

**Projecto: Implementação da Construção da Unidade de Dessalinização da
Água do Mar para Produzir Água Potável no Mussulo**

Proponentes: Equipa de Professores que Construiu a Unidade Piloto de Mussulo

Prof. Dr. A. A. Chivanga Barros

Prof. Dr. Henrique Afonso

Prof. Dr. Tommaso De Pippo

Luanda, Dezembro de 2022

Conteúdo

1. Introdução.....	3
1.1. Objectivos.....	6
1.1.2. Objectivo Geral.....	6
1.1.3. Objectivos Específicos	6
2. Procedimentos Experimentais.....	7
2.1. Projecto e Construção do Aparato Experimental.....	7
2.1.1. Elaboração do Projecto.....	7
2.1.2. Impressão da Unidade em 3D.....	7
2.2. Procedimento Experimental.....	8
2.3. Construção da Unidade em Escala Piloto.....	9
3. Ampliação do Número de Unidades	11
4. Orçamento.....	12
5. Considerações Finais.....	13
Referências.....	13

1. Introdução

A água cobre 70% do planeta terra. Por outro lado, a água doce é um recurso cada vez mais escasso no mundo, pois somente 3% das águas do planeta são doces. Do volume total da água do planeta, 2/3 (dois terços) encontram-se na forma de gelo ou, essencialmente, subterrânea.

Neste contexto, dados das Nações Unidas apontam que, aproximadamente, 1,1 bilhão de habitantes no planeta terra não têm acesso à água doce. Ainda, suportado pelos dados referenciados, as Nações Unidas afirmam que 2,7 bilhões de habitantes sofrem com escassez de água, durante aproximadamente um mês por ano.

De acordo com dados da Organização das Nações Unidas (ONU), a escassez de água no mundo afecta atualmente mais de 40% da população, condição que impulsionado a proposição de soluções tecnológicas, para minimizar o impacto decorrente das dificuldades de acesso a este bem.

Aliado a todos os aspectos apontados, nas últimas décadas, o desenvolvimento industrial e o crescimento da população mundial têm resultado em uma demanda maior por água doce. Ao mesmo tempo, a poluição e a redução de fontes de água na superfície, limitam o acesso aos recursos de água doce disponíveis (Hassan et al., 2008).

Desta forma, surge a necessidade pela proposição de fontes alternativas de água, impulsionada pelo uso de tecnologias de ponta, com destaque para a destilação solar, sob vácuo, de água salgada, pois muitas das áreas afetadas pela escassez de água doce são banhadas pelo oceano, condição que favorece a implementação destas tecnologias.

A dessalinização, que visa eliminar os sais por evaporação ou mediante uso de um meio filtrante para separar a água doce do sal. Os processos de separação referenciados envolvem fenômenos de transferência de massa, calor e quantidade de movimento, combinados.

A dessalinização é o processo pelo qual são eliminados os sais minerais dissolvidos na água. Atualmente, tal processo, aplicado à água do mar, é um dos mais usados para obter água doce para consumo humano ou agrícola.

A dessalinização ocorre de forma natural durante o ciclo da água: a evaporação da água do mar deixa atrás o sal para formar nuvens que geram a chuva. Aristóteles observou que a água do mar evaporada e condensada era doce e Da Vinci compreendeu que era possível obtê-la usando um alambique.

Durante os séculos posteriores, a dessalinização da água do mar foi utilizada sobretudo em embarcações e submarinos para fornecer água doce à tripulação durante longas travessias. No entanto, esse processo não esteve disponível em larga escala até a revolução industrial e, especialmente, até o desenvolvimento das plantas de dessalinização.

