



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

RAFAELA BARBOSA SANTOS

**DESEMPENHO E ANÁLISE TÉRMICA DE UM DESTILADOR SOLAR PARA
DESSALINIZAÇÃO DE ÁGUAS DE DIFERENTES SALINIDADES**

CAMPINA GRANDE - PB

2017

RAFAELA BARBOSA SANTOS

**DESEMPENHO E ANÁLISE TÉRMICA DE UM DESTILADOR SOLAR PARA
DESSALINIZAÇÃO DE ÁGUAS DE DIFERENTES SALINIDADES**

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

Orientador: Prof. Dr. CARLOS ANTÔNIO PEREIRA DE LIMA

CAMPINA GRANDE – PB

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.

S237d Santos, Rafaela Barbosa.
Desempenho e análise térmica de um destilador solar para
dessalinização de águas de diferentes salinidades [manuscrito]
: / Rafaela Barbosa Santos. - 2017.
51 p. : il. colorido.

Digitado.
Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em
Engenharia Sanitária e Ambiental) - Universidade Estadual da
Paraíba, Centro de Ciências e Tecnologia, 2017.
"Orientação : Prof. Dr. Carlos Antônio Pereira de Lima,
Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental - CCT."

1. Água potável. 2. Radiação solar. 3. Energia renovável.
4. Dessalinização.

21. ed. CDD 628.167

RAFAELA BARBOSA SANTOS

DESEMPENHO E ANÁLISE TÉRMICA DE UM DESTILADOR SOLAR PARA
DESSALINIZAÇÃO DE ÁGUAS DE DIFERENTES SALINIDADES

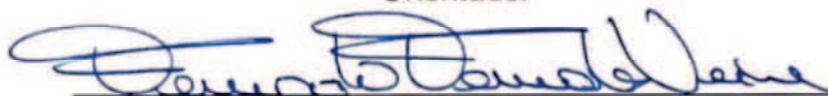
Monografia apresentada como Trabalho de Conclusão de Curso (TCC), à Coordenação do Curso de Engenharia Sanitária e Ambiental da Universidade Estadual da Paraíba como exigência para obtenção do título de Engenheiro Sanitarista e Ambiental.

Aprovada em: 12/12/2017.

Nota: 10,0 (DEZ, ZERO)



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



Prof. Dr. Fernando Fernandes Vieira/UEPB
Examinador



Profa. Dra. Keila Machado de Medeiros/UFCG
Examinadora

CAMPINA GRANDE
2017

Dedico este trabalho à minha família.

AGRADECIMENTOS

Agradeço ao meu orientador Prof. Dr. Carlos Antônio Pereira de Lima, pela sabedoria com que me guiou nesta trajetória.

A Secretaria do Curso, pela cooperação.

Gostaria de deixar registrado também, o meu reconhecimento à minha família, que muitas vezes acreditaram mais em mim do que eu mesma.

Aos meus colegas de sala e aos poucos amigos que fiz durante essa trajetória, em especial Andrezza Agra, Cinthia Sany, Jefferson de Oliveira, Pablo Cavaco e Yohanna Vilar. Espero que nossa amizade perdure por muito tempo.

Enfim, a todos os que por algum motivo contribuíram para a realização desta pesquisa.

RESUMO

A utilização da Ciência voltada para o desenvolvimento de tecnologias que atuem sobre os diversos fatores sociais, econômicos, políticos atrelados ao que é ambientalmente sustentável tem sido um grande alvo no meio acadêmico. São conhecidas as inúmeras dificuldades encontradas pela escassez total ou parcial de água ao redor do mundo, particularmente no Brasil, a região Nordeste é a que mais sofre deste mal. A dessalinização de água salgada ou salobra, levando a sua potabilização, é um recurso promissor e que vem como uma solução agregada a este grande problema. A destilação térmica é um processo que imita uma parte do ciclo hidrológico natural, onde é utilizada a energia solar, fonte de energia renovável, limpa e livre de custos. O presente trabalho realizou a aplicação do processo de dessalinização, via destilação solar com cobertura piramidal de vidro, com ênfase à dessalinização de dois tipos de água de alta salinidade, a amostra 1 foi retirada do mar da praia do Cabo Branco, na cidade de João Pessoa – PB, enquanto a amostra 2 pertencia à um poço semiartesiano, localizado no bairro do Catolé, na cidade de Campina Grande – PB. Para a amostra de água salina, o teor de Cloretos foi reduzido de 25.702 mg Cl⁻.L⁻¹ para até 20,35 mg Cl⁻.L⁻¹ e a Dureza total, conseguiu reduzir de 22.500 mg CaCO₃.L⁻¹ para até 19,33 mg CaCO₃.L⁻¹. Para a amostra de água salobra, o teor de Cloretos passou de 2177,33 mg Cl⁻.L⁻¹ para até 9,23 mg Cl⁻.L⁻¹ e a Dureza total foi de 691,66 mg CaCO₃.L⁻¹ para até 19 mg CaCO₃.L⁻¹, onde a Portaria de potabilidade estabelece os valores máximos permitidos para o teor de cloretos e dureza total de 250 mg Cl⁻.L⁻¹ e 500 mg CaCO₃.L⁻¹, respectivamente. Além disso, os resultados mais significativos foram os de Sódio, onde trabalhamos com faixas de 26.000 mg Na.L⁻¹ para água salina e 212 mg Na.L⁻¹ para água salobra, onde devido à eficácia de dessalinização térmica conseguiu-se atingir valor máximo de redução de 3 mg Na.L⁻¹ para água salina e 2 mg Na.L⁻¹ para a água salobra, em que a norma preconiza o valor máximo permitido de 200 mg Na.L⁻¹. Os protótipos conseguiram produzir até 3000 mL.m⁻².dia⁻¹ de água destilada em padrões de potabilidade exigidos pela Portaria de Potabilidade 2914/11 do Ministério da Saúde.

Palavras-chave: Água potável, radiação solar, energias renováveis.

ABSTRACT

The use of science focused on the development of technologies that act on the various social, economic and political factors linked to what is environmentally sustainable has been a major target in academia. The numerous difficulties encountered by total or partial water scarcity around the world, particularly in Brazil, are known, and the Northeast region suffers the most from this disease. The desalination of salt or brackish water, leading to its purification, is a promising resource that comes as an added solution to this great problem. Thermal distillation is a process that mimics a part of the natural hydrological cycle, where solar energy used as a renewable, clean and cost-free source of energy. The present work realized the application of the desalination process, via solar distillation with glass pyramidal cover, emphasis on the desalination of two types of high salinity water, sample 1 was taken from the Cabo Branco beach in the city of João Pessoa - PB, while sample 2 belonged to a semiartesian well, located in the Catolé neighborhood, in the city of Campina Grande - PB. For the saline water sample, the Chloride content reduced from 25.702 mg Cl·L⁻¹ to up to 20.35 mg Cl·L⁻¹ and the total Hardness was able to reduce from 22,500 mg CaCO₃·L⁻¹ to up to 19.33 mg CaCO₃·L⁻¹. For the brackish water sample, the Chloride content increased from 2177.33 mg Cl·L⁻¹ to up to 9.23 mg Cl·L⁻¹ and the Total Hardness was 691.66 mg CaCO₃·L⁻¹ for up to 19 mg CaCO₃·L⁻¹, where the Drinkability Ordinance establishes the maximum allowed values for chloride content and total hardness of 250 mg Cl·L⁻¹ and 500 mg CaCO₃·L⁻¹, respectively. However, the most significant results were those of Sodium, where we worked with 26,000 mg Na·L⁻¹ for saline water and 212 mg Na·L⁻¹ for brackish water, where due to the thermal desalination efficiency, it was possible to reach a maximum reduction value of 3 mg Na·L⁻¹ for saline water and 2 mg Na·L⁻¹ for brackish water, in which the standard recommends the maximum allowed value of 200 mg Na·L⁻¹. The prototypes were able to produce up to 3000 mL·m⁻² of distilled water in the potability standards required by the Potable Water Ordinance 2914/11 of the Ministry of Health.

Keywords: Potable water, solar radiation, renewable energies.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Polígono das secas.....	15
Figura 2 - Esquema de funcionamento do destilador solar	27
Figura 3 - Montagem da parte interna do dessalinizador do tipo pirâmide	30
Figura 4 - Montagem da parte externa do dessalinizador do tipo pirâmide	30
Figura 5 - Montagem completa do dessalinizador tipo pirâmide	31
Figura 6 - PT-100 (termopares) de ligas metálicas	32
Figura 7 - Radiometro SL 200 17957	32
Figura 8 - Gráfico da influência da temperatura na dessalinização da Amostra 1, relacionadas à água da praia do Cabo Branco, na cidade de João Pessoa, Paraíba	35
Figura 9 - Gráfico da influência da temperatura na dessalinização da Amostra 2, relacionadas à água do poço semiartesiano, na cidade de Campina Grande - Paraíba.....	35
Figura 10 - Gráfico referente à influência da radiação na dessalinização de água no dessalinizador	36

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Classificação das águas.....	19
Tabela 2: Parâmetros físico-químico e os métodos empregado	33
Tabela 3 - Produção de água dessalinizada, amostra 1, em mL/m ² .dia.....	36
Tabela 4 - Produção de água dessalinizada, amostra 2, em mL/m ² .dia.....	37
Tabela 5 - Análise dos parâmetros físico-químicos relacionadas às amostras de bruta	38
Tabela 6 - Análise dos parâmetros físico-químicos da amostra 1, relacionadas à água da praia do Cabo Branco, na cidade de João Pessoa, Paraíba, após dessalinização.....	38
Tabela 7 - Análise dos parâmetros físico-químicos da amostra 2, relacionadas à água do poço semiartesiano, na cidade de Campina Grande - Paraíba, após dessalinização.....	39
Tabela 8 - Padrão organoléptico de potabilidade da portaria 2914/11 do ministério da saúde	39

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	11
2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	13
2.1 Escassez de Água no Brasil.....	13
2.2 Energia Solar e Radiação Solar	16
2.2.1 Energia solar no Brasil	18
2.3 Dessalinização.....	20
2.3.1 Tipos de Destiladores	21
2.3.1.1 Processos Térmicos	22
2.3.1.2 Processos Através de Membrana	25
2.4 Destilador solar	27
3. METODOLOGIA	29
3.1 Materiais e métodos	29
3.1.2 Obtenção de Dados para Análise dos Parâmetros que Influenciam na Dessalinização.....	31
3.2 Obtenção dos Dados para Monitoramento da Qualidade da Água Obtida ..	33
4. RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	34
4.1 Obtenção de Dados para Análise dos parâmetros que influenciam na dessalinização	34
4.2 Monitoramento da Qualidade da Água Obtida.....	37
5. CONCLUSÕES	41
6. REFERÊNCIAS.....	42
APÊNDICE A – Figuras referentes aos gráficos demonstrativos de temperatura no destilador solar do tipo pirâmide	45

1. INTRODUÇÃO

Para Sarlet; Fensterseifer (2011), o direito fundamental e humano à água potável e ao saneamento básico possui papel primordial no gozo dos demais direitos humanos (liberais, social e ecológicos). Quando asseguramos o acesso à água potável, concomitantemente asseguramos o acesso à saúde, garantindo a mesma como condição essencial à dignidade da pessoa humana.

Segundo o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), o Brasil possui atualmente uma população de 207,7 milhões de habitantes, apesar do crescimento populacional brasileiro ter desacelerado com o decorrer dos anos, o que gera preocupação quanto a distribuição dos recursos hídricos disponíveis para todos os cidadãos. O Censo Demográfico 2010 (IBGE) afirma que 98% da população brasileira tem acesso à água, porém 17% dos domicílios não desfrutam de água proveniente da rede de abastecimento.

Comparando entre zona urbana e rural, 99% e 84%, respectivamente, possuem acesso à água. Porém, 72,2% da zona rural obtém a água por meio de poços, cacimbas, açudes e barreiros. Este é um dado inquietante, visto que a captação da água por estas vertentes muitas vezes ocorre de maneira precária e suscetível a propagação de doenças. A Organização Mundial da Saúde (OMS) estima que 25 milhões de pessoas morrem todos os anos devido a doenças transmitidas pela água, sendo mais atingidas as crianças menores de cinco anos.

Temos uma situação ainda mais crítica quando observamos o semiárido brasileiro, onde 70% do seu subsolo é formado por rochas cristalinas e rasas, o que impede a formação de mananciais perenes e saliniza a água subterrânea existente. Atrelado ao déficit de precipitações e escoamento superficial, quando comparados ao restante do país, e elevadas taxas de evaporação.

