



**UNIVERSIDADE ESTADUAL DA PARAÍBA  
CAMPUS II – LAGOA SECA/PB  
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS E AMBIENTAIS  
CURSO DE GRADUAÇÃO BACHARELADO EM AGROECOLOGIA**

**RUANA CHAGAS DA SILVA**

**DESTILADOR SOLAR ASSOCIADO A FOGÃO ECOLÓGICO UTILIZADO  
PARA PRODUÇÃO DE ÁGUA POTÁVEL NO SEMIÁRIDO NORDESTINO**

**LAGOA SECA – PB**

**2014**

**RUANA CHAGAS DA SILVA**

**DESTILADOR SOLAR ASSOCIADO A FOGÃO ECOLÓGICO UTILIZADO  
PARA PRODUÇÃO DE ÁGUA POTÁVEL NO SEMIÁRIDO NORDESTINO**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Graduação Bacharelado em Agroecologia da Universidade Estadual da Paraíba, em cumprimento à exigência para obtenção do grau de Bacharel em Agroecologia.

**Orientador:** Francisco José Loureiro  
Marinho

**LAGOA SECA – PB  
2014**

É expressamente proibida 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 da dissertação.

S586d Silva, Ruana Chagas da  
Destilador solar associado a fogão ecológico utilizado para  
produção de água potável no semiárido nordestino [manuscrito] : /  
Ruana Chagas Da Silva. - 2014.  
14 p. : il.

Digitado.  
Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Agroecologia )  
- Universidade Estadual da Paraíba, Centro de Ciências Agrárias e  
Ambientais, 2014.  
"Orientação: Prof. Dr. Francisco Jose Loureiro Marinho,  
Departamento de Agroecologia e Agropecuária".

1. Recursos hídricos. 2. Destilação. 3. Qualidade de água. I.  
Título.

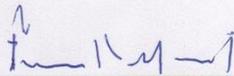
21. ed. CDD 372.35

**RUANA CHAGAS DA SILVA**

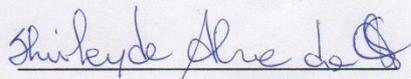
**DESTILADOR SOLAR ASSOCIADO A FOGÃO ECOLÓGICO UTILIZADO  
PARA PRODUÇÃO DE ÁGUA POTÁVEL NO SEMIÁRIDO NORDESTINO**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Graduação Bacharelado em Agroecologia da Universidade Estadual da Paraíba, em cumprimento à exigência para obtenção do grau de Bacharel em Agroecologia.

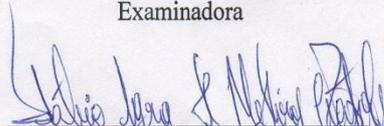
Aprovado em 13 / Fevereiro /2014.