Segundo o último estudo realizado pelos pesquisadores do Instituto para a Água, Meio Ambiente e Saúde da Universidade das Nações Unidas (UNU-INWE) em 2019, no mundo existem aproximadamente 16.000 plantas de dessalinização em operação - distribuídas em 177 países - que em conjunto geram aproximadamente 95 milhões de m³ por dias de água doce. O primeiro país a adotar esse processo, de forma massiva, foi a Austrália, um país muito árido onde a denominada Seca do Milênio, entre 1997 e 2009, causou estragos. Hoje possui plantas de dessalinização nas principais cidades, que utilizam o processo da osmose reversa.

A Arábia Saudita é o primeiro país em dessalinização por volume, seguido dos Emirados Árabes Unidos. Ambos, os países, são desérticos e muito dependentes desse processo. Outros países do Oriente Médio, como Kuwait e Catar, também apostaram nessa tecnologia. Nos Estados Unidos, terceiro nesse particular *ranking*, há microplantas de dessalinização perto de quase todas as instalações de gás natural para aproveitar o calor residual. A Espanha seria o quarto, graças ao impulso

das Ilhas Canárias e da costa de Alicante e Múrcia, onde as antigas usinas térmicas estão sendo substituídas por plantas de dessalinização.

Por outro lado, Angola é um país vasto banhado pelo oceano atlântico e com aproximadamente 1 650 metros lineares de fronteira marítima, regiões que podem ser fortemente exploradas para o desenvolvimento e consolidação do turismo (Figura 1).

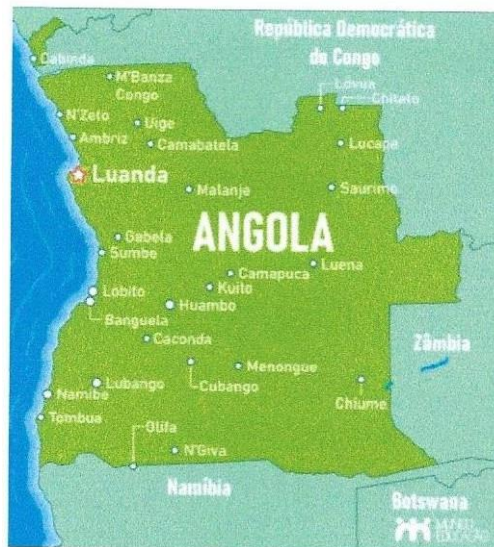


Figura 1: Extensão da fronteira marítima de Angola

Ao longo da extensão oceânica que banha o país, são identificadas as melhores praias, parques nacionais, ilhas, áreas que potencializam o desenvolvimento do turismo. Entretanto, nas áreas referenciadas observa-se ausência total de água potável, condição que limita o desenvolvimento de empreendimentos turístico. Quando o turismo é praticado na ausência de água potável, observa-se custos de hospedagem elevados, condição que limita a implementação destes empreendimentos.

Por isto, a implementação do projecto de dessalinização pode eliminar as limitações identificadas pois potencializar-se-ia a produção local de água usando as tecnologias descritas neste projecto, cujos custos são mínimos, se comparados com o uso dos processos baseados na osmose reversa, que demandam o uso de membradas.

1.1. Objectivos

1.1.2. Objectivo Geral

O objectivo geral deste projecto consiste na proposição na implementação da construção de unidades de dessalinização de água do mar, no Mussulo, para atender as necessidades de água potável do Bairro Buraco, a partir da unidade piloto existente.

1.1.3. Objectivos Específicos

São objectivos específicos deste projecto:

- a) Ampliar as instalações em escala piloto construídas no Mussulo, Bairro Buraco, para tender a necessidade de água potável para a população local;
- b) Construir 26 unidades de dessalinização, além das unidades existentes para compor 30 unidades e com potencialidade para produzir 2500 litros de água por dia, 17 500 litros por semana e 70 000 litros por mês;
- c) Construir um tanque de coleta de água com capacidade de 70 000 litros e a cerca de proteção de alvenaria com arame em rede;
- d) Construir três chafarizes e respectivas instalações hidráulicas no interior do bairro para o abastecimento de água para a população local;
- e) Criar políticas de gestão e distribuição de água, por família, para garantir o alcance ou o atendimento das necessidades da população local;
- f) Formar a equipa de manutenção e gestão da unidade de dessalinização e torna-la referência nas políticas de produção de água potável;
- g) Propor procedimentos de gestão das unidades construídas, em parceria com o governo municipal de Mussulo e provincial de Luanda e com as instituições de ensino superior.

