



UNIVERSIDADE ESTADUAL DA PARAÍBA  
CENTRO DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIAS  
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL  
CURSO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL

**ANDREZZA SANDRINE AGRA RIBEIRO**

**ANÁLISE DE UM DESSALINIZADOR SOLAR DO TIPO PARABÓLICA  
COMPOSTO PARA POTABILIZAÇÃO DE ÁGUAS SALINAS**

CAMPINA GRANDE

2017

**ANDREZZA SANDRINE AGRA RIBEIRO**

**ANÁLISE DE UM DESSALINIZADOR SOLAR DO TIPO PARABÓLICA  
COMPOSTO PARA POTABILIZAÇÃO DE ÁGUAS SALINAS**

Monografia apresentada como Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) a Coordenação do Curso de Engenharia Sanitária e Ambiental da Universidade Estadual da Paraíba como exigência para obtenção do título de Engenheira Sanitarista e Ambiental.

Orientador: Prof. Dr. Carlos Antônio Pereira de Lima

CAMPINA GRANDE

2017





É expressamente proibido a comercialização deste documento, tanto na forma impressa como eletrônica. Sua reprodução total ou parcial é permitida exclusivamente para fins acadêmicos e científicos, desde que na reprodução figure a identificação do autor, título, instituição e ano do trabalho.

R484a Ribeiro, Andrezza Sandrine Agra.

Análise de um dessalinizador solar do tipo parabólica composto para potabilização de águas salinas [manuscrito] / Andrezza Sandrine Agra Ribeiro. - 2017.

50 p. : il. colorido.

Digitado.

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Sanitária e Ambiental) - Universidade Estadual da Paraíba, Centro de Ciências e Tecnologia, 2019.

"Orientação : Prof. Dr. Carlos Antônio Pereira de Lima, Coordenação do Curso de Engenharia Sanitária e Ambiental - CCT."

1. Hipossuficiência hídrica. 2. Hipossuficiência hídrica. 3. Dessalinização. 4. Qualidade da água. I. Título

21. ed. CDD 628.167



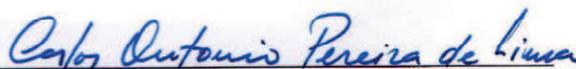


**ANDREZZA SANDRINE AGRA RIBEIRO**

**ANÁLISE DE UM DESSALINIZADOR SOLAR DO TIPO PARABÓLICA  
COMPOSTO PARA POTABILIZAÇÃO DE ÁGUAS SALOBRAS**

Monografia apresentada como Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) à Coordenação do Curso de Engenharia Sanitária e Ambiental da Universidade Estadual da Paraíba como exigência para obtenção do título de Engenheiro Sanitarista e Ambiental.

Aprovada em: 12/12 /2017.



Prof. Dr. Carlos Antônio Pereira de Lima/UEPB  
Orientador



Profª. Dra. Geralda Gilvânia Cavalcante/UEPB  
Examinadora



Profª. Dra. Keila Machado de Medeiros/UFCG  
Examinadora

CAMPINA GRANDE  
2017

## AGRADECIMENTOS

Essencialmente a meu Deus e minha mãe Maria, por me proporcionar a vida e pelo dom da perseverança para lutar pelos meus ideais, amparando e livrando de todas as adversidades.

A toda minha família por cada palavra de apoio.

Ao querido professor Carlos, meu orientador, e a quem muito admiro, agradeço pela compreensão e paciência, nesta proposta de trabalho, dividindo comigo seus conhecimentos, conduzindo a minha caminhada até a conclusão deste trabalho.

A meu pai José Newton por cada palavra de amor de orgulho e incentivo.

A minha mãe Sineide Agra por estar sempre comigo, me dando forças a cada página que escrevia desse trabalho.

Ao meu namorado, Lucas Lucena, que me faz sentir capaz de alcançar meus objetivos com todo amor e paciência.

As minhas dogs, Meg Agra e Aya Agra por estudarem sempre comigo, por cada companhia e carinho.

A todos amigos e colegas que direta ou indiretamente torceram por mim durante esta jornada. Em particular as amigas, Kamila Tenório e Nathalia Tayse.

A minha turma da vida acadêmica na Uepb, principalmente as meninas Cinthia, Rafaela e Yohanna que compartilharam comigo estresses alegrias e superações.

A equipe da Secretária de Serviços Urbanos e Meio Ambiente de Campina Grande – SESUMA, por cada turno de expediente. A turma do plantio, fiscalização e licenciamento ambiental. Em especial a Denise de Sena por todo apoio e valorização.

AGRA RIBEIRO, A. S. **Análise de um dessalinizador solar do tipo parabólica composto para potabilização de águas salobras.**2017. (Monografia para Graduação em Bacharelado em Engenharia Sanitária e Ambiental) – Universidade Estadual de Campina Grande, Paraíba, 48 f.

## RESUMO

Uma parcela expressiva da população mundial sofre com a hipossuficiência hídrica atual. O consumo de água produzida de processos de dessalinização como, a destilação solar, se apresenta como meio alternativo a essa problemática, que se destaca por usar como fonte energética a radiação solar, promovendo a facilidade na utilização deste método e a consequente melhoria na qualidade de vida destes beneficiados, onde essa, requer uma operação e manutenção mais simples, especialmente por esta ir ao encontro das características naturais de insolação da região. O objetivo deste trabalho é analisar a aplicação de um dessalinizador com o uso exclusivo de energia solar. O processo acontece por meio da dessalinização de uma amostra de água com alta salinidade. O equipamento de destilação é do tipo calha parabólica composta, onde é acoplado no concentrador solar um dessalinizador passivo que imita o ciclo hidrológico, operando na cidade de Campina Grande, Paraíba, no período de outubro a novembro de 2017, onde o equipamento é coberto com vidro ou materiais transparentes, o qual é atravessado pela luz solar focada em ponto específico, provocando a evaporação da água salina através de aquecimento, posteriormente condensada e recolhida. A eficiência do equipamento foi medida através da produção e da qualidade da água (análises físico-químicas) e temperatura. Os estudos iniciais foram executados em Campina Grande, Paraíba, no Laboratório de Pesquisa em Ciências Ambientais (LAPECA), onde avaliou-se a produção de água dessalinizada, registrando maior produção no valor de 416,67mL/m<sup>2</sup>.dia. A temperatura da operação variou entre 30°C, até 68°C. E por fim, foram realizados testes físico-químicos, a fim de verificar a qualidade da água produzida de acordo com a portaria 2914/11 do Ministério da Saúde, estando de acordo os parâmetros de pH, condutividade, turbidez, sódio e dureza

**Palavras-chave:** Hipossuficiência hídrica, Dessalinização, Qualidade da água.

AGRA RIBEIRO, A. S. **Analysis of a parabolic solar desalinator composed for the purification of brackish water**. 2017. (Monography for Undergraduate Degree in Sanitary and Environmental Engineering) - State University of Campina Grande, Paraíba, 48 f.

### **ABSTRACT**

An expressive share of the world population suffers from current water hygiene. The consumption of water produced from desalination processes, such as solar distillation, presents itself as an alternative to this problem, which stands out for its use as an energy source for solar radiation, promoting the ease of use of this method and consequent improvement in the quality of life of these beneficiaries, where this, requires a simpler operation and maintenance, especially because it meets the natural characteristics of insolation in the region. The objective of this work is to analyze the application of a desalinator with the exclusive use of solar energy. The process takes place through the desalination of a sample of water with high salinity. The distillation equipment is a composite parabolic trough, where a passive desalinator that mimics the hydrological cycle is installed in the solar concentrator, operating in the city of Campina Grande, Paraíba, from October to November 2017, where the equipment is covered with glass or transparent materials, which is crossed by sunlight focused at a specific point, causing evaporation of saline water by heating, then condensed and collected. The efficiency of the equipment was measured through the production and water quality (physical-chemical analyzes ) and temperature. The initial studies were carried out in Campina Grande, Paraíba, at the Laboratory of Environmental Sciences Research (LAPECA), where the production of desalinated water was evaluated, with a higher production of 416.67mL / m<sup>2</sup>.day. The operating temperature ranged from 30 ° C to 68 ° C. Finally, physical-chemical tests were carried out in order to verify the quality of the water produced in accordance with Ministry of Health Ordinance 2914/11. The parameters of pH, conductivity, turbidity, sodium and hardness were in agreement.

**Keywords:** Water hygiene, Desalination, Water quality.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 01 – Processo de destilação múltiplo estágio – Multi-Stage Flash .....	23
Figura 02 – Processo de destilação múltiplo efeito – Multi-Effect .....	23
Figura 03 – Processo de destilação por compressão de vapor – Vapor-Compression .....	24
Figura 04 – Processo de destilação solar.....	25
Figura 05 – Processo de eletrodialise .....	26
Figura 06 – Processo de osmose inversa .....	27
Figura 07 – Esquema de funcionamento do dessalinizador solar passivo.....	32
Figura 08 – Esquema de funcionamento do concentrador solar.....	32
Figura 09 – Esquema de funcionamento do dessalinizador solar concentrado tipo calha parabólica composto.....	33
Figura 10 – Dessalinizador solar do tipo calha parabólica composto.....	35
Figura 11 – Medições realizadas no dia 17/08/2017 .....	36
Figura 12 – Influência da temperatura média na dessalinização de água no dessalinizador no período de 17/08/2017 a 31/08/2017 .....	37

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Parâmetros físico-químico e métodos empregado .....	34
Tabela 2 – Produção de água dessalinizada.....	38
Tabela 3 – Padrão organoléptico de potabilidade da portaria 2914/11 do Ministério da Saúde .....	38
Tabela 4 - Análises físico-químicas realizadas através do dessalinizador calha parabólica composto em relação a água bruta de alta salinidadee a Portaria 2914/2011 do Ministério da Saúde.....	39

## SUMÁRIO

<b>1. INTRODUÇÃO .....</b>	<b>14</b>
<b>2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....</b>	<b>16</b>
<b>2.1 Disponibilidade hídrica.....</b>	<b>16</b>
<b>2.2 Energia solar .....</b>	<b>17</b>
<b>2.3 Radiação solar .....</b>	<b>18</b>
<b>2.4 Dessalinização solar.....</b>	<b>20</b>
<b>2.5 Características das tecnologias da dessalinização.....</b>	<b>21</b>
<b>2.5.1 Processos de dessalinização térmica .....</b>	<b>22</b>
2.5.1.1 Destilação múltiplo estágio ( <i>Multi-Stage Flash – MSF</i> ).....	22
2.5.1.2 Destilação múltiplo efeito ( <i>Multi-effect distillation – MED</i> ) .....	23
2.5.1.3 Destilação por compressão de vapor ( <i>Vapor Compression – VC</i> ) .....	24
2.5.1.4 Destilação solar.....	24
2.5.1.5 Congelamento direto .....	25
2.5.1.6 Congelamento indireto .....	25
<b>2.5.2 Processos de dessalinização por membranas .....</b>	<b>26</b>
2.5.2.1 Dessalinização por eletrodialise .....	26
2.5.2.2 Dessalinização por osmose inversa.....	27
<b>2.6 Qualidade da água .....</b>	<b>27</b>
<b>2.6.1 Portaria 2.914 do Ministério da Saúde de 2011 .....</b>	<b>27</b>
<b>2.6.2 Legislação CONAMA 430 de 13 de maio de 2011.....</b>	<b>28</b>
2.6.2.1 Parâmetros físicos .....	28
2.6.2.2 Parâmetros químicos .....	29
<b>2.7 Concentrador solar .....</b>	<b>29</b>
<b>2.7.1 Materiais para confecção do concentrador solar .....</b>	<b>30</b>
2.7.1.1 Tanque .....	30
2.7.1.2 Cobertura.....	30
2.7.1.3 Suporte.....	31
2.7.1.4 Canaletas de coleta .....	31
2.7.1.5 Isolamento térmico .....	31
2.7.1.6 Inclinação da cobertura .....	31
2.7.1.7 Profundidade da água no tanque .....	31
<b>3. METODOLOGIA .....</b>	<b>32</b>
<b>3.1 Materiais e métodos .....</b>	<b>32</b>
<b>3.2 Descrição e análise dimensional .....</b>	<b>33</b>
<b>4. RESULTADOS E DISCUSSÕES.....</b>	<b>36</b>

<b>4.1 Coleta de dados</b> .....	<b>36</b>
<b>5. CONCLUSÕES</b> .....	<b>41</b>
<b>6. REFERÊNCIAS</b> .....	<b>42</b>

## 1. INTRODUÇÃO

O ciclo hidrológico apresenta aceitabilidade para o que diz respeito às necessidades da população mundial. No Brasil, a região semiárida do Nordeste apresenta características desfavoráveis à disponibilidade de água. Com baixos índices de precipitação pluvial ( $< 800$  mm), sua má distribuição espaço-temporal e temperaturas anuais altas ( $23$  a  $27^{\circ}\text{C}$ ), são as principais características do cenário que culminam com a ocorrência de um balanço hídrico negativo ao longo dos meses e dos anos e uma demanda atmosférica elevada, com taxas de evaporação potencial superiores a  $1800 \text{ mm.ano}^{-1}$  (MOURA et al., 2008).