A utilização da Ciência voltada para o desenvolvimento de tecnologias que atuam sobre os diversos fatores sociais, econômicos, políticos atrelados ao que é ambientalmente sustentável tem sido um grande alvo no meio acadêmico para que sejam soluções para a falta de recursos hídricos enfrentadas pela região Nordeste do Brasil.

A Dessalinização é um processo físico-químico em que ocorre a retirada dos sais da água inicialmente salgada, tornando-a potável. Este processo não é obtido

pelos processos convencionais de tratamento de água como floculação, decantação e filtração, pois os sais dissolvidos na água estão intimamente ligados às moléculas de água.

Segundo Pereira Jr. (2005), a técnica de dessalinização já vem sendo bastante difundida na região dada a dificuldade da realidade enfrentada, geralmente esta é empregada em três situações: localidades situadas no litoral ou ilhas áridas em que se faz possível a transformação de água do mar em água potável, localidade onde a água obtida de poços profundos é salobra e imprópria para consumo e em navios, submarinos, plataformas de petróleo e outros equipamentos que necessitam de água potável para suas tripulações.

No presente trabalho foi visto que a implementação de uma unidade de dessalinização via Destilação Solar poderia ser de grande valia para pequenas comunidades, que quando aliadas ao manuseio correto, consciente e sustentável pode vir a ser uma solução para o problema da falta de água enfrentada pelos nordestinos.

Teve-se como objetivos gerais a realização do estudo hidrodinâmico e térmico de um sistema de dessalinização e purificação de água utilizando energia solar, descrevendo os principais elementos que compõem o sistema realizando o desenvolvimento do design e layout do sistema de dessalinização e purificação de água, bem como sua montagem, além de testes quanto a sua eficiência e capacidade, monitoramento dos parâmetros que influenciam para o sucesso do sistema e efetuando o levantamento das legislações, estímulos e incentivos oferecidos no Brasil para produção de água potável via energia solar, visando a conscientização e interesse da população para a utilização deste recurso.

2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 Escassez de Água no Brasil

De acordo com o dicionário Priberam (2013), água é um líquido natural, transparente, incolor, geralmente insípido e inodoro, indispensável para a sobrevivência da maior parte dos seres vivos.

Não há dúvidas da importância da água na nossa vida e da vitalidade que a mesma traz, já que esta é o principal constituinte de todos os organismos vivos. Segundo a Política Nacional dos Recursos Hídricos, a água é um recurso natural limitado, de domínio público, dotado de valor econômico, devendo em sua gestão descentralizada proporcionar o uso múltiplo das águas contando com a participação do poder público, dos usuários e das comunidades (BRASIL, 1997).

Partindo desse pressuposto temos que todos têm direito ao seu uso, porém quando realizada em tantas escalas diferentes e levando em consideração suas desproporcionalidades acaba nos levando à diminuição de sua quantidade e qualidade.

Para exemplificar estas desproporcionalidades, o Ministério do Meio Ambiente (MMA) traz que cada pessoa gasta cerca de 40 litros de água por dia dentre suas necessidades básicas como beber, tomar banho, escovar os dentes, lavar as mãos, dentre outras atividades, e enquanto um europeu consome de 140 a 200 litros de água um norte-americano gasta entre 200 e 250 litros por dia. Porém, há regiões como algumas áreas da África em que são consumidos apenas 15 litros por dia de água por habitante. Tratando da realidade brasileira, o sertão nordestino é uma área em que se encontra grandes dificuldades de disponibilidade hídrica, onde podemos encontrar realidades onde um habitante vive com 10 litros de água por dia.

O Ministério do Meio Ambiente apresenta que, cerca de 97% da água disposta no planeta Terra é proveniente dos oceanos, enquanto 3% é água doce e apenas 0,7% deste volume é formado por água potável, pronta para ser consumida. No território brasileiro temos 12% da água doce de todo o planeta, já que contamos com a contribuição da bacia Amazônica, mundialmente a mais extensa e com 60% localizada no Brasil.

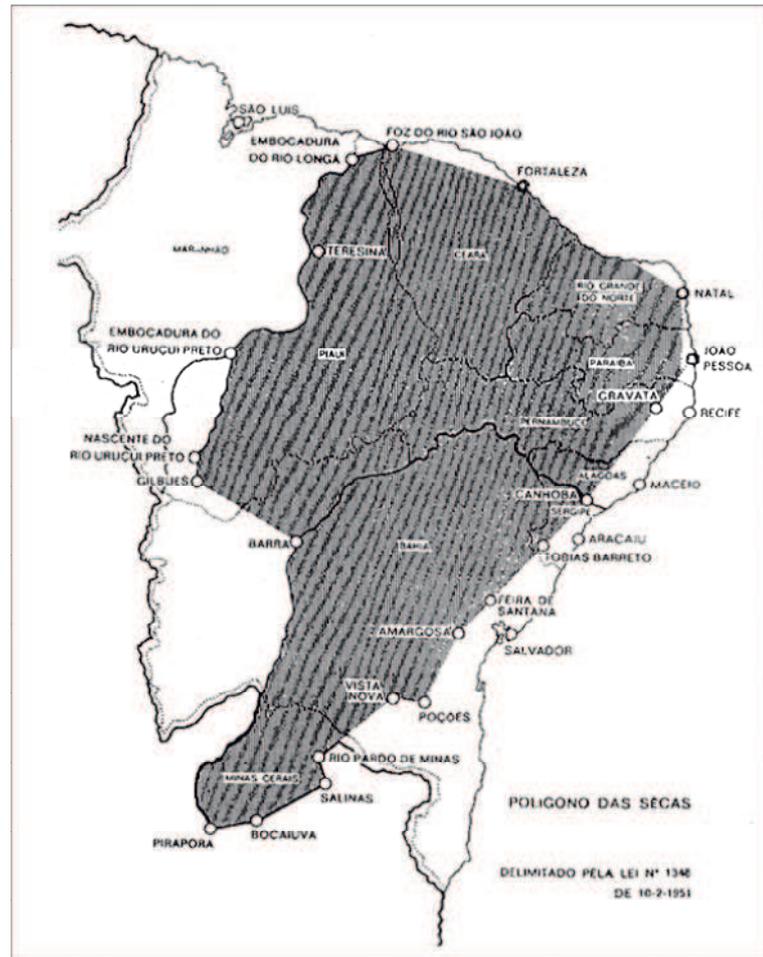
Vale salientar a necessidade do entendimento da sociedade de que a água não é um recurso inesgotável e isto, infelizmente, só é tido como verdade quando sentido na pele o sofrimento da falta que faz. De acordo com Rebouças (1997), quando as secas passam a agredir alguém ou algum objeto o evento deixa de ser meramente um fenômeno físico para um fator social, devendo então integrar o conceito de desenvolvimento sustentável, onde se trata do processo no qual há a integração entre o crescimento econômico, a conservação ambiental, a qualidade de vida e a equidade social.

Com isso, a disponibilidade hídrica deixa de ser uma simples interação entre oferta e demanda e acaba por ser uma problemática social devido ao agravamento dos efeitos da seca estarem diretamente ligados ao comportamento humano, exemplos disso são: o desmatamento, ocupação das várzeas dos rios, impermeabilização do solo do meio urbano, lançamento do esgoto não-tratado nos rios e desperdício da água disponível.

A região nordeste já é predisposta a sofrer com este evento, diante de suas condições climáticas e localização geográfica, porém aliadas a estes fatores ainda temos a estimulação da urbanização e industrialização sem o mínimo de gerenciamento das ações e da água em particular, em áreas que já sofrem com a escassez de água. Além disso, Rebouças (1997) ressalta a qualidade degradada dos mananciais utilizados pelo lançamento inadequado dos esgotos domésticos e industriais, uso e ocupação inadequada do solo e fatores que possam vir a impactar ainda mais o meio ambiente.

A região Nordeste é a que enfrenta maiores índices de escassez de água, mais precisamente em uma área denominada de Polígono das Secas, Figura 1, reconhecida pela Lei 175/36, este envolve parte de vários estados brasileiros como: Alagoas, Bahia, Ceará, Sergipe, Paraíba, Pernambuco, Piauí, Rio Grande do Norte e parte do norte de Minas Gerais. Esta escassez é provocada por fatores puramente naturais, basicamente pelo tipo de massa de ar aliado ao relevo, o que impede que as massas de ar quente e úmidas ajam sobre o local causando chuvas. (REBOUÇAS,1997)

Figura 1 - Polígono das secas



Fonte: Rebouças (1997)

Devemos estudar maneiras de usar as características provenientes da região a nosso favor, com isso, uma das soluções que podem ser trabalhadas é a exploração da energia solar como fonte renovável, destacando a sua utilização para o processo de desinfecção da água, juntamente com a sua dessalinização, já que a maioria das águas encontradas na região Nordeste são salobras. As técnicas de dessalinização e desinfecção solar das águas podem ser utilizadas conjuntamente com baixo custo, fácil aplicação, fácil acesso aos usuários, proporcionando benefícios à saúde e melhorando a qualidade de vida das famílias dos camponeses carentes em recursos hídricos (MARINHO et al., 2012).

2.2 Energia Solar e Radiação Solar

Segundo Bezerra (1982), a energia solar é uma fonte não poluente, podendo ser utilizada de forma concentrada. Nestas três últimas décadas a energia solar, como uma fonte inesgotável de energia das mais promissoras, têm sido um tema bastante comentado com possibilidades de utilização as mais diversas, notadamente nos países tropicais e subtropicais como é o caso do Brasil e outras regiões do continente africano, onde a radiação solar se faz presente em quantidade e qualidade as melhores existentes em todo o mundo.

Soares (2004) traz o levantamento histórico da contribuição da energia solar na história da humanidade feito por este autor. Onde pode ser constatado que os primeiros coletores solares foram construídos no ano 212 aC por Arquimedes, físico, matemático e prolífico inventor, a quem se deu a primeira aplicação bélica da energia solar em ataques a frota romana com o emprego de um conjunto de espelhos, onde dirigiu-se a radiação solar incidente em direção às velas dos navios romanos.

No ano de 1950, o cirurgião francês Ambroise Paré construiu um alambique solar. Em 1615, o engenheiro francês Salomon de Caux construiu uma caldeira solar, primeira conversão noticiada de energia solar em energia mecânica.

No período entre 1854 e 1873 foram realizadas experiências com o objetivo de realizar produção de vapor a partir da energia solar, onde C. Gunter montou um sistema de espelhos de forma parabólica cuja radiação solar incidente dava origem a um foco linear no qual se encontrava uma caldeira rudimentar formada por um tubo com água. Esse sistema de espelhos se deslocava para acompanhar o movimento aparente do sol a fim de manter a posição do foco.

Auguste B. Mouchot construiu diversas caldeiras solares entre os anos de 1860 e 1878, dando destaque aos anos de: 1866, em que apresentou em uma exposição em Paris, a primeira máquina a vapor alimentada por tais caldeiras; 1875, em que foi aplicada a energia solar ao bombeamento de água. Mouchot ainda foi o pioneiro em refrigeração a partir do emprego da energia solar, onde o mesmo aplicou o ciclo de absorção água-amônia descoberto por Michael Faraday em 1828 na Royal Institution de Londres.

De 1870 a 1884, um engenheiro sueco, John Ericson, contribuiu na construção de engenhos solares, alguns a vapor e outros a ar quente.

Entre 1901 e 1911 surgiram as primeiras aplicações em grande escala da energia solar. Em 1901, Aubrey G. Eneas, Pasadena – Califórnia, desenvolveu sistemas solares para bombeamento de água. Entre 1906 e 1911, Frank Shuman, construiu painéis solares utilizando coletores planos.

Em 1911 foi criada a empresa Sun Power Company com sede em Londres, e em 1913 foi inaugurado o primeiro grande sistema solar de irrigação que funcionou as margens do rio Nilo, em Meadi.

Os semicondutores vieram a ser descobertos na década de 50, fato novo e importante no ramo da energia solar. Esses semicondutores tinham como propriedade a capacidade de geração de eletricidade quando expostos à luz solar, principalmente.

Na Austrália, entre 1973 e 1975, passou-se de 8.400 metros quadrados de coletores planos instalados para fornecer 25.300 metros quadrados de água residencial aquecida. Enquanto o Japão bate recorde de cinco milhões de sistemas instalados com a mesma finalidade.

Delyannis e Belessiotis (1996), mostram que nas Ilhas do Pacífico a energia solar vem sendo utilizada de duas maneiras, para o aquecimento solar da água e para sistemas fotovoltaicos solares, gerando eletricidade em áreas rurais e remotas. O aquecimento solar da água foi introduzido por volta dos anos 80 e, desde então, foi bem quisto, espalhando-se pela região.