Prof. Dr. Francisco José Loureiro Marinho / UEPB  
Orientador



Prof.ª Msc. Shirleyde Alves dos Santos/ UEPB  
Examinadora



Prof. Dr. Fábio Agra de Medeiros Nápoles / UEPB  
Examinador

## **DESTILADOR SOLAR ASSOCIADO A FOGÃO ECOLÓGICO UTILIZADO PARA PRODUÇÃO DE ÁGUA POTÁVEL NO SEMIÁRIDO NORDESTINO**

SILVA, Ruana Chagas,

### **RESUMO**

Apesar das ações do poder público em algumas regiões do semiárido brasileiro a carência extrema de recursos hídricos força as populações a consumir águas com elevados níveis de contaminações biológicas e químicas (sais). Neste contexto este projeto teve por objetivo estudar um modelo de dessalinizador solar associado a um fogão ecológico para se obter água potável a partir de águas salinas. Foram observados os volumes de água produzidos em função da quantidade de madeira de algaroba (*Prosopis juliflora*) utilizada (TA) e da lâmina de água no interior do destilador (TB). O delineamento experimental adotado foi em parcelas subdivididas, com três repetições. Houve diferença significativa ( $p \leq 0,01$ ) em TA. Em TB e na interação entre os tratamentos não houve diferença significativa. Nos estudos de análise de regressão verificou-se que o modelo quadrático representa melhor os efeitos do total de biomassa consumida sobre a produção de água dessalinizada. Constatou-se que com 30 kg por dia de madeira consumida (TA<sub>1</sub>) se produziu cerca 51 e 54 litros de água nas lâminas de 1 cm (TB<sub>1</sub>) e de 2 cm (TB<sub>2</sub>), respectivamente. Nesse caso a relação foi de 1,7 e 1,8 litros de água por kg de madeira consumida, respectivamente. Por outro lado, quando consumo de madeira foi 75 kg por dia (TA<sub>4</sub>) se produziu cerca 96 e 86 litros de água na lâmina de 1 cm (TB<sub>1</sub>) e de 2 cm (TB<sub>2</sub>), respectivamente. Nesse caso a relação foi de 1,28 e 1,14 litros de água por kg de madeira consumida. O sistema de dessalinização solar associado ao fogão ecológico é adequado para solucionar o problema de comunidades rurais isoladas, em regiões áridas ou semiáridas, onde existem mananciais hídricos contaminados por sais ou microrganismos e existe escassez de água potável. Os volumes de água produzidos no sistema testado são suficientes para atender às necessidades de água destinada ao consumo direto e produzir um excedente capaz de suprir outras demandas das famílias de agricultores de base familiar do semiárido brasileiro.

**PALAVRAS-CHAVE:** Recursos hídricos, destilação, qualidade de água.

**STILL RELATED SOLAR COOKER The ECO USED FOR PRODUCTION OF DRINKING WATER IN NORTHEASTERN SEMIARID**

SILVA, Ruana Chagas

**ABSTRACT**

Despite the actions of government in some regions of the Brazilian semiarid extreme lack of water forces the population to consume water with high levels of biological and chemical ( salt ) contamination . Therefore, this project aimed to study a model of solar desalination unit associated with an ecological stove to obtain drinking water from saline waters . The volumes of water produced in the quantity of mesquite wood ( *Prosopis juliflora* ) used ( TA ) and the water depth inside the retort ( TB ) were observed . The experimental design was split plot with three replications . There was a significant difference (  $p < 0.01$  ) in TA . TB and interaction between treatments there was no significant difference. In studies of regression analysis it was found that quadratic model best represents the effects of total biomass consumed for the production of desalinated water. It can be seen that 30 kg of wood consumed per day ( TA1 ) is produced around 51 to 54 liters of water in a 1 cm strip ( TB1 ) and 2 cm ( TB2 ), respectively. In this case the ratio was 1.7 and 1.8 liters per kg of wood consumed , respectively. On the other hand, when wood consumption was 75 kg per day ( TA4 ) is produced around 96 to 86 liters of water in a 1 cm blade ( TB1 ) and 2 cm ( TB2 ), respectively. In this case the ratio was 1.28 and 1.14 liters of water consumed per kg of wood . The solar desalination associated with ecological stove is suitable to solve the problem of isolated rural communities in arid and semi-arid regions where water sources are contaminated by salts or microorganisms and there is shortage of drinking water. The volume of water produced on the tested system are sufficient to meet the needs of water for direct consumption and produce a surplus capable of supplying outas demands of farming families family-based Brazilian semiarid .

**KEYWORDS:** Hydric resources, distillation, water quality.

## INTRODUÇÃO

A região semiárida do Brasil caracteriza-se, do ponto de vista geoambiental, pela diversidade de suas paisagens, tendo como elemento marcante, no quadro natural da região, a condição de semiaridez que atinge grande parte do seu território e a alta variabilidade pluviométrica espacial e temporal inerente a esse tipo climático, (SALES, 2002).

Grande parte do semiárido brasileiro apresenta limitada e irregular disponibilidade de recursos hídricos, além de elevados níveis de salinidade em parte dos solos e das águas. Nessas regiões a carência extrema de água potável força as populações a consumir águas com elevados níveis de contaminações biológicas e químicas (sais), com consequentes danos à saúde pública (JUNIOR *et al.* 2003).

Segundo FUNASA (2004), a água potável é aquela destinada ao consumo humano cujos parâmetros microbiológicos, físicos, químicos e radioativos atendam ao padrão de potabilidade e que não ofereça riscos à saúde. A falta de acesso à água potável constitui um risco elevado de transmissão de enfermidades, como diarreias diversas, entre elas a cólera, as salmoneloses e as shigeloses, além de febre tifóide, hepatite A e poliomielite.

