

JOAQUIM TEIXEIRA LOPES

**“DIMENSIONAMENTO E ANÁLISE TÉRMICA DE UM
DESSALINIZADOR SOLAR TIPO BACIA COM
COBERTURA ASSIMÉTRICA”**



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA
FACULDADE DE ENGENHARIA MECÂNICA**

2013

JOAQUIM TEIXEIRA LOPES

**“DIMENSIONAMENTO E ANÁLISE TÉRMICA DE UM
DESSALINIZADOR SOLAR TIPO BACIA COM COBERTURA
ASSIMÉTRICA”**

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica da Universidade Federal de Uberlândia, como parte dos requisitos para obtenção do título de **DOUTOR EM ENGENHARIA MECÂNICA**.

Área de Concentração: Transferência de Calor e Mecânica dos Fluidos.

Orientador: Prof. Dr. Ricardo Fortes de Miranda

Co-orientador: Prof. Dr. Keyll Carlos Ribeiro Martins

UBERLÂNDIA - MG

2013

Dados Internacionais de catalogação na Publicação (CIP)
Sistema de Bibliotecas da UFU, MG, Brasil

L864d Lopes, Joaquim Teixeira, 1950-
2013

Dimensionamento e análise térmica de um dessalinizador solar tipo bacia com cobertura assimétrica / Joaquim Teixeira Lopes. – 2013.

187 f. : il.

Orientador: Ricardo Fortes de Miranda.

Coorientador: Keyll Carlos Ribeiro Martins.

Tese (doutorado) – Universidade Federal de Uberlândia, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica.

1. Engenharia mecânica – Teses. 2. Dessalinização da água. – Teses. 3. Radiação solar – Tese. I. Miranda, Ricardo Fortes de. II. Martins, Keyll Carlos Ribeiro. III. Universidade Federal de Uberlândia. Programa de Pós-graduação em engenharia Mecânica. IV. Título.

CDU: 621

JOAQUIM TEIXEIRA LOPES

**“DIMENSIONAMENTO E ANÁLISE TÉRMICA DE UM DESSALINIZADOR SOLAR
TIPO BACIA COM COBERTURA ASSIMÉTRICA”**

Tese **APROVADA** pelo Programa de Pós
– Graduação em Engenharia Mecânica da
Universidade Federal de Uberlândia.

Área de Concentração: Transferência de
Calor e Mecânica dos Fluidos.

Banca Examinadora:

Prof. Dr. Ricardo Fortes de Miranda – FEMEC –UFU – Orientador

Prof. Dr.

Prof. Dr

Prof. Dr

Prof. Dr

Prof. Dr

Uberlândia, ____de ____de 2013.

Incomparável Senhora da Conceição
Aparecida, Mãe de Deus, Rainha dos Anjos,
advogada dos pecadores, minha padroeira e
de minha querida mãe Luisa dos Santos
Lopes, obrigado por esta oportunidade.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus e a Nossa Senhora Aparecida pela força e coragem para superar todos os obstáculos e conduzido as grandes vitórias.

Agradeço ao meu orientador o Prof. Dr. Ricardo Fortes de Miranda pela amizade e o voto de confiança.

Agradeço ao meu Co-Orientador Prof. Keyll Carlos Ribeiro Martins pela amizade e ajuda.

Agradeço a minha avó Raimunda Rosa Lopes pela educação recebida.

Ao meu pai Cloves Saturnino Lopes, com muita admiração(*in memorian*).

Agradeço ao Curso de Engenharia Mecânica do IFMA pela oportunidade e tratamento na realização do Doutorado.

Agradeço a todos os técnicos administrativos, alunos e professores do curso de física da Universidade Estadual do Maranhão (UEMA).

Agradeço aos professores Francisco Miranda filho, Batista e Barros pela grande amizade e respeito.

Agradeço aos companheiros do SINTUEMA Válber Tomé, Miguel Benedito Santos, José Magno, Francenilson, Mariabel, Dionizio, Ducileide, Maria do Socorro, Edilson e Geovane.

Agradeço a todos os professores da Faculdade de Engenharia Mecânica da UFU que ministraram aulas no DINTER - UFU/IFMA.

Agradeço aos meus irmãos Kleber Umbelino Lopes, Raimunda Rosa Lopes, Maria das Graças Lopes, Francisca das Chagas Lopes, Cloves Saturnino Lopes Filho e Lucimar dos Santos Lopes com muito respeito e consideração.