Em Israel, aproximadamente 70% das residências possuem coletores solares, outros países com destaque na utilização da energia solar são os Estados Unidos, Alemanha, Japão e Indonésia. No Brasil, a utilização de energia solar está aumentando de forma significativa, principalmente o coletor solar destinado para aquecimento da água. A tecnologia do aquecedor solar já vem sendo usada no Brasil desde a década de 60, época em que surgiram as primeiras pesquisas. Em 1973, empresas passaram a utilizá-la comercialmente (ABRAVA, 2001).

Lopes (2013) afirma que a radiação solar recebida da atmosfera é denominada de radiação solar extraterrestre e seu estudo vem sendo amplamente

difundido. Os valores da intensidade da radiação solar nos anos 50 eram apenas estimados, enquanto nos anos 70 foi possível realizar a medição da intensidade da radiação com a evolução dos balões atmosféricos e aeronaves espaciais.

O mesmo ainda cita que muitos experimentos foram realizados com diferentes instrumentos de medida. Nos anos 80, passou-se a recomendar o valor de $1.367 \text{ W/m}^2 + 1\%$, reconhecido pelo “The World Radiation Center” (WRC). Este número, chamado de Constante Solar (Gsc), é a energia recebida do sol, por unidade de tempo, sobre uma área de superfície perpendicular à direção de propagação da radiação solar a uma distância média Terra-Sol de $1,495 \times 10^{11} \text{ m}$ (DUFFIE, BECKMAN, 1991).

Para Lopes (2013), a radiação solar incidente na superfície da Terra pode ser dividida em duas partes distintas: a radiação solar direta, a parcela de radiação que não é espalhada pela atmosfera; e a radiação solar difusa que é a parcela de radiação que sofre modificações em seu trajeto ao atravessar a atmosfera. A radiação global é dada pela soma dessas duas parcelas. As proporções de cada uma delas devem variar no decorrer do dia, dependendo da altura do sol e das quantidades de água, gás carbônico e poeira contidas na atmosfera.

Segundo Blanco et. al. (1999), a aplicação mais bem-sucedida da aplicação fotoquímica dos fótons solares diz respeito à descontaminação das águas contaminadas. Mostrando que esta energia renovável, o sol, é uma alternativa adequada para solução de problemas ambientais.

2.2.1 Energia solar no Brasil

Segundo Sáles (2008), a energia solar como o próprio nome já diz, é uma energia que vem do sol, sendo irradiada continuamente por este astro. Para se ter uma ideia, em apenas um segundo, o sol produz mais energia (internamente) que toda energia usada pela humanidade desde o começo dos tempos. Esta energia pode ser aproveitada de diversas maneiras. Além das formas mais simples como secagem de produtos e aquecimento de água (energia térmica solar) pode-se utilizá-la também para produzir eletricidade (eletricidade solar ou energia fotovoltaica).

Conforme dados da ANEEL (2010), no Brasil, a utilização da energia solar para aquecimento da água é mais encontrada nas regiões Sul e Sudeste, devido as características climáticas, e a geração fotovoltaica através da energia solar é mais encontrado nas regiões Norte e Nordeste, em comunidades isoladas da rede de energia elétrica.

Dentre muitos aspectos apresentados pela Região Nordeste o que mais se destaca é a seca, causada pela escassez de chuvas, proporcionando pobreza e fome. O Sertão nordestino apresenta as menores incidências de chuvas, isso em âmbito nacional. A restrita presença de chuva nessa área é causada basicamente pelo tipo de massa de ar aliado ao relevo, esse muitas vezes impede que massas de ar quentes e úmidas ajam sobre o local causando chuvas.

Segundo o Censo 2000 o total de pessoas sem energia elétrica dos estados que fazem parte do semiárido nordestino (excluindo o estado do Maranhão) é de cerca de seis milhões de pessoas. Atingindo com maior intensidade a zona rural que de acordo com o IBGE, o País possui 29,4% dos domicílios rurais sem os serviços de energia elétrica, contra 2,6% da zona urbana.

Além disso, em Pernambuco, Paraíba, Rio Grande do Norte, Ceará, norte da Bahia e leste do Piauí, nas áreas de maior aridez, grande parte dos solos estão sobre o embasamento cristalino. Nessas áreas os solos geralmente são rasos (cerca de 0,60 m), com baixa capacidade de infiltração e elevado escoamento superficial. Esta condição geológica, associada à elevada taxa de evaporação e a concentração das chuvas num curto espaço de tempo ocasiona que quase todos os rios e riachos nordestinos sejam intermitentes, escoando, em média, apenas, durante três meses por ano (BRASIL, 2012).

Ainda se tratando do Nordeste, no Brasil, grande parte do Sertão Nordestino, a pouca água existente é salobra. A tabela 1 mostra a classificação das águas:

Tabela 1 - Classificação das águas

Águas Doces	Águas Salobras	Águas Salinas
Águas com salinidade igual ou inferior a 0,50 ‰	Águas com salinidade entre 0,50 ‰ e 30 ‰	Águas com salinidade igual ou superior a 30 ‰

Fonte: Modificado de CONAMA, 1986

O quadro é particularmente grave nas áreas rurais, onde o percentual de domicílios particulares não abastecidos com água da rede geral era de 82,2%, enquanto que nas áreas urbanas era de 10,9%, conforme dados do Censo 2000. O Nordeste urbano (14,7%) era a região com o segundo pior percentual, atrás apenas do Norte (37%). Já no meio rural apenas 18,3% da população tinha acesso à rede geral de abastecimento, situação pior no Ceará (8%) e no estado da Paraíba (10,3%).

A energia solar aliada à destilação é uma forma promissora de se obter água potável. Essa operação imita, em pequena escala, o ciclo natural da água, evaporando a água poluída e posteriormente condensando-a obtendo ao final do processo água destilada. Embora seja uma tecnologia simples, a purificação de água através da destilação solar é bastante eficaz, produzindo água com alto grau de pureza, superior às águas comerciais engarrafadas (FOSTER & AMOS, 2005).

2.3 Dessalinização

Destefani et al. (2015) fazem um amplo levantamento histórico sobre a dessalinização em que segue: Aristóteles, preocupando-se com o problema da qualidade da água, há 2.300 anos, costumava dizer a seus alunos que "a água salgada, quando passa a vapor se torna doce e o vapor não produz água salgada depois que se condensa".

Os alquimistas árabes já usavam a destilação solar para produzir água potável no século XVI. Em 1593, o navegador "Sir" Richard Hawkins já usava a destilação solar para obter água potável da água do mar em suas viagens aos mares do sul.

O primeiro destilador solar moderno foi construído em Las Salinas (Chile) em 1872, por Charles Wilson. Ele consistia de 64 tanques de água (num total de 4.459 m²) feitos de madeira pintada de negro com coberturas inclinadas, de vidro. Essa instalação foi usada para suprir 20 mil litros por dia de água potável para animais que trabalhavam nas minas. Após a abertura da região pela chegada da ferrovia, a

instalação foi sendo deteriorada até o fim de sua operação em 1912, 40 anos após sua construção.

Países mais desenvolvidos tecnicamente têm investido maciçamente em pesquisas de dessalinização, destacando-se Inglaterra, Estados Unidos da América, França, Israel, Índia, Japão e Alemanha. Atualmente existem 7.500 usinas em operação no Golfo Pérsico, Espanha, Malta, Austrália e Caribe convertendo 4,8 bilhões de metros cúbicos de água salgada em água doce, por ano. O custo, ainda alto, está em torno de US\$ 2,00 o metro cúbico. As grandes usinas, semelhantes às refinarias de petróleo, encontram-se no Kuwait, Curaçao, Aruba, Guernsey e Gibraltar, abastecendo-os totalmente com água doce retirada do mar.

No Brasil, as primeiras experiências com destilação solar foram realizadas em 1970, sob os auspícios do Instituto Tecnológico da Aeronáutica – ITA. Em 1987 a Petrobrás iniciou o seu programa de dessalinização de água do mar para atender às suas plataformas marítimas, usando o processo da osmose reversa, tendo esse processo sido usado pioneiramente, aqui no Brasil, em terras baianas, para dessalinizar água salobra nos povoados de Olho D'Água das Moças, no município de Feira de Santana, e Malhador, no município de Ipiara. O custo da dessalinização de água do mar vai se tornando cada vez mais reduzido em seus vários processos.

A água do mar não é a única muito 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. (UNIAGUA, 2003).

2.3.1 Tipos de Destiladores

No Brasil, segundo SOUZA et. al (2006), o emprego da dessalinização ainda é pouco divulgado, porém a prática da osmose reversa é bastante empregada no Nordeste brasileiro a fim de dessalinizar águas salobras oriundas de poços que abastecem as pequenas comunidades.

Estes autores trazem ainda os principais processos de dessalinização junto aos seus princípios de funcionamento, que serão relatados a seguir:

- i. 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
 - Congelamento

- ii. Processos Através de Membranas:
 - Osmose Reserva
 - Eletrodialise

2.3.1.1 Processos Térmicos

a) Destilador “Flash” – MSF

No processo MSF, a água marinha é aquecida em um recipiente, geralmente para aquecê-la é utilizado o vapor condensado em uma série de tubos que passam através do recipiente. A água marinha então aquecida flui para outro recipiente, esse é denominado de estágio, onde a pressão possibilita que a água ferva imediatamente. A introdução brusca da água aquecida faz com que a mesma ferva rapidamente, causando uma quase explosão ou transforma-se rapidamente em vapor. Comumente, uma pequena parcela apenas se tornará vapor d'água, a depender da pressão que for mantida no determinado estágio a ebulição continuará até o ponto em que a água irá esfriar.

Esse vapor, gerado pelo “flashing”, será convertido em água doce através da condensação em tubos de troca de calor que correm através de cada estágio. Os tubos resfriados através da entrada de água que vai para o aquecedor de água salgada. Isto aquece a água de forma que a quantidade de energia térmica necessária no aquecedor para aumentar a temperatura da água salgada seja diminuída.

b) Destilador de Múltiplo Efeito – MED

Assim como no processo MSF, este acontece em uma série de recipientes ou efeitos, onde é utilizado o princípio da redução de pressão interna em vários efeitos. Em uma planta MED, a água marinha entra no primeiro efeito e sua temperatura é elevada até a ebulição após ser pré-aquecida nos tubos. A água marinha é vaporizada sobre a superfície dos tubos evaporadores numa película fina para que a ebulição ocorra e a evaporação seja rápida. Os tubos são aquecidos pelo vapor através de um aquecedor que é condensado durante o processo de transferência de calor. O condensado do vapor é reciclado para ser reutilizado. Apenas uma pequena parte da água marinha aplicada no primeiro efeito é evaporada. A água remanescente é levada para o segundo efeito, onde é aplicada novamente à uma série de tubos. Os tubos desse efeito são aquecidos pelos vapores criados no primeiro efeito. Esse vapor é condensado formando o produto água doce, enquanto é liberado calor para a evaporação de uma porção de água marinha remanescente no próximo efeito. Isso se dá diante vários efeitos, onde nas grandes plantas podemos encontrar, normalmente, entre 8 e 16 efeitos.

c) Destilador por Compressão de Vapor – VC

Geralmente é utilizada para unidades de dessalinização em larga e média escala. O calor para esta evaporação se dá muito mais pela compressão do vapor do que pela troca direta de calor a partir do vapor produzido.

Nesse método a vantagem da redução de temperatura do ponto de ebulição está na redução da pressão. São utilizados dois artifícios para condensar vapor e produzir calor suficiente para promover a evaporação da água do mar: um compressor mecânico ou um jato de vapor. O primeiro é normalmente operado eletricamente, onde é permitido o uso exclusivo da energia elétrica para produzir água através da destilação. Já no tipo jato de vapor, um orifício no mesmo cria e extrai vapor de água do recipiente principal, criando uma pressão ambiente mais

baixa nesse. O jato de vapor comprime o vapor de água extraído. Esta mistura é condensada nas paredes do tubo para fornecer energia (calor de condensação) para evaporar a água marinha que é aplicada no lado externo das paredes do tubo no recipiente.

d) Destilador Solar

Esse foi o método escolhido para a realização do referido trabalho. Estes dispositivos imitam uma parte do ciclo hidrológico natural, no qual a água salina é aquecida pelos raios solares de forma a propiciar a produção de vapor d'água (umidificação). O vapor de água é então condensado em uma superfície fria e o condensado coletado como água produto.