2. Procedimentos Experimentais

2.1. Projecto e Construção do Aparato Experimental

2.1.1. Elaboração do Projecto

Para o desenvolvimento deste trabalho, elaborou-se primeiramente o projecto da unidade de dessalinização por evaporação, cuja estrutura é apresentada na Figura 2.

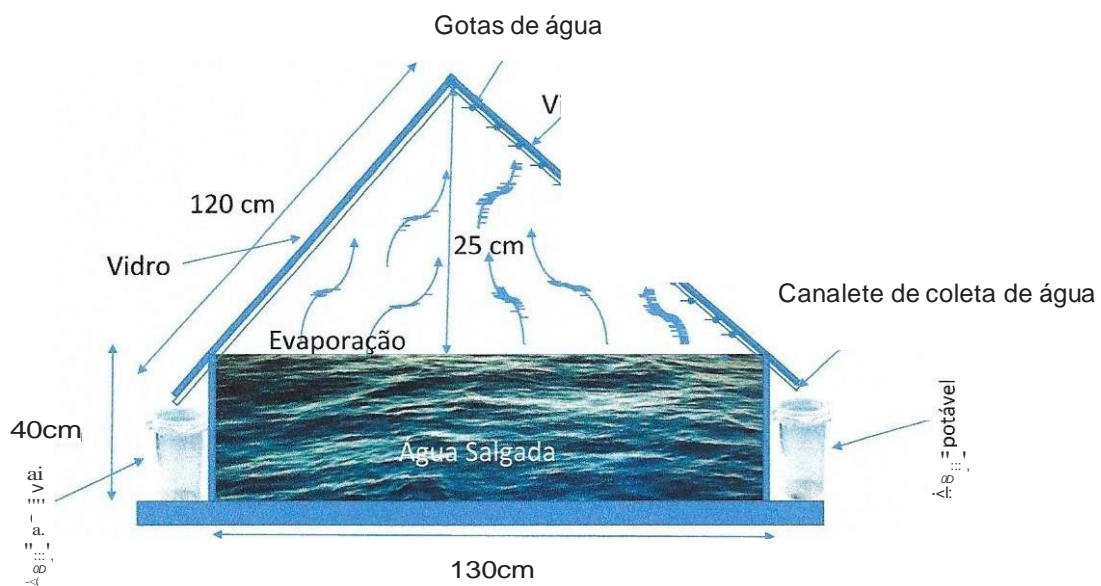


Figura 2: Unidade de dessalinização projectada e construída e usado neste projecto

2.1.2. Impressão da Unidade em 3D

Com as dimensões contidas no projecto da Figura 2, a unidade foi projectada em Auto CAD com a descrição adequada da geometria, em escala de laboratório. Depois de concluída a elaboração do desenho, fez-se a impressão em 3 D, como se observa na Figura 3.