Agradeço a minha esposa Maria José dos Santos Farias e meus netos Cesar Ricardo Muniz Lopes e Camila Lopes pela paciência e compreensão ao longo da realização deste trabalho.

Agradeço aos meus filhos Paulo Cesar Farias Lopes, Cesar Ricardo Farias Lopes, Talyson Jonas Lopes e Francisca Lopes com muito carinho.

Agradecimento ao Prof. Fabio Sales um exemplo de profissional a ser seguido.

Aos companheiros Hugo e Dayse com muito respeito e admiração.

A CAPES pelo apoio financeiro através da bolsa de estudos.

Aos servidores administrativos do Departamento de Física da Universidade Estadual do Maranhão: Válber Tomé Ribeiro Gomes, Miguel Benedito Santos, Mariabel de Lourdes B. Abreu, José Antônio Serra Diniz, Deusa de Jesus Serra Silva, José Magno Silva e Carlos Alberto Gama, pelo incentivo e presença constante, durante o desenvolvimento deste trabalho.

Ao Prof. Dr. Waldemir Silva de Lima, pelas suas contribuições, além da paciência e honestidade no relacionamento ao longo do mestrado que foi de grande valia para realização do presente trabalho.

Aos professores e grandes companheiros: Marco Pólo Fonseca Rocha, Paulo Sérgio Feitosa Barroso e Manuel Marin Caro, Francisco Pinto Lima, José de Ribamar Gomes.

A todos os companheiros do Futebol da UEMA, pela amizade, sinceridade e honestidade.

Ao professor e amigo Francisco de Assis Miranda, pela sua contribuição para o
Desenvolvimento deste trabalho.

Aos professores João coelho silva filho, Raimundo Merval Moraes Gonçalves, Axel Peter Winterhalder e Antônio Magno Barros, pelo incentivo na realização deste trabalho.

Aos professores amigos e companheiros de grandes lutas, Célia Costa, Paulo Rios, Saturnino e Saulo costa Arcangeli.

Os meus agradecimentos ao professor Antônio Araújo Junior com grande amizade e respeito.

Ao professor Luís Carlos como incentivador antes e durante a realização do doutorado.

Ao professor Robert pelo incentivo na realização do presente trabalho.

Ao professor Tiago do Espirito Santo Baldez Neves pelo exemplo de humildade e disposição de sempre ajudar o próximo, os meus agradecimentos.

Aos membros do Laboratório de Tec. de Bebidas e Água do IFMA/Maracanã, em especial ao professor Silvo Carlos Coelho pela análise físico – químico de grande relevância para o presente trabalho, os meus agradecimentos.

Os meus agradecimentos ao grande amigo José Raimundo Morão.

Aos professores Hernandes e Rubens Soeiro do curso de mecânica do IFMA, os meus agradecimentos e respeito.

Os meus agradecimentos a todos aqueles que direto ou indiretamente contribuíram para realização deste trabalho.

“Bem-aventurados os pobres de espírito, porque deles é o Reino dos Céus.

Bem-aventurados os que choram, porque serão consolados.

Bem-aventurados os mansos, porque herdarão a terra.

Bem-aventurados os que têm fome e sede de Justiça, porque serão fartos.

Bem-aventurados os misericordiosos, porque encontrarão a misericórdia.

Bem-aventurados os puros de coração, porque verão a face e Deus.

Bem-aventurados os pacificadores, porque serão chamados filhos de Deus.

Bem-aventurados os que sofrem perseguição por causa da Justiça, porque deles é o Reino dos Céus.

Bem-aventurados sois vós, quando vos injuriarem, perseguirem e mentirem, dizendo todo mal contra vós por minha causa.

Exultai e alegrai-vos, porque é grande vosso galardão nos céus, porque assim perseguiram os profetas que foram antes de vós.”

Mateus (5:2-12)

LOPES, Joaquim Teixeira, **Análise térmica e dimensionamento de um dessalinizador solar tipo bacia com cobertura assimétrica**. 2013. 187p. Tese de Doutorado, Universidade Federal de Uberlândia, Minas Gerais, Brasil.