O destilador solar é similar à estufa solar de plantas e vegetais, no qual a água é aquecida num reservatório existente sobre o piso, ocupando toda área do piso. A água condensa na superfície interna da cobertura inclinada de vidro que cobre o reservatório.

A energia térmica é livre de custos e é necessária a manutenção e operacionalização cuidadosa para prevenção da formação de crostas causada pela secagem do reservatório.

e) Congelamento

No congelamento direto, a água é pré-resfriada por troca de calor e entra numa torre de congelamento ou "freezer", onde a pressão é mantida a 400 N/m² (0,004 atm), aproximadamente. Sob tal pressão, a água salina entra em ebulição e libera vapor. O calor da evaporação é removido da água resfriada e dá início à formação dos cristais de gelo. O líquido residual é o resíduo salino concentrado, que volta a temperatura ambiente e é afastado do processo. Para controle de fluidez do rejeito uma parcela retorna ao "freezer".

Os cristais de gelo são raspados na direção do derretedor, que mantém a mesma pressão do “freezer” para impedir a entrada de ar e facilitar a entrada dos cristais. No recipiente de derretimento, o gelo é distribuído e entra em contato com o vapor d’água do “freezer” que é condensado, derretendo-o. A água produzida está a uma temperatura próxima do ponto de congelamento, o que é aproveitado, bombeando-a para armazenamento, através de trocadores de calor que vão resfriar a água de alimentação que está entrando no processo.

Para manter o equilíbrio térmico do sistema, é preciso compensar as entradas de calor, derivadas das seguintes fontes: energia aplicada ao compressor principal, trabalho de bombeamento e penetração de calor da atmosfera. Para isolar o sistema dessas entradas de calor, em geral é usado um sistema convencional de refrigeração, que remove calor da água de alimentação.

2.3.1.2 Processos Através de Membrana

a) Osmose Reversa – RO

Na osmose reversa, a água escoar no sentido inverso ao da osmose, devido à aplicação de pressão à solução mais concentrada. Portanto, a água passa pela membrana no sentido da solução mais diluída, produzindo água doce, deixando para trás um resíduo fortemente concentrado e sob pressão, obviamente superior à pressão osmótica e cujo valor depende da diferença entre as concentrações.

Na prática, a água salina é bombeada para um recipiente fechado onde é pressurizada contra a membrana. Como uma parte da água passa através da membrana, a água remanescente aumenta a concentração de sal. Ao mesmo tempo, uma parte desta água é escoada sem passar através da membrana.

Sem este escoamento controlado, a água pressurizada continuaria a aumentar a concentração de sal, criando problemas como precipitação de sais supersaturados e aumento da pressão osmótica através das membranas. A bomba de alta pressão fornece a pressão necessária para permitir à água passar pela membrana e ter os sais rejeitados.

A membrana deve ser capaz de suportar a queda de toda a pressão através dela. As membranas semipermeáveis são frágeis e variam em sua capacidade de passar água doce e rejeitar a passagem de sais. Nenhuma membrana é perfeita na sua capacidade de rejeição de sais, de forma que uma pequena quantidade de sais passa através da membrana e aparece na água produto.

b) Eletrodialise

Os constituintes iônicos desenvolvidos em uma solução salina tais como Na^+ , Ca^{2+} e CO_3^{2-} estão dispersos na água, neutralizando eficazmente suas cargas individuais. Quando são colocados eletrodos ligados a uma fonte externa de corrente contínua como uma bateria e um contêiner de água salgada, a corrente elétrica é transportada através da solução, com os íons tendendo a migrar para o eletrodo de carga oposta.

Para estes fenômenos dessalinizarem a água, as membranas deverão permitir a passagem de cátions ou ânions (mas não de ambas), sendo colocadas entre um par de eletrodos. Estas membranas são arrumadas alternadamente com uma membrana seletiva de ânions seguida de uma membrana seletiva de cátions. Uma chapa espaçadora que permite à água fluir pela face da membrana é colocada entre cada par de membranas.

Um espaçador estabelece um canal que transporta água como produto, enquanto o próximo carrega água salobra. Como os eletrodos estão carregados e a água salina flui ao longo do espaçador em ângulos retos para os eletrodos, os ânions na água são atraídos e desviados na direção dos eletrodos positivos. Isto dilui o conteúdo de sal da água no canal. Os ânions passam através da membrana seletiva de ânions, mas não podem passar além da membrana seletiva de cátions, que bloqueia seu trajeto e prende o ânion na água salgada. De forma semelhante, os cátions sob a influência do eletrodo negativo movem-se na direção oposta através da membrana seletiva de cátion para o canal de concentrado no outro lado. Aqui os cátions são aprisionados porque a próxima membrana é seletiva de ânions e evita mais movimento na direção do eletrodo.

Através desta combinação, as soluções concentradas e diluídas são criadas nos espaços entre as membranas alternantes. Estes espaços, ligados pelas duas membranas (um aniônico e outra catiônica) são chamadas células.

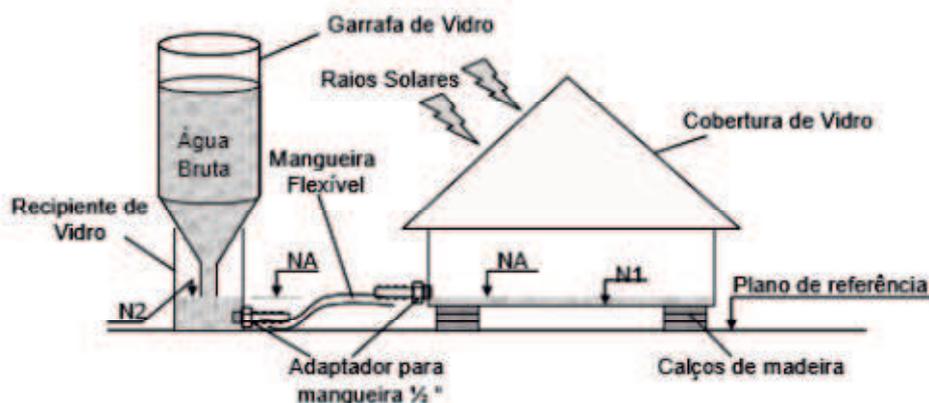
A unidade básica de eletrodialise consiste de vários pares (centenas) de células juntas a eletrodos na parte externa e é referida como um perfilado de membranas. A água passa simultaneamente em caminhos paralelos através de todas as células para proporcionar um fluxo contínuo de água dessalinizada e água salgada para emergir no perfilado.

Buros (1980) mostra que não existe um melhor método para a dessalinização de água salina. A destilação, geralmente, é mais utilizada para dessalinizar água do mar, enquanto que a eletrodialise é utilizada para dessalinizar água salobra. O processo de osmose reversa é comumente utilizando em ambas.

2.4 Destilador solar

Como já explicitado anteriormente, o processo de destilação solar é dado no aquecimento da água salobra ou salgada por raios solares, propiciando a formação do vapor d'água que será condensado em uma superfície fria e o condensado recolhido como água-produto.

Figura 2 - Esquema de funcionamento do destilador solar



Fonte: Soares, 2004

A destilação solar simples, também conhecida por “humidificação”, é trazida por Garcias (1985) como o processo mais indicado para ser utilizado em locais de difícil operação e manutenção. Em que o processo consiste em uma estufa com cobertura de vidro, onde uma pequena lamina de água salina será dessalinizada. Os raios solares atravessam o vidro, aquecendo a água causando sua evaporação.

Cometta (1977) traz que esse tipo de destilador oferece a vantagem de que a quantidade de água-produto é maior quando houver uma maior insolação. A produtividade tende a seguir a demanda. Fato importante para o aproveitamento econômico das instalações. Vale acrescentar que estudos feitos por Tleimat (1979) afirmam que este rendimento está atrelado ainda a configuração do destilador, uma vez que o dispositivo é construído e instalado ele tem uma configuração permanente.

O destilador solar da cobertura inclinada é uma unidade em que está dividida em estreitos vãos paralelos, cada uma delas com uma diferente altura. Neste tipo de construção, pode-se obter maiores rendimentos que com o tipo tanque (TLEIMAT, 1979).

3. METODOLOGIA

3.1 Materiais e métodos

O sistema foi instalado nas dependências do Centro de Ciências e Tecnologias da Universidade Estadual da Paraíba, na cidade de Campina Grande – PB, a uma latitude de $-0,7^{\circ} 13' 50''$, longitude de $-35^{\circ} 52' 52''$ e altitude de 551 m.

Foram estudadas duas amostras de diferentes salinidades a fim de nos proporcionar um comparativo entre a capacidade do dessalinizador para os diferentes tipos de águas, verificando sua eficiência. A amostra 1 foi retirada do mar da praia do Cabo Branco, na cidade de João Pessoa – PB, enquanto a amostra 2 pertencia à um poço semiartesiano localizado no bairro do Catolé, na cidade de Campina Grande – PB.

O dessalinizador do tipo pirâmide, Figuras 3 e 4, possui uma área de $0,25 \text{ m}^2$, $50 \text{ cm} \times 50 \text{ cm}$, a bacia é construída em alumínio a fim de promover a eficiência das paredes internas e de seu fundo além de facilitar a troca térmica do calor absorvido, envolto por uma camada de isopor e seu interior foi pintado com tinta preta, para que o potencial de aquecimento da água fosse reforçado.

Para a confecção da cobertura e suporte do destilador foi escolhido o vidro, pois este gera maior efeito estufa que o plástico, alta transmissão da radiação solar, baixa transmissão da radiação de baixa temperatura, umidade da água e alta estabilidade de suas propriedades mesmo após muitas horas de exposição (LUIZ, 1985).

A forma piramidal se deu devido à maior incidência dos raios solares em seu tempo de exposição, independentemente da posição do sol. Samee et al. (2005) avaliaram, o ângulo ótimo para uma cobertura equivale à latitude local, sendo neste trabalho adotado um ângulo de 25° .

A alimentação deste destilador se deu através de uma torneira que possibilitava o manejo gradativo da água que entrava no dessalinizador. Trabalhamos com a altura da lâmina de água de 1 cm, isso nos possibilitaria, diante das condições adequadas de radiação e temperatura, chegar a um resultado de até 3,0 litros de água dessalinizada por dia de experimento.

Figura 3 - Montagem da parte interna do dessalinizador do tipo pirâmide



Fonte: Autor, 2017

Figura 4 - Montagem da parte externa do dessalinizador do tipo pirâmide



Fonte: Autor, 2017

O equipamento esteve em funcionamento dos dias 05/10/2015 à 08/10/2015 e 04/08/2016 à 22/08/2016.

A água dessalinizada era coletada do lado oposto ao que era alimentado, através de uma mangueira acoplada à uma garrafa PET devidamente higienizada. A figura 5 ilustra a montagem completa do dessalinizador tipo pirâmide.

Figura 5 - Montagem completa do dessalinizador tipo pirâmide



Fonte: Autor, 2015

3.1.2 Obtenção de Dados para Análise dos Parâmetros que Influenciam na Dessalinização

A medição da temperatura do ar foi realizada de hora em hora, entre as 09:00 e 15:00, bem como observada a produção de água dessalinizada, havendo troca de recipiente coletor apenas após a passagem de 24 horas.

A metodologia de medição e aquisição das temperaturas é resumida nas seguintes etapas sequenciadas:

1. Medição das temperaturas através de PT-100 (termopares) de ligas metálicas, Figura 6, nos seguintes pontos: superfície externa de vidro da pirâmide e no interior do destilador em contato com a água;
2. Coleta dos dados de temperatura nos registradores, com leitura a cada 60 minutos;
3. Tratamento dos dados obtidos, com geração de figuras em planilhas eletrônicas;

Para melhor entendimento do comportamento do dessalinizador tipo pirâmide ainda foi realizada a medição da radiação através do radiômetro SL 200 17957 da marca KIMO, Figura 7, este ficou realizando leituras ininterruptas durante todo o período de funcionamento do destilador diariamente.

Figura 6 - PT-100 (termopares) de ligas metálicas



Fonte: Autor, 2017

Figura 7 - Radiômetro SL 200 17957



Fonte: Autor, 2017

3.2 Obtenção dos Dados para Monitoramento da Qualidade da Água Obtida

Antes de ser implementado o método de dessalinização, foram feitas análises físico-químicas das amostras, a fim de que fosse conhecido os valores das propriedades existentes na água analisada, possibilitando para nós pesquisadores o conhecimento da capacidade do dessalinizador solar. Verificando se os parâmetros estão de acordo com a portaria do Ministério da Saúde Nº 2914, de 12 de dezembro de 2011.