A dessalinização solar é aplicada em diversos países, com boa aceitação familiar, para produção de água potável, tendo como estímulo o aumento do custo da energia elétrica e com o componente adicional de ser uma tecnologia limpa e sustentável (AKASH *et al.*, 1998; ELKADER, 1998; BOUKAR e HARMIN, 2001).

A destilação solar por ser realizada num pequeno espaço físico, na própria residência do consumidor final, sob os cuidados da família interessada, minimiza os riscos de contaminação posterior no manejo da água pronta para consumo. Além disso, é uma tecnologia simples, sem gasto de energia elétrica, ou seja, ideal para os habitantes rurais dispersos no semiárido brasileiro, com dificuldades de acesso aos centros urbanos do município. Marinho *et al.* (2012) estudando um modelo de dessalinizador solar construído em alvenaria cita que esse sistema produz cerca de 4 litros de água potável  $m^2 \text{ dia}^{-1}$ .

A lenha sempre foi uma importante fonte de energia para a humanidade. Com os avanços da tecnologia a lenha passou a ser substituída por combustíveis fósseis pelas sociedades em desenvolvimento. Porém a biomassa é uma das fontes de energia com

melhores perspectivas para o futuro, por se tratar de uma fonte renovável (BITTENCOURT, 2005).

A algaroba é uma espécie vegetal leguminosa não oleaginosa, nativa das regiões áridas e semiáridas das Américas, África e Ásia, sendo que nesta última se concentra a maioria das 44 espécies do gênero *Prosopis*, apresentando, portanto, admirável amplitude de adaptação. Esta espécie é utilizada para produção de madeira, Carvão vegetal, estacas, álcool, melado, alimentação animal e humana, apicultura, reflorestamento, ajardinamento, e sombreamento, tornando-se, por conseguinte uma cultura de valor econômico e social ( PEREZ, *et al* 1991 ).

Segundo Campello et al. (1999), a lenha é o segundo componente mais consumido na matriz energética da região Nordeste, sendo representado por 33% do consumo. O setor industrial e comercial consome, por ano, 25,1 milhões t. O consumo domiciliar anual de lenha é 36,2 milhões t. Isso gera um consumo total de 61,3 milhões de estéreos por ano, e o setor residencial é responsável por 59% desse consumo total (RIEGELHAUPT, 2010).

Segundo cartilha apresentada por IDER, 2007 (Instituto de Energia Renováveis) Os fogões ecológicos são usados em diversos países desde a década de 40 e finalmente vem surgindo na realidade brasileira, sendo capazes de reduzir em cerca de 50% o consumo de lenha em relação aos fogões convencionais.

Neste sentido o presente trabalho teve por objetivo avaliar a eficiência do modelo de dessalinizador solar testado por Marinho *et. al.* (2012) associado ao fogão ecológico sobre a produção de água potável a partir de águas salobras.

## **METODOLOGIA**

Os estudos foram realizados no campo experimental pertencente ao CCAA Escola Agrícola Assis Chateaubriand, Campus II UEPB localizado no município de Lagoa Seca, Paraíba (Latitude 7 ° 09 S, Longitude 35 ° 52 W e altitude 634 m), no período compreendido entre janeiro de 2012 a junho 2013.

As características climáticas do local onde foram realizados os estudos, obtidas com base em estudos da Empresa Estadual de Pesquisa Agropecuária da Paraíba (EMEPA -PB), são as seguintes: temperatura média máxima 26,0 °C, temperatura média mínima 18,20 °C, umidade relativa média anual 66%, precipitação média anual de 950 mm, evapotranspiração média anual de 1100mm.

O esquema do dessalinizador solar aqui proposto consiste em uma caixa de abastecimento (500L) interligada a uma tubulação com 20 canos de PVC (24,5mm de diâmetro e 6 metros de comprimento) revestida com garrafas PET e caixas Tetra Pak, todas pintadas em preto e interligadas em disposição paralela, num total de 20 unidades que servirá como coletor da energia solar para o aquecimento da água bruta (coletor solar) conforme se pode visualizar na Figura I. Esse sistema de canos, garrafas PET e caixas Tetra Pak.



