



**CENTRO UNIVERSITÁRIO FAMETRO
ENGENHARIA CIVIL**

TICIANE ÂNGELA DOS SANTOS GOMES

**TECNOLOGIAS TRATAMENTO DE ÁGUA COM ACIONAMENTO POR
ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA**

FORTALEZA

2022

TICIANE ÂNGELA DOS SANTOS GOMES

TECNOLOGIAS TRATAMENTO DE ÁGUA COM ACIONAMENTO POR
ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao curso de Bacharel em Engenharia Civil da Faculdade Metropolitana da Grande Fortaleza – FAMETRO – como requisito para a obtenção do grau de bacharel, sob a orientação do prof. Dr. Otacilio Leandro de Menezes Neto.

FORTALEZA

2022

TICIANE ÂNGELA DOS SANTOS GOMES

TECNOLOGIAS TRATAMENTO DE ÁGUA COM ACIONAMENTO POR
ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado ao curso de Bacharel em
Engenharia Civil da Faculdade
Metropolitana da Grande Fortaleza –
FAMETRO – como requisito para a
obtenção do grau de bacharel, sob a
orientação do prof. Dr. Otacilio Leandro de
Menezes Neto.

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Otacilio Leandro de Menezes Neto
Orientador – Faculdade Metropolitana da Grande Fortaleza

Prof. Dr. Marcos Abílio Medeiros de Sabóia
Membro - Faculdade Metropolitana da Grande Fortaleza

Prof. Ms. Edson Brito Junior
Membro - Centro Universitário Estácio do Ceará

FORTALEZA

2022

AGRADECIMENTOS

A Deus pelo dom da vida, por me guiar nesse caminho, por toda força e sabedoria que foi me dado para a conclusão de uma preciosa etapa de minha vida.

A minha mãe, que é minha base. Que em todos os momentos esteve ao meu lado, torcendo pelas minhas conquistas e acreditando sempre no meu potencial. A ela, que nunca me deixou desistir em nenhum momento e me deu forças para continuar.

A minha segunda mãe, Raimunda de Fátima, que sempre torceu pelas minhas conquistas e acreditou nos meus sonhos.

A minha família por celebrar minhas conquistas até aqui e sempre me lembrar o quão forte sou.

Ao meu irmão Erivelton, que em todos os momentos esteve torcendo por mim, me ajudando nessa caminhada.

Ao meu querido Ítalo, que caminhou comigo nesses anos e nunca soltou minha mão nos momentos difíceis.

Aos meus amigos e companheiros “Engineers”, por me acompanhar nessa jornada e juntos concluímos mais um capítulo importante das nossas vidas.

Em especial, o meu orientador Dr. Otacilio Leandro de Menezes Neto, pelo conhecimento compartilhado e todo apoio concedido para a realização deste trabalho.

“A força não provém da capacidade física. Provém de uma vontade indomável.”

Mahatma Gandhi

TECNOLOGIAS TRATAMENTO DE ÁGUA COM ACIONAMENTO POR ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA

Ticiane Ângela dos Santos Gomes

RESUMO

A água tem a função de manutenção e desenvolvimento das civilizações. Apesar do seu reconhecimento quanto à sua importância, habitualmente não é tratada de forma adequada e eficiente, ainda vem sendo poluída pela ação antrópica. Como resultado do aumento populacional e evolução das indústrias, há uma alta requisição da extração de recursos naturais, lançamento de gases poluentes e produção de resíduos sólidos e líquidos extremamente prejudiciais para o meio ambiente. Com o uso desenfreado dos recursos naturais nas últimas décadas, o homem vem sofrendo com a escassez hídrica, em grande maioria nas regiões Semiáridas. Outro recurso importante para a vida é a energia, e a adoção de fontes de geração de energia elétrica oriundas de usinas nucleares e termelétricas trouxeram uma grande contribuição para impactos ambientais irreversíveis ao planeta. Portanto, o presente trabalho tem como objetivo evidenciar as novas tecnologias de tratamento de água como a eletrofloculação e dessalinização e suas eficiências para implantação com o uso da energia solar fotovoltaica como uma alternativa de solução da escassez hídrica em função de uma energia limpa e renovável. A fim de verificar a eficiência dos meios de tratamento, foram feitas pesquisas de artigos e teses sobre o tema abordado.

Palavras-chave: Energia Solar Fotovoltaica, Eletrofloculação, Dessalinização, Escassez Hídrica.

ABSTRACT

Water has the function of maintenance and development of civilizations. Despite its recognition of its importance, it is usually not treated adequately and efficiently, and it is still being polluted by human action. As a result of population growth and the evolution of industries, there is a high demand for the extraction of natural resources, the release of polluting gases and the production of solid and liquid waste that are extremely harmful to the environment. With the rampant use of natural resources in recent decades, man has been suffering from water scarcity, mostly in semi-arid regions. Another important resource for life is energy, and the adoption of sources of electricity generation from nuclear and thermoelectric plants brought a great contribution to irreversible environmental impacts on the planet. That said, the present work aims to highlight new water treatment technologies such as electroflocculation and desalination and their efficiencies for implementation with the use of photovoltaic solar energy as an alternative solution to water scarcity in terms of clean and renewable energy. In order to verify the efficiency of the means of treatment, articles and theses were searched on the topic addressed.

Keywords: Photovoltaic Solar Energy, Electroflocculation, Desalination, Water Scarcity.

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	9
2 PROBLEMÁTICA E JUSTIFICATIVA	10
3 OBJETIVO	11
3.1 Objetivo Geral	11
3.2 Objetivos Específicos	11
4 REFERENCIAL BIBLIOGRÁFICO	12
4.1 Água e sua importância social	12
4.2 Processos de Tratamento de Água e Padrões de Potabilidade	12
4.2.1 Eletrofloculação	14
4.2.2 Dessalinização	20
4.3 Critério para determinação da qualidade da água	27
4.3.1 Parâmetros físicos	27
4.3.2 Características Químicas	28
4.4 Energia Solar	29
5 METODOLOGIA	32
6 RESULTADOS	32
7 CONCLUSÕES	33
7.1 Sugestões de Trabalhos Futuros	34
8 REFERÊNCIAS	34

1 INTRODUÇÃO

No decorrer da história da humanidade, a água tem a função de manutenção e desenvolvimento das civilizações. Essas fontes de água em que eram coletadas, em grande parte não eram limpas, sendo preciso tratar a água para remover impurezas como patógenos causadores de doenças. Apesar do seu reconhecimento quanto à sua importância, habitualmente não é tratada de forma necessária e eficiente e ainda vem sendo poluída pela ação antrópica, o que sinaliza a urgência do emprego de estratégias para a recuperação, conservação e preservação dos recursos hídricos.

Outro recurso importante para a vida é a energia. Nas primeiras comunidades, seu uso era apenas para atividades básicas e domésticas, sem custo algum, além de serem adquiridas das lenhas das florestas. No entanto, o consumo foi se estendendo de acordo com o crescimento populacional e outras fontes de energia foram se tornando necessárias.

Posteriormente a Revolução Industrial, foi necessário procurar outros meios de fornecimento de energia como o petróleo, gás e até mesmo o carvão. O carvão mineral foi o insumo energético que impulsionou a Primeira Revolução Industrial. Além da demanda de água ter aumentado significativamente a ponto de haver necessidade da sua comercialização e aplicar custos para seu tratamento e entrega aos consumidores (GOLDEMBERG; LUCON, 2007). Diante disso, pode se mencionar que além de servir para o consumo humano, a água passou a ser usada em vários processos de geração de energia elétrica, como hidrelétricas e termelétricas.

Como resultado do aumento populacional e evolução das indústrias, há uma alta requisição da extração de recursos naturais, uso da água, lançamento de gases poluentes e produção de resíduos sólidos e líquidos extremamente prejudiciais para o meio ambiente, onde existe a necessidade de tratamento antes do descarte. De acordo com Freitas e Marin (2015), toda essa ação humana tem provocado consequências irreversíveis à Terra, mudanças climáticas, escassez de água potável, intensificação do efeito estufa, dentre outras problemáticas. Diante da atual situação, nos últimos trinta anos se pode notar um aumento na preocupação das

nações mundiais na sustentabilidade dos seres humanos e do planeta. Desta forma, o termo Desenvolvimento Sustentável (DS) surgiu como uma maneira de tentar diminuir ao máximo os impactos ambientais provenientes da ação humana. A Organização das Nações Unidas (ONU) elaborou, em 2015, os Objetivos do Desenvolvimento Sustentável (ODS), exatamente com a finalidade de equilibrar a existência iminente do ser humano sem agredir grotescamente o meio ambiente (Nações Unidas, 2015).

Logo, com surgimento de pesquisas focadas na busca por fontes de energia limpa, se tem a energia solar, que nos permite reduzir e até mesmo substituir o uso de outras fontes de energia elétrica oriundas de usinas nucleares e termelétricas, tendo em vista que as energias geradas a partir desses meios nos encaminha a grandes catástrofes ambientais (ARAÚJO, 2018).