Para além do crescimento da população existem fatores expressivos que afetam seriamente este equilíbrio, tais como: seca e grande variabilidade climática, mudança do estilo de vida; o uso ineficiente da água; a contaminação da água potável disponível, em consequência da intervenção humana sobre o ambiente e o ecossistema da água; a seca mundial e a desertificação.

Segundo Souza (2006) a capacidade do tratamento da água salgada, para transformá-la em uma água apta para potabilização, tem estado procurada pela raça humana por longo tempo. Além disso, mais de três quartos da superfície da terra são cobertos por água salgada. Ainda que essa água seja importante para alguns meios de transportes e para a pesca, para necessidade humana, ela apresenta característica muito salina.

A escassez de água tem-se expandido de maneira drástica nas últimas décadas a nível mundial, sendo, no entanto, mais perceptível nas regiões áridas e semiáridas. Assim, a abundância e a carência de água têm tido grandes reflexos na evolução da humanidade. Sendo caracterizada por três dimensões: carência física da disponibilidade hídrica, a aptidão para o provimento dos serviços de água em cada região, juntamente com a evolução das infraestruturas de armazenagem, a distribuição e o alcance.

Neste cenário a fonte de energia solar surge como solução interessante para essas áreas onde a disponibilidade hídrica é restrita e de difícil acesso para obtenção de água potável através de concentradores solares para dessalinização das águas salobras. Como vantagem não produz resíduos, seu sistema de captação é adaptável, lucrativa, abundante e gratuita. Além disso, o Brasil oferece um alto potencial de uso dessa fonte energética, com altos índices anuais de radiação solar, especialmente na região Nordeste.

A dessalinização térmica solar consiste numa técnica onde ocorre a separação do sal presente na água, através do calor oriundo da radiação solar captada por coletores e/ou concentradores. A obtenção de água purificada por meio da dessalinização solar térmica, consiste na evaporação da água salobra através de aquecimento, sem a necessidade de

provocar a sua ebulição. Onde podem ser otimizados os custos, garantindo ainda resultados satisfatórios no que tange ao manuseio da técnica aplicada e a qualidade da água. Possibilitando a população com hipossuficiência hídrica, facilidade na utilização deste sistema e a consequente melhoria na qualidade de vida destes beneficiados.

Um concentrador solar calha parabólica, em escala piloto, é utilizado para potabilização de águas salinas e para funcionar no período entre as 09:00 e 15:00h, em regiões de baixa ou nenhuma nebulosidade. Sendo a região nordeste mais viável entre as regiões brasileiras para o uso desse equipamento, uma vez que apresenta uma média de horas de insolação da ordem de 30000/ano e com índice de radiação média diária entre 4,5 a 6 kWh (LOPEZ, 2012). Com isso, o planejamento de protótipos maiores pode ser feito, de acordo com o volume de produção necessário ou a quantidade de pessoas a serem atendidas.

O respectivo trabalho aborda um estudo da arte, no que tange a energia solar, dessalinização e os concentradores solares. Bem como, os materiais utilizados, os detalhes da construção e funcionamento e os métodos utilizados na estruturação e análise experimental do concentrador solar projetado. Para assim, ser apresentado os resultados adquiridos no procedimento experimental, bem como a análises de tabelas, gráficos e comentários;

Neste sentido, os parâmetros físico-químicos, e a análise térmica do dessalinizador, foram adotados como objeto de estudo desta pesquisa, desta forma a questão principal da pesquisa está formulada nos seguintes termos: como o dessalinizador térmico proporciona a potabilização da água? Outrossim o objetivo geral foi o de analisar a aplicação de um dessalinizador com uso exclusivo de energia solar, com capacidade de produção estimada em 1,6 litros de água por dia analisando sua eficiência na dessalinização da água salina, para uso no semiárido brasileiro. Com base neste objetivo geral foram estabelecidos os seguintes objetivos específicos:

A medição da temperatura do dessalinizador através de termômetros instalados. Análises laboratoriais da amostra de estudo, antes e após o processo de dessalinização no Laboratório de Pesquisa em Ciências Ambientais (LAPECA) do Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental da Universidade Estadual da Paraíba, localizada na cidade de Campina Grande – PB para comparar de acordo com a portaria 2914/11 do Ministério da Saúde os parâmetros físico-químicos da água. Oferecendo a sociedade uma alternativa, uma maneira aprimorada para obtenção de água própria para consumo humano de maneira economicamente viável.

## 2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

### 2.1 Disponibilidade hídrica

Cada vez mais o contexto da disponibilidade de água potável se torna preocupante para a humanidade, sendo ele, o elemento essencial para a vivência sobre a Terra. Uma vez que há um crescimento populacional mundial que consome cada vez mais recursos naturais, de forma não sustentável.

De acordo com Bicudo et al. (2007), o Brasil possui 13,7% de água doce do planeta, sendo que 7% encontra-se na região da bacia hidrográfica do rio Paraná, que inclui o rio Tietê, que está situado no Estado de São Paulo que possui 1,6 % de água doce em sua extensão. E 70% na Bacia Amazônica, sendo que o volume de água do rio Amazonas é o maior do globo, sendo considerado um rio essencial para o planeta. O restante está situado no Nordeste e Centro-Oeste, no rio São Francisco, mas, porém, devido a superpopulação, situadas nas grandes cidades o Brasil vem sofrendo problemas de escassez, isso já atinge os principais rios e represas das grandes cidades.

Ainda de acordo com Bicudo et al. (2007), Apenas 3% do total de água existente no país encontram-se na região Nordeste, sendo que 63% estão localizados na bacia hidrográfica do rio São Francisco e 15% na bacia do rio Parnaíba, que juntos detêm 78% da água da região. As bacias dos rios intermitentes detêm apenas 22% e concentram-se em 450 açudes de grande porte, cuja capacidade é superior a um milhão de metros cúbicos, entre os mais de 70 mil existentes, como, também, em aquíferos profundos, com cerca de 100 mil poços tubulares perfurados.

Porém, a água desses poços, em sua maior parte, é salobra ou salgada, não sendo apropriada para o consumo humano, tampouco para a maioria das atividades socioeconômicas. A utilização dessas águas para consumo humano, por falta de opções de outras fontes hídricas, pode acarretar riscos à saúde do homem, principalmente em crianças.

No decorrer da história da humanidade, as necessidades do uso de água foram-se tornando bastante diversificadas, exigindo-se maior quantidade e qualidade. Com o desenvolvimento de diversas culturas, as sociedades tornaram-se mais sofisticadas, o que passou a exigir, ao mesmo tempo, maior segurança no suprimento de água e aportes tecnológicos mais robustos que também demandavam maior quantidade de água (HELLER; PÁDUA, 2010).

A Organização Mundial de Saúde - OMS, (2001), destaca que todas as pessoas, em quaisquer estágios de desenvolvimento e condições socioeconômicas, têm direito a um

suprimento adequado de água. Por isso, o fenômeno se apresenta como desafio às políticas que visam ao desenvolvimento local sustentável.

Nas regiões semiáridas há grande predominância de rochas cristalinas, que apresentam baixos valores de porosidade e de permeabilidade primárias, condicionando uma circulação lenta dos líquidos e, por conseguinte, maior tempo de permanência das águas nos aquíferos, o que vem a gerar uma maior salinização das mesmas. Característica da região Nordeste, em apresentar reduzidas precipitações, alta evaporação e escassa disponibilidade de águas superficiais, as reservas hídricas subterrâneas constituem uma alternativa para abastecimento e produção agrícola irrigada. Em busca de soluções, as águas subterrâneas têm sido mais exploradas pelo homem (CARVALHO, F. C., MELLO, J. L. P., SILVA, L. D. B. da, 2007).

Todavia, as águas habitualmente encontradas são inadequadas para o consumo humano devido a seus altos índices de sais dissolvidos.

## **2.2 Energia solar**

A estrutura do Sol é dividida em duas regiões: a interior e a exterior. Na primeira região, três camadas são evidentes: o núcleo, a zona de radiação e a zona de convecção. Elas são invisíveis aos meios convencionais de observação, por isso, são investigadas pela propagação das ondas de pressão, ou Hélio-Sismologia. Assunto esse, parte de uma das missões da sonda espacial não tripulada SOHO (DOMINGO, 1997).

O sol é uma enorme bola de gás quente (cerca de 6000 °C na superfície e 15 milhões °C no núcleo) e luminosa. O sol imenso; com 109 vezes o diâmetro da Terra, contém 99,9% do material do Sistema Solar. É feito principalmente de hidrogênio e hélio, os demais elementos são: nitrogênio, carbono, neônio e os ditos elementos pesados, tais como ferro, silício, magnésio e enxofre. A mais próxima da Terra e a que assegurou as condições necessárias de vida deste planeta.

O Núcleo é a fonte de toda a energia do Sol e está alocado desde o centro até aproximadamente 25% do raio de sua circunferência. A região que circunda o núcleo é conhecida como Zona de Radiação e está delimitada entre 25% a 70% de distância do centro do Sol (GARCIA et al., 2007). Já Fora da Zona de Radiação, em uma região definida entre 70% do raio do Sol até a superfície, o gradiente adiabático é suficiente para que a energia produzida no núcleo possa ser transportada por convecção.

O sol é uma fonte perene, silenciosa, gratuita e não poluente de energia e é responsável por todas as formas de vida no planeta. O aproveitamento da energia gerada pelo Sol, inesgotável na escala terrestre de tempo, tanto como fonte de calor quanto de luz, é hoje,

sem sombra de dúvidas, uma das alternativas energéticas mais promissoras para enfrentarmos os desafios do novo milênio. E quando se fala em energia, deve-se lembrar que o Sol é responsável pela origem de praticamente todas as outras fontes de energia. Em outras palavras, as fontes de energia são, em última instância, derivadas da energia do Sol (CEPEL, 1999).

Olhando para o futuro, perceber-se-á que o custo da energia tenderá a ser sempre maior e a crise de combustíveis fósseis e de madeira tornar-se-á mais e mais aguda. As formas de suprimento de energia estão determinando o curso dos desenvolvimentos social e econômico futuros. O suprimento de energia será a base para um elevado e sustentável nível de segurança e conforto. A energia também determinará o balanço ecológico. (LOURENÇO, 1997).

O interesse por fontes alternativas de energia vem crescendo muito nos últimos anos. A energia solar é uma forma de energia absolutamente pura, não poluente, não produz fumaça e nem resíduos radioativos. Constitui-se, portanto, numa forma ideal de energia para proteção do meio ambiente. Atualmente já existem tecnologias e projetos de utilização da energia solar para várias aplicações, através de equipamentos como: coletores planos; fogões solares, dessalinizadores, concentradores parabólicos; placas fotovoltaicas, entre outros.