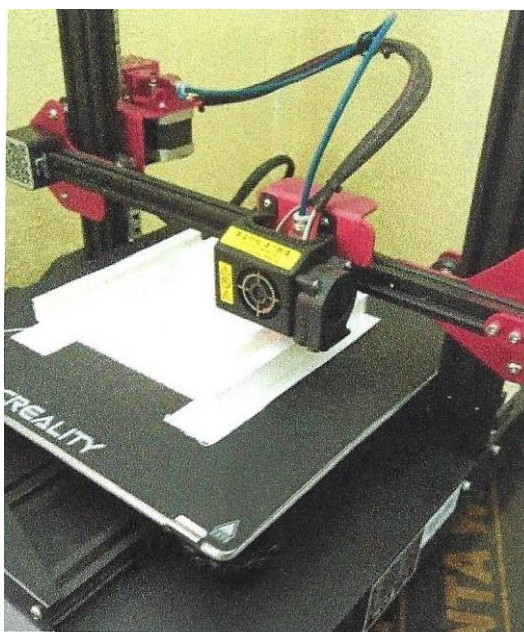


Figura 3: Impressão em 3D do dessalinizador de água do mar

2.2. Procedimento Experimental

A unidade proposta para a produção de água potável por dessalinização comporta a estrutura contida nas Figura 2 e 3, quadrada, em formato de uma casa com telha de vidro, que recebe a radiação solar que passa pelo vidro superior, incide sobre a água salgada do mar, contido no interior deste aparato. Com a acção da radiação solar, ocorre a vaporização de água, que ascende até a superfície inferior do vidro, quando ocorre a condensação e em função da tensão superficial adere à superfície inferior do vidro e desce superficialmente até a calha de coleta.



Figura 4: Unidade usada para dessalinização de água do mar

A unidade foi projectada para operar em escala de laboratório, com um volume inicial de líquido de 500 cm^3 , com controlo progressivo das taxas de evaporação que garantam a descrição da curva de evaporação, para recuperar até 40% do líquido inicialmente alimentado.

Neste processo, considerando o processo em batelada, é controlada a dinâmica do processo, caracterizado pela descrição da taxa do acúmulo de

líquido, com o tempo, e o incremento da concentração do cloreto de sódio na água remanescente no recipiente.

A execução dos experimentos consistiu, primeiramente, na caracterização físico-química da amostra de água do mar, quando foram determinadas as massas específicas, viscosidade, condutividade térmica e PH, parâmetros comumente usados na medida da potabilidade de água. Em seguida, foi feita a medida da massa de água do mar, de aproximadamente 450 gramas e inserida no recipiente, na parte superior da unidade. Concluída esta etapa, foram colocados os vidros na parte superior do aparato e feita toda a vedação, para se evitar interferências externas no sistema. Posteriormente, o aparato foi colocado no sol, para garantir a incidência da radiação solar, fenómeno que garante a evaporação de água, para recuperar a água potável, coletada na calha do aparato experimental.

A água coletada foi caracterizada quando se determinou a massa específica, viscosidade, condutividade térmica, turbidez, concentração do cloreto de sódio e os parâmetros referenciados comparados com aqueles da água potável.

As amostras de água do mar e da água evaporada foram caracterizadas com a avaliação do teor de sólidos dissolvidos (ABNT NBR 14363), massa específica (ABNT NBR 6457) e medida do pH utilizando-se um pHmetro Digimed, série 24177.

2.3. Construção da Unidade em Escala Piloto

Com o domínio tecnológico advinda da implementação da unidade em escala do laboratório, elaborou-se o projecto e implementou-se a construção da unidade em escala piloto, no Bairro Buraco, no distrito do Mussulo. A unidade construída comporta 4 (quatro) destiladores solares, cuja configuração é descrita na Figura 5.