Em conjunto à busca por energias limpas, se faz necessário explorar novas tecnologias para tratamento de água. As alterações ambientais estão desencadeando transformações nos regimes de chuvas, que resultam em uma frequência maior de eventos intensos como secas e inundações, com efeitos na disponibilidade de água (MARENGO et al., 2015). À vista disso, as inúmeras formas de uso dos recursos naturais precisam acatar o princípio natural de que o uso desses recursos não poderá ultrapassar sua capacidade de se renovar.

As adversidades dos recursos hídricos em regiões semiáridas com grande população é uma problemática crucial para a conquista do DS. Apesar das diversas implantações governamentais de infraestrutura para transportar água para essas áreas, ainda é, de forma mundial, insuficiente para suprir as necessidades básicas de sobrevivência. O que torna essas regiões ainda suscetíveis a secas (CIRILO, 2008).

2 PROBLEMÁTICA E JUSTIFICATIVA

Levando em consideração o cenário nacional, o Nordeste tem um território que é classificado como semiárido, que apresenta grande variação temporal das precipitações e solos rasos fundamentados sobre as rochas cristalinas (CIRILO, 2008). Na procura para solucionar a problemática da escassez hídrica nessas regiões para obter água potável, tem-se duas soluções que se adequam ao Estado

do Ceará. Silva (2010) explica o semiárido Brasileiro como regiões com baixos índices pluviométricos (poucas chuvas anuais), altos índices de irradiação solar, alto índice de evapotranspiração (alta taxa de evaporação das águas superficiais e alta transpiração das plantas em consequência das altas temperaturas). Logo, a adoção do tratamento da água é um dos modos para o desenvolvimento sustentável.

Portanto, a dessalinização e a purificação da água por eletrofloculação com o uso de energia provenientes de uma fonte de energia limpa, como a energia solar, por exemplo, harmonizam-se com a busca de tecnologias com potencial para sanar a carência de água. Pode-se aplicar na situação do Estado do Ceará o uso desses métodos, pois o tratamento de dessalinização pode ser feito tanto com água proveniente do mar, quanto para águas salobras, que são presentes em algumas regiões do Estado, e o tratamento por eletrofloculação, para águas domésticas residuais.

3 OBJETIVO

3.1 Objetivo Geral

O objetivo central do presente trabalho é evidenciar as tecnologias atuais para obtenção de água potável com o uso da energia solar fotovoltaica como meio de acionamento e testar sua eficiência nas condições semiáridas do Ceará.

3.2 Objetivos Específicos

- Verificar a viabilidade da eletrofloculação para o tratamento de águas residuais;
- Verificar a eficiência da dessalinização em águas salobras e salinas;

4 REFERENCIAL BIBLIOGRÁFICO

4.1 Água e sua importância social

Nas regiões semiáridas, a água já se tornou um fator restritivo para o desenvolvimento urbano, social e agrícola. Governantes e companhias gestoras de recursos hídricos buscam incessantemente por novas fontes para acrescentar a baixa disponibilidade de água ainda disponível (BRAGA et al, 2003).

No âmbito do Nordeste Brasileiro, a problemática das secas tem sido ressaltada por um anseio existente há 75 anos, de transposição do Rio São Francisco, aspirando o atendimento da demanda dos estados que não são próximos de corpos d'água da região semiárida. O fenômeno da escassez não é situação exclusiva das regiões áridas e semiáridas. Em determinadas situações, em regiões com recursos hídricos abundantes, a disposição de água não supre as demandas excessivamente elevadas, tornando-se insuficiente.

No Oriente Médio, diversos países com precipitações que oscilam entre 100 mm e 200 mm por ano, dependem de pequenos reservatórios e rios, em regiões de difícil acesso. A água potável geralmente é obtida através de sistemas de dessalinização da água do mar (BRAGA et al, 2003).

Um dos desafios do abastecimento de água no semiárido Brasileiro, consiste no fato de que grande parte da população brasileira está situada em regiões em que a oferta de água não é favorável (MOREIRA, 2021).

Ainda que a prática do reuso da água seja um dos meios mais eficazes para a escassez hídrica, a aplicação das tecnologias de tratamento de água deve ser devidamente planejada e estudada, de maneira que minimize os riscos à saúde do ser humano e em relação às atividades em que será adotado o reuso.

4.2 Processos de Tratamento de Água e Padrões de Potabilidade

A Portaria de Consolidação GM/MS nº 888, de 4 de maio de 2021, do Ministério da Saúde dispõe sobre os procedimentos de controle e de vigilância da qualidade da água para o consumo humano e seu padrão de potabilidade. A Portaria

define os parâmetros que devem ser analisados para a classificação da água como potável e seus valores limitantes.

A Resolução nº 357/2005, do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) dispõe sobre a classificação e diretrizes dos corpos de água, assim como estabelece condições e padrões para o lançamento de efluentes.

Com a finalidade de gerar água potável, a escolha de processos de tratamentos de água deve ser definida de modo que consiga fazer a remoção de determinados constituintes da água. Existem inúmeros meios de alterar suas características para transformá-la, de forma que seja compatível com as exigências do consumo e da saúde pública.

Os processos de tratamento de água são normalmente adotados em conjunto, sendo associados em vários processos. Alguns desses métodos são:

- Sedimentação - esse tratamento de água é eficiente na eliminação de matéria suspensa, dependendo do tamanho e densidade das partículas existentes na água e o tempo de processo. Na sedimentação, partículas com alta densidade são removidas em um curto período de tempo, enquanto para materiais leves e pequenos o tempo de remoção é maior.
- Floculação - consiste em tratar a água com coagulantes químicos, aplicados com a função de agregar partículas difíceis de serem sedimentadas em aglomerados que podem ser removidos facilmente. O material resultante desse tratamento é retirado por outros tratamentos como filtração e sedimentação.
- Filtração - a filtração da água feita com o uso de materiais de granulometria fina, como areia, antracito e diatomita é capaz de remover impurezas bastantes leves ou finamente divididas para serem retiradas no processo de sedimentação.
- Aeração - esse processo é usado com vários propósitos. A aeração é algumas vezes empregada no controle de sabor e odor da água, por sua propriedade de remover substâncias voláteis que podem ter influência nesse aspecto.

Os tratamentos em estudo deste trabalho são os processos de dessalinização e da eletrofloculação, onde esses dois métodos podem ser aplicados com o uso da energia solar. Compreende-se a eletrofloculação como um meio de purificação de água advinda de um método eletroquímico, que associa dois fenômenos eletroquímicos, a eletrocoagulação e a eletroflotação.

4.2.1 Eletrofloculação

A eletrocoagulação consiste na adição de compostos coagulantes na solução que irá ser tratada. Os compostos adicionados farão com que pequenas partículas suspensas sejam removidas pela absorção e formação de aglomerados. A eletroflotação, em contrapartida, resume-se na divisão de materiais suspensos de uma solução aquosa, por meio da agregação desses poluentes.

O tratamento de água por eletrofloculação tem adquirido destaque entre os outros métodos de tratamento por sua eficiência, fácil operação, baixo custo, simples manutenção dos equipamentos e não necessidade de adições constantes de agentes químicos (GRECCOA et al, 2021).

A seguir, é mostrada uma representação do processo de eletrocoagulação (Figura 1). Onde pode-se observar: (A) uma fonte de energia que está conectada a dois eletrodos submersos a uma solução vermelha dentro de um reator, que representa o sistema antes do tratamento, e (B) o sistema após o tratamento, em que solução tratada apresenta uma cor azul, o ânodo identifica-se uma coloração roxa, que indica a provável formação de uma camada passivante, além de mostrar irregularidades, indicando a ocorrência de corrosão. Além do mais, em (B) existe um acúmulo de esferas vermelhas no fundo do reator, que representa o agente coagulante, que, ao ser formado durante o processo, retirou os poluentes do ambiente.

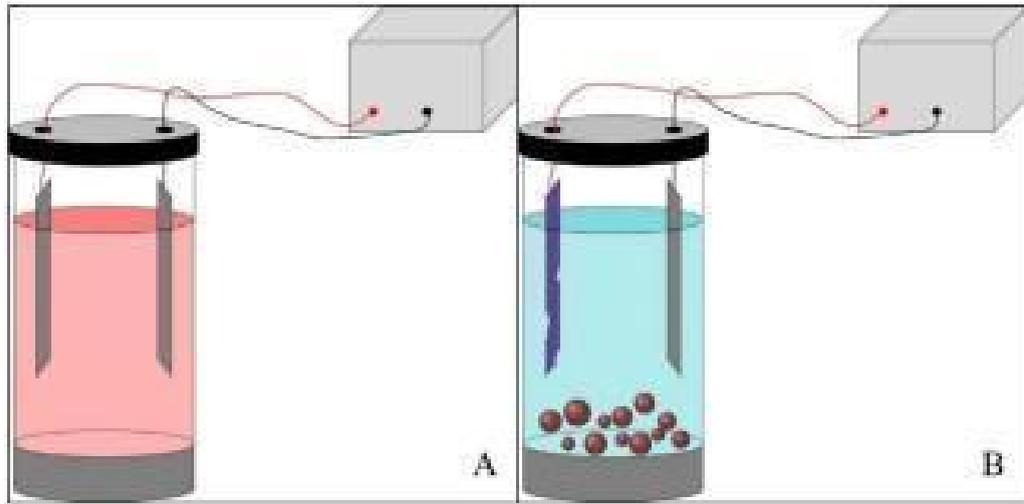


Figura 1. Representação dos sistemas eletroquímicos para tratamento de água antes do processo de eletrocoagulação (A) e depois do processo (B). Fonte: (GRECCOA et al, 2021).