A procura de soluções tecnológicas para o abastecimento de água a população do Semiárido brasileiro, de maneira especial para as localidades rurais, deve abonar, de um lado, garantias de sustentabilidade, de forma que as atividades econômicas e sociais desenvolvidas tenham continuação e dinâmicas independentes da existência ou não de um evento de seca e, de outro, o fim das privações que comprometem a experiência das liberdades instrumentais, que são elas: liberdades políticas, segurança, oportunidades econômicas e o acesso igualitário a água.

Assim, o Brasil dada a sua condição de país tropical, detém todas as condições para promover o desenvolvimento de um programa integrado configurado pelas energias ditas alternativas. A tecnologia a ser desenvolvida nesta área deverá ser fundamentalmente aquela capaz de se adequar as nossas necessidades mais prementes, notadamente nas regiões mais pobres do país, onde existem até mesmo a carência de água de boa qualidade para matar a sede das populações.

### **2.3 Radiação solar**

Com o incentivo ao investimento em energia solar, a região semiárida pode ter acesso à rede geral de abastecimento, já que a região nordeste é dotada de um dos maiores índices de

radiação solar do mundo por grande parte do território brasileiro está localizada relativamente próxima a linha do Equador, de forma que não se observam grandes variações de radiação solar durante o dia.

Segundo Brasil Solar (2013), a região nordeste do Brasil, por estar ainda mais próxima do que as demais regiões, é a que possui maior área de radiação solar e também aonde ela é mais eficaz, variando entre 5.700 e 6.100 Wh/m<sup>2</sup> dia.

A atmosfera terrestre é atingida anualmente por 1,5 x 10<sup>9</sup> TWh de energia solar, o que corresponde a 10.000 vezes o consumo mundial de energia neste período. Além de ser responsável pela manutenção da vida na Terra, a radiação solar constitui-se numa inesgotável fonte energética, havendo um enorme potencial de utilização por meio de sistemas de captação e conversão em outras formas de energia (térmica, elétrica, entre outros) (COGEN, 2012).

Segundo Cepel/Cresesb, 1999, de toda a radiação solar que chega às camadas superiores da atmosfera, apenas uma fração atinge a superfície terrestre, devido à reflexão e absorção dos raios solares pela atmosfera. Esta fração que atinge o solo é constituída por um componente direta (ou de feixe) e por uma componente difusa. se a superfície receptora estiver inclinada com relação à horizontal, haverá uma terceira componente refletida pelo ambiente do entorno (solo, vegetação, obstáculos, terrenos rochosos, entre outros.). O coeficiente de reflexão destas superfícies é denominado de "albedo".

A dependência da radiação solar extraterrestre ao longo do ano é descrita aproximadamente pela Equação 1 (ISMAIL, 2010). Percebe-se que a radiação tem maiores valores no início e fim do ano que são meses de verão, e menores valores nos dias correspondente aos meses de inverno.

$$G_{on} = G_{sc} \left[ 1 + 0,33 \cos \left( \frac{360n}{365} \right) \right] \quad (1)$$

Onde  $G_{on}$  é a radiação extraterrestre,  $G_{sc}$  é a constante solar (1367 W/m<sup>2</sup>) e  $n$  é o dia do ano.

A radiação solar é uma superposição de ondas eletromagnéticas constituída por 3% de luz ultravioleta, 42% de luz visível e 55% de infravermelho e cujo comprimento de onda está entre 0,25 µm e 4 µm. Aproximadamente 30% da radiação é refletida pela atmosfera (LOPES, 2004).

Devido à interação com as partículas da atmosfera, a radiação pode ser dividida em duas parcelas. A radiação direta é a proveniente diretamente do sol e não sofreu alterações em

sua trajetória. A radiação difusa é a parcela da radiação que foi espalhada pela atmosfera e pode representar cerca de 10% da radiação total em dias claros, a 100% em dias nublados. A radiação global é a soma das componentes direta e difusa (DUFFIE e BECKMAN, 2013).

Segundo Kreider e Kreith (1981) há pelo menos 7 fatores principais que afetam a quantidade de incidência da radiação solar em um coletor, são eles:

- Localização geográfica: a eficiência do coletor solar é prejudicada quando predomina na região o clima chuvoso ou nublado.
- Posição do coletor: árvores e construções podem provocar sombras no coletor diminuindo a captação de energia.
- Orientação do coletor: os coletores que acompanham a posição do Sol, mantendo os raios solares sempre na perpendicular, tiram o proveito máximo da captação. O que não ocorre com os coletores fixos, que devem considerar como variáveis, as estações do ano e a latitude da instalação (DUFFIE; BECKMAN, 2013).
- Comprimento do dia: quanto mais horas de luminosidade solar, maior é a eficiência.
- Estações do ano: na maioria dos locais, o verão possibilita dias com maior tempo de insolação, aumentando a eficiência do coletor.
- Condições atmosféricas: as nuvens são capazes de reduzir a incidência da radiação em até 90%. Ela pode ainda ser afetada pela umidade, presença de partículas de sujeira, poluição, entre outros.
- Concepção do coletor: o formato do coletor, sua inclinação, seu sentido, seu isolamento, resultam em diferentes níveis de eficiências.

A medida da radiação solar é realizada pelo instrumento denominado piranômetro portátil, que registra os valores da radiação em intervalos de tempo determinados e, em geral, são armazenados em valores horários ou diários

#### **2.4 Dessalinização solar**

O primeiro uso de um destilador solar moderno foi desenvolvido em 1872 em Las Salinas no Chile pelo engenheiro sueco Charles Wilson, para fornecimento da água potável aos animais. A unidade era composta por 64 tanques de água, em um total 4459 m<sup>2</sup> contendo água salgada que absorvia a radiação solar levando a água ao estado de vapor, em seguida, era condensada sobre a superfície interna de uma cobertura inclinada transparente, sendo depois coletada e recolhida em tanques para posterior armazenamento (MALUF, 2005).

Este método de destilação solar é uma adaptação, em pequena escala, do ciclo hidrológico, onde a água da superfície da terra se evapora sob a ação da radiação solar, transformando-se em vapor de água, que se condensa em contato com camadas frias, originando a chuva. Dessa forma, diversas unidades de destilação solar foram construídas e estudadas, empregando o mesmo conceito, ainda que, variando a geometria, materiais, métodos de construção e de operação.

O provável método mais antigo de dessalinização conhecido pelo ser humano é a destilação, onde o solvente ao entrar em ebulição e/ou evaporar separa-se do soluto, e posteriormente condensa sem a presença do sal. Este método foi observado e documentado ainda por Aristóteles em Meteorology na percepção e explicação do ciclo da água, onde acrescenta de acordo com a tradução de Webster presente no site do MIT:

Água salgada quando se torna vapor fica doce, e o vapor não forma água salgada quando condensa novamente. Isso é conhecido por experiência.

Segundo Cometta (1977), destiladores solares têm a vantagem de que seu produto, a água doce, é tanto mais exigido quanto maior é a insolação, sendo, portanto, maior sua produção. O diagrama da produtividade tende a seguir o da demanda. Isto é importante para o melhor aproveitamento e mais econômico das instalações.

Os contribuintes para a salinidade da água podem ser evidenciados pela presença dos íons de potássio, sódio, magnésio, cálcio, cloro, sulfato e bicarbonato e pode ser expresso em PPM ou  $\text{mg.L}^{-1}$ . Desse modo, concerne a grandeza da quantidade de sais presentes na água, sendo a razão entre a parcela em massa de sólidos dissolvidos com a parcela mássica da água.

No contexto da água doce, a Organização Mundial de Saúde - OMS e o Conselho Nacional de Meio Ambiente – CONAMA, por meio da Resolução N° 357, de 17 de março de 2005 (BRASIL, 2005), dispõem sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelecem as condições e padrões de lançamento de efluentes e classificam as águas quanto ao teor de sais como:

- Águas doces: águas com salinidade igual ou inferior a 0,5 %;
- Águas salobras: águas com salinidade superior a 0,5 % inferior a 30 %;
- Águas salinas: águas com salinidade igual ou superior a 30 %.

## **2.5 Características das tecnologias da dessalinização**

Existem vários processos para a dessalinização de águas salobras, Santos (2005), apresenta que os mesmos são divididos em duas classes, os processos térmicos: Destilação Flash

de Múltiplo Estágio (Multi-Stage Flash – MSF); Destilação de Múltiplo Efeito (Multi-effect distillation – MED); Destilação por Compressão de Vapor (Vapor Compression – VC); Destilação Através de Energia Solar e Congelamento. E os processos por membranas: Osmose Inversa e Eletrodialise. Cada um desses processos tem sérias limitações, sejam de ordem energética, de tratamentos térmicos, mecânicos, e de ordem química, pois tratamentos como membranas por exemplo tem vida útil pequena

### **2.5.1 Processos de dessalinização térmica**

O processo térmico diz respeito ao processo onde a água salgada aquece, evapora quando atinge uma temperatura adequada em relação à temperatura ambiente, condensa e precipita sob a forma de água potável.

Nesse tipo de processo o exemplo mais acessível é a de destilação da água. Onde a água salina é aquecida para originar um feixe de vapor que é recolhido e em seguida condensado resultando assim numa água não salina.

Há diversas tecnologias de dessalinização por destilação dos quais sobressaem:

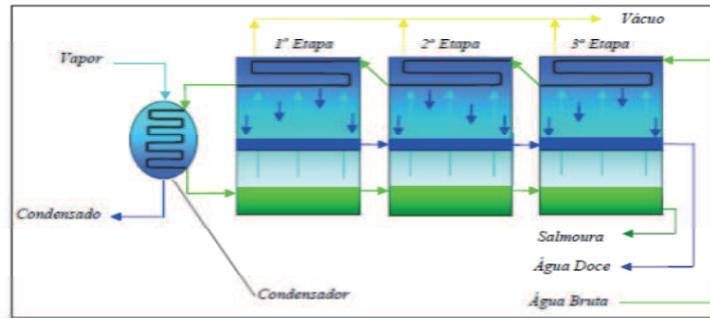
#### *2.5.1.1 Destilação múltiplo estágio (Multi-Stage Flash – MSF)*

A sua nomenclatura é explicada por conta da passagem de água por diferentes células de ebulição-condensação, assegurando um alto grau de pureza. Neste processo, a própria água do mar é usada como condensador da água que é evaporada.

De tal forma que a água salina é aquecida em um aquecedor de água salgada, onde é condensada o vapor em uma série de tubos que passam através do recipiente que assim, aquece a água salina e essa escoar-se para outro recipiente (estágio), onde a pressão é tal que a água irá ferver de imediato ou transforma-se em vapor, a ebulição irá permanecer até o ponto em que a água esfria.

Através da condensação nos tubos de troca de calor que ocorre em cada estágio, esse vapor provocado pelo “flashing” é transformado em água doce. Uma vez que, os tubos são resfriados através da entrada de água que vai para o aquecedor de água salgada. Favorecendo o aumento da temperatura da água salgada e sua redução. A Figura 1 ilustra o processo de destilação múltiplo estágio.

Figura 1 - Processo de destilação múltiplo estágio – Multi-Stage Flash.