Os experimentos foram realizados no Laboratório de Pesquisa em Ciências Ambientais (LAPECA), localizado no Centro de Ciências e Tecnologia da Universidade Estadual da Paraíba (UEPB), na cidade de Campina Grande – PB e foram realizadas análises referentes aos parâmetros de potencial hidrogeniônico, condutividade elétrica, turbidez, dureza total, sódio e cloretos.

Tabela 2: Parâmetros físico-químico e os métodos empregado

Parâmetros	Resultados	Métodos
pH	Adimensional	Potenciométrico
Condutividade	$\mu\text{S/cm}$	Condutivimétrico
Cloreto	mg/L	Titulométrico - Mohr
Dureza Total	mg/L CaCO_3	Titulométrico – EDTA
Turbidez	NTU	Nefelométrico
Sódio	mg Na/L	Fotometria de chama

Fonte: Lopes (2013)

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 Obtenção de Dados para Análise dos parâmetros que influenciam na dessalinização

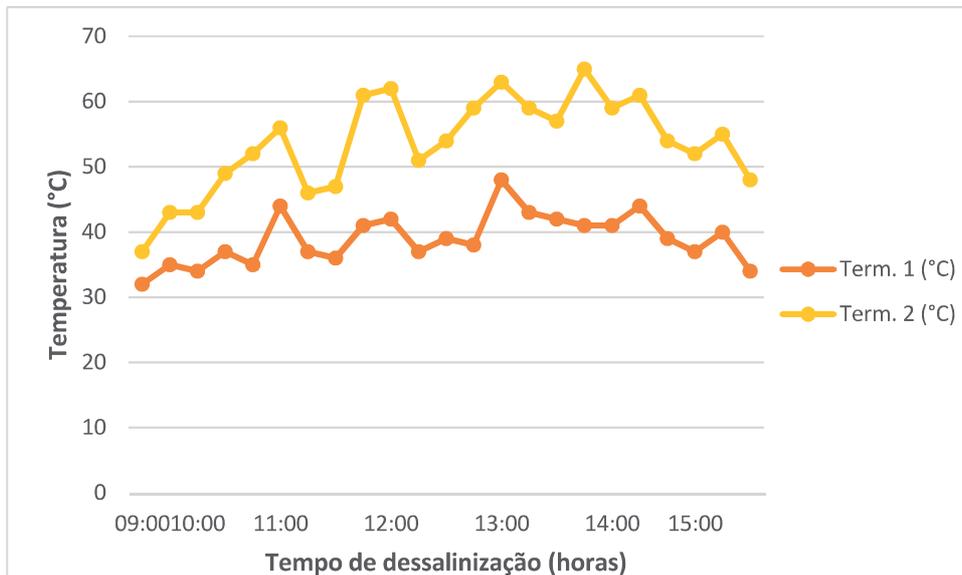
Nesta fase do trabalho, foi feito o monitoramento da implantação do dessalinizador nas dependências da Universidade Estadual da Paraíba (UEPB), onde foram realizados testes diários de segunda a sexta num período compreendido entre as 9:00 e 15:00.

No caso do sistema de destilação solar, a princípio, a variável que deve ser controlada é o nível de água dentro do mesmo. Além da questão de segurança, sobre evitar transbordamentos, o controle de nível é necessário para manter o nível ótimo de água no tanque do destilador, importante para aumentar a eficiência do processo.

Após observada todas as condições ótimas de funcionamento do sistema, a temperatura foi verificada em dois pontos do dessalinizador, na superfície de vidro da pirâmide, Termômetro 1, e outro localizado dentro do dessalinizador sem haver contato com a água, Termômetro 2.

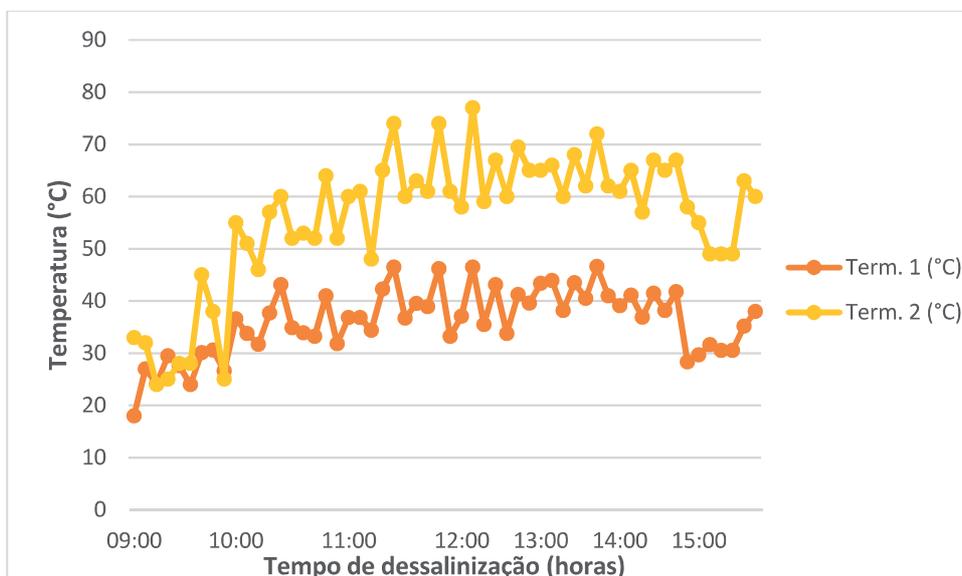
Os resultados obtidos para a dessalinização das duas amostras são apresentados no Apêndice A, em resumo para a análise desses resultados temos as figuras 8 e 9, a seguir:

Figura 8 - Gráfico da influência da temperatura na dessalinização da Amostra 1, relacionadas à água da praia do Cabo Branco, na cidade de João Pessoa, Paraíba



Fonte: Autor, 2015

Figura 9 - Gráfico da influência da temperatura na dessalinização da Amostra 2, relacionadas à água do poço semiartesiano, na cidade de Campina Grande - Paraíba

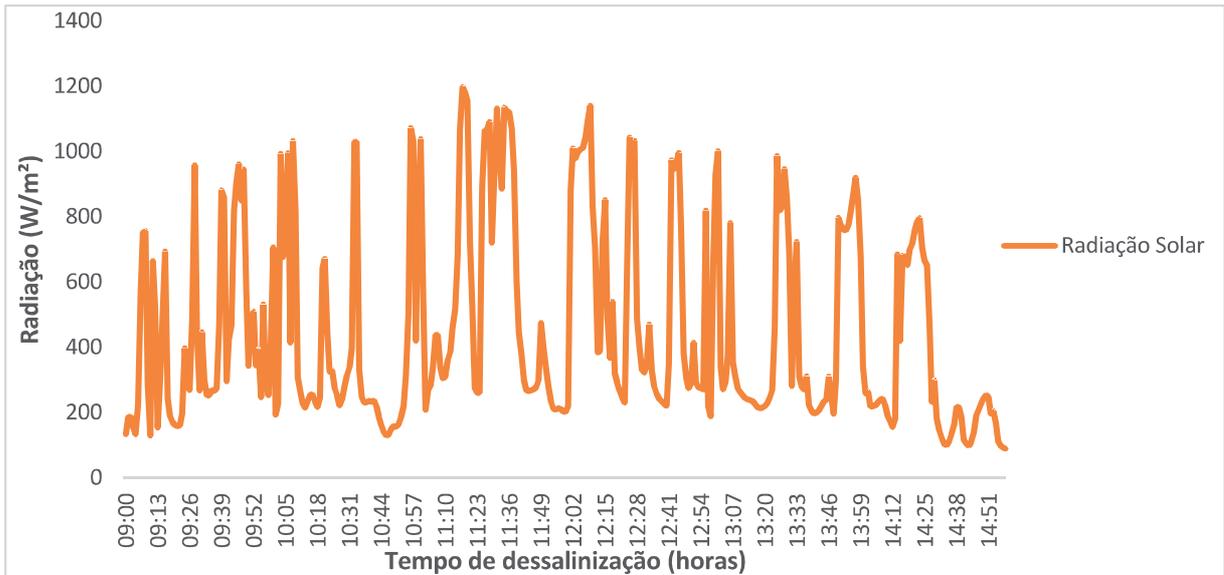


Fonte: Autor, 2016

A partir dos experimentos realizados com o radiômetro SL 200 17957, pudemos chegar a uma média de radiação, Figura 10, que incidiu sobre o

dessalinizador durante os dias de experimento, nos possibilitando ter ideia de sua influência na dessalinização de água no dessalinizador do tipo pirâmide.

Figura 10 - Gráfico referente à influência da radiação na dessalinização de água no dessalinizador



Fonte: Autor, 2016

Como este é um processo que depende exclusivamente da energia solar, houveram variações na produção de água dessalinizada, onde nos dias em que houve maior absorção de energia solar foram os dias de maior produção no destilador, enquanto as menores produções foram correspondentes aos dias de menor absorção solar, isto pode ser comprovado através das tabelas 3 e 4.

Tabela 3 - Produção de água dessalinizada, amostra 1, em mL/m².dia

Experimentos	Amostra 1
1	232,0
2	1.280,0
3	192,0
4	100,0
5	460,0
6	2.000,0
7	2.400,0

Fonte: Autor, 2015

Tabela 4 - Produção de água dessalinizada, amostra 2, em mL/m².dia

Experimentos	Amostra 2
1	928,0
2	1.280,0
3	768,0
4	400,0
5	1.840,0
6	2.000,0
7	2.400,0
8	2.704,0
9	1.440,0
10	1.760,0
11	1.220,0
12	3.000,0
13	1.088,0

Fonte: Autor, 2016

Podemos observar que a capacidade do dessalinizador acaba sendo prejudicada a medida que o teor de sais da água aumenta, onde os resultados da produção de água destilada a partir da água do mar não foram tão bons quanto os da produção de água destilada proveniente da água salobra. Isso se dá devido à concentração de sais que fica concentrada na bandeja, prejudicando o processo.

4.2 Monitoramento da Qualidade da Água Obtida

Primeiramente, foram realizadas as análises de métodos potenciométricos, como o pH que indica a acidez, neutralidade ou alcalinidade de uma solução aquosa; e a condutividade elétrica, facilidade que o material é capaz de conduzir uma corrente elétrica. Em um mesmo instante, realizamos também as análises de método analítico que se baseia na diminuição da intensidade pela difração da luz, determinação da Turbidez, redução da transparência do fluido devido à presença de materiais em suspensão que interferem na passagem de luz através do mesmo.

Os resultados relacionados à água do mar necessárias para o nosso projeto são apresentados na Tabela 5.

Tabela 5 - Análise dos parâmetros físico-químicos relacionadas às amostras de bruta

PARÂMETROS	Amostra 1	Amostra 2
pH	7,29	7,00
Condutividade elétrica (μ S/cm)	545	380
Turbidez (uT)	5,125	0,21
Teor de Cloretos (mg Cl⁻/L)	25.702	2.177,33
Dureza total (mg CaCO₃/L)	22.500	691,66
Sódio (mg Na/L)	26.000	212,00

Fonte: Própria (2016)

Feito isso, partimos para as análises de métodos titulométricos para a determinação da quantidade de Cloretos e Dureza Total, onde as análises foram feitas em triplicata para que houvesse maior certeza dos resultados que estavam sendo manuseados. E para finalizar foram realizadas as análises de método fotometria de chama, onde pudemos observar o valor de sódio obtido na coleta do condensado. As Tabelas 6 e 7 ilustram os parâmetros físico-químicos da água do mar e da água do poço, após a dessalinização.

Tabela 6 - Análise dos parâmetros físico-químicos da amostra 1, relacionadas à água da praia do Cabo Branco, na cidade de João Pessoa, Paraíba, após dessalinização.