Vieira *et al.* (2018), avaliaram a eficiência do tratamento de água com a construção de um protótipo de eletrofloculação em fluxo contínuo alimentado por energia solar fotovoltaica para a purificação de efluentes. A escolha dos materiais para a construção do protótipo foi visando a diminuição do custo global do processo de purificação. O protótipo foi esquematizado de acordo como mostra Figura 2.

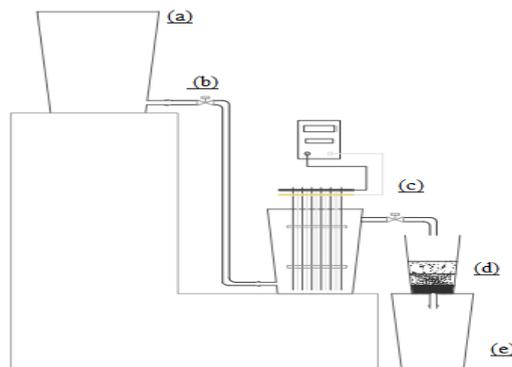


Figura 2. Desenho esquemático do protótipo de eletrofloculação sob fluxo contínuo composto por: (a) tanque de alimentação (entrada), (b) válvula, (c) reator de eletrofloculação, (d) filtro de leito fixo e (e) tanque de saída. Fonte: (VIEIRA *et al*, 2018).

O dimensionamento do protótipo foi realizado de forma que o efluente circule do tanque de entrada para o tanque de saída por meio da gravidade, sem necessidade

de uso de bombas, assim visando a redução de custo dos equipamentos e uso de energia. Foi utilizado o sistema fotovoltaico para alimentação da fonte de corrente contínua.

Os autores explicam que a adoção da energia solar fotovoltaica para o funcionamento do protótipo foi de grande importância para a eficiência e implementação do experimento, pois o uso de uma energia renovável e alternativa propõe a diminuição dos custos do projeto a longo prazo. Sendo assim inviável o uso de energia advinda de uma rede convencional de concessionárias locais para o tratamento por eletrofloculação.

	pH	Cor Aparente (UC)	DQO (mg/L)	DBO5 (mg/L)
Efluente bruto	8,07	0,0755	741,22	235,9
Efluente tratado	10,25	0,0115	124,9	106,4
Resolução CONAMA nº 430/2011	5,00 a 9,00	Nível natural do corpo receptor	-	Remoção mínima de 60%

Tabela 1. Características físicas e químicas dos efluentes bruto e tratado via eletrofloculação. Fonte: (VIEIRA *et al*, 2018).

Em seus resultados, Vieira *et al.* (2018) relatam que o protótipo de eletrofloculação em fluxo contínuo alimentado por energia solar fotovoltaica teve boa eficiência para o tratamento do efluente escolhido para o experimento, apesar do valor obtido no pH não ter atendido os critérios, porém teve resultado próximo. Com redução da cor aparente em até 84%, dentre outros parâmetros estabelecidos pela Resolução Conama nº 430/2011.

Hoffmann (2017), avaliou a eficiência do tratamento por eletrofloculação para o tratamento de águas residuárias da produção de biodiesel. As águas residuárias usadas nas amostras foram obtidas de uma usina de biodiesel localizada no município de Marialva-PR. O experimento teve várias etapas até a obtenção dos resultados do estudo.

Em suas considerações finais, Hoffmann (2017) afirma que o experimento se mostrou eficiente em relação a parâmetros de qualidade da água como cor, turbidez e DQO (Demanda Química de Oxigênio). A autora explica que quanto maior o

tempo empregado para o tratamento, melhores são os resultados da purificação da água residual.

Lima *et al.* (2019), fez experimentos com amostras de águas eutrofizadas coletadas no Açude de Bodocongó, na cidade de Campina Grande-PB. Dentre as amostras, foram realizados oito experimentos sendo com um dos objetivos aperfeiçoar o tratamento de água por eletrofloculação. No estudo, foi adotada a energia solar fotovoltaica usando eletrodos de alumínio.

Parâmetros	Afluente	Efluente	% reduzido
Turbidez	25,06	2,61	89,58
Cloretos	444,93	422,78	4,98
Dureza total	320,39	174,01	45,69
Cálcio	132,97	89,78	32,48
Magnésio	187,42	84,22	55,06
CO ₃ ²⁻ (alcalinidade)	57,27	15,24	73,39
HCO ₃ ⁻ (alcalinidade)	151,49	73,42	51,3
Sódio	191,50	189,13	1,25
Potássio	38,75	38,75	0,00
DQO	146,64	100,96	31,15

Tabela 2. Análise descritiva das caracterizações analíticas do efluente pré e pós-tratamento. Fonte: (Lima *et al*, 2019).

Os autores explicam que os testes foram realizados com amostras de água com diferentes graus de eutrofização, possibilitando acompanhar o controle da qualidade da água por parâmetros físico-químicos das amostras de água bruta e tratada. Ao final do experimento, os autores concluíram, conforme os resultados obtidos, que o tratamento por eletrofloculação via energia solar fotovoltaica para a purificação de águas eutrofizadas apresenta eficiência, pela alta redução de turbidez, DQO e dureza.

Souza (2018), realizou um experimento laboratorial para análise da floculação e eletrofloculação para a clarificação de águas. Para a obtenção dos resultados, foram feitas três amostras com diferentes indicadores para ser observado a efetividade da eletrofloculação.



Figura 3. Amostras durante o processo de floculação. Fonte: (Souza, 2019).



Figura 4. Amostras após o processo de floculação. Fonte: (Souza, 2019).

A partir das análises realizadas, foi possível concluir que em alguns casos, a eletrofloculação é o tratamento mais eficaz para atender os parâmetros de qualidade da água. O autor ressalta que o uso do método precisa ser feito em pequenas quantidades se a energia usada para o acionamento do sistema for por rede convencional de concessionárias.

O tratamento de água por eletrofloculação é um método eficiente em diversos âmbitos, como mostrado nos experimentos dos autores acima. Os custos para a adoção desse tratamento precisam ser analisados antes da sua implantação, por se fazer necessário uma grande quantidade de energia para sua utilização. Logo, esse problema é resolvido com a utilização de uma energia limpa e renovável, como a energia solar fotovoltaica.

Lima *et al.* (2015), usaram o método de eletrofloculação para o tratamento de águas de efluentes industriais. Os autores, em suas conclusões após o experimento, fizeram uma comparação de seus resultados com a literatura e observaram que os ensaios realizados em laboratório tiveram resultados satisfatórios na remoção das impurezas.

Amostra	Tempo (min)	pH	Condutividade (μV)	Cor (uC)	DQO (mg de O ₂ /L)
0	0	5,26	48	4836	3073,29
1	10	7,7	44,5	3825	1120,15
2	20	10,8	53	1527	938,19
3	30	11	47,9	512	904,08

Tabela 3. Resultados da caracterização do efluente. Fonte: (Lima *et al.*, 2015).

Nascimento (2018), realizou uma pesquisa com método experimental quantitativo, para avaliar a eficiência do processo de eletrocoagulação no tratamento de água para consumo humano com a utilização de eletrodos de alumínio. As amostras do estudo foram coletadas de um manancial em João Pessoa-PB.

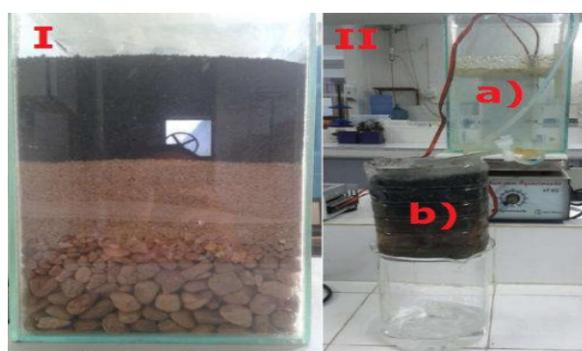


Figura 5. Sistema de filtração: I) Camadas do leito filtrante; II) Filtração da água após tratamento por eletrocoagulação a) reator; b) filtro. Fonte: (Nascimento, 2018).

Com os resultados obtidos através dos experimentos com as amostras de água coletadas, Nascimento (2018) concluiu que o processo de eletrofloculação com a adoção de um planejamento fatorial possibilitou uma boa eficiência na classificação da água coletada no manancial, de maneira que esses resultados se enquadram nos padrões de potabilidade que são estabelecidos pela legislação.

4.2.2 Dessalinização

O segundo tratamento abordado neste trabalho é a dessalinização. Esse processo de tratamento consiste na retirada de sais dissolvidos presentes na água. Os sais quando dispostos em altas concentrações, contaminam os recursos hídricos, fazendo com que fiquem impróprios para o consumo humano.

