade do fornecedor em relação as formas de pagamento.	Meses	Maximizar
Adequação a Tecnologias	↑ Relacionado a adaptabilidade e automação do equipamento.	Pontuação	Maximizar

Fonte: Autor (2022).

Os critérios que serão mensurados por pontuação, entrarão na escala de 1 até 3. Onde 1 será a menor classificação e 3 a maior, como visto no quadro abaixo:

Quadro 7: Escala de Pontuação.

CRITÉRIO	DESCRIÇÃO	ESCALA
Qualidade	Atrelado diretamente a horas trabalhadas, com eficiência, sem reparos.	1: Mais de cinco reparos mensais; 2: Até cinco reparos mensais; 3: Até três reparos mensais.
Reputação	Relacionado a qualificação de fornecedor.	1: Atende até 52% de requisitos exigidos para ser um fornecedor qualificado; 2: Atende até 70% dos requisitos exigidos para ser um fornecedor qualificado; 3: Atende até 90% dos requisitos exigidos para ser um fornecedor qualificado.
Adequação a Tecnologias	Relacionado a adaptabilidade e automação do equipamento.	1: Sensores; 2: Adaptação a tecnologia de equipamentos existentes; 3: Faz-se uso também de ferramentas de controle e supervisão remota.

Fonte: Autor (2022).

Todos os fornecedores devem ser qualificados segundo critérios de instituições públicas. Para o equipamento de redução de condutividade apenas três fornecedores foram considerados como alternativas, onde esses fornecedores possuem um portfólio de várias opções do mesmo produto. Ao analisar o portfólio de todos os fornecedores, cinco equipamentos foram pré-classificados como satisfatório.

O conjunto de alternativa tem a forma discreta, composto por cinco equipamentos potenciais, denominados de Equipamento 1, 2, 3, 4 e 5: $A = \{1,2,3,4,5\}$.

Uma questão importante aqui é sobre a complexidade desse problema. Mesmo que haja apenas cinco alternativas, oito critérios são considerados para avaliar essas alternativas. O principal desafio em um modelo de MCDA, segundo Belton (2001), é construir a modelagem de preferências e incorporar no modelo matemático.

O conjunto de alternativas do problema é composto por opções de equipamentos existentes no mercado nacional, capazes de satisfazer as exigências da empresa. O

problema apresenta uma problemática de escolha ($P\alpha$), dessa forma, espera-se que o resultado do processo decisório seja um subconjunto que deva ser tão pequeno quanto possível a ponto de que uma única alternativa venha eventualmente a ser escolhida (ROY, 1996).

Na etapa cinco, devemos identificar os fatores que não podem ser controlados. Identificar fatores não controlados consiste na avaliação e identificação de fatores relevantes que não estão sob o controle do decisor. A identificação desses fatores pode indicar a presença de variáveis que se comportam como Estado da Natureza (DE ALMEIDA, 2013). Dito isso, não foram consideradas incertezas associadas ao problema.

5.1.2. Modelagem de preferências e escolha do método

A escolha do método multicritério está relacionada às características do problema, do tipo de decisor e do conhecimento do analista. Ao analisar esses fatores e compará-los aos métodos, torna-se possível escolher o que será melhor utilizado na problemática em questão.

Uma das maiores dificuldades no uso de modelos de apoio à decisão envolvendo múltiplos critérios envolve a obtenção de parâmetros necessários a avaliação intercritério dos métodos multicritério. A fase de avaliação intercritério que considera a combinação dos diferentes critérios pode ser considerada uma das mais difíceis para os decisores quanto ao uso de métodos multicritérios (DE ALMEIDA, 2013).

Foi utilizado o método FITradeoff com a problemática de escolha. O FITradeoff torna-se um método relevante para esta pesquisa pois neste modelo a quantidade de alternativas não é relevante. No início do processo do FITradeoff, o número de alternativas potencialmente ótimas é reduzido a um número entre 1 e 7 em mais de 95% dos casos, com base em simulações realizadas (DE ALMEIDA FILHO et al., 2017).

Levando em consideração as muitas aplicações do método em situações de decisão. Gusmão e Medeiros (2016), utilizaram o método FITradeoff para avaliar um sistema de informações estratégicas. Foi utilizado também para identificar o tipo de energia renovável em portos (FOSSILE et al. 2020), o método foi aplicado para resolver um problema no setor de energia na seleção de um projeto de P&D para um portfólio (FREJ et al 2021).

Essa etapa inicia a segunda fase do procedimento. Essa etapa de modelagem de preferências do decisor é desenvolvida de forma integrada com as etapas seguintes de

avaliação intercritério e intracritério (DE ALMEIDA, 2013). As relações de dominância serão estabelecidas numa comparação par a par, a interatividade pode acontecer várias vezes entre as etapas. Nesse momento devemos avaliar também se a racionalidade do decisor é compensatória ou não, validando assim, a escolha do método.

No procedimento compensatório, uma alternativa com péssima avaliação em um critério pode ter seu valor global compensado por uma avaliação muito boa em outro critério. Já no procedimento não compensatório, uma alternativa com péssima avaliação em um critério não terá seu valor global compensado por uma avaliação muito boa em outro critério. O desempenho final da alternativa dependerá apenas do grau de importância (peso) desses critérios (DE ALMEIDA, 2013).

O método em questão é classificado como um modelo aditivo, que realiza comparações par a par entre as soluções e usa tradeoffs, garantindo uma compensação entre os critérios (DE ALMEIDA et al., 2016).

A avaliação intracritério é determinada de acordo com o desempenho entre os critérios e as alternativas, este desempenho é denominado função valor $v_j(a_i)$, onde j é o critério e i a alternativa, logo a função representa a avaliação da alternativa i no critério j . Os dados obtidos do objeto de estudo devem ser inseridos no FITradeoff, a matriz de decisão pode ser importada em formato.xls ou registrada como um novo problema no domínio cdsid.org.br/fitradeoff/.