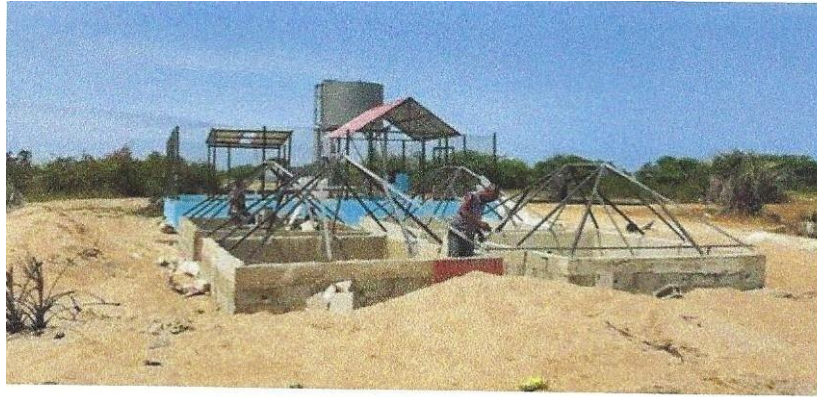


Figura 5: Unidades de destilação solar, construídas no Mussulo

Depois de construídas as unidades, foram feitos os ensaios iniciais que possibilitaram identificar a capacidade de produção de água, por metro quadrado, e a respectiva potabilidade, com base na caracterização físico-química da água produzida. Os resultados iniciais apontaram o atendimento das características da água potável, mas tendo como limitação a capacidade de produção.

A limitação da capacidade operacional foi associada à dimensão da unidade que mantinha a parte central com temperaturas reduzidas, formando desta forma uma região tampão que impedia a ascensão dos vapores produzidos em direcção a superfície interna dos vidros instalados no tetco de cada unidade.

Desta forma, foram realizados procedimentos de ajuste operacional da unidade, que envolveram a aquisição e instalação de placas solares e sistema de aquecimento externo para a recirculação de água quente. Depois desta instalação, os dados obtidos mostraram o incremento da capacidade de produção de água, atingindo os patamares estabelecidos na literatura. Contudo, considerando o número significativo da população local, a capacidade de produção alcançada não atendia ainda as necessidades locais, razão pela qual foram realizados novos estudos.

Os novos estudos realizados, com foco no aumento da capacidade de produção de água potável, foram baseados na instalação de um sistema de vácuo, no tanque de coleta de água dessalinizada, que possibilitou diminuir a pressão nos quatro dessalinizadores instalados. Esta condição é associada à diminuição da temperatura de vaporização de água e conseqüente aumento das taxas de condensação, condição que favorece o incremento do volume de água produzida. Os ensaios iniciais mostraram que a proposta tecnológica impulsiona o aumento da capacidade produtiva e, desta forma, perspectiva o atendimento das necessidades locais.

Contudo, qualquer necessidade de incremento da produção deve-se aumentar o número de unidades de destilação solar, tendo desta forma sido identificado este como o ponto de flexibilização operacional.

Com os ajustes feitos, a estrutura final da unidade piloto, usada para realizar estes estudos está presente na Figura 6, que mostra os vidros com partículas de água condensada, que quando se acumula desce até a calha onde é coletada e transportada para o tanque de recuperação.



Figura 6: Unidades de destilação solar, em condição de operação

3. Ampliação do Número de Unidades

Com o domínio tecnológico e considerando as limitações de acesso de água potável no Bairro Buraco (Mussulo), é proposto neste projecto a instalação de 26 (vinte e seis) unidades novas de dessalinização para comporem as 4 (quatro) existentes. Nesta perspectiva, com base nas

descrições contidas neste projecto, poder-se-á produzir aproximadamente 4 000 (quatro mil) litros de água por dia, condição que pode favorecer o atendimento de 1 700 habitantes, aproximadamente 350 famílias de cinco pessoas cada, daquela localidade. Esta visão é centrada na perspectiva de consumo diário médio por família de 12 litros de água, antecedido por um vasto programa de educação para o consumo de água.

A descrição acima possibilita minimizar os problemas de carência de água naquela região e perspectivar o desenvolvimento de um modelo diferenciado de produção de água potável em regiões de difícil acesso, principalmente para atender as populações ribeirinhas que sofrem da escassez deste líquido precioso.

A construção da unidade referenciada, envolve a cerca, o tanque de coleta de água, a instalação de tubos de distribuição, além dos chafarizes devidamente estruturados.

4. Considerações Finais

O projecto proposto é relevante para minimizar as necessidades de água no Bairro Buraco, no Mussulo, tornando-se ponto de referência para a implementação desta tecnologia. Portanto, é um projecto de grande proporção e com impactos significativos sobre o meio ambiente e a sociedade.