Essa situação aplica-se ao semiárido brasileiro, onde muitos dos recursos hídricos da região estão impróprios para o consumo de muitas famílias que habitam em locais com a problemática da escassez de água. Nesse caso, trata-se de uma necessidade e não apenas uma opção.

Marinho *et al.*(2012), descreve a dessalinização por dessalinizadores solares como um dos melhores processos utilizados nessa região do Brasil, por fazer o uso de energia limpa e onde se mostra com um grande potencial energético.

O tratamento de dessalinização é capaz de fazer a desinfecção da água de modo a remover microorganismos patógenos, pois o processo é feito com elevadas temperaturas.

Em conjunto com o uso da energia elétrica gerada pela energia solar fotovoltaica, um dos melhores métodos de dessalinização para a situação de referência, é o processo de eletrodialise. Esse processo é feito basicamente pelo transporte de íons da água que será dessalinizada por meio de membranas de ânions e cátions para um fluxo concentrado (JUCÁ *et al.*, 2013).

A seguir, é mostrada uma representação do processo de dessalinização por eletrodialise (Figura 6). Onde pode-se observar o processo de uma célula.

Para a melhor compreensão do princípio do processo de eletrodialise tomou-se, como exemplo, a extração do cloreto de sódio (NaCl), no qual é um dos sais dissolvidos na água salobra.

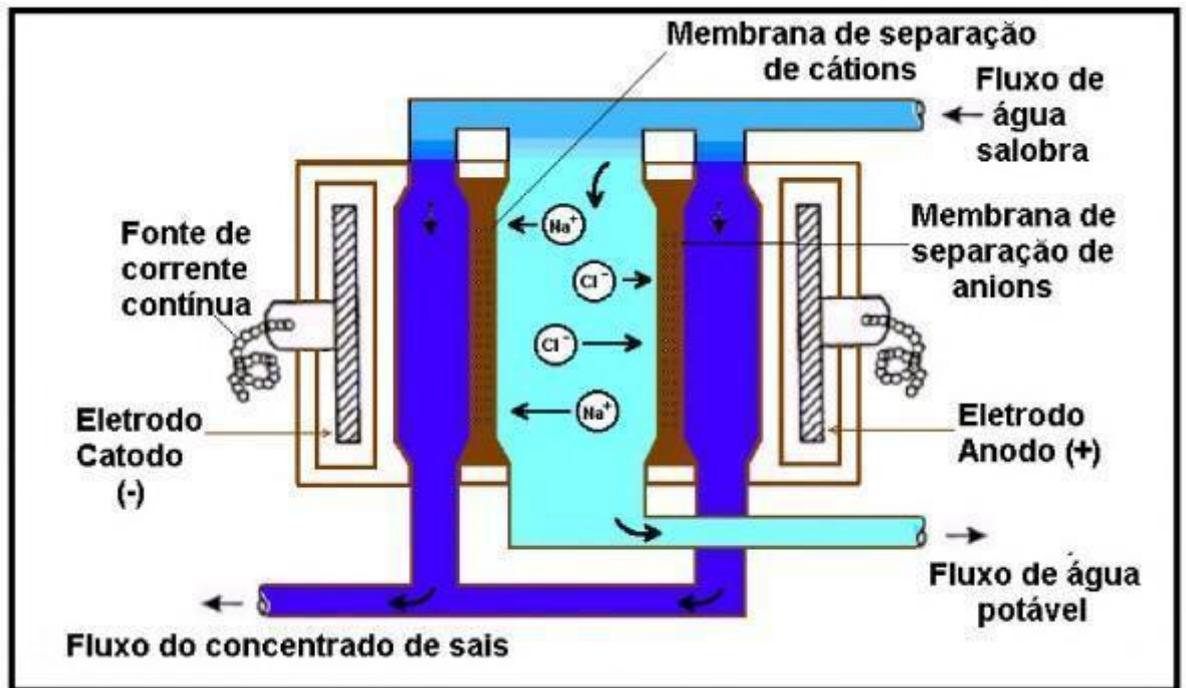


Figura 6. Representação de um sistema de dessalinização por eletrodialise para tratamento de água. Fonte: (JUCÁ et al, 2013).

O cátodo (-) em conjunto com o anodo (+), com aplicação de corrente contínua, ocasionam a separação dos sais contidos na água, em ânions e cátions. Os íons carregados positivamente (cátions), como no exemplo, os cátions de sódio (Na^+), são atraídos pelo cátodo, e os íons carregados negativamente, ânions de cloro (Cl^-), são atraídos pelo anodo. A membrana de separação de cátions (Na^+) permite a passagem dos mesmos, que se unem ao fluxo de concentrado de sais. Da mesma maneira acontece do outro lado da célula, no momento em que a membrana de separação de ânions (Cl^-) possibilita a absorção dos mesmos que se dissolvem em outro fluxo de água oriunda da fonte, formando o concentrado de sais.

O fluxo de água remanescente entre as membranas é correspondente ao fluxo de água dessalinizada (potável). Durante a quebra das moléculas de sais em ânions e cátions, os átomos de cloro ficam retidos na água dessalinizada com a função de agentes antimicrobianos.

Soares (2004), expõe que um destilador solar pode produzir água para beber sem o uso de produtos químicos e elementos filtrantes. De acordo com o autor, nas regiões em que a radiação solar é de média à alta, como acontece no semiárido

Brasileiro, o sistema de destilação pode ser usado para o tratamento de água com sais, microorganismos vivos e até compostos não biodegradáveis.

Marinho *et al.* (2012), explicam que o processo de dessalinização acontece no momento em que a radiação solar, aquece a água a uma temperatura superior à do ambiente. Desse modo, o gradiente de temperatura e o gradiente associado à pressão do vapor no dessalinizador provocam a condensação do vapor de água sobre a superfície da cobertura transparente do dessalinizador.

Silva (2021), buscou-se avaliar o potencial de destilação das águas no município de Seridó, que está situado na microrregião do Seridó Oriental do estado da Paraíba, a partir do uso de destiladores solares. Os resultados obtidos por Silva (2021), com os destiladores solares com extensão de 20 m², obteve em média, 37 litros/dia de água para o consumo humano, onde foi suficiente para atender as necessidades de água potável de 18 pessoas de 5 famílias.

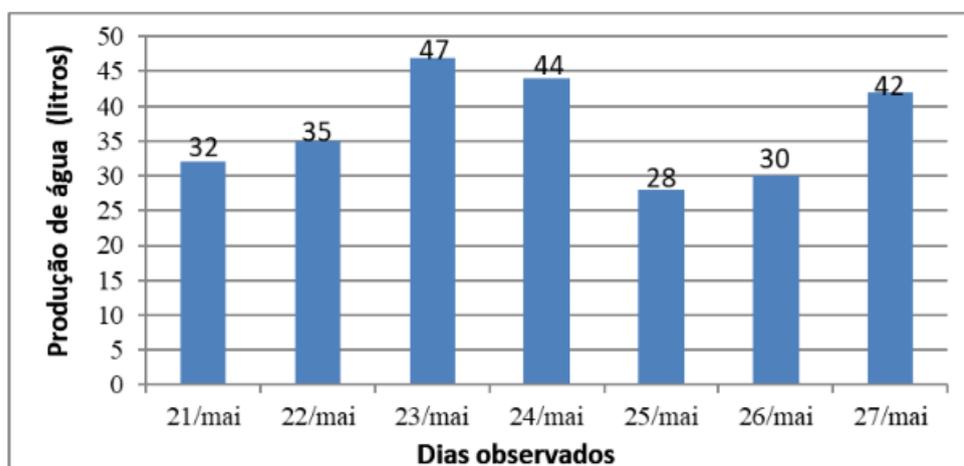


Gráfico 1.Produção diária de água potável. Fonte: (Silva, 2021).

PARÂMETROS (valores não admissíveis encontrados)	Água <i>in natura</i> (poço artesiano)	Água Dessalinizada	Valor Máximo Permitido (Portaria 2914/11 do MS)
Dureza Total (CaCO ₃), mg/L	1390	10	500
Cloreto (Cl ⁻), mg/L	1370,3	8,5	250
Sódio (Na ⁺), mg/L	541,9	2,9	200
Amônia (NH ₃)	3,04	1,18	1,5
Condutividade Elétrica, $\mu\text{mho/cm}$ a 25°C	5140	23,1	—
STD (Sólidos Totais Dissolvidos a 180°C), mg/L	3141	22,2	1000

Tabela 4. Resultado das análises físico-químicas das águas *in natura* e dessalinizadas. Fonte: (Silva, 2021).

O autor ressalta que a adoção desse sistema de tratamento possibilita benefícios ambientais e socioeconômicos, por seu baixo custo, que fornece o abastecimento de água para inúmeras pessoas e não causa impactos ambientais, pelo uso de energia limpa e sustentável.

Silva *et al.* (2020), analisou por meio de um dessalinizador solar portátil com refletores de radiação integrados o potencial para a potabilização de água salobra na cidade de Campina Grande-PB. Em seu experimento, o autor explica que o procedimento em estudo foi feito com água salobra coletada em um poço no Sítio Poço de Pedra, no município de Juazeirinho-PB. O poço foi escolhido por ser usado como uma das fontes de abastecimento de água para consumo animal e humano da comunidade local.