Figura 17: Matriz de Decisão

Criteria:	Range	Preço	Qualidade	Reputação	Suporte	Garantia	Pagamento	Tecnologia
0-Cont Min; 1-Cont Max; 2-Disc Min; 3-Disc Max	1	0	1	1	0	1	1	1
Type:	1	1	1	1	1	1	1	1
a:								
b:								
c:								
Alternatives:	Consequence Matrix:							
Equipamento 1	9.000	75.000	2	1	36	1	6	1
Equipamento 2	6.000	63.000	2	1	36	1	6	1
Equipamento 3	4.000	53.000	3	1	72	2	3	0
Equipamento 4	3.000	92.500	3	3	24	1	3	3
Equipamento 5	5.000	108.500	3	3	24	1	3	3

Fonte: Autor (2022).

Após a plotagem dos dados no sistema, o processo de elicitação pode ser iniciado. A elicitação dos critérios foi realizada junto com o diretor, o qual elegeu, de acordo com as suas preferências, a ordem de relevâncias dos critérios.

Figura 18: Ordenação das Constantes de Escala

The screenshot displays the FITradeoff software interface for ranking criteria scaling constants. The main title is "Ranking of criteria scaling constants" with the subtitle "By pairwise comparison". The user is prompted to "Answer the following questions by choosing consequences A or B".

The interface is split into two main panels. The left panel, titled "Consequences", shows two columns: "Consequence A" and "Consequence B". Each column contains eight rows of criteria (C1 to C8) with their respective values. The values for Consequence A are: C1 (W1:3000, B1:9000), C2 (W2:108500, B2:53000), C3 (W3:2, B3:3), C4 (W4:1, B4:3), C5 (W5:72, B5:24), C6 (W6:1, B6:2), C7 (W7:0, B7:6), and C8 (W8:0, B8:3). The values for Consequence B are: C1 (W1:3000, B1:9000), C2 (W2:108500, B2:53000), C3 (W3:2, B3:3), C4 (W4:1, B4:3), C5 (W5:72, B5:24), C6 (W6:1, B6:2), C7 (W7:3, B7:6), and C8 (W8:0, B8:3). The C7 row in both panels is highlighted in green, indicating it is the chosen consequence. Below the panels, there is a legend for the criteria: C1-Range, C2-Preço, C3-Qualidade, C4-Reputação, C5-Suporte, C6-Garantia, and C7-Pagamento. The "Chosen order of scaling constants" list includes: Qualidade, Range, Suporte, Garantia, Tecnologia, Pagamento, Reputação, and Preço.

At the bottom of the interface, there are logos for INCT, INSID, and CDSH. The text "Alternatively the ranking of scaling constants can be done by Overall evaluation." is also visible.

Fonte: Autor (2022).

O decisor conseguiu a seguinte ordem, C3 – Qualidade, C1 – Range, C5 – Suporte, C6 – Garantia, C8 – Tecnologia, C7 – Pagamento, C4 – Reputação e C2 – Preço.

5.1.3. Finalização

Com a síntese das informações, iniciamos a terceira fase do processo de decisão. Nessa terceira fase o modelo de decisão está consolidado e pronto para ser utilizado com as preferências do decisor, conforme a problemática estabelecida (DE ALMEIDA, 2013). Como já mencionado, os métodos no contexto MCDA, pode utilizar dois paradigmas básicos para modelos de agregação aditiva: elicitação por decomposição e avaliação holística.

Normalmente, os métodos utilizam apenas um dos paradigmas para seguir, o método FITradeoff permite que os dois paradigmas sejam utilizados, combinando e integrando ambos os paradigmas (MENDES et al.2020).

Nesta etapa o método FITradeoff realiza uma série de questionamentos, onde o decisor deve escolher entre os pares de critérios e definir o espaço de constantes de escalas para que o equipamento seja escolhido.

Figura 19: Processo de Elicitação

Which consequence do you prefer?
Answer the questions by choosing one option

Consequence A

Consequence B

Options:

- Consequence A
- Consequence B
- Indifferent
- No Answer
- Inconsistency

OK

Questions Answered: 1
Potentially Optimal Alternatives: 3

Show Current Results

Legend of criteria scaling constants:

Criteria	Scaling Constant
C1 - Qualidade	X12.8
C2 - Range	W2 3000
C3 - Suporte	W3 72
C4 - Garantia	W4 1
C5 - Tecnologia	W5 0
C6 - Pagamento	W6 3
C7 - Reputação	W7 1
C8 - Preço	W8 108500

Equivalence Test:

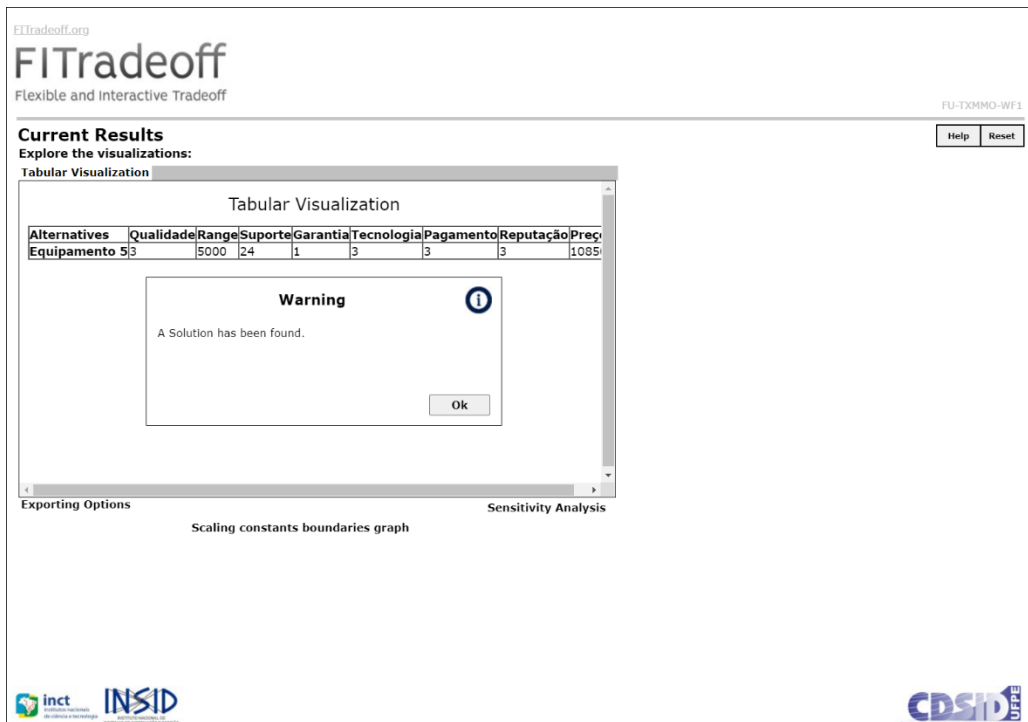
Maximum difference between P.O.A.s)