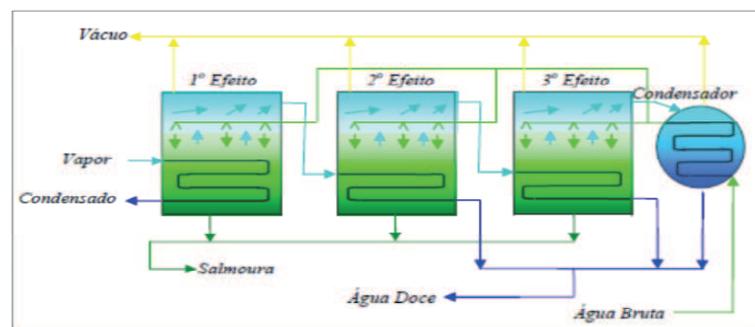
Fonte: Santos (2005)

### 2.5.1.2 Destilação múltiplo efeito (Multi-effect distillation – MED)

Acontece em uma série de recipientes (efeitos) e utiliza o princípio de redução de pressão nos vários recipientes. Isso permite que a água, alimentada, sofra múltiplas ebulições sem suprimento adicional de calor, após o primeiro recipiente. A água ao entrar no primeiro efeito é pré-aquecida nos tubos, e sua temperatura é elevada até a ebulição. Em seguida é vaporizada sobre as superfícies dos tubos evaporadores, em uma fina película, estimulando sua evaporação.

Apenas uma parcela da água aplicada sobre os tubos é evaporada no primeiro recipiente. A água alimentada que sobra é dirigida para o segundo recipiente, onde é, outra vez impulsionada a uma série de tubos que são aquecidos pelos vapores produzidos no primeiro efeito. Este vapor é condensado, resultando em água doce, enquanto libera calor para evaporar uma parte da restante água. Caracteristicamente são encontradas plantas de 6 a 16 câmaras, com tubos horizontais ou com tubos verticais. A Figura 2 apresenta o processo de destilação múltiplo efeito.

Figura 2 - Processo de destilação múltiplo efeito - Multi-effect.



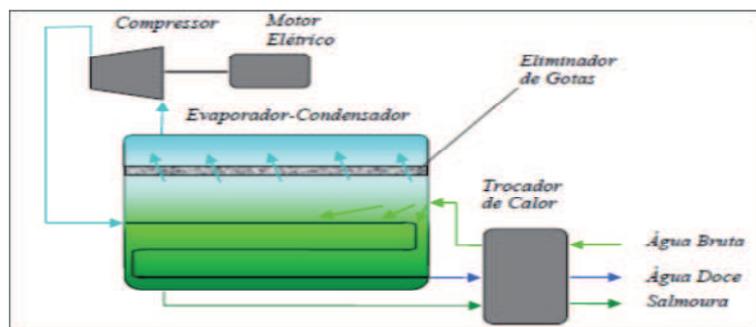
Fonte: Santos (2005)

### 2.5.1.3 Destilação por compressão de vapor (*Vapor Compression – VC*)

Dois métodos primários são usados tanto para condensar vapor quanto para produzir calor suficiente para evaporação da água salina que chega: um compressor mecânico ou um jato de vapor. O compressor mecânico é comumente operado eletricamente, permitindo o uso exclusivo de energia elétrica para produzir água através da destilação.

No método de destilação por compressão de vapor (Figura 3), o vapor produzido na caldeira, derivado do aquecimento da água, é mecanicamente comprimido por um compressor de vapor, aumentando sua pressão e temperatura. Em seguida, serão direcionados aos feixes de tubos do evaporador onde darão origem a mais vapor, a partir da salmoura que envolve os tubos e, depois fornecer o calor, condensam formando água doce. Os novos vapores produzidos são então comprimidos pelo compressor e o ciclo repete-se.

Figura 3 - Processo de destilação por compressão de vapor – Vapor-Compression.



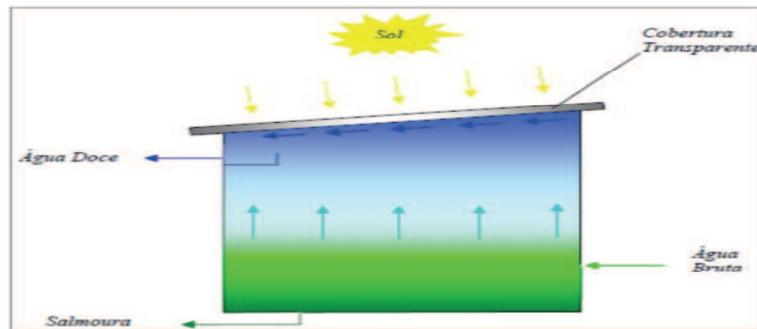
Fonte: Santos (2005)

### 2.5.1.4 Destilação solar

A destilação solar visualizada na Figura 4, traduz-se no aquecimento da água oriundo dos raios solares e assim, favorece a produção de vapor de água e esse vapor é então condensado na superfície fria e o condensado coletado como água-concentrada. Imitando uma parte do ciclo hidrológico natural em que a água salina é acalorada pelos raios solares que facilitam a umidificação.

A água do mar não é a única mineralizada que pode ser utilizada como fonte de água doce. Existem também as águas salobras, onde o teor de sal é inferior ao da água do mar, de origem superficial ou subterrânea, mas acima do limite de uso doméstico e potável.

Figura 4 - Processo de Destilação Solar.



Fonte: Santos (2005)

#### 2.5.1.5 Congelamento direto

A água a ser tratada é pré-resfriada por troca de calor e adentra em uma torre de congelamento, com pressão de  $400 \text{ N/m}^2$  ( $0,004 \text{ atm.}$ ) aproximadamente, fazendo com que essa água entre em ebulição se já liberada em vapor. Este calor de evaporação é removido da água resfriada onde dá-se início a formação dos cristais de gelo, formando assim, o residual salino concentrado, que pelos trocadores de calor, esse, volta à temperatura ambiente sendo afastado do processo, com exceção de uma parcela que volta a torre de congelamento para controle da fluidez do rejeito.

Os cristais de gelo são raspados em direção do derretedor, que para impedir a entrada de ar e promover a entrada dos cristais, conserva a mesma pressão da torre de congelamento. De forma que o gelo distribuído entre em contato com o vapor de água, sendo esse, condensado, derretendo o gelo. A água que foi originada está a temperatura próxima do ponto de congelamento, sendo aproveitada, bombeando-a para armazenamento, por meio de trocadores de calor que irão resfriar a água de alimentação que está a entrar no processo.

#### 2.5.1.6 Congelamento indireto

Nesse método de congelamento, o n-butano é envolvido com a água salina pré-resfriada. Acontece então a troca de calor, congelando a água e aquecendo o hidrocarboneto, resultando na evaporação do n-butano pelo fato da baixa pressão no sistema.

Os cristais de gelo adsorvem a solução salina, que é removida por meio de lavagem com água doce. Assim, são levados a um recipiente para o processo de derretimento e obtenção da água. Faz-se necessário pouca energia no processo, no qual são formados gelos relativamente com grandes dimensões e com custos de lavagem menores.

## 2.5.2 Processos de dessalinização por membranas

Neste processo por membranas a dessalinização é feita utilizando membranas sintéticas semipermeáveis com capacidade de filtração dos sais dissolvidos quando aplicados a um gradiente de pressão ou quando em sua superfície estiver a uma diferença de potencial elétrico, também nesse processo, não se faz necessário o uso de produtos químicos, viabilizando o custo.

Podem ser utilizadas em dois métodos importantes: a eletrodialise e a osmose inversa.

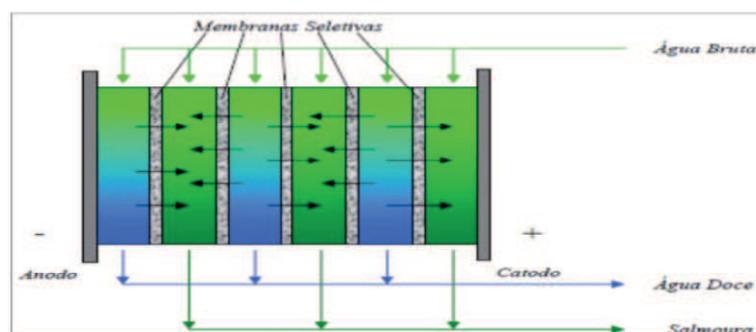
### 2.5.2.1 Dessalinização por eletrodialise

Como conceito fundamental de residir na difusão seletiva de íons acelerados por uma diferença de potencial, ou ddp, em uma membrana semipermeável.

Os constituintes iônicos tais como  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Ca}^{2+}$  e  $\text{CO}_3^{2-}$  estão dispersos na água, neutralizando eficazmente suas cargas individuais. Quando colocados eletrodos ligados a uma fonte externa de corrente contínua, a corrente elétrica é transportada através da solução, como os íons tendendo a migrar para o eletrodo de carga oposta. As membranas deverão permitir a passagem de cátions ou ânions (mas não de ambas) entre um par de eletrodos, através de uma chapa espaçadora.

As soluções concentradas e diluídas são criadas nos espaços entre as membranas alternantes. Estes espaços, ligados pelas duas membranas (uma aniônica e outra catiônica) são chamadas células. O par de células consiste de duas células, numa das quais os íons migram (a célula diluída com a água produto) e outra na qual os íons se concentram (a célula concentrada com o fluxo de salmoura). A unidade básica de eletrodialise (Figura 5) consiste de vários pares (centenas) de células juntas a eletrodos na parte externa e é referida como um perfilado de membranas.

Figura 5 - Processo de Eletrodialise.



Fonte: Santos (2005)

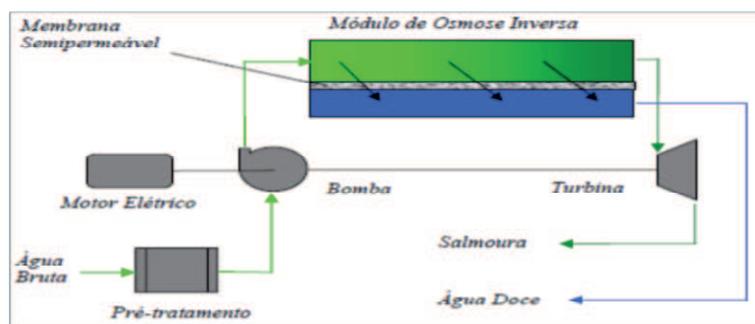
### 2.5.2.2 Dessalinização por osmose inversa

De acordo com a aplicação de pressão a solução mais concentrada a água flui no sentido inverso ao da osmose, produzindo água doce. Deste modo, um resíduo fortemente concentrado com pressão superior a pressão osmótica e cujo valor depende da diferença entre as concentrações é deixado para trás.

A bomba de alta pressão fornece a pressão necessária para aceitar à água passar pela membrana e ter os sais rejeitados. Esta pressão varia de 1,7 a 2,7 N/m<sup>2</sup> para a água salobra e de 5,4 a 8,0 N/m<sup>2</sup> para a água salgada.

A concepção simplificada de um sistema de osmose reversa (Figura 6) para a dessalinização de água versa fundamentalmente de uma bomba que traz para a água a ser tratada na pressão de operação requerida, uma membrana em um recipiente sob pressão e uma válvula para controlar a descarga do rejeito salino.

Figura 6 - Processo de Osmose inversa.



Fonte: Santos (2005)

## 2.6 Qualidade da água

Na ótica da Engenharia ambiental, o conceito de qualidade da água é muito mais amplo do que a simples caracterização da água pela fórmula molecular H<sub>2</sub>O. Isto porque a água, devido às suas propriedades de solvente e à sua capacidade de transportar partículas, incorpora a si diversas impurezas, as quais definem a qualidade da água (VON SPERLING, 1995).

### 2.6.1 Portaria 2.914 do Ministério da Saúde de 2011

Dispõe sobre os procedimentos de controle e de vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade.

De acordo com a portaria 2.914 do Ministério da Saúde, de 2011. A água própria para o consumo humano, ou água potável, deve satisfazer a certas condições:

De aceitação para consumo humano: não possuir gosto e odor objetáveis; não conter cor e turbidez acima dos limites estabelecidos pelo padrão de potabilidade;

Química: não conter substâncias nocivas ou tóxicas acima dos limites estabelecidos no padrão de potabilidade;

Biológica: não conter microrganismos patogênicos;

Radioativa: não ultrapassar o valor de referência estabelecidos no padrão de potabilidade.