O sistema era alimentado por gravidade com vazão de 30,6 mL/min de água salobra na parte superior do dessalinizador, operando de forma contínua. Com a irradiação refletida, a superfície da placa absorvedora era aquecida, de forma a transferir o calor por meio de convecção para a água, causando o aumento na taxa de evaporação. Com isso, o vapor d'água era condensado ao entrar em contato

com a superfície interna da cobertura de vidro. Por meio da gravidade, a água que foi dessalinizada escorre e é coletada na parte inferior pela canaleta de coleta, como é representado na Figura 7.

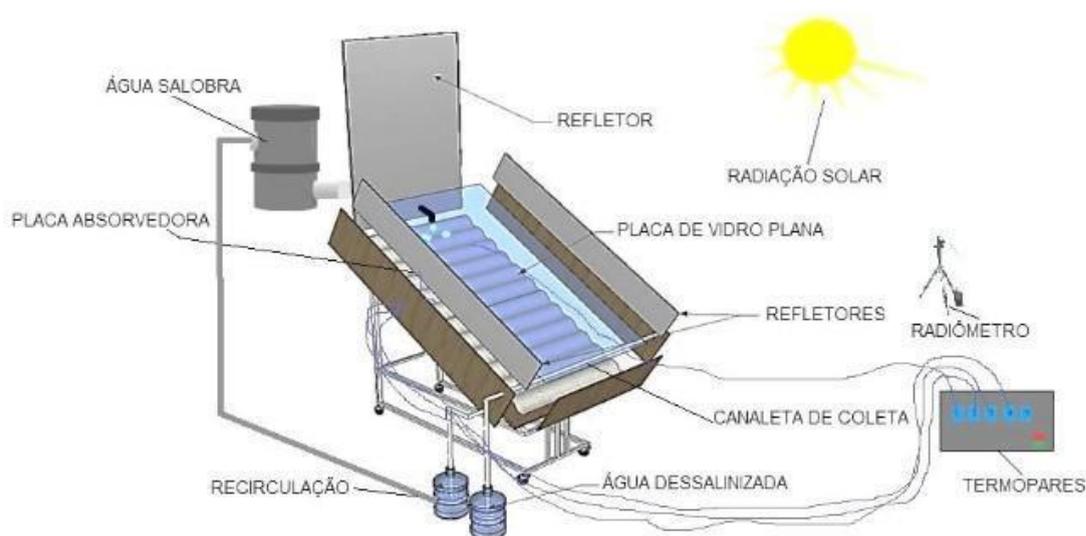


Figura 7. Dessalinizador solar portátil tipo ondular com refletores. Fonte: (SILVA *et al*, 2020).

Parâmetro de controle	Água salobra	Água dessalinizada	V.M.P.*
pH	8,0	7,4	6,0 - 9,5
Condutividade elétrica (μScm^{-1})	8316,0	28,0	-
Cor aparente (uH)	6,7	3,5	15,0
Cloreto ($\text{mg Cl}^{-1} \text{L}^{-1}$)	2577,3	7,1	250,0
Dureza ($\text{mg CaCO}_3 \text{L}^{-1}$)	360,0	50,0	500,0
Alcalinidade ($\text{mg CaCO}_3 \text{L}^{-1}$)	28,0	2,0	-
Turbidez (NTU)	0,6	0,5	5,0
Sódio ($\text{mg Na}^{+} \text{L}^{-1}$)	810,0	1,0	200,0
Potássio ($\text{mg K}^{+} \text{L}^{-1}$)	4,0	0,0	-
STD (mgL^{-1})	4130,0	11,0	1000,0

*V.M.P. = Valor Máximo Permitido segundo a RDC n° 5, de 28 de setembro de 2017, Anexo XX

Tabela 5. Parâmetros físico-químicos da água salobra e da água dessalinizada. Fonte: (SILVA *et al*, 2020).

De acordo com os resultados obtidos pelo protótipo, Silva *et al.* (2020) concluiu que o dessalinizador solar portátil tipo ondular com refletores de radiação integrados, apresentou resultados eficazes para a produção de água dessalinizada, onde atendeu a muitos parâmetros de potabilidade de água para o consumo humano. O autor ressalta que o processo de dessalinização é uma excelente alternativa para as comunidades afastadas, onde a demanda de não é alta e com boa incidência de irradiação solar.

Sousa (2019), dimensionou um sistema de osmose inversa que é acionado com energia solar fotovoltaica pelos softwares INDesign e Retscreen. O projeto foi instalado na região de Calhau, em São Vicente, situada em Cabo Verde. Pinho (2009), explica que o sistema osmose inversa consiste na divisão dos sais presentes na água por meio de um efeito de pressão superior à pressão osmótica em cima de uma membrana semipermeável. A água passa de um meio mais concentrado para um meio menos concentrado. O fluxo termina após as duas soluções separadas pela membrana atingirem o equilíbrio, ficando com a mesma concentração.

De acordo com seus resultados, Sousa (2019) conclui que a tecnologia empregada para o tratamento de água da região é eficiente, tanto para agricultura, como para o consumo humano. Apesar da eficiência, ele ressalta que o custo para implantação ainda é alto, em comparação com outros métodos.

Haguenauer (2021), avaliou o potencial da implementação de unidades de dessalinização por osmose inversa de pequeno porte integradas a fontes renováveis de energia no Semiárido brasileiro. Em sua metodologia, o autor analisou dois parâmetros distintos, que seriam a análise da localidade com maior potencial de instalação e a comparação entre os custos de produção da água dessalinizada e uma fonte de abastecimento alternativa da região. A partir dos seus resultados o modelo de projeto utilizado apresentou resultados satisfatórios para a região.



Figura 8. Dessalinizador por osmose inversa. Fonte: (HAGUENAUER, 2021).

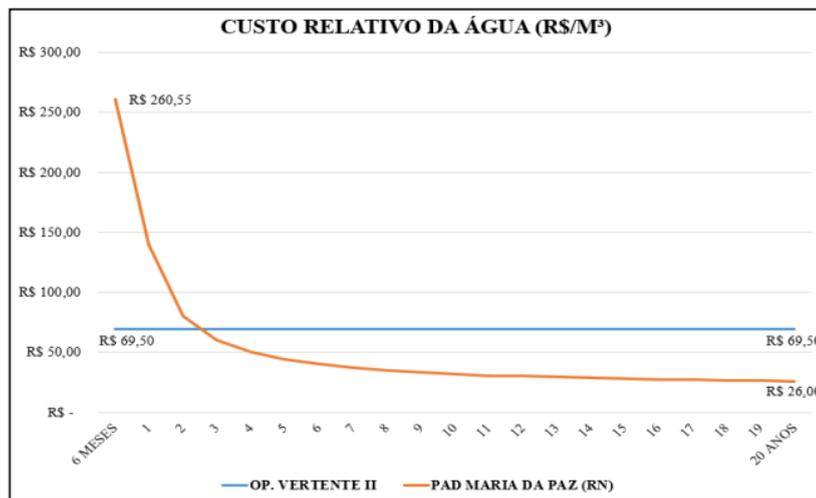


Gráfico 2. Análise Econômica Comparativa do Custo da Água (R\$/m³) em 20 anos. PAD de Maria da Paz: Dessalinizador. Operação Vertente II: Abastecimento por carro pipa. Fonte: (HAGUENAUER, 2021).

As tecnologias usadas para o processo de dessalinização não substituem as soluções já existentes no Semiárido Brasileiro, mas se tornam uma opção para o abastecimento de água potável para comunidades vulneráveis (HAGUENAUER, 2021).

Cantídio *et al.* (2018), fizeram um estudo da viabilidade da implantação da dessalinização de água em um município do Nordeste brasileiro. Em virtude de suas condições climáticas, o município selecionado foi Macau-RN. O estudo foi feito com base no método de dessalinização que melhor se adequa à região e suas necessidades.

Os autores, em suas conclusões revelam que o uso de unidades dessalinizadoras, por meio de osmose inversa, é a alternativa possível para resolver as necessidades de Macau e outras regiões próximas, devido à forte incidência de radiação solar, a proximidade ao mar de onde seria coletada a água para a purificação e sua fácil implantação e manutenção.

4.3 Critério para determinação da qualidade da água

Em virtude do ciclo hidrológico, a água é um bem renovável. Apesar de ser reciclada por meios naturais, é deteriorada pela ação do homem a níveis modificados de poluição. No entanto, a água poluída é capaz de ser recuperada e usada para fins diversos. Diante disso, a qualidade da água e os meios de reuso onde será novamente utilizada irão estabelecer os níveis de tratamento e os critérios a serem adotados.

4.3.1 Parâmetros físicos

- Cor - a cor da água é decorrente da sua capacidade de absorver determinadas radiações do espectro visível, onde geralmente é devida a substâncias que contêm origens orgânicas e minerais dissolvidas, em estado coloidal ou em suspensão. Sua cor pode ser indicativo de seu grau de

poluição. Em modo geral, águas de cor elevada apresentam alta demanda química ou bioquímica de oxigênio.

- Turbidez - define-se como uma propriedade óptica da água que causa a dispersão e absorção de um feixe de luz incidindo em uma amostra, em vez de uma transmissão em linha reta. Deriva-se da presença de partículas em suspensão com grande variação de tamanhos, como suspensões grosseiras até em condição coloidal.