Between	Max. D
Equipamento 3-Equipamento 4	40.0833
Equipamento 4-Equipamento 3	30.2778
Equipamento 3-Equipamento 5	50.0000
Equipamento 5-Equipamento 3	30.3889
Equipamento 4-Equipamento 5	50.0000
Equipamento 5-Equipamento 4	40.1667

Fonte: Autor (2022).

Foram apresentados 6 pares de consequências para que o sistema conseguisse um resultado. O método FITradeoff apresentou no primeiro par de consequências três equipamentos classificados como alternativas potencialmente ótimas de acordo com a classificação do decisor sobre os critérios. Influenciando diretamente no número de pares de consequências que foram apresentados ao decisor.

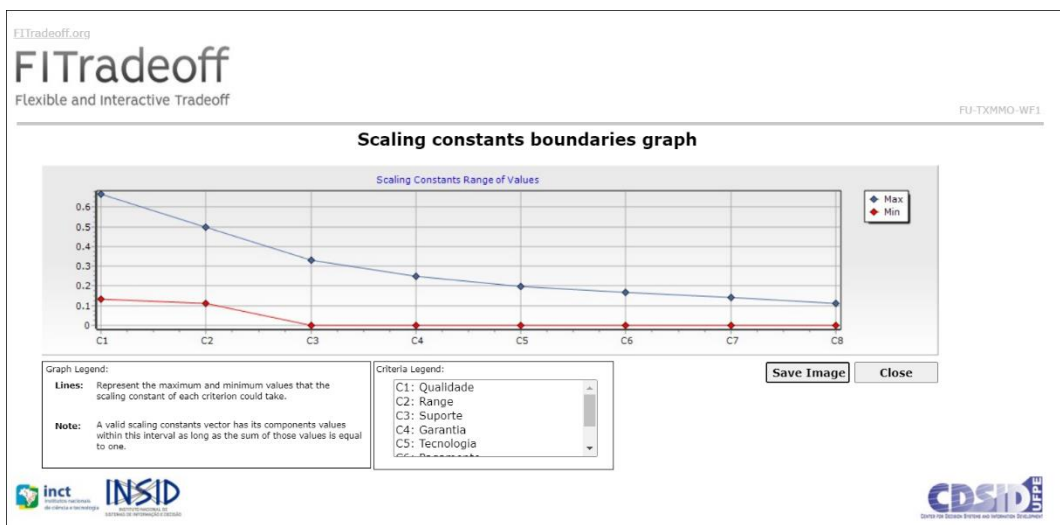
Figura 20: Tela de Resultado



Fonte: Autor (2022).

Além dos resultados apresentados, o sistema oferece um gráfico com o espaço de variação das constantes de escala. Podemos visualizar neste gráfico os valores máximos e mínimos de cada critério.

Figura 21: Espaço de Pesos - Variação



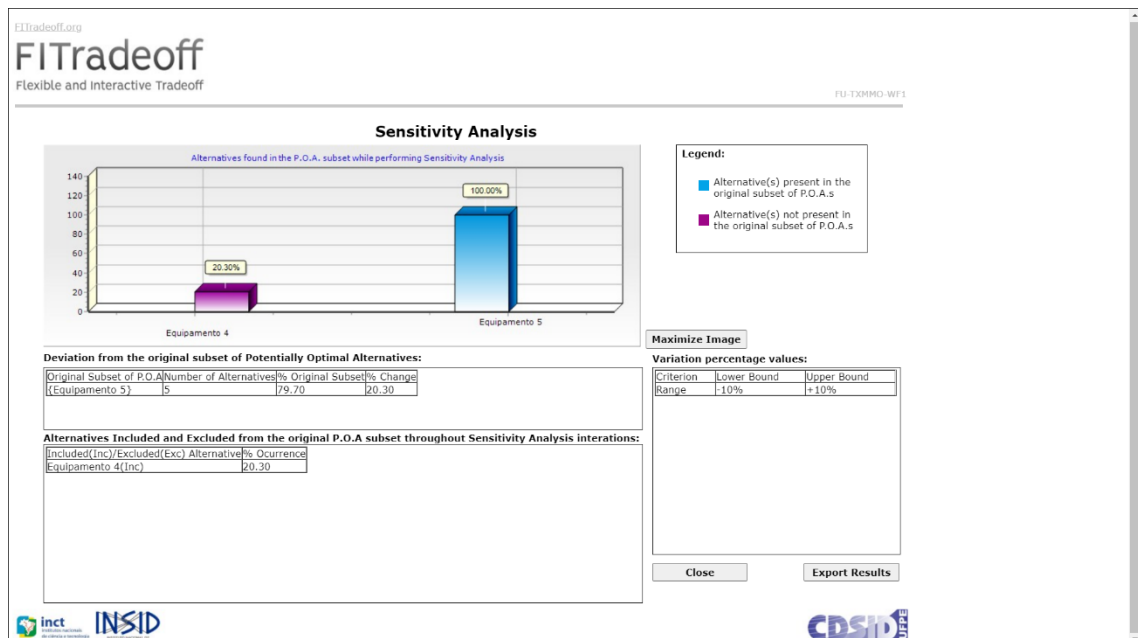
Fonte: Autor (2022).

Em seguida, podemos analisar a robustez do resultado encontrado pelo método FITradeoff através da análise de sensibilidade. De forma simplificada, a análise de sensibilidade é um estudo do impacto provocado na saída do modelo, por variações na entrada deste. Ou seja, avalia qual grau de impacto é ocasionado no resultado por variações nos dados de entrada ou nos parâmetros do modelo sobre a solução apresentada pelo modelo (DE ALMEIDA, 2013).