## **2.6.2 Legislação CONAMA 430 de 13 de maio de 2011**

Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento bem como as condições e padrões de lançamento de efluentes, complementa e altera a Resolução nº357, de 17 de março de 2005, do Conselho Nacional do Meio Ambiente - CONAMA.

Os critérios de qualidade da água adotados neste trabalho levam em conta os aspectos físicos, químicos.

### *2.6.2.1 Parâmetros físicos*

Os parâmetros físicos de qualidade da água são: temperatura, condutividade elétrica, sólidos, cor e turbidez.

Com o aumento da temperatura diminui a solubilidade de gases como o O<sub>2</sub>, favorece processos aeróbicos. A temperatura influencia no consumo de oxigênio e também na capacidade descarregar oxigênio na água

A condutividade elétrica é ocasionada pelas substâncias dissolvidas que se dissociam em cátions e ânions, em função da temperatura, como também, de descargas industriais.

Os sólidos correspondem a partículas diversas, sedimentáveis ou não e que podem ser separadas por filtração. As impurezas na água contribuem para o seu aumento.

A cor pode se dá através de ações antropogênicas, conhecida de alterada. Como por teor de matéria orgânica decomposta, principalmente de origem vegetal (ácido húmico e fúlvico), além de íons de Fe e Mn, conhecida de natural.

A turbidez é representada pela medida que representa o quanto uma amostra de água interfere na luz que passa por ela. A alta turbidez compromete o ecossistema aquático, uma vez que reduz a fotossíntese da vegetação aquática.

### 2.6.2.2 Parâmetros químicos

Os parâmetros químicos de qualidade de água são: Alcalinidade, dureza e potencial hidrogeniônico (pH).

A alcalinidade resulta da presença de sais de ácidos fracos, carbonatos, bicarbonatos, hidróxidos e ocasionalmente, silicatos e fosfatos.

Para Libânio (2005) a alcalinidade pode ser decorrente do pH. Nas águas com pH entre 4,4 e 8,3 a alcalinidade será devido apenas bicarbonatos, pH entre 8,3 e 9,4 a carbonatos e bicarbonatos, pH maior que 9,4 a hidróxidos e carbonatos. As águas naturais no Brasil apresentam alcalinidades inferior a 100 mg/L de  $\text{CaCO}_3$ .

A dureza total pode ser definida como a concentração de cátions polivalentes em solução na água. Segundo MACÊDO 2002, podemos classificar as águas em:

- a. Mole ou branda (teores menores que 50 mg  $\text{CaCO}_3/\text{L}$ )
- b. Dureza moderada (teores entre 50-150 mg  $\text{CaCO}_3/\text{L}$ )
- c. Dura (teores entre 150-300 mg  $\text{CaCO}_3/\text{L}$ )
- d. Muito dura (teores maiores que 300 mg  $\text{CaCO}_3/\text{L}$ )

O termo pH é usado para determinar o grau de acidez, neutralidade ou alcalinidade de uma determinada solução.

## 2.7 Concentrador solar

Concentradores solares são equipamentos que aumentam a quantidade de energia solar incidida sobre um absorvedor (também conhecido como receptor) através da convergência dos raios solares originando os seguintes tipos de foco: de região, linear e pontual. Para isso, utilizando-se de superfícies reflexivas ou refrativas, podendo essas serem fixas ou móveis (GHOSH e PRELAS, 2011).

A dessalinização solar térmica consiste numa técnica onde ocorre a separação do sal presente na água, através do calor oriundo da radiação solar captada por coletores e/ou concentradores. O gradiente da temperatura e o gradiente associado à pressão do vapor dentro do destilador provocam a condensação do vapor de água sobre a superfície da parte interior da cobertura transparente. A película delgada do condensador escorre até as canaletas, direcionando-se em seguida até o depósito da água destilada.

O concentrador do tipo calha, cilíndrico ou calha-parabólica possui foco linear e um fator de concentração máximo de 212, conforme cita Duffie e Beckman (2013). A faixa de temperatura atingida pelo fluido aquecido varia usualmente entre 100 °C e 500 °C, o que foi objeto de estudo de Mwesigye et al., (2013), que relacionava também os valores de Entalpia.

Este modelo de concentrador é utilizado como agente motriz de bombas para irrigação, em aquecimento de águas de caldeiras e em estações elétricas.

O concentrador com foco pontual (objeto deste estudo), também conhecido como “parabolic dish”, é o tipo de concentrador que atinge as maiores temperaturas para áreas de reflexões iguais. Uma de suas grandes vantagens é a de não apresentar as perdas conhecidas como “perdas pelo cosseno”, uma vez que este sistema utiliza rastreadores de alinhamento com o Sol durante todo o período diurno. As altas temperaturas atingidas por este sistema resultam em maior eficiência e maior captação de energia ao longo do ano (KAUSHIKA e REDDY, 2000).

### **2.7.1 Materiais para confecção do concentrador solar**

Os materiais utilizados para a construção de destiladores solares devem possuir uma série de características, como: Vida útil longa ou custo barato nas condições que serão expostos; resistência às as condições climáticas, temperatura, corrosão; atoxidade; inércia química; peso e tamanho apropriados ao transporte e montagem. Os principais componentes de um destilador solar tipo tanque raso são: Tanque; cobertura; suportes; canaletas e isolamento térmico.

Os parâmetros mais comuns para caracterização de concentradores solares são: a área de abertura, o ângulo limite, o ângulo de borda, a área de absorção, o índice de concentração, o fator de intercepção, a eficiência óptica e a eficiência térmica instantânea (GARG e PRAKASH, 2000).

#### *2.7.1.1 Tanque*

O tanque contém a água de alimentação, normalmente salobra ou salina, e no caso específico desse trabalho, a água salina. Este deve ser resistente a essa água e com uma tintura de cor escura, para absorção da radiação incidente e transformá-la em calor.

#### *2.7.1.2 Cobertura*

Elemento mais importante do destilador solar, sendo o vidro o melhor material. A cobertura é a motivadora pela máxima transmissão de radiação dentro da faixa do espectro solar; retém dentro do destilador o calor gerado; além de favorecer a condensação e o fluxo da água destilada.

### *2.7.1.3 Suporte*

Existem dois modelos de suporte para o destilador: o metálico da base e os da cobertura, comumente feitos com metal, como o alumínio e o aço galvanizado. Embora seja sujeito à corrosão, eles perduram se devidamente protegidos, contudo o silicone de vedação adere bem ao alumínio, o que recomenda esse material ao uso como suporte da cobertura. Já o suporte metálico da base do destilador cabe a sustentação do mesmo e comumente é de um metal pintado, como o Ferro.

### *2.7.1.4 Canaletas de coleta*

Servem para coletar a água condensada e levá-la ao tanque de armazenamento. Localizadas na base da cobertura, estas devem ser pequenas e de aço inoxidável, alumínio ou PVC, para não gerar sombreamento no tanque. No caso particular desse trabalho, as canaletas são de vidro, unindo o tanque à cobertura do destilador.

### *2.7.1.5 Isolamento térmico*

Serve para impedir perdas de calor para o ambiente, aumentando a eficiência do destilador. A vedação retém o ar quente dentro da estrutura, evitando perda de calor.

Geralmente se usa fibra de vidro na espessura de 0,10 m como isolamento térmico para o destilador solar, pois sua condutividade tem um valor baixo ( $k = 0,037 \text{ W/m.K}$ ). Al-Hinai et al (2002), a partir de um modelo matemático constatou como espessura de isolamento ótima esse mesmo valor de 0,10 m para o destilador.

### *2.7.1.6 Inclinação da cobertura*

Tem influência na quantidade de radiação solar que adentra no destilador. O ângulo admite uma boa transferência de radiação solar, o que equivale a altas taxas de evaporação, onde a perda por reflexão é menor. Maiores ângulos de inclinação provocam um aumento na condensação devido ao aumento da área da cobertura, mas apresentam maior perda por convecção do ar presente, além de menor eficiência energética.

### *2.7.1.7 Profundidade da água no tanque*

A literatura recomenda um valor entre 1,5 cm e 2,5 cm (Al-Hayek, 2004, e McCracken, 1985, apud Maluf, 2005). No caso particular desse trabalho, a lâmina escolhida foi de 1,0 cm, onde, o tanque pode chegar a secar, pois é alimentado diariamente. Entretanto, não ocorre um aumento na concentração de sais por esse método, o que é positivo.

### 3. METODOLOGIA

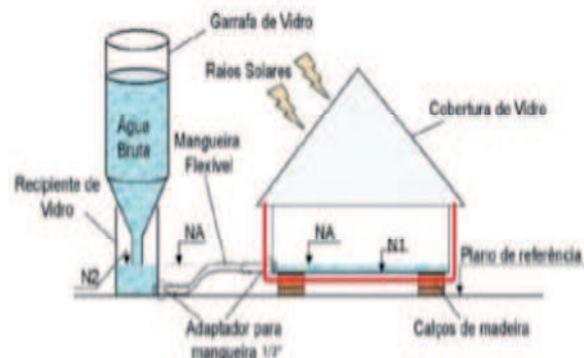
#### 3.1 Materiais e métodos

A metodologia utilizada para a realização do estudo consistiu no levantamento bibliográfico sobre dessalinização, com identificação e comparação dos principais processos de dessalinização. Em relação aos documentos, foram analisados sobre o conteúdo escrito dos artigos, periódicos, teses para se averiguar as principais metodologias adotadas nos estudos investigados.

Os instrumentos de coleta de dados utilizados foram as medições da temperatura, monitoramento da radiação solar, produtividade do dessalinizador e as análises das amostras coletadas para verificação da sua qualidade.

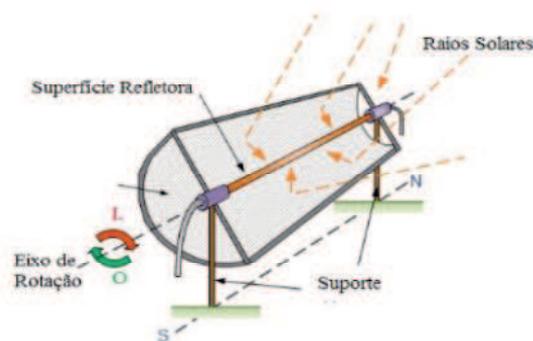
Para este trabalho optou-se por um concentrador de calha parabólica do tipo composto, uma vez que, foi utilizado um dessalinizador térmico passivo de baixo custo acoplado com o concentrador solar térmico também de baixo custo. Por tratar-se de um protótipo, isto é, de proporções reduzidas. Podendo ser visualizados nas Figuras 7 e 8, respectivamente.

Figura 7 – Esquema de Funcionamento do dessalinizador solar passivo.



Fonte: Portal Solar (2017)

Figura 8 – Esquema de Funcionamento do concentrador solar.



Fonte: Adaptado de Alternative Energy Tutorials.

Na Figura 9 pode-se observar o destilador solar desenvolvido nesse projeto, oriundo da junção do dessalinizador térmico passivo e o concentrador térmico solar.

Figura 9 – Esquema de Funcionamento do dessalinizador solar concentrado tipo calha parabólica composto.



Fonte: Autora (2017)

### 3.2 Descrição e análise dimensional

Primeiramente, foi realizada a construção do equipamento, nas dependências do Centro de Ciências e Tecnologia da Universidade Estadual da Paraíba, em Campina Grande - PB, no Laboratório de Pesquisa em Ciências Ambientais (LAPECA), do Departamento de Química (Latitude de  $-0,7^{\circ} 13' 50''$ , longitude de  $-35^{\circ} 52' 52''$ ) e altitude de 551 m, na Paraíba.

O sistema foi alimentado diariamente com uma água bruta de alta salinidade, captada do mar localizado na praia de Tambaú na cidade de João Pessoa – PB e com altura da lâmina de 1 cm, resultando em até  $1,6 \text{ mL/m}^3 \cdot \text{dia}$  a cada experimento.