- Sabor e Odor - essas características são analisadas em conjunto em decorrência que são intimamente relacionadas e normalmente confundidas. Reconhecem-se apenas quatro sabores, que são: azedo, doce, amargo e salino. Geralmente substâncias sem origem orgânica, produzem sabor na água sem gerar odor.

- Condutividade - Esse parâmetro relaciona-se à capacidade da água em conduzir a eletricidade. A condutividade da água é influenciada pela concentração e carga dos íons na solução.

4.3.2 Características Químicas

- Alcalinidade - é um indicador da capacidade da água de neutralizar ácidos. Ocorre em função da presença de bicarbonatos, carbonatos e hidróxidos, em grande maioria de metais alcalinos ou alcalinos-terrosos. Tem influência no tratamento de água para consumo doméstico.

- Corrosividade - esse parâmetro está relacionado à tendência que a água tem de corroer os metais, em consequência à presença de ácidos minerais ou pela existência em solução de oxigênio, gás sulfídrico e gás carbônico. Desse modo, o oxigênio é fator de corrosão de produtos ferrosos, o gás sulfídrico dos não-ferrosos, e o gás carbônico dos materiais que contém cimento.

- Ferro e Manganês - encontram-se constantemente associados, além dos malefícios que causam ao consumidor. São dissolvidos pela água subterrânea, que tem um elevado conteúdo de CO₂ e baixo pH.

- Dureza - é a característica conferida à água pela presença de sais de metais alcalino-terrosos, como cálcio e magnésio. A dureza é identificada pela sua propriedade de inibir a formação de espuma formada pelo sabão. Apesar disso, do ponto de vista de saúde pública, não há contrariedades ao consumo de águas duras.

4.4 Energia Solar

Camilo (2018), explica que a energia solar, é a energia que chega à Terra em forma de luz que é irradiada pelo sol, formada como consequência da fusão de núcleos de átomos de hidrogênio em núcleos de átomos de hélio liberando no processo uma alta quantidade de energia. A radiação solar também pode ser aplicada como fonte de energia térmica, como também geração de potência mecânica e elétrica.

A Energia Solar Fotovoltaica é obtida por meio do efeito fotovoltaico, no qual consiste na conversão direta da irradiação solar em energia elétrica, sendo considerada uma alternativa promissora para a crise energética e sem impactos ambientais (GASPARIN *et al.*, 2022). O Sertão do Nordeste Brasileiro, possui características climáticas, como pouca formação de nuvens, e geográficas, pela proximidade da linha do equador, que favorecem a geração de energia solar fotovoltaica, embora ainda pouco usada (SILVA *et al.*, 2016).

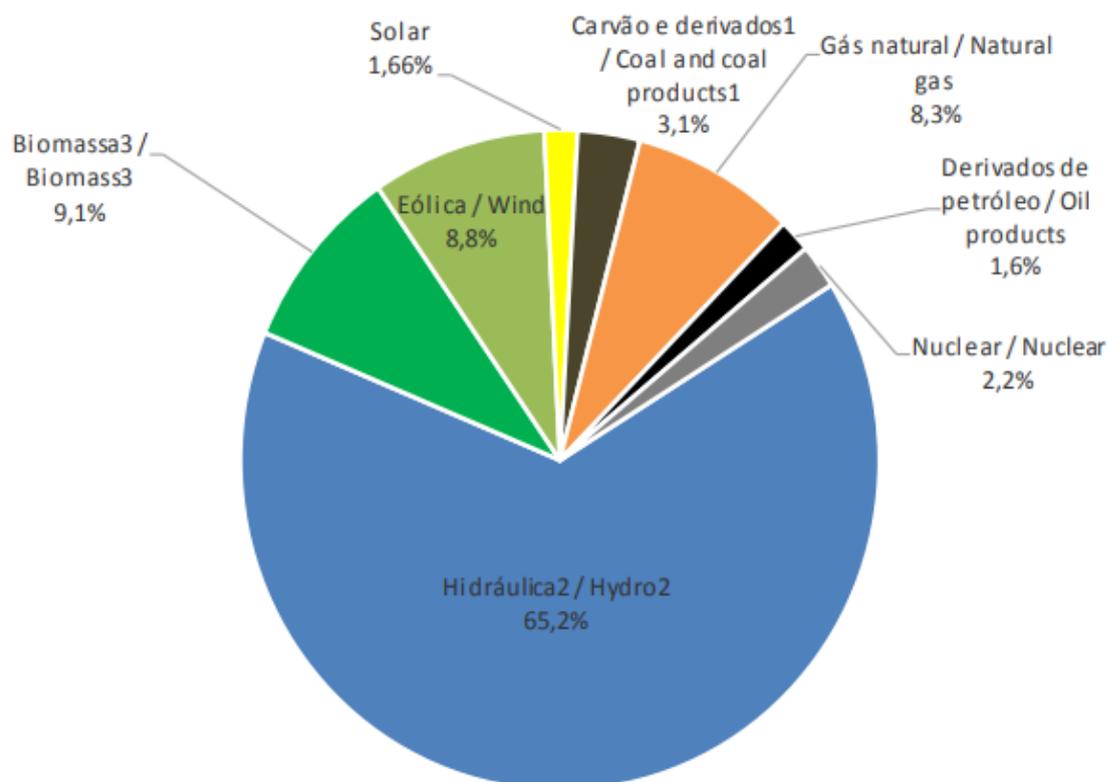


Gráfico 3. Oferta de Energia Elétrica por fonte. Fonte: (EPE, 2021).

Essa tecnologia teve um maior crescimento que qualquer outras fontes nos últimos anos, apoiado pela redução de custos envolvidos no emprego da tecnologia com a descoberta de novas aplicações, além de um maior apoio das políticas aplicadas ao comércio fotovoltaico e uma acelerada mudança de foco nas tarifas aplicadas em alguns países (DA SILVA *et al.*, 2017).

Os painéis fotovoltaicos empregados à produção de energia elétrica são constituídos por grupos de células fotovoltaicas eletricamente interligadas, de maneira a somar as tensões geradas por cada uma delas. O silício é um dos materiais mais utilizados na construção de células solares e deve conter um alto grau de pureza.

Basicamente, os painéis fotovoltaicos podem atuar de dois modos. No modelo autônomo, o sistema não será conectado à rede de distribuição de energia elétrica de empresas concessionárias. Esse tipo de configuração conta com uma forma de armazenamento de energia, com a finalidade de suprir o fornecimento em ocasiões

que o painel não estiver recebendo luz solar suficiente para a produção (PINHO, 2014).

O segundo modo de atuação dos painéis fotovoltaicos é aquele em que esses equipamentos são conectados à rede de transmissão de energia elétrica de uma empresa concessionária. Essa configuração é conhecida pelo termo on-grid ou grid-connected. Os painéis injetam na rede de distribuição da concessionária a energia que ultrapassa a capacidade de consumo dos equipamentos ligados diretamente a ele (ANDRADE, 2016).

Uma grande vantagem que o sistema de energia solar fotovoltaico apresenta é a baixa requisição de manutenção, de modo que a eficiência do equipamento seja afetada apenas pelo acúmulo de pó em seus painéis, que pode ser resolvido rapidamente com pequenas limpezas periódicas. Também pode ser requerida a manutenção da estrutura de suporte para impedir a oxidação (COELHO, 2017).

Visando a adoção dos tratamentos de água como uma alternativa viável, requer-se uma fonte de energia elétrica de baixo custo, que se alinhe à visão do Desenvolvimento Sustentável no Nordeste brasileiro. Muitos estudos e experimentos, como já citado no trabalho, viabilizaram a utilização da energia solar fotovoltaica nos sistemas de tratamento.

As alternativas de tratamento de água harmonizam com a implantação de energia solar fotovoltaica tanto para desenvolvimento social, quanto para desenvolvimento econômico. Como os autores ressaltam, o uso dos sistemas de tratamento de água acaba se tornando inviáveis se o meio de obtenção de energia elétrica para o funcionamento dos sistemas for uma rede de distribuição local.

Esses sistemas necessitam de uma alta quantidade de energia para suprir as demandas e ser de forma eficiente uma alternativa para a solução da escassez hídrica das regiões semiáridas.

Zhang *et. al.* (2013) avaliaram a remoção de fosfato em águas residuais de paisagismo eutrofizadas, utilizando um processo de eletrocoagulação com eletrodos de alumínio alimentados de forma direta por módulos solares fotovoltaicos. O processo usado para a remoção dessa água residual obteve 97% de eficiência de remoção.

O mercado de dessalinização tem crescido de forma exponencial (COELHO, 2017). El-Ghonemy (2012) explica que a dessalinização é um processo com um alto consumo energético, com o acréscimo de unidades em grande proporção poderá ter consequências relacionadas a impactos ambientais resultante da utilização dos combustíveis fósseis. A integração da energia solar fotovoltaica permite alcançar um balanço energético positivo na produção de água potável.