Neste caso, para problemática de escolha, com a variação dos parâmetros devemos avaliar se o método encontrará uma alternativa diferente dentro do conjunto de alternativas potencialmente ótimas.

Na Figura 21 mostra o resultado da análise de sensibilidade realiza variando apenas o critério C1-Range. Utilizamos esse critério como exemplo pela complexidade e importância dele nesta decisão. A variação do critério C1- Range entre os equipamentos dos fornecedores poderiam mostrar uma grande mudança nos resultados. O cenário gerado variou o critério C1-Range em $\pm 10\%$ e obteve um índice de robustez de 100% no equipamento 5, mesmo equipamento apresentado no resultado do método FITradeoff.

Figura 22: Análise de Sensibilidade - Range



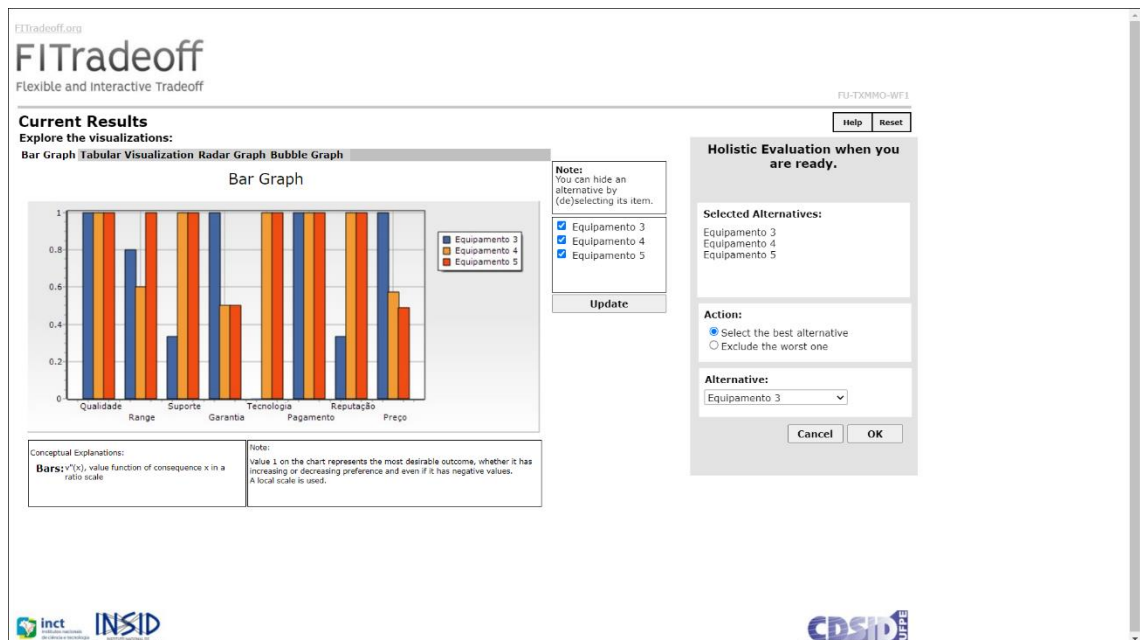
Fonte: Autor (2022).

Os critério com escala de 1 a 3 não foram considerados na análise de sensibilidade, pois precisariam ter uma alteração maior que 33% na robustez do resultado.

Ao explorar os resultados da etapa de análise de sensibilidade é possível concluir sobre a validade do resultado recomendado pelo modelo. Ainda neste trabalho, realizamos a avaliação holística com as alternativas potencialmente ótimas. Com a interatividade do método FITradeoff é possível alterar no meio do processo entre os dois paradigmas.

Foi questionado ao decisor se era possível para ele decidir através do gráfico de barras apresentado pela avaliação holística, qual alternativa seria a melhor para o processo. Apresentamos o gráfico na figura 23.

Figura 23: Avaliação Holística - Gráfico de Barras

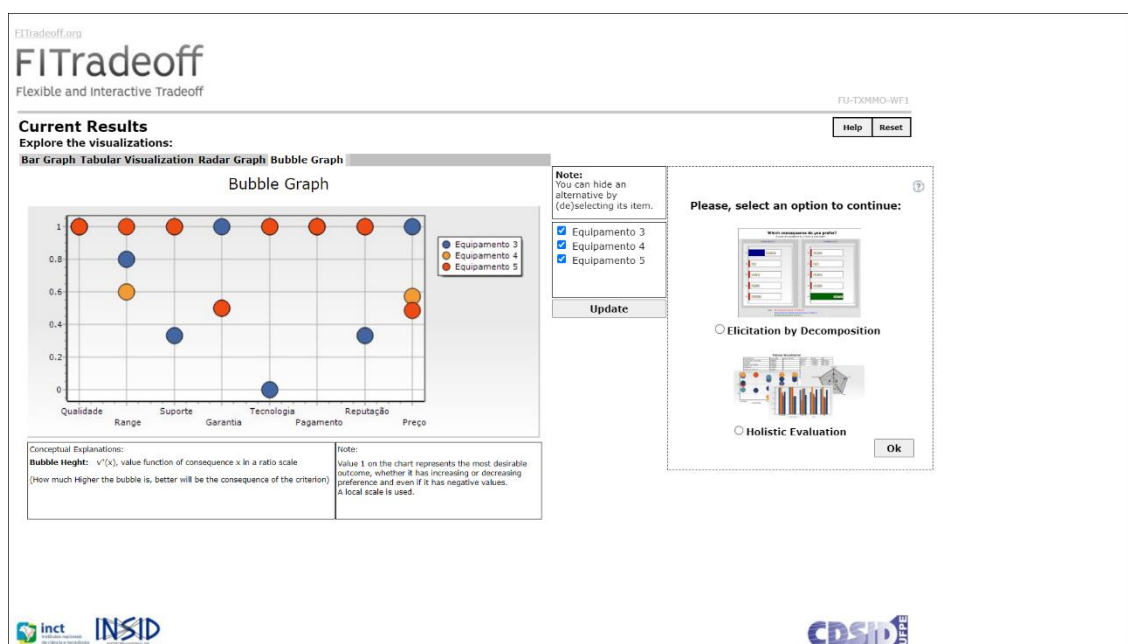


Fonte: Autor (2022).