A extensão do estudo compreendeu o período de agosto a novembro de 2017 no horário das 09:00h às 15:00h de cada dia, horário esse, onde a radiação solar é mais intensa, utilizando 1,6 litros de água, que permaneceu no sistema em exposição ao sol por 6 horas. Mediu-se a produção de água e registraram-se os dados de temperatura ambiente e radiação solar pelo equipamento piranômetro.

Foram empregados dispositivos elétricos PT-100, designados termopares, de aço inox, para medição de temperatura da água circulante em três posições do sistema selecionadas, descritas abaixo.

T1: Temperatura interna do reservatório do dessalinizador;

T4: Temperatura na superfície do vidro do dessalinizador;

T5: Temperatura externa do reservatório do dessalinizador.

Para a medida do destilado produzido foi tomado o seguinte procedimento: Colocou-se uma proveta de 1000 mL em substituição aos frascos de coleta multiplicados pela área do equipamento que é de 0,60m<sup>2</sup> e mediu-se, diretamente, a quantidade de destilado obtido ao fim do dia. A Figura 10 ilustra o dessalinizador solar do tipo calha parabólica composto.

Para a realização dos experimentos físico-químicos foi utilizada uma água com concentrações salinas diferentes. Analisando a água estudada, em triplicata, antes e após o processo de destilação, para comprovação da eficácia do tratamento solar de águas, por métodos volumétricos os parâmetros: temperatura, turbidez, pH, condutividade elétrica, cloretos, dureza, sódio. E com os equipamentos, respectivamente, um turbidímetro, um fotômetro medidor de cor, pHmetro, um condutivímetro de bancada e um fotômetro de Chama, respectivamente. Na Tabela 1 ilustra os parâmetros físico-químicos e métodos empregados.

Tabela 1 - Parâmetros físico-químico e métodos empregado.

<b>Parâmetros</b>	<b>Resultados</b>	<b>Métodos</b>
pH	Adimensional	Potenciométrico
Condutividade	μS/cm	Condutivimétrico
Cloreto	mg/L	Titulométrico - Mohr
Dureza Total	mg/L CaCO <sub>3</sub>	Titulométrico – EDTA
Salinidade (%)	%	Mohr –Knudsen
Turbidez	NTU	Nefelométrico
Cor	UC	Colorímetro
Sódio	mgNa/L	Fotometria de chama

Fonte: Lopes (2013)

A operação desse destilador solar é simples e sem alto custo de manutenção ou operação. Devendo ser limpo regularmente para evitar o acúmulo de impurezas, evitando perda extra de calor e vazamentos.

Figura 10 - Dessalinizador solar do tipo calha parabólica composto.



Fonte: Autora (2017)

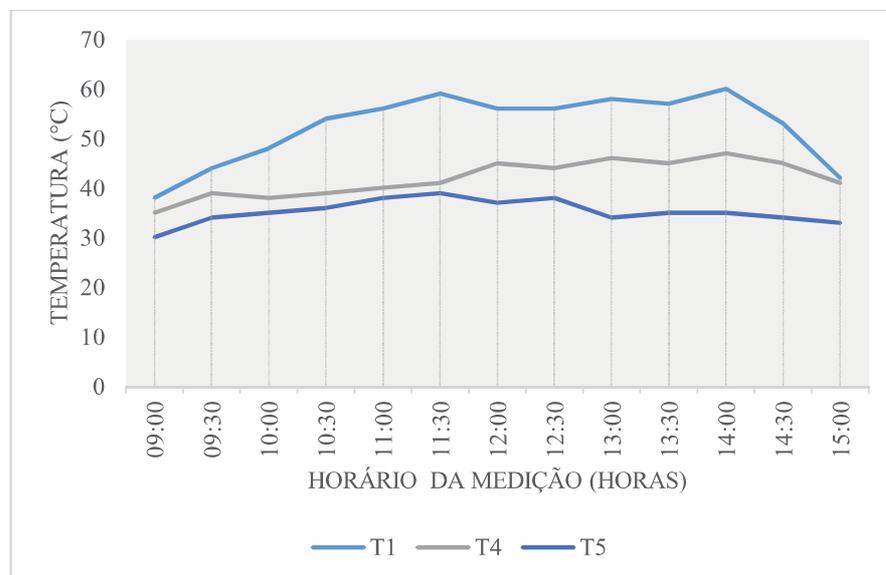
## 4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

### 4.1 Coleta de dados

Foram coletados dados experimentais de temperaturas, de produção de água dessalinizada no mês de agosto de 2017. A Figura 11 retrata a temperatura alcançada com o destilador solar.

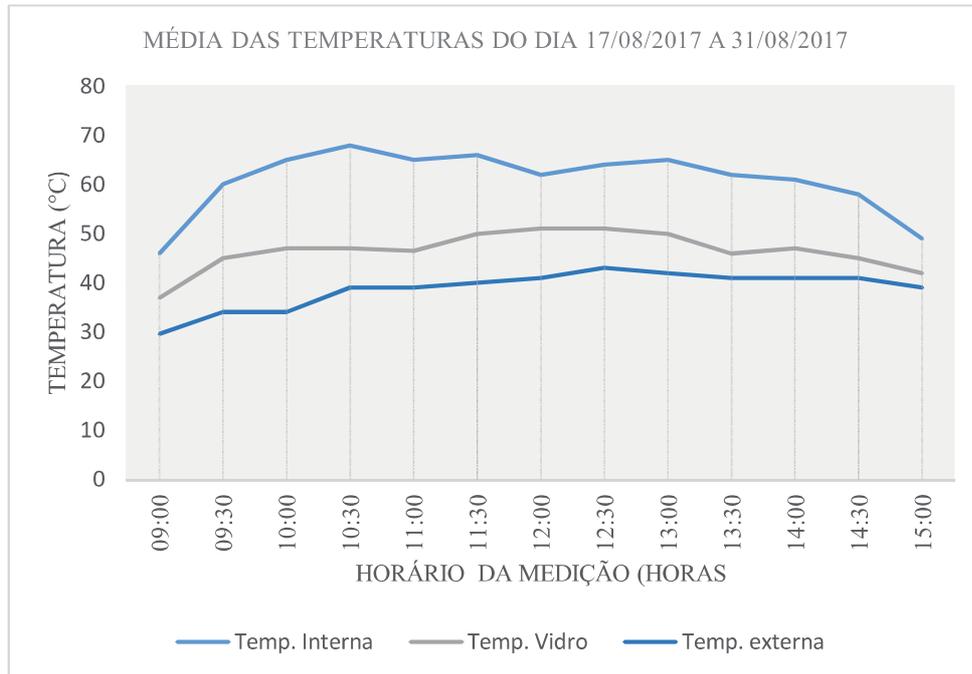
Na Figura 12 estão traçados a média dos valores das temperaturas da água nos nove dias de dessalinização. Os valores apresentados no eixo vertical esquerdo estão os valores para as temperaturas alcançadas e no eixo horizontal, encontram-se os horários da verificação.

Figura 11 – Medições realizadas no dia 17/08/2017.



Fonte: Autora (2017)

Figura 12 - Influência da temperatura média na dessalinização de água no dessalinizador no período de 17/08/2017 a 31/08/2017.



Fonte: Autora (2017)

A avaliação da temperatura do dia 17/08/2017 a 31/08/2017 encontra-se no anexo desse trabalho, apresentando bastante semelhança, ou seja, com pouca variação na temperatura, não ultrapassando 70°C. Dessa forma, a temperatura interna do vidro foi a que atingiu temperatura máxima chegando a quase 70°C, no período das 10:30 as 13:00h. A temperatura do vidro ultrapassou um pouco de 50°C mais ou menos. E por fim a temperatura externa, onde o termostato estava próximo ao destilador mostrou um crescente após o horário da 11:00h passando um pouco mais de 40°C.

Bouhekima (2002) estudou um destilador na Argélia, onde a temperatura ambiente no verão era por volta dos 40°C, atingindo temperatura da água entre 65 a 75°C. O autor mostra que a produtividade é influenciada pela radiação solar e temperatura da água e que aumento significativo da produção de água destilada foi obtida não somente durante o dia, mas também durante a noite, onde ocorre o resfriamento da água que se encontra na base do destilador.

Em seguida, foi realizado a verificação da produção do dessalinizador, para fim de comprovar, a eficiência do equipamento, podendo ser observada na Tabela 2. Como este é um processo que depende exclusivamente da energia solar, houve variação na produção de água dessalinizada, onde nos dias que houve a maior absorção de energia solar foram os dias de mais produção no destilador, e os dias de menor absorção foram de menores produções.

Tabela 2 – Produção de água dessalinizada.

<b>Volume coletado por dia (mL/m<sup>3</sup>.dia)</b>	
<b>Amostra</b>	<b>Dessalinizador</b>
1	223,33
2	416,67
3	350,00
4	336,67
5	170,00
6	186,67
7	206,00
8	356,67
9	366,67

Fonte: Autora (2017)

Em relação ao rendimento do destilador, demonstrado na Tabela 1, obtivemos um rendimento máximo de 416,67mL/por m<sup>2</sup>.dia, dia esse, que apresentou uma temperatura mais alta e um rendimento mínimo de 170mL/m<sup>2</sup>.dia, dia com temperatura mais baixa.

Ao serem realizadas as análises propostas, foi feita a comparação da água antecipadamente analisada com as amostras coletadas do dessalinizador do tipo calha parabólicas composto. Devendo atender a todos os padrões de potabilidade da portaria 2914/11 do Ministério da Saúde já citados. Na Tabela 3 apresenta o padrão de potabilidade especificado pelo Ministério da Saúde.

Tabela 3 – Padrão organoléptico de potabilidade da portaria 2914/11 do Ministério da Saúde.

<b>Parâmetro</b>	<b>CAS</b>	<b>Unidade</b>	<b>VMP(*)</b>
Cloreto	16887-00-6	mg/L	250
Dureza total		mg/L	500
Sódio	7440-23-5	mg/L	200
Turbidez		uT(**)	5

NOTAS:

(\*) Valor máximo permitido.

(\*\*) Unidade de Turbidez

Os dados físico-químicos analisados da água bruta que trata a Tabela 4 servem como comparação com as amostras dessalinizadas, observando-se as análises físico-químicas realizada na água bruta que foi submetida ao dessalinizador solar.

Tabela 4 – Análises físico-químicas após a dessalinização realizadas através do dessalinizador solar do tipo calha parabólica composto em relação a água bruta de alta salinidade e a Portaria 2914/2011 do Ministério da Saúde.

Experimento	pH	Cond. elétrica ( $\mu$ .S/cm)	Turbidez (uT)	Cloreto (mg/L)	Sódio (mg/L)	Dureza Total (mg/L)
Água de alta salinidade	8,11	371	31,4	2177,33	510	90.0000
Valor máximo permitido (2914/11)	6,0-9,5	-	5	250	200	500
1	7,25	54,83	0,89	248,50	81,00	235,0
2	6,14	8,78	1,28	27,69	34,00	75,00
3	6,99	289,00	0,62	230,75	92,00	160,00
4	6,66	8,81	0,98	198,8	42,00	95,00
5	6,02	6,91	1,17	56,80	14,00	75,00
6	5,64	68,25	3,28	255,60	102,00	180,00
7	6,31	7,98	0,97	88,75	17,00	70,00
8	6,37	49,00	0,19	106,50	180,00	65,00
9	7,00	5,90	3,54	95,85	15,00	40,00

Fonte: Autora (2017)

Foi possível observar a eficiência do destilador solar do tipo calha parabólica composto, a partir, da comparação entre as amostras dessalinizadas e os valores máximos permitidos preconizados na Portaria 2914/11 do Ministério da Saúde, podendo verificar se essa foi atendida ou não, presente na Tabela 4. Estando de acordo os parâmetros de pH, condutividade, turbidez, sódio e dureza, do que é permitido. E como justificativa para os demais parâmetros pode-se elencar que:

O pH apresentado está dentro do que é preconizado. Tendo o valor mínimo de 5,64 e máximo de 7,25. Onde o VMP é de 6,0-9,5. A condutividade diminuiu chegando a 5,9 $\mu$ S/cm, esse parâmetro não possui valor estabelecido pela portaria. Já a turbidez apresentou está dentro do que é preconizado. Tendo o valor mínimo de 0,19uT e máximo de 3,28uT. Onde o VMP é de 5uT

O cloreto apresentou valores inferiores em relação a água bruta. Mas em 1 amostra apresentou está acima do que é preconizado (250mg/L). Tendo o valor mínimo de 27,69mg/L e máximo de 255,60 mg/L., entretanto, demonstra a redução desse parâmetro em relação a água bruta com 2177,33mg/L. O sódio apresentou um valor mínimo de 14mg/L e máximo de

180 mg/L. Onde o VMP é de 500 mg/L. A dureza apresentou está dentro do que é preconizado. Tendo o valor mínimo de 65mg/L e máximo de 180mg/L. Onde o VMP é de 500mg/L.