A) Tubos de PVC pintados em preto.



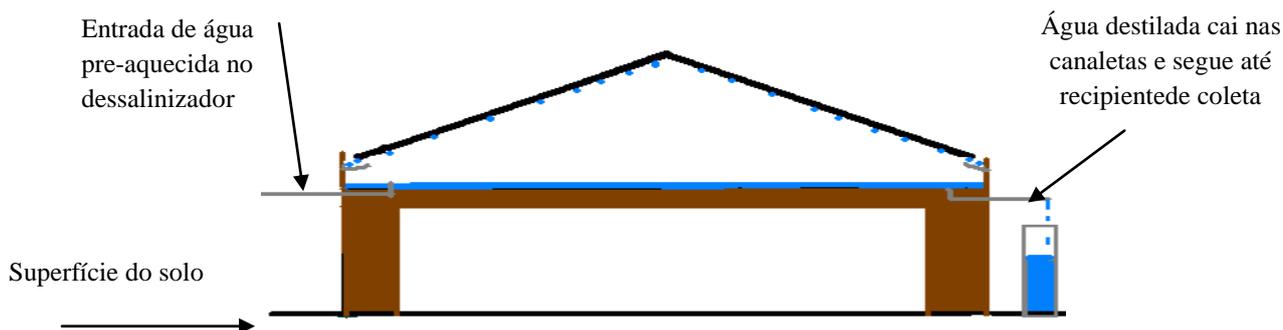
B) Garrafas PET e caixas Tetra Pak.



C) Disposição do sistema de tubos.

O Coletor solar foi interligado a uma caixa de alvenaria ( $0,5 \text{ m}^2$ ) para abastecimento do evaporador/condensador; uma boia que serviu para regular a altura da lâmina de água no interior do tanque raso.

O tanque raso (evaporador/condensador) foi construído em alvenaria com revestimento em folhas de alumínio de 10 mm de espessura e  $1 \text{ m}^2$  de área onde ocorreu o processo de destilação da água (Figura II). A água, após condensação foi conduzida através de canaletas (disposta nas laterais dos vidros) até um recipiente que recebeu a água destilada.



**Figura II.** Caixa de alvenaria para evaporação/condensação da água após o aquecimento no coletor solar.

O Fogão foi construído com tijolos e massa refratária seguindo o modelo divulgado pela fundação Dom Helder Câmara. Tal modelo foi desenvolvido em Honduras e Nicarágua de acordo com as necessidades desses locais. Esse fogão possui uma tecnologia de combustão americana chamada “*RocketStove*”. A câmara de combustão é feita de cerâmica revestida por um isolante térmico, esse isolante pode ser de lã de rocha ou fibra de vidro. Existe uma chaminé, com cerca de 2 metros, para saída da fumaça produzida pelo fogão (Figura III).



**Figura III:** Fogão ecológico associado ao dessalinizador solar para produzir água potável.

Após o processo de destilação, na água obtida (água destilada) devem ser adicionados volumes adequados de águas provenientes das fontes naturais desinfetadas por exposição à radiação da luz solar (SODIS, 2005) para proceder à reconstituição salina em nível adequado para consumo humano, que segundo ANVISA, para a

categoria “água adicionada de sais” é no mínimo, de 30 mg.L<sup>-1</sup> de sais totais, dentro daqueles sais permitidos por essa legislação (ANVISA, 2005).

Foram observados os volumes de água produzidos em função da quantidade de madeira de algaroba (*Prosopis juliflora*) utilizada (TA) e da lâmina de água no interior do destilador (TB). O delineamento experimental adotado foi em parcelas subdivididas, com três repetições. Em TA procurou-se simular as três refeições diárias, ou seja, o fogão era colocado para funcionar três vezes ao dia (6:30, 11:30 e 16:30h) colocando-se por vez em: TA<sub>1</sub>=10 kg de madeira, TA<sub>2</sub>= 15 kg de madeira, TA<sub>3</sub> = 20 kg de madeira e TA<sub>4</sub>= 25 kg de madeira. Em TB foram observados o volume de água destilada em função das lâminas de água utilizadas no interior do tanque raso: TB<sub>1</sub>= 1 cm e TB<sub>2</sub>= 2 cm.