O gráfico em barra apresenta cada critério comparando suas diferenças para cada equipamento. O decisor não se mostrou seguro para tomar essa decisão. Boa parte dos critérios possui uma variação pouco imponente para uma decisão efetiva.

Após a finalização do processo, foi questionado mais uma vez ao decisor sobre a decisão através da avaliação holística, dessa vez através do gráfico de bolhas.

Figura 24: Avaliação Holística - Gráfico de Bolhas



Fonte: Autor (2022).

O decisor observou que o gráfico de bolhas é mais intuitivo comparado ao gráfico de barras e que a melhor alternativa, de acordo com a classificação dos seus critérios, está muito clara neste gráfico. Mas, que mesmo com o resultado parcial deste preferiria seguir com a decomposição por elicitación.

Para de Almeida et al. (2016), a avaliação holística tem sido considerada apenas para a finalização do processo decisório. O decisor pode optar por escolher dentro das alternativas potencialmente ótimas a sua solução e concluir o processo de decisão.

O *feedback* do decisor foi primordial para algumas conclusões durante a elaboração deste estudo. Mesmo o método permitindo a interação entre os dois paradigmas, neste caso, não foi possível um bom aproveitamento desta atualização. Para o decisor deste estudo, a avaliação holística seria um complemento da avaliação por decomposição realizada.

O equipamento escolhido pelo modelo proposto, equipamento 5, segue os parâmetros de classificação dos critérios do decisor. Possui o nível de qualidade mais alto, critério mais importante para o decisor. Foi possível verificar na avaliação holística que foi considerado apenas os três equipamentos com classificação máxima de qualidade, equipamentos 3,4 e 5. Mesmo sendo o equipamento com o maior valor, não é o equipamento com maior range. O equipamento possui outras qualidades, de acordo com a importância dos critérios para sua seleção. O critério preço é o último na escala

de importância do decisor. Foi observado durante o processo que o método FITradeoff não apresentou nenhuma tela de inconsistência. O método foi considerado rápido e interativo.

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O modelo desenvolvido com apoio do método FITradeoff foi considerado inovador e útil para tomar uma decisão que já estava sendo adiada a anos. O resultado oferecido pelo modelo foi considerado válido e conciso.

Vale ressaltar que os parâmetros de diferença entre os equipamentos são pequenos e que dificultava muito a escolha entre eles e que os resultados vão variar bastante de acordo com cada decisor, visto que os critérios vão possuir classificações diferentes.

O modelo fez uma seleção primordial utilizando a problemática de escolha. Ao longo do desenvolvimento para aplicação do estudo foi observada uma adaptação ao método e uma percepção do decisor sobre o multicritério, tanto a estruturação do problema quanto ao método.

Em relação ao modelo selecionado, apresenta características que atendem o processo atual do NUPLAM e ainda possui adaptação para maior progressão no processo de produção de água purificada. O critério C1-Range, por exemplo, possui uma capacidade máxima de produção de 5.000 m³/h. Uma variação de 43% da necessidade diária atual do NUPLAM.

Diante disto, o modelo multicritério desenvolvido atendeu o objetivo geral deste estudo, propor um modelo multicritério de apoio à decisão para aquisição de um equipamento de redução de condutividade da água buscando atender a demanda de produção da osmose reversa no NUPLAM – Núcleo de Pesquisas de Alimentos e Medicamentos, com alto custo e longa durabilidade de participação crucial nos processos de produção de medicamentos.

6.1. SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Após a inserção do equipamento de deionização na estação de tratamento de água ocorre um balanceamento de cargas entre os equipamentos, a água rejeitada pela etapa da osmose reversa deverá ser integralmente excluída do processo.

O reaproveitamento acontecia para balancear a deficiência do equipamento de deionização. Mesmo sendo um processo autorizado, pode ocasionar desgastes prematuros de equipamentos.

Como forma de continuar a pesquisa, recomenda-se o estudo do reaproveitamento desta água de rejeito. A água poderia ser reinserida no processo em outra etapa ou integrar outros processos da indústria. Incluindo nesse estudo a viabilidade desse reaproveitamento.

7. REFERÊNCIAS

ANSEL, Howard C., et al. **Farmacotécnica: formas farmacêuticas e sistemas de liberação de fármacos**. 6a ed. São Paulo: Premier, 2000.

ANVISA - AGÊNCIA NACIONAL DE VIGILÂNCIA SANITÁRIA - **Farmacopeia Brasileira**. Disponível em: <https://www.gov.br/anvisa/pt-br/assuntos/farmacopeia/farmacopeia-brasileira/arquivos/7985json-file-1>. Acesso em: 01 mar. 2021.

APPOLINÁRIO, Fábio. **Metodologia da ciência: filosofia e prática da pesquisa**. Thomson, 2006. LOPES SAUAIA, D. **Energia Solar Fotovoltaica: Panorama, Oportunidades e Desafios**. 2017.

ASSIS, Amanda Gomes de. **Modelo multicritério de apoio a decisão para o problema de classificação de materiais e medicamentos em um hospital universitário**. 2021. 75 f. Dissertação (Mestrado) - Pós-graduação em Engenharia de Produção, Centro de Tecnologia, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2021. Disponível em: https://repositorio.ufrn.br/jspui/bitstream/123456789/48354/1/Modelomulticriterioapoio_Assis_2021.pdf. Acesso em: 04 out. 2022.

BAI, C.; SARKIS, J. **Integrating sustainability into supplier selection with grey system and rough set methodologies**. International Journal of Production Economics, v. 124, p. 252–264, 2010.

BELTON, V.; STEWART, T. **Multiple criteria decision analysis: an integrated approach**. Springer Science & Business Media, 2002.

BELTON, V.; STEWART, T.J. **Multiple criteria decision Analysis: na integrated approach**. Norwell: Kluwer Academic Publishers, 2001.

BERNARDES, A.M. **Transport properties of tartrate ions through an anion-exchange membrane**. Desalination, 2010.