Experimento	PARÂMETROS					
	pH	Cond. Elétrica (μ.S/cm)	Turbidez (uT)	Cloreto (mg/L)	Sódio (mg/L)	Dureza total (mg/L)
1	6,66	17,64	5,03	47,80	18	53,33
2	6,05	12,16	3,82	37,15	6	32,16
3	6,74	7,54	4,80	24,85	8	26,33
4	6,48	5,65	4,99	20,35	4	21,16
5	6,51	5,03	5,12	21,77	3	19,33
6	5,98	5,49	5,46	22,95	4	20,5
7	6,46	7,51	4,66	26,03	7	23,5

Fonte: Própria (2016)

Tabela 7 - Análise dos parâmetros físico-químicos da amostra 2, relacionadas à água do poço semiartesiano, na cidade de Campina Grande - Paraíba, após dessalinização

Experimento	PARÂMETROS					
	pH	Cond. elétrica (μ.S/cm)	Turbidez (uT)	Cloreto (mg/L)	Sódio (mg/L)	Dureza Total (mg/L)
1	6,71	221,00	1,38	71,00	13,0	140,0
2	6,51	98,79	2,51	19,17	24,0	44,0
3	6,38	113,10	1,86	81,65	22,0	140,0
4	6,43	0,24	1,84	67,45	15,0	100,0
5	6,57	100,10	1,48	56,80	5,0	405,0
6	5,38	58,57	0,44	9,23	19,0	54,0
7	6,05	25,89	1,97	9,23	3,0	25,0
8	6,18	76,22	1,90	67,45	8,0	110,0
9	4,86	290,00	1,66	24,50	22,0	36,0
10	5,96	24,97	1,49	99,40	2,0	150,0
11	8,20	23,24	1,60	56,80	2,0	140,0
12	7,35	143,40	0,57	142,00	9,0	170,0
13	7,00	261,70	2,69	106,5	48,0	160,0

Fonte: Própria (2016)

Após terem sido realizadas todas as análises propostas, foi feita a comparação da água previamente analisada com as amostras coletadas do dessalinizador do tipo pirâmide segundo a portaria 2914/11 do Ministério da Saúde, onde pudemos comparar com os seguintes dados das análises realizadas. Na Tabela 8 podemos observar os padrões de potabilidade mencionados pelo Ministério da Saúde.

Tabela 8 - Padrão organoléptico de potabilidade da portaria 2914/11 do ministério da saúde

Parâmetro	CAS	Unidade	VMP(1)
Cloreto	16887-00-6	mg/L	250
Dureza total		mg/L	500
Sódio	7440-23-5	mg/L	200
Turbidez		uT(4)	5

NOTAS:

(1) Valor máximo permitido.

(4) Unidade de Turbidez

Observou-se que o maior pico de temperatura foi obtido entre os horários de 11:00 e 14:00, podendo chegar à até 77°C dentro do dessalinizador e atingiu a máxima de 46,5°C em sua superfície piramidal, nos dias mais quentes. Ainda nos dias em que as temperaturas foram mais altas, o rendimento dos dessalinizadores foi aumentado, podendo chegar à até 3000 mL por dia, enquanto para os dias mais nublados, observamos a dificuldade que os dessalinizadores tem em sua produção, encontramos a produção mais baixa de 25 mL para os dias mais frios.

O pH da amostra 1 em sua forma bruta era de 7,29 e a amostra 2 tinha o pH igual a 7,00, após serem realizadas as análises das amostras dessalinizadas foi observado que o pH permaneceu entre 5,98 e 6,74 na amostra 1 e na amostra 2 entre 4,86 e 7,35. A Turbidez máxima permitida pela Portaria de Potabilidade 2914/11 do Ministério da Saúde é de 5 uT, onde as amostras mesmo antes de serem dessalinizadas já apresentaram valores abaixo de 5,125 uT, após serem dessalinizadas obtemos um valor mínimo de 3,82 uT para as águas salgadas e de 0,44 uT para as águas salobras.

Padrões preocupantes para os tipos de águas trabalhadas, como o teor de Cloretos, conseguiram ser reduzidos de forma bastante satisfatória os valores para água salgada bruta foram reduzidos de 25702,00 mg Cl⁻.L⁻¹ para até 20,35 mg Cl⁻.L⁻¹ e os valores para água salobra foram diminuímos de 2177,33 mg Cl⁻.L⁻¹ para até 9,23 mg Cl⁻.L⁻¹, onde o máximo permitido para a Portaria de Potabilidade 2914/11 do Ministério da Saúde é o valor de 250 mg Cl⁻.L⁻¹.

Nas análises de Dureza total, onde na Portaria o máximo permitido é de 500 mg CaCO₃.L⁻¹, conseguimos reduzir de 22500,00 mg CaCO₃.L⁻¹ existentes na água salgada para até 19,33 mg CaCO₃.L⁻¹ e de 691,66 mg CaCO₃.L⁻¹ para até 25 mg CaCO₃.L⁻¹, para águas salobras. Além disso, o parâmetro mais significativo foi o de sódio, onde trabalhávamos com águas de teores altíssimo de salinidade, 26.000 mg Na.L⁻¹ nas águas salgadas do mar e 212 mg Na.L⁻¹ nas águas salobras, onde conseguimos os valores máximos de redução de até 3 mg Na.L⁻¹ e 2 mg Na.L⁻¹, respectivamente, e que são bem inferiores ao máximo permitido pelos padrões de potabilidade que é de 200 mg Na.L⁻¹.

5. CONCLUSÕES

A destilação solar do tipo pirâmide apresentou resultados satisfatórios com alta eficiência na dessalinização de águas salobras e salinas, atendendo aos padrões de potabilidade com valores de sais bem inferiores aos máximos permissíveis exigidos pela legislação vigente, que regula a qualidade da água destinada ao consumo humano.

Os objetivos estipulados foram alcançados, trazendo inúmeros benefícios como a preservação ambiental e da energia elétrica, englobando conscientização ambiental e, conseqüente, economia financeira, tudo isso garantindo a obtenção da água própria para consumo humano a partir de uma maneira sustentável.

Diante da crescente busca por energias renováveis e a conscientização dos nossos recursos finitos, cabe à comunidade juntamente com os investidores trabalharem juntos para que este seja uma realidade cada vez mais presente no nosso país, incentivando também as pesquisas para que sejam desenvolvidas técnicas de aperfeiçoamento para os processos que dispomos e, assim, beneficiar ainda mais a comunidade de forma sustentável.

6. REFERÊNCIAS

"água", in Dicionário Priberam da Língua Portuguesa [em linha], 2008-2013, Disponível em: <<http://www.priberam.pt/dlpo/chave>>. Acesso em: nov. 2017

ABRAVA - Associação Brasileira de Refrigeração, Ar Condicionado, Ventilação e Aquecimento. Disponível em: < <http://www.abrava.com.br/>> Acesso em: out. 2017

ALVES, I. M. Sustentabilidade Socioambiental dos Sistemas de Dessalinização de Águas Salobras Implantados no Município de Boa Vista na Região Semiárida da Paraíba. 2013. 83 p. Trabalho de Conclusão de Curso (Curso de Engenharia Sanitária e Ambiental) - Universidade Estadual da Paraíba, Campina Grande, 2013. Disponível em: <<http://dspace.bc.uepb.edu.br/jspui/handle/123456789/2251>>. Acesso em: nov. 2017.

ANEEL – Agência Nacional de Energia Elétrica, 2010. Disponível em: <[http://www.aneel.gov.br/aplicacoes/atlas/pdf/03-Energia_Solar\(3\).pdf](http://www.aneel.gov.br/aplicacoes/atlas/pdf/03-Energia_Solar(3).pdf)> Acesso em: nov. 2017.

BEZERRA, A. Energia Solar. Aquecedores de Água. Livraria Itaipu Editota Ltda., Curitiba, PR., 1982.

BEZERRA, A. M. Aplicações Térmicas da Energia Solar, Editora Universitária, João Pessoa, PB, 2001.

BLANCO, J. *et al.* Compound Parabolic Concentrator Technology Development to Commercial Solar Detoxfication Applications. Solar Energy. V.67, 1999.

BRASIL. Conselho Nacional do Meio Ambiente. Lei Nº 9.433, De 8 De Janeiro De 1997. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=370>>. Acesso em: out. 2017.

BRASIL. Conselho Nacional do Meio Ambiente. Resolução n.001, de 23 de janeiro de 1986. Dispõe sobre critérios básicos e diretrizes gerais para o Relatório de Impacto Ambiental – RIMA. Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil, Brasília, DF, 17 fev. 1986.

BRASIL. Ministério da Saúde, Padrão de Potabilidade. Portaria 2914/11. Disponível em: <http://bvsms.saude.gov.br/bvs/saudelegis/gm/2011/prt2914_12_12_2011.html> Acesso em: out. 2017.

BUROS, O. K et al. The Usaid desalination manual. Produced by CH2M HILL Internacional for the U.S Agency Development, Washington, D.C, 1980.

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

DELYANNIS, E.; BELESSIOTIS, V. Solar application in desalination: the Greed Islands experimete. *Desalination*, v. 100, p. 27-34, 1996.

DESTEFANI, Analise et al. Destilador Solar. 2015. 7 p. Artigo (Engenharia Sanitária e Ambiental) - CASCGO, [S.l.], 2015. Disponível em: <<http://docplayer.com.br/51081972-Destilador-solar-anelise-destefani-1-cristiane-tagliari-correa-2-eliseu-elcio-behling-3-wellington-charles-baifus-4.html>>. Acesso em: out. 2017.

DUFFIE, J. A.; BECKMAN, W.A. *Solar Engineering of thermal processes*, 2. Ed., J, Wiley, New York, 9070, 1991.

GARCIAS, C. M. Potabilização de Água Obtida por Destilação Solar da Água do Mar. 1985. Dissertação (Mestrado – Instituto de Pesquisas Hidráulicas) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia Estatística. Censo Demográfico. Rio de Janeiro – RJ: IBGE, 2000. Disponível em: <<https://censo2000.ibge.gov.br/>>. Acesso em: out. 2017.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia Estatística. Censo Demográfico. Rio de Janeiro – RJ: IBGE, 2010. Disponível em: <<https://censo2010.ibge.gov.br/>>. Acesso em: out. 2017.

LOPES, J. T. Dimensionamento e análise térmica de um dessalinizador solar tipo bacia com cobertura assimétrica. Tese (Doutorado em Engenharia Mecânica) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica, Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia. 2013.

LUIZ, A. M. *Como aproveitar a energia solar*. 1ª ed., São Paulo, Editora Edgard Blucher, 191 p, 1985.

MARINHO, F. J. L.; ROCHA, E. N; SOUTO, E. A.; CRUZ, M. P. DA CRUZ; LUCENA, A. S.; SANTOS, S. A.; MARCOVICZ, F. Destilador solar destinado a fornecer água potável para as famílias de agricultores de base familiar. *Revista Brasileira de Agroecologia*, v. 7, p. 53-60, 2012.

PEREIRA JUNIOR, J. S. Dessalinização de água do mar no litoral nordestino e influência da transposição de água na vazão do Rio São Francisco. Brasília – DF: [s.n.], 2005. 11p. Disponível em: <<http://bd.camara.gov.br/bd/handle/bdcamara/1533>>. Acesso em: out. 2017.

REBOUÇAS, A. C. Água na região Nordeste: desperdício e escassez. *Estudos Avançados*, São Paulo, v. 11, n. 29, p. 127-154, apr. 1997. Disponível em: <<http://www.revistas.usp.br/eav/article/view/8976/10528>>. Acesso em: 26 oct. 2017.

RIBEIRO, F. A.; SANTOS, R. P.; MENDES, J. U.; LIMA, R. S.; SOUZA, L. G.; ABREU, R. F. “Destilador Solar De Cobertura Piramidal E Isolamento Em Material Compósito”. XVI CONGRESSO IBÉRICO E IX CONGRESSO IBERO-AMERICANO DE ENERGIA SOLAR. Vigo, Galícia, Espanha. 17-21 junho 2008.

ROCHA, E. N. Destilador solar econômico para fornecer água para consumo humano às famílias de pequenos agricultores rurais. 2012. 17 p. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Agroecologia) - Universidade Estadual da Paraíba, Lagoa Seca - PB, 2012. Disponível em: <<https://www.tratamentodeagua.com.br/artigo/destilador-solar-economico-para-fornecer-agua-para-consumo-humano-as-familias-de-pequenos-agricultores-rurais/>>. Acesso em: out. 2017.

SAMEE, M. A.; MIRZA, U. K.; MAJEED, T., AHMAD, N. Design and performance of a simple single basin solar still, *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 11, p. 243–249, Islamabad, Paquistão, 2005.

SERAFINI, M. R. et al. Avaliação de tecnologias em dessalinização de água a partir da análise dos pedidos de patentes. *Revista GEINTEC*, v. 2, n. 1, p. 42-51, jan./mar. 2012. Disponível em: <<http://www.revistageintec.net/portal/index.php/revista/article/view/21/62>>. Acesso em: out. 2017.

SOARES, C. Tratamento de água unifamiliar através da destilação solar natural utilizando água salgada, salobra e doce contaminada. Dissertação de mestrado, UFSC, 2004.

SOUZA, M. E. et. al. A importância dos dados de cobertura de nuvens e de sua variabilidade: Metodologias para aquisição de dados. *Revista Brasileira de Física*, v. 23, n. 3, p. 341-352, 2006.