As análises estatísticas foram realizadas aplicando-se análise de variância e o teste “F” (Gomes, 1978; Ferreira, 1991). Foram realizadas, também, análises de regressão polinomial, sendo obtidas equações de regressão a 0,01 e 0,05 de probabilidade (Teste t), utilizando-se o modelo Linear e Quadrático. Para realização das análises estatísticas foi utilizada o programa ASSISTAT Versão 7.6 beta (2011)

## **RESULTADOS E DISCUSSÃO**

Verifica-se na Tabela 1 a análise de variância para Tratamento TA e TB isoladamente e interação TAxBT.

Observa-se que houve diferença significativa ( $p \leq 0,01$ ) em TA (água destilada em função de madeira consumida). Apesar dos volumes de água destilada em TB<sub>1</sub>(1 cm de lâmina no interior do tanque) terem sido numericamente superiores a TB<sub>2</sub> TB<sub>1</sub>(2 cm de lâmina no interior do tanque) não houve diferença significativa entre os tratamentos. Também não houve diferença significativa na interação entre os tratamentos TA x TB.

**Tabela 1:** Resumo de análise de variância do Tratamento (Ta): produção de água destilada em função do total de madeira consumido no fogão ecológico. E tratamento-b (Tb): lamina de 1 cm e 2 cm de água no interior do tanque raso.

FV	GL	SQ	QM	F
<b>Trat (TA)</b>	3	5111.77429	1703.92476	32.0546**
<b>Resíduo-A</b>	8	425.25499	53.15687	
<b>Parcelas</b>	11	5537.02923		
<b>Trat-TB</b>	<b>1</b>	<b>137.61192</b>	<b>137.61192</b>	<b>3.3373 ns</b>
<b>Int.TAx TB</b>	3	144.72087	48.24029	1.1699 ns
<b>Resíduo-b</b>	8	329.87316	41.23415	
<b>TOTAL</b>	<b>23</b>	<b>6149.23523</b>		

\*\* significativo ao nível de 1% de probabilidade ( $p \leq 0,01$ ) \* significativo ao nível de 5% de probabilidade ( $p \leq 0,05$ ) ns não significativo ( $p \geq 0,05$ )

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 temperatura da água e que um aumento significativo da produção de água destilada foi obtido não somente durante o dia, mas também durante a noite, onde ocorre o resfriamento da água que se encontra na base do destilador. Com a adição de energia térmica oriunda da queima de biomassa a temperatura da água no interior do tanque alcança 100 C, acelerando o processo de evaporação.

Segundo SOMMER *et al* (1997), através do processo de destilação se pode produzir água para beber uma vez que ocorre o tratamento da água com eliminação de microorganismos vivos, sais e até com compostos não-biodegradáveis.

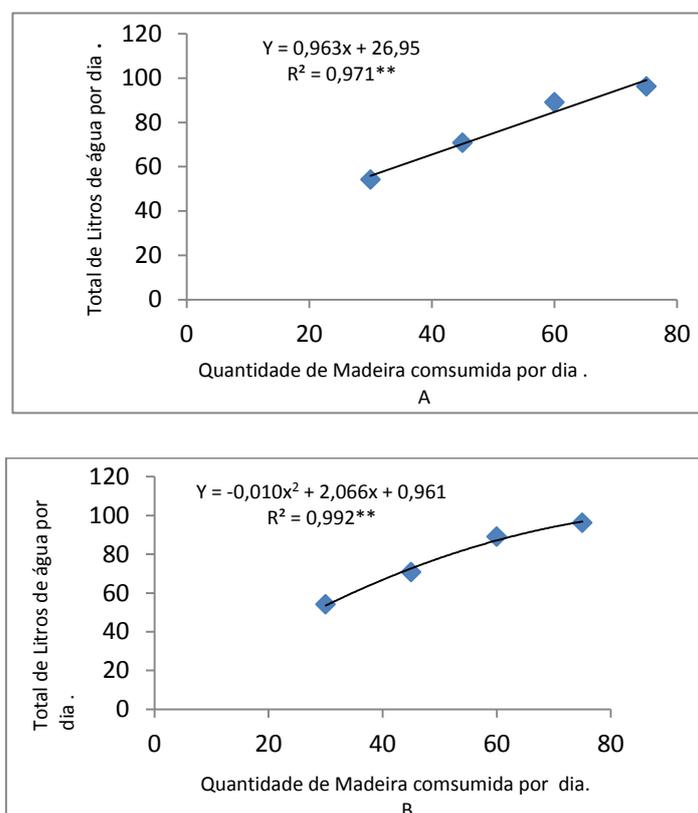
Verifica-se na Figura IV (A e B) e Figura V (A e B) o aumento do volume de água destilada produzida em função do total de madeira consumida no fogão, o modelo quadrático representou melhor os efeitos do total de biomassa consumida sobre essa variável.