CAMPOS, V. R.; ALMEIDA, A. T. **Modelo multicritério de decisão para localização de Nova Jaguaribara com VIP Analysis**. Pesquisa Operacional, v.26, n.1 , p.91-107, 2006.

CANIATO, L.C. **Modelagem e Controle de nível e temperatura em sistema de armazenamento de água purificada para uso em empresa farmacêutica**. 2006. 175 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia) - Centro Universitário do Instituto Mauá de Tecnologia, São Caetano do Sul – SP, 2006.

CESARIO, Bruna Carvalho. **A qualidade do sistema de purificação de água para uso farmacêutico**. IX Congresso Nacional de Excelência em Gestão, Niterói - Rj, Acesso em: 10 maio 2021.

CHAKRABORTY, S., & Banik, D. (2006). **Design of a material handling equipment selection model using analytical hierarchy process**. *International Journal of Advanced Manufacturing Technologies*, 28, 1237–1245.

CHANG, Y.; DONG, S. **Evaluation of Sustainable Development of Resources-Based Cities in Shanxi Province Based on Unascertained Measure**. *Sustainability*, v. 8, n. 6, p. 585, 2016.

CHEE, K.P.; WAI, K.P.; KOO, C.H.; CHONG, W.C. **Performance Evaluation of Reverse Osmosis Desalination Pilot Plants using ROSA Simulation Software**. In *E3S Web of Conferences*; EDP Sciences: Les Ulis, France, 2018; Volume 65, p. 05022.

CONCEIÇÃO J, PITA JR, SOUSA LOBO JM. **Portuguese Pharmacopoeia: historical and regulatory approach**. Em: 5th National Meeting of History of Science and Technology/2nd International Congress of Interdisciplinary History of Health. Coimbra; 2016.

CULLIGAN, Reynolds. **Deionized Water System vs Reverse Osmosis: Which is Best For Your Application?** 2020. Disponível em: <https://www.reynoldsculligan.com/deionized-water-system-vs-reverse-osmosis/>. Acesso em: 10 maio 2021.

DAGDEVIREN, M. **Decision making in equipment selection: An integrated approach with AHP and PROMETHEE**. *Journal of Intelligent Manufacturing*, 19, 397–406, 2008.

DAGDEVIREN, M. **Decision making in equipment selection: na integrated approach with AHP and PROMETHEE**. Springer Netherlands: *Journal of Intelligent Manufacturing*, v.19. n.4, 2008.

DE ALMEIDA, A. et al. **A new method for elicitation of criteria weights in additive models: Flexible and interactive tradeoff**. *European Journal of Operational Research*, v. 250, p. 179–191, 2015.

DE ALMEIDA, A. T. **Modelagem multicritério para seleção de intervalos de manutenção preventiva baseada na teoria da utilidade multiatributo**. *Pesquisa Operacional*, v. 25, p. 69–81, 2005.

DE ALMEIDA, A. T. **Processo de decisão nas organizações: Construindo modelos de decisão multicritério**. Recife, Editora Atlas S.A., 2013.

DE ALMEIDA, A.T.; ALMEIDA, J.A.; COSTA, A.P. C.S.; ALMEIDA-FILHO, A.T. **A New Method for Elicitation of Criteria Weights in Additive Models: Flexible and Interactive Tradeoff**. *European Journal of Operational Research*, 250(1): 179-191, 2016.

EISSA M.E.; **Shewhart Control Chart in Microbiological Quality Control of Purified Water and its Use in Quantitative Risk Evaluation**. *UK Journal of Pharmaceutical and Biosciences*, v. 4, n.1, p. 45-51, 2016.

EMS. **Cloridrato de Fingolimode**. 2021. Disponível em: <https://www.ems.com.br/medicamentos-ems-farmaceutica.html?>. Acesso em: 01 maio 2021.

FOSSILE, D. K., Frej, E. A., da Costa, S. E. G., de Lima, E. P., & de Almeida, A. T. (2020). **Selecting the Most Viable Renewable Energy Source for Brazilian Ports Using the FITradeoff method**. *Journal of Cleaner Production*, 121107.

FREJ, E. A. **Modelo Multicritério para Seleção de Fornecedores e Análise da Problemática de Ordenação com FITradeoff**. Universidade Federal de Pernambuco, 2017.

FREJ, E. A.; DE ALMEIDA, A. T.; COSTA, A. P. C. S. **Using data visualization for ranking alternatives with partial information and interactive tradeoff elicitation**. *Operational Research*, v. 19, n. 4, p. 909–931, 2019.

FREJ, E. A.; MORAIS, D. C.; ALMEIDA, A. T. de. **Negotiation Support Through Interactive Dominance Relationship Specification. Group Decision and Negotiation**, [S.L.], 13 out. 2021. Springer Science and Business Media LLC. <http://dx.doi.org/10.1007/s10726-021-09761-y>.

FULOP, J. **Introduction to Decision Making Methods**. Laboratory of Operations Research and Decision Systemns, Computer and Automation Intitute. Hungarian: Academy of Sciences, 2005.

GOMES, L. F. M. A.; GOMES, C. F. S. & ALMEIDA, A. T. **Tomada de decisão Gerencial: Enfoque Multicritério**. Rio de Janeiro: Atlas, 2002.

GRELA, Jorge. **A osmose reversa de dupla passagem e o mercado farmacêutico**. *Revista Meio Filtrante*. Ano II. Edição nº8. Jan. Fev. Mar. de 2004. Disponível em: <https://www.meiofiltrante.com.br/Artigo/1209/a-osmose-reversa-de-dupla-passagem-e-o-mercado-farmacaceutico>. Acesso em: 01 Jun. 2021.

GUSMÃO, A.P.H.; Medeiros, C. P. “**A Model for Selecting a Strategic Information System Using the FITradeoff**” *Mathematical Problems in Engineering*, vol. 2016, Article ID 7850960, 7 pages, 2016. doi:10.1155/2016/7850960

HU, C.; HU, J.; ZHOU, Q.; YANG, Y. **Primary Discussion on Standardized Management of Purchasing Large Equipment for Measurement Technology Institution**. *Physics Procedia*, v. 25, p. 1834–1843, 2012.