Arantes *et al.* (2011) fizeram um estudo experimental da purificação de água com lâmpada ultravioleta a partir do uso da energia solar fotovoltaica. Os autores mostram que o uso da tecnologia de geração de energia limpa possibilita a redução de custo para o tratamento, onde o potencial de energia solar fotovoltaica no Brasil se mostra muitas vezes superior à demanda de consumo. O experimento de Arantes *et al.* (2011) mostram em seus resultados que houve uma alta redução de coliformes na água da amostra desinfetada. O objetivo central da sua pesquisa era desenvolver um manual para a montagem do sistema, e com isso suas análises demonstraram bons resultados.

Portanto, a aplicação de novas tecnologias originadas com base em inovações sustentáveis desempenha um papel crucial na substituição de matrizes energéticas que são oriundas de combustíveis fósseis ou minerais (GOLDEMBERG; LUCON, 2007).

Os painéis fotovoltaicos, por garantirem autonomia energética dos tratamentos de dessalinização e eletrofloculação, fazem com que o consumo de água não gere custos elevados, no que se refere à energia elétrica consumida pelos mesmos. Desse modo, observa-se claramente que a implantação desses sistemas pode trazer inúmeras vantagens econômicas para os locais que podem ser implantados, acarretando em uma melhoria significativa na vida dos habitantes da região.

5 METODOLOGIA

O presente trabalho trata-se de um estudo de caso referente ao uso da energia solar fotovoltaica como meio de acionamento de sistemas de tratamento de água no

Estado do Ceará. A metodologia da pesquisa empregada foi a revisão bibliográfica a partir de buscas de artigos e publicações técnicas sobre tratamentos de água com ênfase na dessalinização e eletrofloculação no semiárido Brasileiro e outras regiões com a problemática da escassez de recursos hídricos utilizando energia solar fotovoltaica.

No que se refere a pesquisa e levantamento de dados, foram utilizadas as bases de dados Google Scholar, SciELO e Ebsco. A pesquisa se alinha à investigação qualitativa do uso de tecnologia de geração de energia limpa e renovável para a obtenção de água purificada oriundas de tratamentos de água.

Para a elaboração do trabalho, a metodologia foi desenvolvida em algumas etapas. Inicialmente, foi feito um estudo sobre o uso da energia solar fotovoltaica em conjunto com outras tecnologias de tratamento de água para obtenção de água potável. Depois, foram determinados os tipos de tratamento de água que seriam evidenciados no trabalho. Na etapa seguinte, foram estudados artigos e publicações técnicas focados nos tratamentos de água escolhidos na etapa anterior, com ênfase em áreas com a problemática da escassez de água potável, assim como em algumas regiões do Estado do Ceará. E por fim, foi analisada a viabilidade social, econômica e ambiental da implantação dessas tecnologias.

6 RESULTADOS

As pesquisas buscaram captar distintos modelos de experimentos e estudos sobre o tema em questão, de modo que as informações colhidas pudessem dar suporte ao levantamento de dados para a análise da eficiência dos sistemas de tratamento de água alimentados por energia solar.

A fim de verificar a eficiência dos sistemas, foram colhidas informações sobre os resultados obtidos pelos autores estudados com base nos próprios parâmetros de potabilidade de água adotados por cada um.

Na maioria dos casos, os autores em estudo afirmaram que para a eficiência total dos sistemas de tratamento é necessário o uso da energia solar fotovoltaica, tendo em vista que a adoção da tecnologia reduz os custos e elimina o uso de energia elétrica provenientes de redes de concessionárias locais.

Nascimento (2018) demonstra a eficácia da utilização do sistema de energia solar fotovoltaico em seu estudo do processo de eletrocoagulação através de um planejamento fatorial. O método possibilitou ótima eficiência na clarificação de água de um manancial superficial.

Em conjunto a clarificação, também foi demonstrado eficiência na remoção de cor e turbidez da água da amostra estudada. Os resultados da autora demonstraram que seu experimento é uma alternativa viável para o tratamento de água para consumo de acordo com os parâmetros adotados em seu estudo, assim como os demais autores estudados nesta pesquisa.

7 CONCLUSÕES

Com base nos resultados coletados nesta pesquisa, conclui-se que o emprego de novas tecnologias de tratamento de água alimentadas por energia solar fotovoltaica são uma alternativa viável para solucionar diversos problemas provenientes da escassez hídrica na região do semiárido Brasileiro.

A adoção da dessalinização como solução da escassez de água doce está cada dia mais sendo empregada em diversas regiões do mundo. O sistema de dessalinização por osmose inversa tem obtido mais aceitação e viabilidade nos últimos anos, apesar de seu custo de implantação inicial ser alto.

Em relação aos impactos ambientais, as tecnologias evidenciadas neste trabalho mostram que são viáveis para a redução de impactos comparados a outros tipos de tratamento com uso de energia elétrica oriundas de combustíveis fósseis e outras fontes poluentes.

É notório que a eletrofloculação tem tomado espaço nos meios de tratamento de águas residuárias de efluentes industriais, ainda assim o emprego desse tratamento se torna viável para a purificação de água para o consumo, sendo necessário adequar os parâmetros de potabilidade para o consumo humano estabelecido pela legislação.

7.1 Sugestões de Trabalhos Futuros

- Verificar a eficiência da energia solar fotovoltaica como meio de acionamento de outras tecnologias de tratamento de água.
- Experimento de eletrofloculação de águas residuais domésticas.

8 REFERÊNCIAS

ANDRADE JÚNIOR, L. M.; MENDES, Luiz Fernando Rosa. Microgeração fotovoltaica conectada à rede elétrica: considerações acerca de sua difusão e implantação no Brasil. *Vértices, Campos dos Goytacazes*, v. 18, n. 2, p. 31-51, 2016. Disponível em: https://www.academia.edu/download/56759409/Artigo_-_Consideracoes_sobre_a_ESFV.pdf . Acesso em: 27 abr. 2022.

ARANTES, Fernando Augusto; LIPPMANN, Fernando Cromack. **Desinfecção de água por lâmpadas ultravioleta a partir de energia solar fotovoltaica sem utilização de baterias**. 2011. Trabalho de Conclusão de Curso. Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Disponível em:

ARAÚJO, Carolina Souza Diniz de. **Estudo de viabilidade econômica-financeira para implantação de um sistema de geração fotovoltaica na UFRN-Campus Caicó** . 2018. Trabalho de Conclusão de Curso. Universidade Federal do Rio Grande do Norte. Disponível em: https://repositorio.ufrn.br/bitstream/123456789/40797/3/EstudodeViabilidadeEcon%C3%B4micaFinanceira_Ara%C3%BAjo_2018.pdf . Acesso em: 21 mar. 2022.

BRAGA JUNIOR, Benedito PF et al. Introdução à engenharia ambiental. In: **Introdução à engenharia ambiental**. 2003. Disponível em: <https://pesquisa.bvsalud.org/porta1/resource/pt/lil-443302> . Acesso em: 7 abr 2022.

CAMILO, Antonio Rafael Moreira. Energia solar no Brasil. 2018. Disponível em: <https://repositorio.unilab.edu.br/jspui/handle/123456789/1600> . Acesso: 18 abr. 2022.

CANTÍDIO, Maria Clara de Medeiros. **Estudo da viabilidade de implantação de um sistema de dessalinização de água no município do Estado do Rio Grande do Norte** . 2018. Trabalho de Conclusão de Curso. Universidade Federal do Rio Grande do Norte. Disponível em: <https://repositorio.ufrn.br/handle/123456789/40711> . Acesso em: 18 mai. 2022.

CIRILO, José Almir. Políticas públicas de recursos hídricos para o semi-árido. *Estudos avançados* , v. 22, n. 63, pág. 61-82, 2008. Disponível em: <https://www.scielo.br/pdf/ea/v22n63/v22n63a05.pdf> . Acesso em: 7 abr. 2022.

COELHO, Carey. **Dessalinização Via Osmose Inversa Utilizando a Energia Solar Fotovoltaica**. 2017. Trabalho de Conclusão de Curso. Universidade do Mindelo. Disponível em: <http://www.portaldoconhecimento.gov.cv/handle/10961/5135> . Acesso em 13 mai. 2022.

DA SILVA, Pedro Carlos Gama et al. Caracterização do Semiárido brasileiro: fatores naturais e humanos. **Embrapa Semiárido-Capítulo em livro científico (ALICE)**, 2010.

DA SILVA, Wanderson de Vasconcelos Rodrigues et al. Prospecção tecnológica da utilização da energia solar fotovoltaica no Brasil. In: **8th International Symposium on Technological Innovation**. 2017. Disponível em: <http://www.api.org.br/conferences/index.php/ISTI2017/ISTI2017/paper/download/280/193> . Acesso em: 29 abr 2022.

DE ALMEIDA, Hermes Alves; DE ALMEIDA, Ednaldo de Ceita Vicente. Potencial da energia solar fotovoltaica no Semiárido nordestino. *Concilium*, v. 22, n. 2, p. 197-210, 2022. Disponível em: <http://clium.org/index.php/edicoes/article/view/111> . Acesso em: 26 abr. 2022.