Referências

Bleninger T. (2012) Demand for hydro-environment engineering and research. *Hydrolink* 1, 16-19.

Cooley H., Gleick P.H., Wolf G. (2006). *Desalination, With a Grain of Salt-A California Perspective*. Pacific Institute, Oakland/California, EUA.

Direcção Geral do Ambiente (2004). *Livro Branco sobre o Estado do Ambiente em Cabo Verde*, Ministério do Ambiente Agricultura e Pesca, Praia

Falconer R.A. (2012). Global water security: an introduction and opportunities for IAHR. *Hydrolink*: 1, 4-7.

Frenkel, V.S. (2011). *Seawater Desalination: Trends and Technologies*. 121-128,

http://cdn.intechopen.com/pdfs/1_3756/IntechSeawater_desalination_trends_and_technologies.pdf, acedido em 16/02/2012

(18) (PDF) Evolução dos processos de dessalinização da água do mar para consumo humano na ilha do Sal, Cabo Verde. Available from: https://www.researchgate.net/publication/260782469_Evolucao_dos_processos_de_dessalinizacao_da_agua_do_mar_para_consumo_humano_na_ilha_do_Sal_Cabo_Verde [accessed Feb 23 2022].

Ghaffour N., Missimer T. M., Amy G.L. (2013). Technical review and evaluation of the economics of water desalination: Current and future challenges for better water supply sustainability. *Desalination* 309, 197-207.

(18) (PDF) Evolução dos processos de dessalinização da água do mar para consumo humano na ilha do Sal, Cabo Verde. Available from: https://www.researchgate.net/publication/260782469_Evolucao_dos_processos_de_dessalinizacao_da_agua_do_mar_para_consumo_humano_na_ilha_do_Sal_Cabo_Verde [accessed Feb 23 2022].

Greenlee L., Lawler D.F., Freeman B., Marrot P.M. (2009). Reverse osmosis desalination: Water sources, technology, and today's challenges. *Water research* 43, 2317-2348.

(18) (PDF) Evolução dos processos de dessalinização da água do mar para consumo humano na ilha do Sal, Cabo Verde. Available from: https://www.researchgate.net/publication/260782469_Evolucao_dos_processos_de_dessalinizacao_da_agua_do_mar_para_consumo_humano_na_ilha_do_Sal_Cabo_Verde [accessed Feb 23 2022].

Guirguis M.J. (2011). *Energy Recovery Devices in Seawater reverse osmosis desalination with emphasis on efficiency and economical analysis of isobaric versus centrifugal devices*. Theses for the degree of Master of Science, Department of Mechanical Engineering College of Engineering, University of South California, Florida

(18) (PDF) Evolução dos processos de dessalinização da água do mar para consumo humano na ilha do Sal, Cabo Verde. Available from: https://www.researchgate.net/publication/260782469_Evolucao_dos_processos_de_dessalinizacao_da_agua_do_mar_para_consumo_humano_na_ilha_do_Sal_Cabo_Verde [accessed Feb 23 2022].

Kalogirou S.A. (2005). Seawater desalination using renewable energy sources. *Progress in Energy and Combustion Science* 31, 242-81.

Khatri K.B., Vairavamoorthy K. (2007). Challenges for urban water supply and sanitation in the developing countries. Discussion Draft paper for session on urbanization, UNESCO-IHE, 1-20.

(18) (PDF) Evolução dos processos de dessalinização da água do mar para consumo humano na ilha do Sal, Cabo Verde. Available from: https://www.researchgate.net/publication/260782469_Evolucao_dos_processos_de_dessalinizacao_da_agua_do_mar_para_consumo_humano_na_ilha_do_Sal_Cabo_Verde [accessed Feb 23 2022].

Khawaji A.D., Kutubkhanah I.K., Wie J-M. (2008). Advances in seawater desalination technologies", *Desalination* 221, 47-69.