KULAK, O. **A decision support system for fuzzy multi-attribute selection of material handling equipments**. *Expert Systems with Applications*, 29, 2005, 310–319.

KULAK, O., Durmusoglu, M. B., & Kahraman, C. **Fuzzy multiattribute equipment selection based on information axiom**. *Journal of Materials Processing Technology*, 169, 2005, 337–345.

LACOMBE, Francisco; HEILBORN, Gilberto. **Administração: princípios e tendências**. São Paulo: Saraiva, 2015.

LE HIR, A. **Noções de farmácia galênica**. 6a ed. São Paulo: Andrei, 1997.

MACEDO, Jorge Antônio Barros de. **Águas & Águas**. São Paulo: Varela, 2001.

MACHADO, A.O., Ramos, R.R., Freitas, A.L.P. (2003). **Uma abordagem multicritério no gerenciamento de decisões estratégicas: o caso do Projeto FX**, Anais do XXIII ENEGEP- Ouro Preto, MG, Brasil.

MANASSERO, G., Semeraro, Q., & Tolio, T. (2004). A new method to cope with decision makers' uncertainty in the equipment selection process. *CIRP Annals – Manufacturing Technology*, 531, 389–392.

MENDES, J. A. J., Frej, E. A., Almeida, A. T. D., & Almeida, J. A. D. (2020). **Evaluation of flexible and interactive tradeoff method based on numerical simulation experiments**. *Pesquisa Operacional*, 40.

MIERZWA, JOSÉ CARLOS. **Tratamento da água na manipulação magistral**. Racine, São Paulo, v. 10, 2000.

MORADI, Porya; HORRI, Mohammad Sadegh. **Selecting equipment using a hybrid of AHP and PROMETHEE**. *Management Science Letters*. Canada, p. 1767-1772. 2013. Disponível em: http://www.growing-science.com/msl/Vol3/msl_2013_125.pdf. Acesso em: 05 ago. 2021.

MORETO, L. D., ZARDO, H., **Água purificada e água para injetáveis na indústria farmacêutica (Parte II)**, *Pharmaceutical Technology*, p.46-48, Dez. 1999.

OLIVEIRA, F.; PELEGRINI, D. **Controle de Qualidade do Sistema de Produção de Água Purificada obtida por Osmose Reversa em indústria farmacêutica**. *SaBios-Revista de Saúde e Biologia, América do Norte*, 2011, vol. 6, no.1, p.36-42. Disponível em: <http://revista2.grupointegrado.br/revista/index.php/sabios/article/view/672> >. Acesso em: 12 fev. 2021.

ROY, B. **Multicriteria Methodology for Decision Aiding**. *Kluwer Academic Publishers*, 1996.

SALES, Júlio. **Tratamento de Água para Hemodiálise**. Fortaleza: Ambiente, 2016. 252 p.

SCOTT, J.; HO, W.; DEY, P. K.; TALLURI, S. **A decision support system for supplier selection and order allocation in stochastic**, multi-stakeholder and multi-criteria environments. *International Journal of Production Economics*, v. 166, p. 226–237, 2015.

SECKLER, Sidney; FERREIRA FILHO. **Tratamento de Água - Conceção, Projeto e Operação de Estações de Tratamento**. Rio de Janeiro: Gen Ltc, 2020. p.472.

SLACK, N.; CHAMBERS, S.; JOHNSTON, R. **Administração da Produção**. São Paulo: Atlas, 2002.

SUMANTH T. N.; MOIN A. **Pharmaceutical water system–validation aspects**. *Journal of Chemical and Pharmaceutical Research*, v.7, n.4, p.42-48, 2015.

TOLEDO, Mettler. **Pharmaceutical Waters Guide for Regulatory Compliance, Analysis and Real-Time**. Bedford, Ma: Metter-Toledo Ag, 2013. P.40 .

TURRIONI, J. B.; MELLO, C. H. P. **Metodologia de pesquisa em engenharia de produção**. Universidade Federal de Itajubá - UNIFEI, p. 191, 2012.

UNITED STATES PHARMACOPOEIA 34a ed. Rockville: United States PHarmacopeial Convention, NF 35, 2017. Main Edition: may 1, 2017.

VÁSQUEZ-GARZÓN, M.L.; BONOTTO, G.; MARDER, L.; ZOPPAS FERREIRA, J.;

VIEIRA, Luana de Jesus *et al.* **Qualidade Físico-Química Da Água Purificada Das Farmácias De Manipulação Da Cidade De Campo Mourão**. Revista Iniziare. Campo Mourão – Pr., p. 49-52. jul. 2017.

WEBER, M. **Decision making with incomplete information**. European Journal of Operational Research, 28(1): 44-57, 1987.

WERNECK, L. G.; FULGENCIO, A. G.; SALES, C. W. **Conjuntura dos Recursos Hídricos do município de São Francisco de Itabapoana, RJ**. Boletim do Observatório Ambiental Alberto Ribeiro Lamego, Campos dos Goytacazes. v. 6 n. 1, p. 69-83, 2012.

YAVUZ, Mahmut. **Equipment Selection by using Fuzzy TOPSIS Method**. Iop Conference Series: Earth and Environmental Science, [S.L.], v. 44, p. 042040, out. 2016. IOP Publishing. <http://dx.doi.org/10.1088/1755-1315/44/4/042040>.

ZOPOUNIDIS, C.; DOUMPOS, M. **Multicriteria classification and sorting methods: A literature review**. European Journal of Operational Research, v. 138, n. 2, p. 229–246, 2002.