DE LIMA CARVALHO, Diéury; DE SOUZA, Marco Antonio Cardoso; ZEMPULSKI, Denise Aparecida. Utilização do método eletrofloculação para tratamento de efluentes industriais. **Revista Nacional de Gerenciamento de Cidades**, v. 3, n. 14, 2015. Disponível em:

<https://pdfs.semanticscholar.org/2237/53e5d7fec5279099fcd1eee067e3436d066.pdf>

DE LIMA, Geralda Gilvânia Cavalcante et al. II-406-ELETROFLOCULAÇÃO ALIMENTADA VIA ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA PARA O TRATAMENTO DE ÁGUAS EUTROFIZADAS. 2019. Disponível em: <https://abesnacional.com.br/XP/XP-EasyArtigos/Site/Uploads/Evento45/TrabalhosCompletoPDF/II-406.pdf> . Acesso em 26 abr. 2022.

EL-GHONEMY, AMK Retraído: sistemas de dessalinização de água alimentados por fontes de energia renovável, Revisão. **Revisões de energia renovável e sustentável** , v. 16, n. 3, pág. 1537-1556, 2012. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1364032111005193> . Acesso em: 22 abr. 2022.

EPE - Empresa de Pesquisa Energética (2021).Balanço Energético Nacional 2021: Ano base 2020. Disponível em: <https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-601/topico-596/BEN2021.pdf> .

FREITAS, Natália Teixeira Ananias; MARIN, Fátima Aparecida Dias Gomes. Educação ambiental e água: concepções e práticas educativas em escolas municipais. **Nuances: estudos sobre Educação**, v. 26, p. 234-253, 2015. Disponível em: <https://revista.fct.unesp.br/index.php/Nuances/article/view/2813> . Acesso em 7 abr. 2022.

GASPARIN, Fernanda Bach. A Influência de Políticas Públicas para o Progresso da Geração Solar Fotovoltaica e Diversificação da Matriz Energética Brasileira. **Revista Virtual de Química**, v. 14, n. 1, 2022. Disponível em: <https://rvq-sub.sbg.org.br/index.php/rvq/article/view/4250> . Acesso em: 27 abr. 2022.

GOLDEMBERG, José; LUCON, Oswaldo. Energia e meio ambiente no Brasil. **Estudos avançados** , v. 21, p. 7-20, 2007. <https://repositorio.ufrn.br/handle/123456789/40797> . Acesso em: 20 mar. 2022.

GRECCOA, Luís Henrique Araújo; DE ARAÚJO SOUZAA, Bárbara Camila; ZANONIA, Maria Valnice Boldrin. **Eletrocoagulação/Eletrofloculação Para Tratamento De Águas Residuárias: Eletrodos Não Convencionais E Acoplamento De Técnicas.** 2021. Disponível em: <https://scholar.archive.org/work/55gr5b3zibh4pkwsevmsdq7y54/access/wayback/http://static.sites.sbg.org.br/quimicanova.sbg.org.br/pdf/RV2021-0218.pdf> . Acesso em: 27 abr. 2022.

HAGUENAUER, Guilherme De Moura. **FONTES RENOVÁVEIS DE ENERGIA NO PROCESSO DE DESSALINIZAÇÃO PARA O ABASTECIMENTO HÍDRICO EM ZONAS RURAIS VULNERÁVEIS DO SEMIÁRIDO BRASILEIRO.** 2021. Tese de Doutorado. Universidade Federal do Rio de Janeiro. Disponível em: http://www.ppe.ufrj.br/images/Tese_GHaguenauer_VF.pdf . Acesso em 12 mai. 2022.

HOFFMANN, Ionara Fernanda et al. **Uso de energia fotovoltaica no tratamento de águas residuárias da produção de biodiesel por eletrocoagulação.** 2017. Dissertação de Mestrado. Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Disponível em: <http://riut.utfpr.edu.br/jspui/handle/1/3137> . Acesso em: 18 mar. 2022.

JUCÁ, Sandro César Silveira; DE CARVALHO, Paulo Cesar Marques. **Métodos de dimensionamento de sistema fotovoltaicos: aplicações em dessalinização.** Espaço Científico Livre, 2013. Disponível em: https://books.google.com.br/books?hl=pt-BR&lr=&id=3KqvXt2ZKZ8C&oi=fnd&pg=PT9&dq=dessalinizador+eletrodialise&ots=LUb_qpdwpO&sig=BfyHYzXcSYuIQIWcDpU0W4cIHTk . Acesso em: 29 abr. 2022.

MARENGO, José Antônio; ALVES, Lincoln M. Crise hídrica em São Paulo em 2014: seca e desmatamento. **GEOUSP Espaço e Tempo (Online)** , v. 19, n. 3, pág. 485-494, 2015. Disponível em: <https://www.revistas.usp.br/geousp/article/download/100879/112855> . Acesso em: 26 de abr. 2022.

MARINHO, Francisco José Loureiro et al. Destilador solar destinado a fornecer água potável para as famílias de agricultores de base familiar. **Revista Brasileira de**

Agroecologia, v. 7, n. 3, p. 53-60, 2012. Disponível em: <https://orgprints.org/22810/> . Acesso em: 22 abr. 2022.

MOREIRA, Tatiana Martinez; SEO, Emília Satoshi Miyamaru. Reúso da água de chuva: uma alternativa sustentável para os períodos de escassez hídrica. **Brazilian Journal of Animal and Environmental Research**, v. 4, n. 1, p. 671-683, 2021. Disponível em: <https://www.brazilianjournals.com/index.php/BJAER/article/view/24544> .

NASCIMENTO, Raqueline Caldas do. Tratamento de água para consumo humano utilizando processo de eletrocoagulação. 2018. Disponível em: <https://repositorio.ufpb.br/jspui/handle/123456789/13715> . Acesso em 15 mai. 2022.

ONU - Organização das Nações Unidas (2015). Objetivos de Desenvolvimento Sustentável da ONU. Disponível em: <https://sustainabledevelopment.un.org/sdgs> . Acesso em: 23 mar. 2022.

PINHO, João Tavares et al. Manual de engenharia para sistemas fotovoltaicos. **Rio de Janeiro**, v. 1, p. 47-499, 2014.

SILVA, Adriano Oliveira et al. Potabilização de água salobra por meio de um dessalinizador solar portátil com refletores de radiação integrados. **Águas Subterrâneas**, v. 34, n. 3, p. 285-295, 2020. Disponível em: <https://aguassubterraneas.abas.org/asubterraneas/article/view/29923> . Acesso em: 27 abr.2022.

SILVA, J.A.L.; MEDEIROS, M.C.S.; LIMA, V.L.A.; MARINHO, J.F.L.; AZEVEDO, P.V.; UCHÔA, T.R.; OTONI, L.C.P. Obtenção de água potável a partir do uso da energia solar disponível na região do semiárido paraibano. Revista Espacios, vol. 37, nº 32, 2016. Disponível em: <https://www.revistaespacios.com/a16v37n32/16373209.html> . Acesso em: 27 abr. 2022.

SILVA, José Adailton Lima et al. USO DA ENERGIA SOLAR PARA DESTILAÇÃO DE ÁGUAS SALINAS NO SEMIÁRIDO PARAIBANO. **Acta Geográfica**, v. 15, n. 38,

p. 65-78, 2021. Disponível em: <https://revista.ufrb.br/actageo/article/view/4124> . Acesso em 12 mar. 2022.

SOARES, Clarissa et al. Tratamento de água unifamiliar através da destilação solar natural utilizando água salgada, salobra e doce contaminada. 2004. Disponível em: <https://repositorio.ufsc.br/bitstream/handle/123456789/87556/208790.pdf?sequence=1> . Acesso em: 12 mar. 2022.

SOUSA, Aleksandro. **Sistema Produção de Água, Via Osmose Inversa Acionado com Energia Solar Fotovoltaica**. 2019. Trabalho de Conclusão de Curso. Universidade do Mindelo. Disponível em: <http://www.portaldoconhecimento.gov.cv/handle/10961/5267> .

SOUZA, Ewerton; JAURIS, Carolina Ferreira De Matos. EXPERIMENTO LABORATORIAL PARA ANÁLISE DO USO DA FLOCULAÇÃO E ELETROFLOCULAÇÃO NA CLARIFICAÇÃO DE ÁGUAS. **Anais do Salão Internacional de Ensino, Pesquisa e Extensão**, v. 10, n. 1, 2018. Disponível em: <https://periodicos.unipampa.edu.br/index.php/SIEPE/article/view/86797> . Acesso em: 29 abr. 2022.

VIEIRA, Samara Pereira; CAVALCANTI, Luiz Antonio Pimentel. Construção de protótipo de eletrofloculação em fluxo contínuo alimentado por energia solar fotovoltaica para purificação de efluentes. **Revista Brasileira de Gestão Ambiental e Sustentabilidade**, v. 5, n. 9, p. 181-190, 2018. Disponível em: <http://revista.ecogestaobrasil.net/v5n9/v05n09a12a.html> . Acesso em: 18 mar. 2022.

ZHANG, Shunxi et al. Remoção de fosfato da água da paisagem usando um processo de eletrocoagulação alimentado diretamente por módulos solares fotovoltaicos. **Materiais de Energia Solar e Células Solares** , v. 117, p. 73-80, 2013. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0927024813002481> . Acesso em 12 mai. 2022.