De maneira geral, a destilação solar realizada apresentou um alto rendimento na dessalinização da água do mar, atendendo aos padrões de potabilidade exigido pela legislação pertinente, que regula a qualidade da água destinada ao consumo humano.

## 5. CONCLUSÕES

Os experimentos demonstraram que o sistema de dessalinização térmica é eficiente. Onde os valores máximos e mínimos de temperatura da água do armazenamento alcançados nesse mês foram 68°C e 30°C, respectivamente. Apresentando valores aceitáveis de produtividade, onde o máximo por dia foi 416,67 mL/m<sup>2</sup>.dia.

Com base nos resultados obtidos para água do mar estudada, observou-se que o tratamento utilizado através da destilação solar natural, ou seja, utilizando o sol como fonte de energia, a maioria dos parâmetros analisados ficou de acordo com os padrões de potabilidade segundo a Portaria N°2914/2011 do Ministério da Saúde, comprovando a eficácia da destilação solar para tratar águas salinas.

Conseguimos obter água com padrões de potabilidade reduzindo bastante significativamente os padrões mais preocupantes de pH, cloretos e dureza total. O destaque se deu para o parâmetro mais significativo que foi o de sódio, onde trabalhávamos com uma água de teor altíssimo, 212mg/L e devido à eficácia da dessalinização, conseguiu-se atingir valores máximos de redução com rendimento aproximadamente de 93,4%.

Pode-se dizer, então, que a produção de água foi diretamente proporcional aos fatores de: temperatura ambiente, temperatura da água no interior da base e a temperatura do vidro. Concluindo que o uso da energia solar no tratamento de águas tem um grande potencial, e este sistema solar ainda pode ser melhorado, o que permite que a participação da energia solar no tratamento de águas esteja crescendo continuamente no tratamento de águas;

## 6. REFERÊNCIAS

- AL-HINAI, H. AL-NASSRI, M. S., JUBRAN, B. A., “**Parametric investigation of a doubleeffect solar still in comparison with a single-effect solar still**”, 2002. *Desalination*, 150 (2002) 75- 83.
- ARAÚJO, A. C. S. P. A., **Contribuição para o Estudo da Viabilidade/Sustentabilidade da Dessalinização enquanto Técnica de Tratamento de Água**. Dissertação de Mestrado. Universidade Nova de Lisboa. Faculdade de Ciências e Tecnologia. Lisboa, (2013).
- ARISTOTLE. *Meteorology*. 350 AC. Disponível em: <<http://classics.mit.edu/Aristotle/meteorology.1.i.html>>. Acesso em: 21 ago. 2017.
- BEZERRA, A.M. **Aplicações Térmicas da Energia Sola**. Editora Universitária, João Pessoa, PB, 2001.
- BICUDO, C. E. M.; TUNDISI, J. G.; SCHEUENSTUHL, M. C. B.; **Águas do Brasil Análises Estratégicas**, Academia Brasileira de Ciências, Rio de Janeiro, Brasil, 2007.
- BLANK, Dionis Mauri Penning; HOMRICH, Ivone da Graça Nunes; ASSIS, Simone Vieira. de. **O gerenciamento dos recursos hídricos à luz do ecodesenvolvimento**. Revista Eletrônica do Mestrado em Educação Ambiental- FURG-RS. v. 20, p.53, jan/jun. de 2008.
- BOUCHEKIMA, B. A solar desalination plant for domestic water needs in arid áreas of South Algeria. *Desalination*, v. 153, p. 65-69, Ouargla, Algeria, 2002.
- BRASIL. MINISTÉRIO DA SAÚDE. **Portaria MS Nº 2914 de 12 de Dezembro de 2011**. Brasília, 2011. 18p.
- BRASIL SOLAIR. **Potencial solar e eólico. 2013**. Disponível em: <<http://www.brasilsolair.com.br/potencial-solar-e-eolico>>. Acesso em: 20 de out. 2017.
- BROOKES, M. **Fique por dentro da Astronomia**. São Paulo; Cosac e Naify Edições 2001.
- BORGANAKKE, C., RICHARD, E. Sonntag, **Fundamentos da Termodinâmica**, Tradução da 7ª Edição Americana, São Paulo: Blucher, 2009.

CARVALHO, F. C., MELLO, J. L. P., SILVA, L. D. B. **Hidrologia**. Disponível em:<<http://www.ufrjr.br/institutos/it/deng/jorge/downloads/APOSTILA/LICA%20Parte%201.pdf>>. Acesso em: 24 ago. 2017.

CEPEL. “**Energia Solar Princípio e Aplicações**”. CRESESEB – Centro de Referência para Energia Solar e Eólica Sérgio de Salvo Brito, CEPEL Sistema Eletrobrás. 1999.

COMETTA, E. **Energia Solar**. Editora Hemus, São Paulo, SP, 1977.

CONAMA - Conselho Nacional do Meio Ambiente (2005). **Resolução nº 357**, de 13 de maio de 2011. Ministério do Meio Ambiente, 23p.

CONAMA - Conselho Nacional do Meio Ambiente. Resolução nº 430, de 13 de maio de 2011. 9p.

**CONCENTRADOR SOLAR**. Disponível em:<<http://www.alternative-energy-tutorials.com/>> Acesso em: 23 nov. 2017.

**Declaração Universal dos Direitos da Água**. Disponível em:<<http://www.ambientebrasil.com.br/composer.php3?base=./agua/doce/index.html&conteudo=./agua/declaracaoagua.html>>. Acesso em: 23 ago. 2017.

DERONZIER, J. C., LAURO, R.; PLOYART, R. **Solar desalination: Prototype “python” a special solar multiple-effect distiller**. *Desalination*, v. 39, p. 117-123, 1981.

DOMINGO, V. Soho, its day in the sun. *Advances in Space Research*, v. 20, n. 4-5, p. 581–594, 1997. ISSN 0273-1177. Results of the {IASTP} Program.

DUFFIE, J. A.; BECKMAN, W. A. **Solar Engineering of Thermal Processes**. 4ª edição, 2013. New York: John Wiley and Sons.

GARCIA, R. A. et al. Tracking solar gravity modes: **The dynamics of the solar core**. *Science*, v. 316, n. 5831, p. 1591–1593, June 2007.

Garg, H. P. and Prakash, J. (2000). **Solar Energy Fundamentals and Application**. New Delhi: Tata McGraw-Hill.

- GHOSH, T., PRELAS, M. *Energy Resources and Systems. Vol 2: Renewable Resources*, Columbia, Missouri, USA. Springer Dordrecht Heidelberg London New York, 2011.
- GUERREIRO, M. L. F. B. **Dessalinização para produção de água potável: Perspectivas para Portugal**. Dissertação de Mestrado. Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto/Portugal. 2008.
- HELLER, L. & PÁDUA. V. L. (Org.) - **Abastecimento de água para consumo humano** – Belo Horizonte: editora UFMG, 2010. 859 p.
- INCROPERA, F. P. et al., **Fundamentos de Transferência de Calor e Massa**. 6ª edição. Tradução e revisão técnica: Eduardo Mach Queiroz e Fernando Luiz Pellegrine Pessoa. Rio de Janeiro: LTC, 2008.
- ISMAIL, K. A. R. **Energia Solar e Aplicações**, Cisgraf Artes Gráficas Ltda. Campinas SP, 2010, p 250.
- KAUSHIKA, N. .; REDDY, K. . **Performance of a low cost solar paraboloidal dish steam generating system**. *Energy Conversion and Management*, v. 41, n. 7, p. 713–726, maio 2000.
- KREIDER, J.F.; KREITH, F. **Solar energy handbook** .New York: Mc Graw-Hill, 1981.
- LIBÂNIO, M. **Fundamentos de qualidade e tratamento de água**. Campinas, SP: Editora Átomo, 2005.
- LOPES, J. T. **Dimensionamento e Análise Térmica de um Dessalinizador Solar Híbrido**, 2004. 109f. Dissertação de mestrado. Faculdade de Engenharia Mecânica Universidade Estadual de Campinas – SP/Brasil.
- LOPEZ, Ricardo Aldabó. **Energia solar para produção de eletricidade**. 1ª Edição, São Paulo, SP: Artliber, 2012.
- LOURENÇO, J.M., **Estudo de um Coletor Solar Alternativo, usando Tubos Absorvedores de Alumínio**, 1997. 144f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) –

Centro de Tecnologia, Departamento de Engenharia Mecânica, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal.

MACÊDO, J. A. B. **Introdução à química ambiental**. CRQ-MG. Juiz de Fora, 2002.

MALUF, A. P. **Destiladores solares no Brasil**. Monografia do Departamento de Engenharia da Universidade Federal de Lavras do curso de Pós-Graduação Lato Sensu em Fontes Alternativas de Energia. UFLA, Minas Gerais, 2005.

MOURA, M. S. B. de; Angelotti, F. Clima. In: ALBUQUERQUE, A. C. S.; SILVA, A. G. da. (Ed.). **Agricultura tropical: quatro décadas de inovações tecnológicas, institucionais e políticas**. Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica, v. 2, cap. 3, p. 411-429, 2008.

MWESIGYE, A.; BELLO-OCHEDE, T.; MEYER, J.P. **Numerical investigation of entropy generation in a parabolic trough receiver at different concentration ratios**. Energy, v. 53, p. 114-127, 2013.

OLIVEIRA, T. U. M. **Análise da viabilidade econômica de um sistema de aquecimento solar de água para uma empresa do setor hoteleiro**. Dissertação. Universidade Federal do Rio Grande do Norte. Natal. 2011.

ORGANIZAÇÃO MUNDIAL DE SAÚDE (OMS). **Água e Saúde**. Publicado em 2001. Disponível em: <<http://www.opas.org.br/sistema/fotos/agua.PDF>>. Acesso em: 14 ago. 2017.

PORTAL SOLAR. Disponível em:<<https://www.portalsolar.com.br/>>. Acesso em: 18 de ago. 2017.

SANTOS, R. P.; CHIAVONE-FILHO, O.; SCHUHLLI, J. B.; BEZERRA, M. A. S.; MELO, J. L. S.; OLIVEIRA, J. A.; ANDRADE, V. T.; RAMOS, R. E. M. **Aquecimento solar da água produzida de petróleo**. Rio Oil & Gas Expo and Conference, RIO DE JANEIRO/RJ. 2008.

SANTOS, J. J. C. S.. **Avaliação Exergoeconômica das Tecnologias para a Produção Combinada de Eletricidade e Água Dessalinizada**. Dissertação de Pós Graduação, Universidade Federal de Itajubá, 2005.