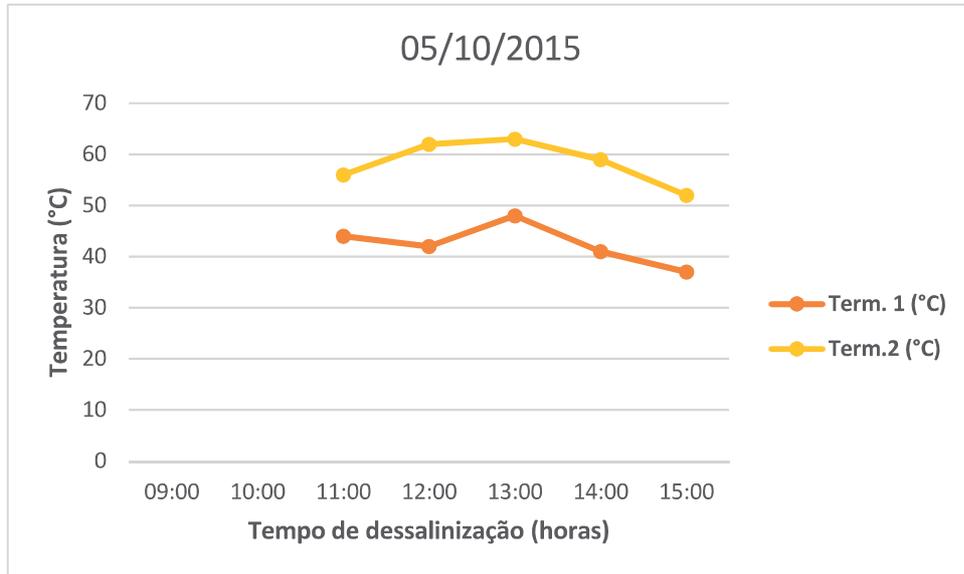
SPIRANDELI, A. B. L.; PRADO, G. O.; SOUSA, N. G.; Desenvolvimento De Um Destilador Solar Tipo Escada E Análise De Desempenho Em Relação A Um Destilador Solar Com Cobertura Piramidal, p. 1080-1085. In: *Anais do XII Congresso Brasileiro de Engenharia Química em Iniciação Científica*. ISSN Impresso: 2446-8711. São Paulo: Blucher, 2017.

TLEIMAT, B. W. Destilação solar: La evolución de la técnica. *Tecnología para aprovechar la energía solar*. N. 5, Organización de las Naciones Unidas para el Desarrollo Industrial, Nueva York, Estados Unidos da América, 1979.

UNIÁGUA <www.uniagua.org.br>. Acesso em: Nov. de 2017.

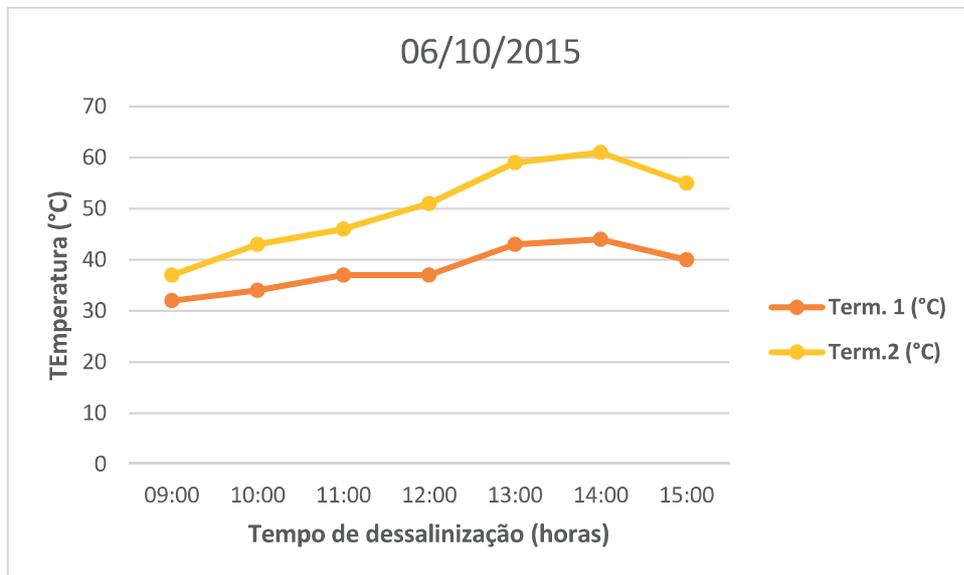
APÊNDICE A – Figuras referentes aos gráficos demonstrativos de temperatura no destilador solar do tipo pirâmide

(a) Experimento 1:



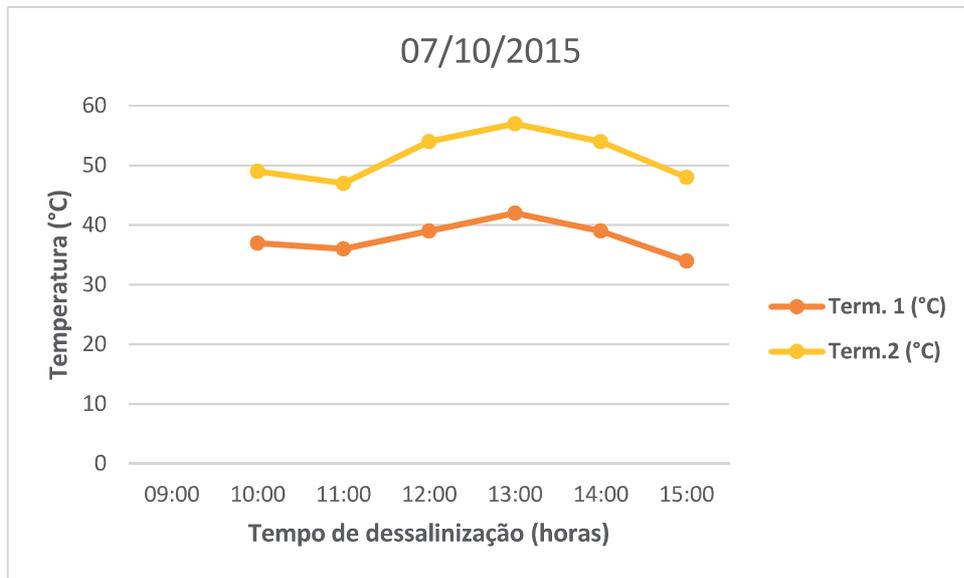
Fonte: Própria (2015)

(b) Experimento 2:



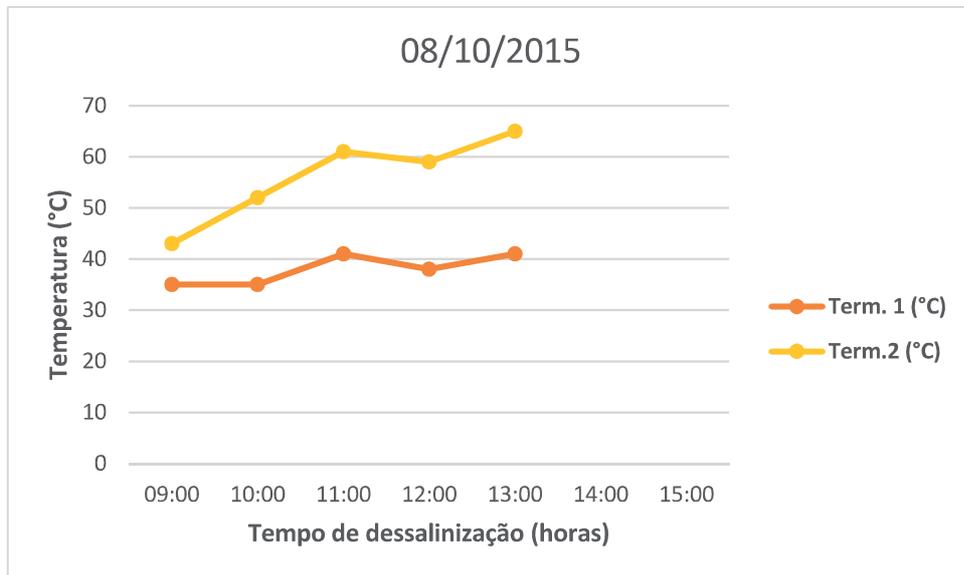
Fonte: Própria (2015)

(c) Experimento 3



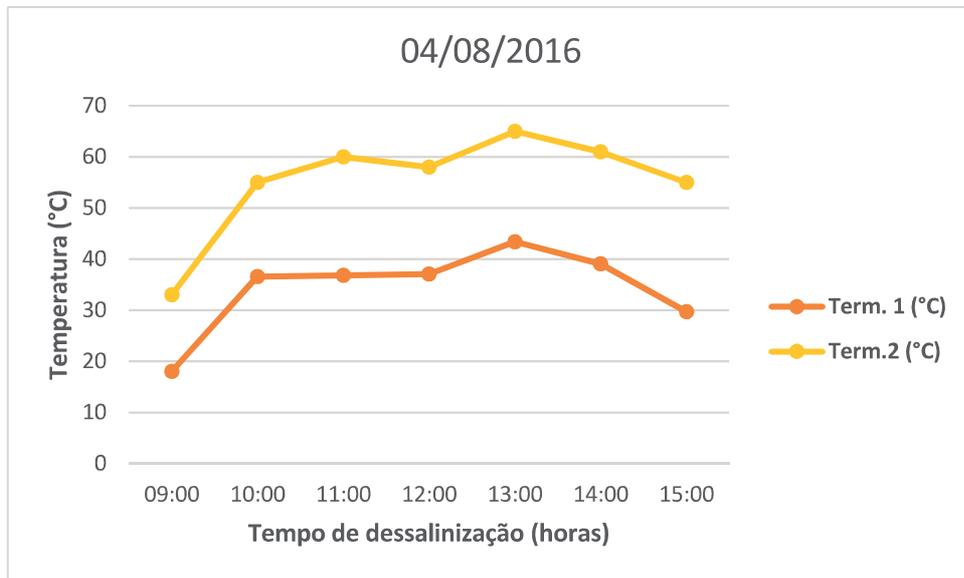
Fonte: Própria (2015)

(d) Experimento 4:



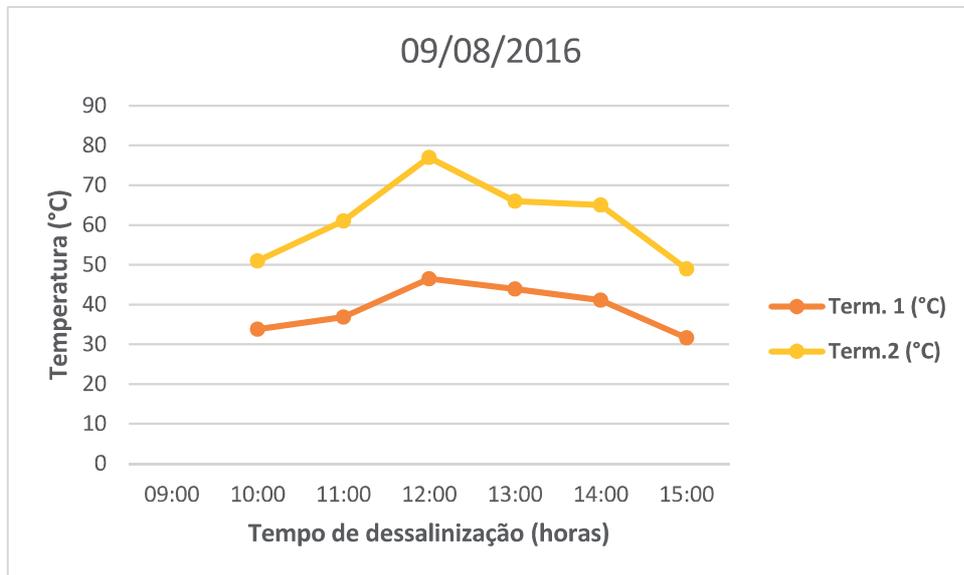
Fonte: Própria (2015)

(e) Experimento 5:



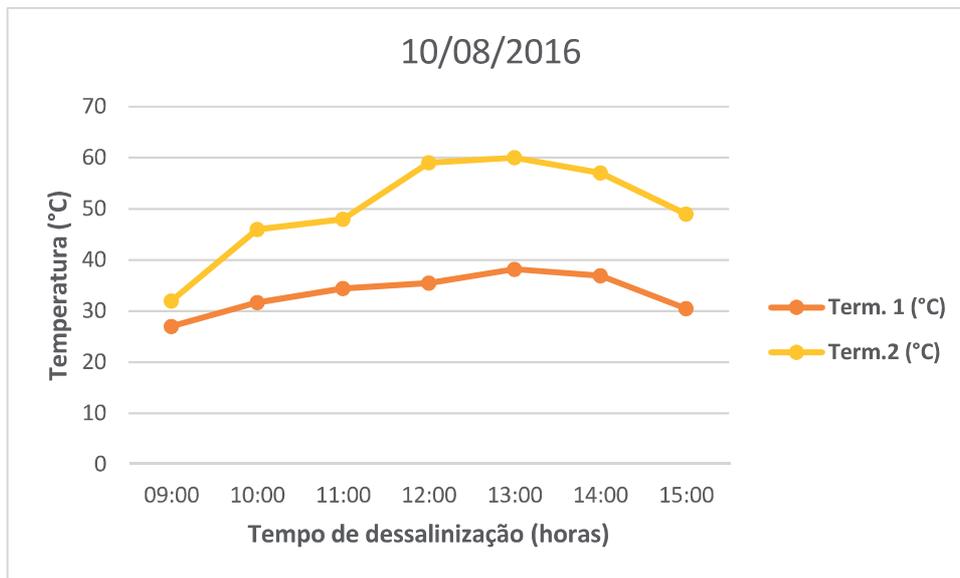
Fonte: Própria (2016)

(f) Experimento 6:



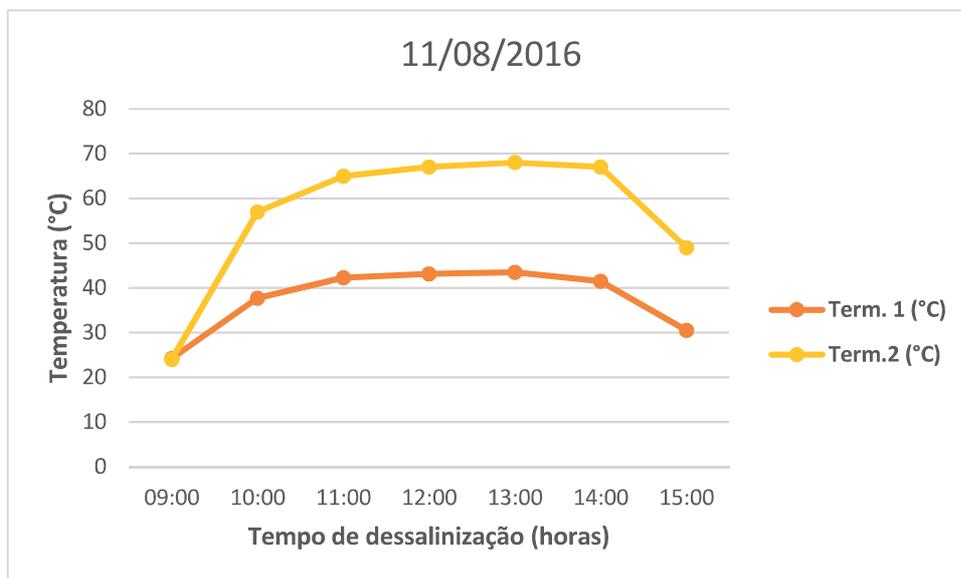
Fonte: Própria (2016)

(g) Experimento 7:



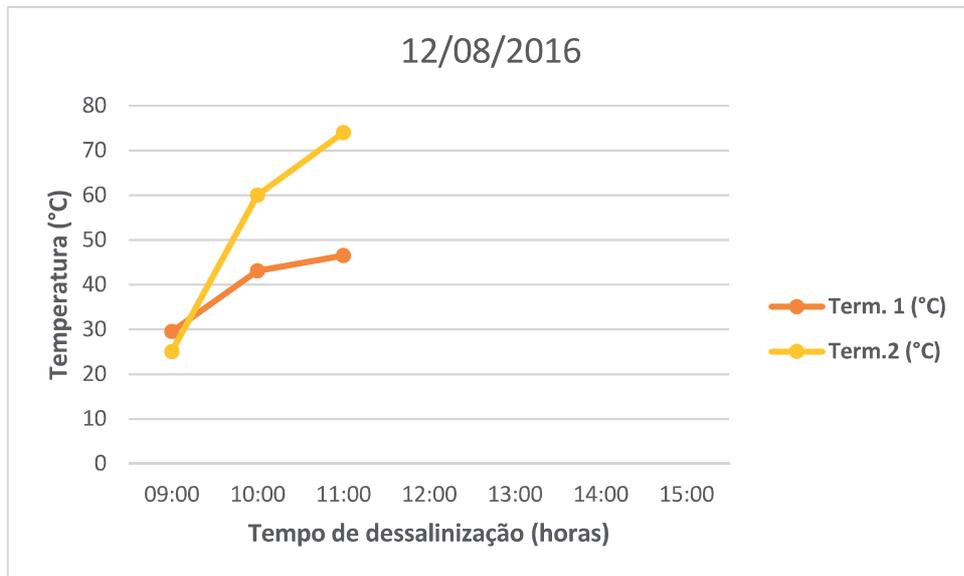
Fonte: Própria (2016)

(h) Experimento 8:



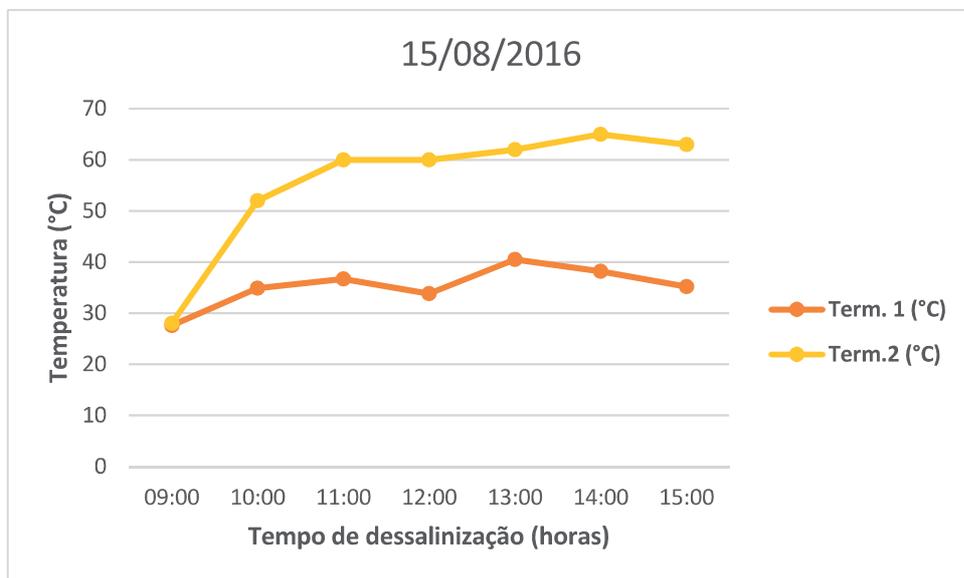
Fonte: Própria (2016)

(i) Experimento 9:



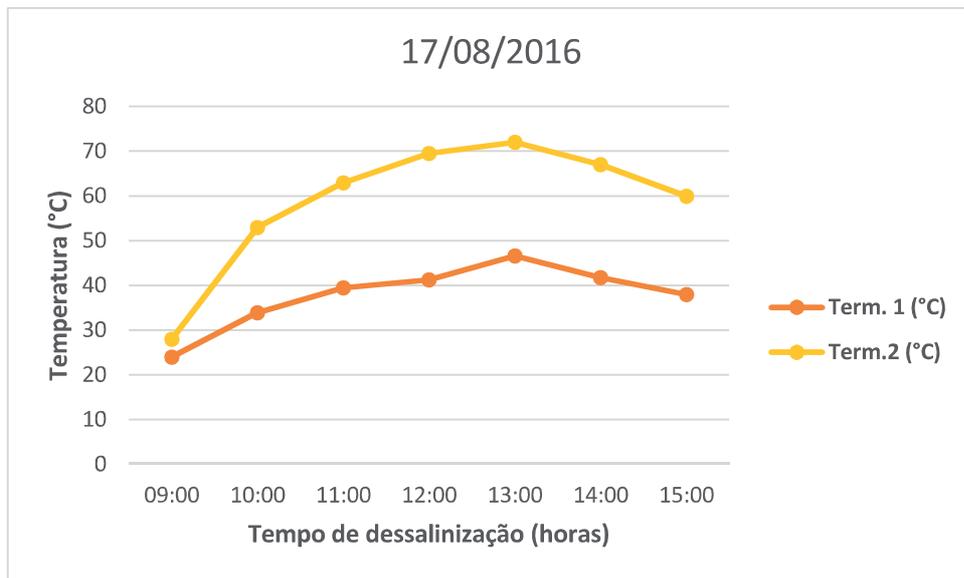
Fonte: Própria (2016)

(j) Experimento 10:



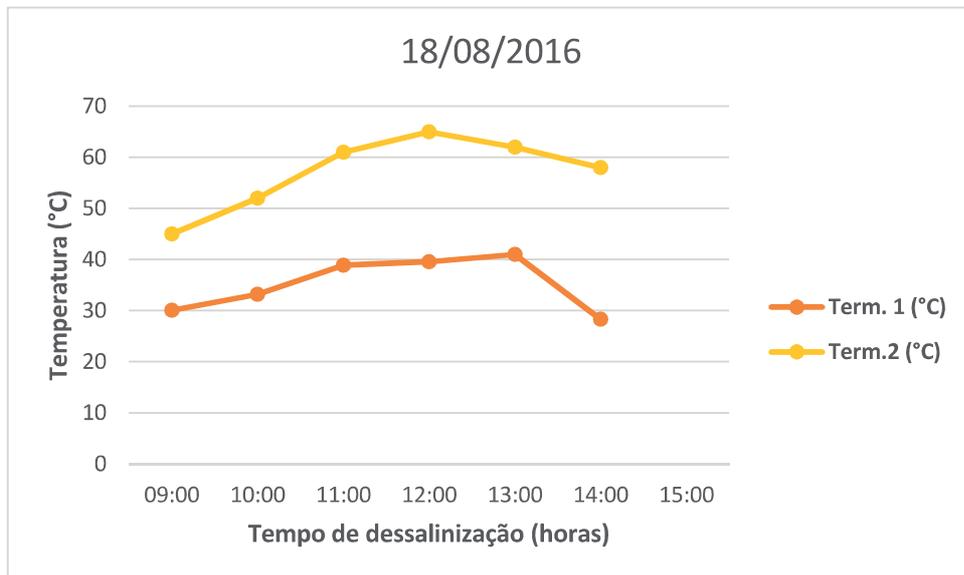
Fonte: Própria (2016)

(k) Experimento 11:



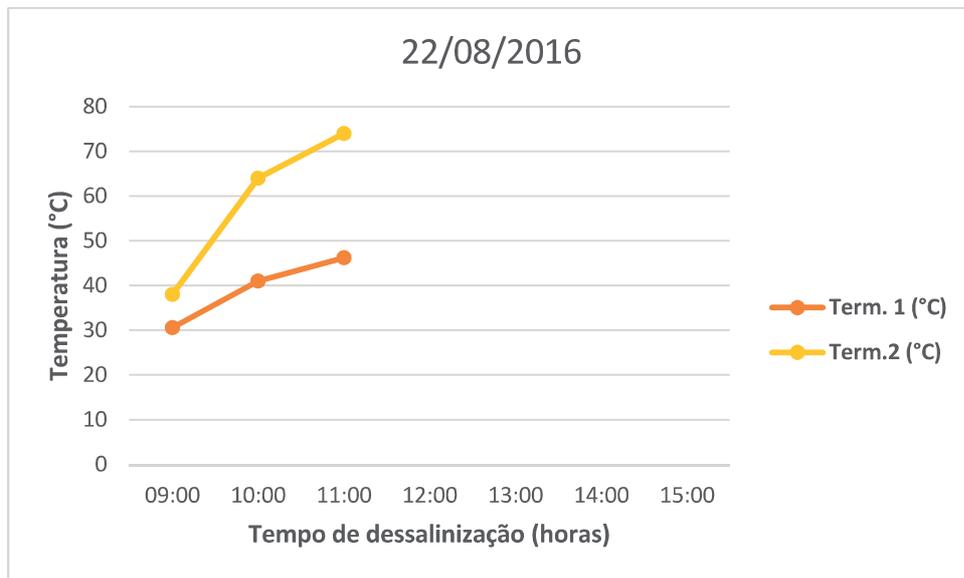
Fonte: Própria (2016)

(l) Experimento 12:



Fonte: Própria (2016)

(m) Experimento 13:



Fonte: Própria (2016)