Contatou-se que o uso de 30 kg por dia de madeira consumida (TA<sub>1</sub>) se produziu cerca 51 e 54 litros de água nas lâminas de 1 cm (TB<sub>1</sub>) e de 2 cm (TB<sub>2</sub>), respectivamente. Nesse caso a relação foi de 1,7 e 1,8 litros de água por kg de madeira consumida, respectivamente. Por outro lado, quando consumo de madeira foi 75 kg por

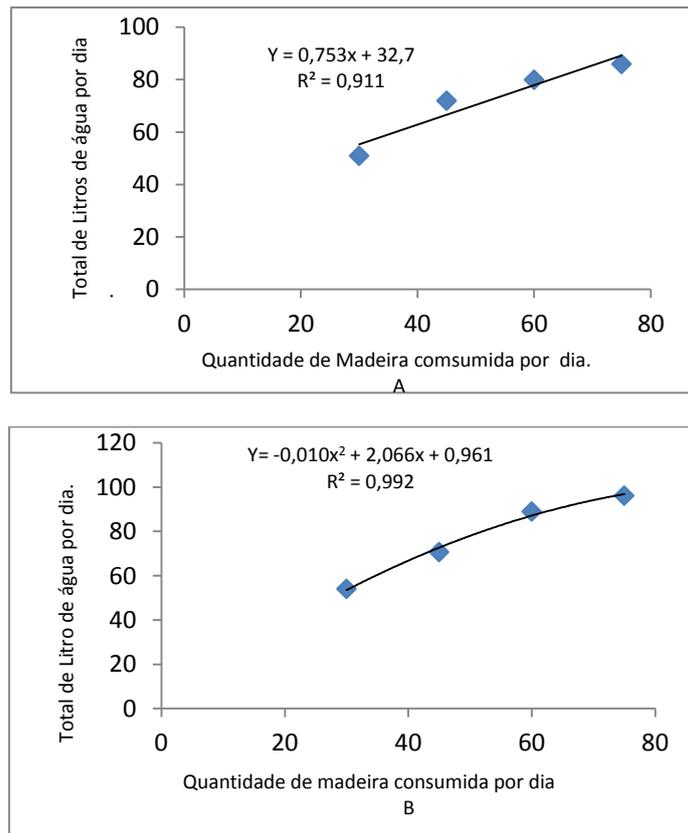
dia (TA<sub>4</sub>) se produziu cerca 96 e 86 litros de água na lâmina de 1 cm (TB<sub>1</sub>) e de 2 cm (TB<sub>2</sub>), respectivamente. Nesse caso a relação foi de 1,28 e 1,14 litros de água por kg de madeira consumida.

Provavelmente o motivo pelo qual houve redução, na relação “água destilada produzida/total de madeira consumida” à medida que se aumentava o consumo de biomassa, ocorreu devido a perdas de vapor e/ou calor no interior do destilador.

Rocha *et al.* (2011), estudando a produção de água potável em um destilador solar de 4 m<sup>2</sup> de área construída em alvenaria obteve a produção de 16 L água dia<sup>-1</sup> suficiente para o consumo direto de uma família com até seis pessoas. Com a utilização de calor adicional produzido pela queima de biomassa o volume de água produzido por um dessalinizador com um metro quadrado de área construída pode produzir água para o consumo direto e atender outras demandas da família.



**Figura IV:** Total de água destilada produzida por dia em função do total de madeira consumida (Modelo linear (A) e modelo quadrático (B) com lâmina de 1 cm no interior do tanque (1m<sup>2</sup> de área).