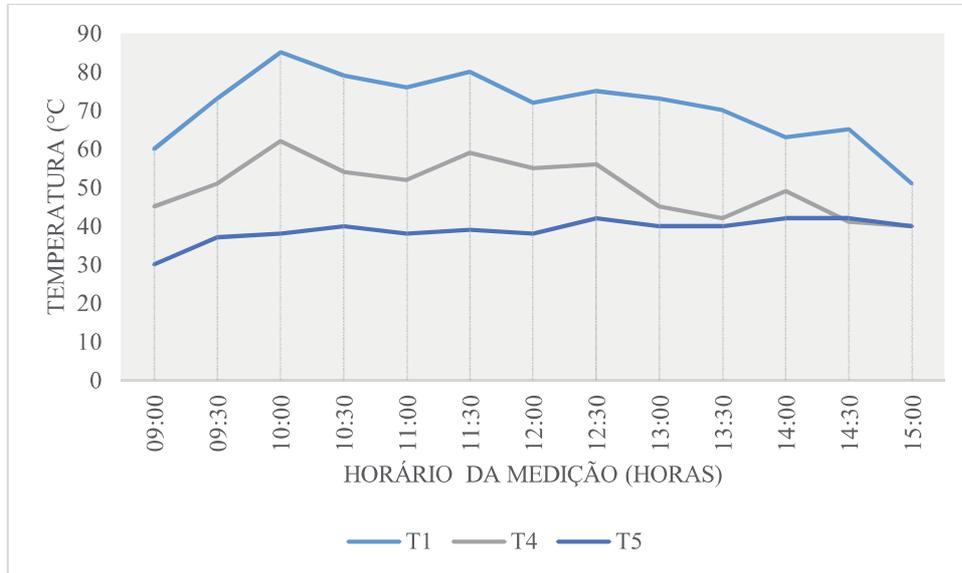
SOUSA, F. L.; **Dessalinização como fonte alternativa de água potável**. Norte Científico, v.1, n.1. 2006.

UFFIE, J. A.; BECKMAN, W. A. **Solar Engineering of Thermal Processes** 4ª edição, 2013. New York: John Wiley and Sons Frank P. Incropera, Fundamentos de transferência de calor e massa, Tradução de: Fundamentals of heat and mass transfer, 6th ed, Rio de Janeiro: LTC, 2012.

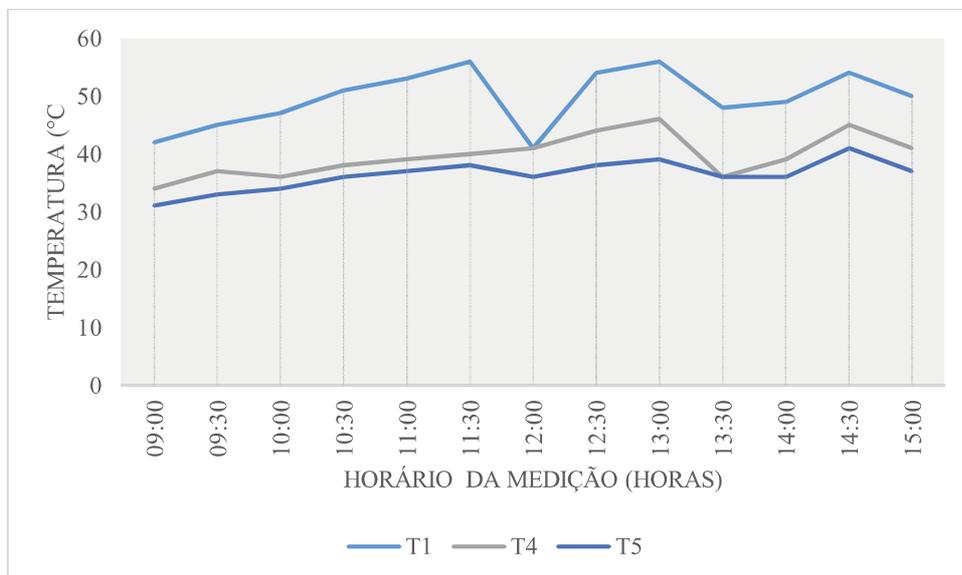
VON SPERLING, Marcos. **Princípios do Tratamento Biológico de Águas Residuárias – Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos**, v.01. Minas Gerais: ABES, 1995.

## ANEXOS

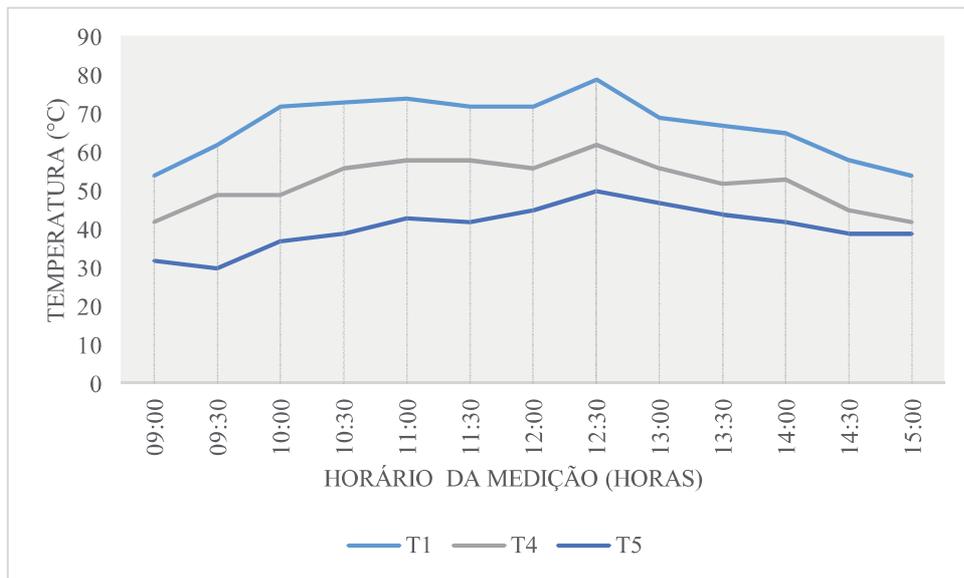
## Anexo 01 – Medições realizadas no dia 21/08/2017



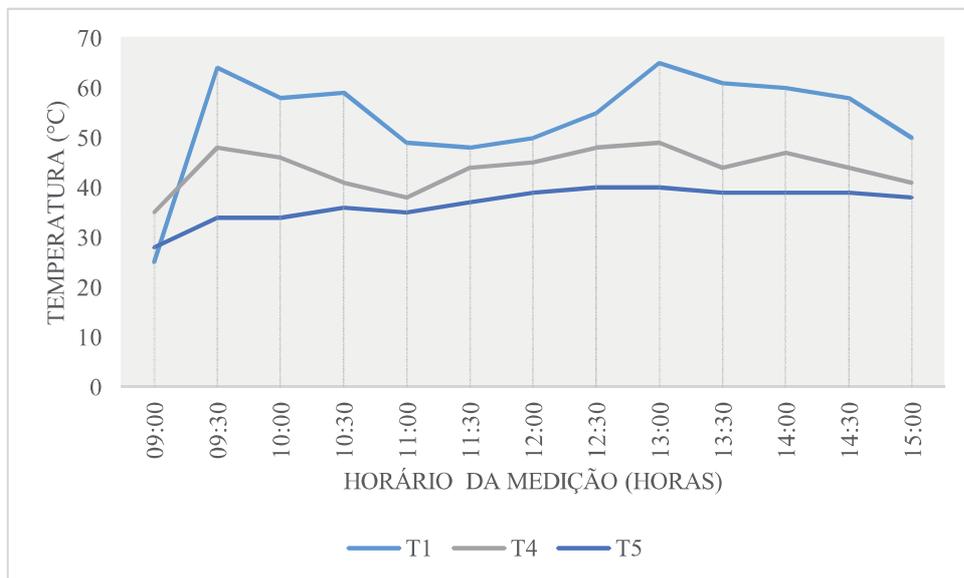
## Anexo 02 – Medições realizadas no dia 23/08/2017



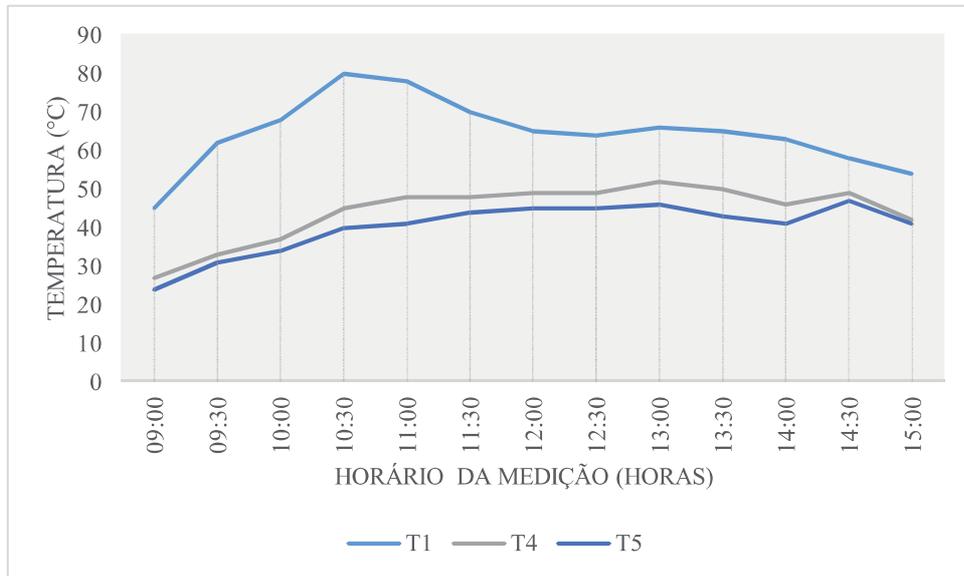
### Anexo 03 – Medições realizadas no dia 24/08/2017



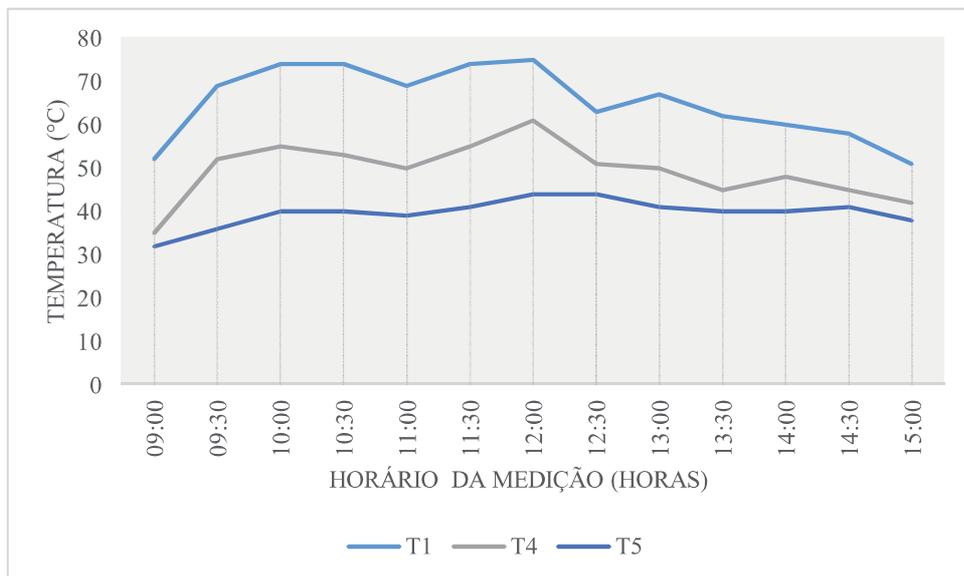
### Anexo 04 – Medições realizadas no dia 28/08/2017



### Anexo 05 – Medições realizadas no dia 29/08/2017



### Anexo 06 – Medições realizadas no dia 30/08/2017



**Anexo 07 – Medições realizadas no dia 31/08/2017**