ANEXOS

ANEXO A – ANÁLISE FÍSICO-QUÍMICO DA ÁGUA



ANÁLISE FÍSICO-QUÍMICA DA ÁGUA CERTIFICADO Nº677/2013		
DADOS DO CLIENTE		
Solicitante: Núcleo de Pesquisa em Alimentos e Medicamentos - NUPLAM	Município: Natal- RN	
DADOS DA AMOSTRA		
Origem: Poço	Data de entrada: 07/03/2013	Coleta: Aqualous Laboratório

RESULTADOS ENCONTRADOS			
PARÂMETROS	LQ	V.M.P ⁽¹⁾	Poço
FÍSICO-QUÍMICA			
Turbidez, UT ¹⁻²	5,00	5,0	0,0
pH	0-14	6,0 a 9,5	6,0
Odor, Intensidade	-	6,0	0,0
Gosto, Intensidade	-	6,0	0,0
Sólidos totais dissolvidos, mg/L	0,00	N.D	166,0
Condutividade elétrica, Us/cm a 25°C	-	N.D	186,0
Cloro residual livre, mg/L de Cl	0,10	2,0	0,0
Alcalinidade a hidróxido, mg/L	1,00	N.D	20,0
Alcalinidade Carbonato, mg/L CaCO ₃	1,00	N.D	0,0
Alcalinidade bicarbonato, mg/L CaCO ₃	1,00	N.D	20,0
Dureza total, mg/L	1,00	500,0	40,0
Cloro, mg/L de Cl	0,50	250,0	30,0
Amônia, mg/L (como NH ₃)	0,24	1,5	0,06
Nitrato, mg/L de N	0,24	10,0	7,81
Nitrito, mg/L de N	0,02	1,0	0,001
Sódio, mg/L Na ⁺	0,10	N.D	12,85
Potássio, mg/L K ⁺	0,10	N.D	1,35
Sulfato, mg/L, SO ₄	0,94	250,0	0,7
Silica mg/L de SiO ₂	0,24	N.D	0,52
Fluoreto ⁽³⁾ , mg/L F	0,10	1,5	<0,1
Sulfeto de hidrogênio, mg/L H ₂ S	0,05	0,1	<0,05
Surfactantes (como LAS) ⁽⁴⁾ , mg/L	0,1	0,5	1,1
Cianeto ⁽⁵⁾ , mg/L	0,005	0,07	<0,005
Microcistinas ⁽⁶⁾ , µg/L	0,1	1,0	<0,1
Clorito, mg/L	0,02	1,0	<0,02
METAIS PESADOS⁽⁷⁾			
Alumínio, mg/L	0,0001	0,2	0,0628
Antimônio, mg/L	0,0001	0,005	<0,001
Arsênio, mg/L	0,0001	0,01	<0,001
Bário, mg/L	0,0025	0,7	0,2851
Chumbo, mg/L	0,0005	0,01	<0,001
Cromo, mg/L	0,0001	0,05	<0,001
Cobre, mg/L	0,0001	2,0	<0,001
Cádmio, mg/L	0,0001	0,005	<0,001

CNPJ: 09.604.264/0001-29

Av. Ayrton Senna, 357 | Mandacarú Mall | Sala 23 | CEP: 59080-100 | Capim Macio | Natal/ RN

Fone: 84 3217.8386 aqualous@hotmail.com

Ferro, mg/L	0,04	0,3	0,08
Manganês, mg/L	0,0001	0,1	0,0457
Mercurio, mg/L	0,0001	0,001	1,21
Selênio, mg/L	0,0005	0,01	0,001
Zinco, mg/L	0,0001	5,00	0,0801
Bromato, mg/L	0,005	0,01	<0,005
MICROBIOLÓGICO			
Coliformes Totais, NMP 100ml	-	Ausência em 100ml	Ausente
PARÂMETROS ORGÂNICOS⁽¹⁾			
Acrilamida, µg/L	0,1	0,5	<0,1
Monocloramina, mg/L	0,01	N.D	<0,01
Benzeno, µg/L	1,00	5,0	<1
Clorofórmio, mg/L	0,001	N.D	<0,001
Tolueno, mg/L	0,001	0,17	<0,001
Etilbenzeno mg/L	0,001	0,2	<0,001
Xileno, mg/L	0,003	0,3	<0,003
1,2-Dicloroetano, µg/L	1,00	10,00	<1
1,1-Dicloroetano µg/L	1,00	-	<1
Diclorometano, µg/L	1,00	20,0	<1
1,1,1,2-Tetracloroetano, µg/L	1,00	N.D	<1
1,1,2,2 Tetracloroetano, µg/L	1,00	N.D	<1
1,1,1- Tricloroetano, µg/L	1,00	N.D	<1
Tetracloroeto de carbono, µg/L	1,00	4,0	<1
2,4,6-Triclorofenol, mg/L	0,0005	0,2	<0,0005
Triclorobenzenos, µg/L	3,00	20,0	<3
Benzo(a)pireno µg/L	0,05	0,7	<0,05
Estireno µg/L	1	20,0	<1
Trihalometanos Totais, mg/L	0,004	0,1	<0,004
<p>(¹) Valores máximos permitidos, conforme Portaria nº2914 de 12 de dezembro de 2011. (²) Unidade de Turbidez (UT) (³) LQ: Limite de Quantificação N.D -Limite não definido pela legislação em vigor (*) Análises Terceirizadas: Relatório de Ensaios Nº57052/2013; 57053/2013-0; 57054/2013-0; 57055/2013-0 e 57056/2013-0 Os resultados referem-se somente a amostra analisada.</p>			
<p>Lauda Técnico: Comparando-se os resultados obtidos para a amostra com os valores estabelecidos pela Portaria 2914 de 12 de dezembro de 2011, do Ministério da Saúde, podemos observar que: Os parâmetros Surfactantes(como LAS), Mercúrio, não satisfazem os limites permitidos</p>			
<p>Referências Metodológicas: Análises foram realizadas conforme a última versão do Standard Methods, EPA e ABNT (quando aplicável) Metais (ICP-MS): POP PA 038/SMEWW 3125 B, USEPA 6020 A</p>			



Dilma Bezerra Fernandes de Oliveira
 CRBio-5 Nº 11.157
 Respª Técnica

CNPJ: 09.604.264/0001-29

Av. Ayrton Senna, 357 | Mandacarú Mall | Sala 23 | CEP. 59080-100 | Capim Macio | Natal/ RN

Fone: 84 3217.8386 aquanalous@hotmail.com

ANEXOS

ANEXO B – ESTRUTURA DO NÚCLEO DE PESQUISA EM ALIMENTOS E MEDICAMENTOS - NUPLAM



ANEXO C – PROCESSO DE OBTENÇÃO DA ÁGUA PURIFICADA



FLUXOGRAMA DA ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE ÁGUA