**Figura V:** Total de água destilada produzida por dia em função do total de madeira consumida (Modelo linear (A) e modelo quadrático (B) com lâmina de 2 cm no interior do tanque(1m<sup>2</sup> de área).

## CONCLUSÕES

- O sistema de dessalinização solar associado ao fogão ecológico é adequado para solucionar o problema de comunidades rurais isoladas, em regiões áridas ou semiáridas, onde existem mananciais hídricos contaminados por sais ou microrganismos e existe escassez de água potável.
- Os volumes de água produzidos no sistema testado são suficientes para atender às necessidades de água destinada ao consumo direto e produzir um excedente capaz de suprir outras demandas das famílias de agricultores de base familiar do semiárido brasileiro.

## BIBLIOGRAFIA

AKASH, B.A.; MOHSEN, M.S.; OSTA, O. et al. Experimental evaluation of a single-basin solar still using different absorbing materials. **Renewableenergy**, v.14, n°1-4. Jodan, 1998. p.307-310.

ANVISA. Agência Nacional de Vigilância Sanitária. **Resolução nº 274, de 22 de Setembro de 2005.** Disponível em: <http://www.notadez.com.br/content/normas.asp?id=15879>. Acesso em: 13 abr. 2008.

BITTENCOURT, H. V. H. **A matriz energética no desenvolvimento sustentável de pequenas propriedades rurais.** TCC de curso. UFSC – CCA. 2005.

BOUCHEKIMA, B. A solar desalination plant for domestic water needs in arid areas of South Algeria. *Desalination*, v. 153, p. 65-69, Ouargla, Algeria, 2002.

BOUKAR, M.; HARMIM, A. Effect of climate conditions on the performance of a simple basin solar still: a comparative study. **Desalination**, v.137. Adrar, Algérie, 2001. p. 15-22.

CAMPELLO, F.B. *et al* .Diagnóstico florestal da Região Nordeste.Natal: Projeto IBAMA/PNUD , 1999 .16 p.( Boletim Técnico n.2).

ELKADER, M. A. An investigation of the parameters involved in simple solar still with inclined yute. **Renewable energy**, v.14, n°1-4. Port Said, Egypt, 1998. p.333-338.

FUNASA. **Manual de saneamento.** 3 ed. Brasília, 2004.

IBGE. (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística). (2010). Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br/cidadesat>>. Acesso em: 07 de Janeiro de 2013.

Instituto de Desenvolvimento Sustentável e Energias Renováveis. Edição Humberto Leite Ilustrações Gustavo Vasconcelos, Fortaleza/CE - Março de 2007

JUNIOR et al. **Água de consumo humano como fator de risco à saúde em propriedades rurais.** Rev. Saúde Pública vol.37 no.4 São Paulo Aug. 2003.

MARINHO et al. **Destilador Solar destinado a fornecer água potável para famílias e agricultores de base familiar.** Rev. Brasileira de Agroecologia vol. 7 no. 3 Agos. 2012.

PEREZ, S. C. J. A.; Morais, J. A. P. V.; Pesq. Agrop. Bras., Brasília, 1991, 26, 1493.

RIEGELHAUPT, E. M; PAREYN, F. G. C. **A questão energética e o manejo florestal da Caatinga. In: Uso sustentável e conservação dos recursos florestais da Caatinga.** Serviço florestal brasileiro. Brasília. p. 65 – 75. 2010

ROCHA, E.N; MARINHO, F.J.L; SOUTO, E.A; CRUZ, M.P.; MOURÃO, A.F. Destilador solar destinado a fornecer água potável às famílias de agricultores de base familiar. Cadernos de Agroecologia, vol. 6. n° 2. Dez. 2011.

SALES, M. C. L. **Evolução dos estudos de desertificação no nordeste brasileiro.** GEOUSP – Espaço e Tempo, São Paulo, n. 11, pp.115–126, 2002.

SODIS – **SOLAR WATER DISINFECTION.**Homepage.Disponível em: <http://www.sodis.ch>. Acesso em 12 de dezembro de 2005.

SOMMER, B., et al. Sodis - An Emerging Water Treatment Process, **Journal of Water Suply: Research and Technology - Aqua**, v. 46, n3,p. 127 – 137, 1997.