RESUMO

Este trabalho tem como finalidade estudar a viabilidade do dessalinizador solar assimétrico com bacia parabólico composto, ou seja: analisar a eficiência na conversão da água salobra em água potável para consumo humano em regiões de difícil acesso, bem como estudar os fenômenos de transporte envolvidos. A metodologia utilizada para desenvolvimento do projeto constitui-se em caracterizar a geometria da cobertura e da bacia do sistema, além de realizar a análise físico - química da amostra e do destilado, dimensionar e construir os equipamentos de dessalinização, operando em mesma igualdade de condição dos quatro dessalinizadores, para tratamentos dos dados na avaliação ecológica e econômica. A alimentação dos dessalinizadores foi realizada com água salgada coletada na baía de São José de Ribamar para coordenadas 2°33'23,62"S 44°03'11, 48 O no período de 12 meses. Foram monitoradas as temperaturas da água e temperaturas dos vidros, assim como os dados de radiação solar, umidade do ar, temperatura ambiente, pressão atmosférica, nebulosidade e a vazão mássica do condensado. Após os tratamentos dos dados constatou-se que o dessalinizador assimétrico, com ângulos de inclinações 20° e 45°, operado entre 06 de janeiro de 2012 a 10 de abril de 2012, dividido em duas etapas, totalizando nesse período 24 experimentos, foi o destilador solar com melhor desempenho, tanto para as operações com altas e baixas nebulosidades. Apresentou uma produção média diária de 3,32 L/m²d de destilado, com uma eficiência de 59,66% para uma radiação média de 534,87 W/m² e custo de produção de R\$ 0,0437 por litro de destilado. A qualidade do destilado, com respeito aos parâmetros físico-químicos avaliados neste estudo, está compatível com a Classe 3 de água doce do CONAMA (Resolução 357 – Portaria 517 do Ministério da Saúde). Pelo exposto a destilação solar apresentada na presente pesquisa tem viabilidade de águas para consumo humano, considerando-se os aspectos técnicos e ambientais, sendo também viável economicamente.

Palavras-chave: *Dessalinização solar. Radiação Solar. Fenômenos de transporte. Água doce.*

LOPES, JOAQUIM TEIXEIRA, **Thermal analysis and sizing of a solar desalination unit type bowl with asymmetric**. 2013.187p.Tese Doctoral, Federal University of Uberlândia, Minas Gerais, Brazil.

ABSTRACT

This work aims to study the feasibility of solar desalination asymmetric compound parabolic basin, ie analyze the efficiency in the conversion of brackish water into potable water for human consumption in areas of difficult access, as well as to study the transport phenomena involved. The methodology used for development of the project consists in characterizing the geometry of the basin and cover system, and perform a physical examination - chemical sample and distilled scale and build desalination equipment operating on the same equal footing the four desalination plants, for treatment of the data on the ecological and economic assessment. The alimentation of desalination was performed with seawater collected in the bay of St. Joseph of Ribamar for coordinates $2^{\circ} 33'23$, $62^{\circ} S$ $44^{\circ} 03'11$, 48 within 12 months. Were monitored water temperatures and temperatures glasses, as well as the data of solar radiation, air humidity, temperature, atmospheric pressure, cloudiness and the mass flow of condensate. After treatment of the data found that the desalter asymmetrical, with angles of inclination 20° and 45° , operated between January 6, 2012 to April 10 2012, in two phases, totaling 24 experiments during this period, was the solar distiller with improved performance, both for operations with high and low cloudiness. Presented an average daily production of $3.32 \text{ L} / \text{m}^2 \text{ d}$ of distillate, with an efficiency of 59.66% for an average radiation of $534.87 \text{ W} / \text{m}^2$ and production cost of R\$ 0.0437 per liter of distillate. The quality of the distillate with respect to physicochemical parameters evaluated in this study is compatible with Class 3 freshwater CONAMA (Resolution 357 - Ordinance 517 of the Ministry of Health). By exposure to solar distillation presented in this research is the feasibility of water for human consumption, considering the technical and environmental aspects, and also economically viable. By exposure to solar distillation presented in this research is the feasibility of water for human consumption, considering the technical and environmental aspects, and also economically viable.

Keywords: Solar desalination. Solar Radiation. Transport phenomena. Freshwater.

LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1	- Dessalinizador solar tipo bacia.....	24
Figura 2.2	Comparação entre a produção real e simulada.....	27
Figura 2.3	- Dessalinizadores tipo bacia, assimétricos e simétricos.....	29
Figura 2.4	Dessalinizador solar plano e cilíndrico – parabólico.....	30
Figura 2.5	- Esquema de um destilador.....	31
Figura 2.6	- Efeito das condições ambientais na produção do dessalinizador em dias claros.....	31
Figura 2.7	- Desempenho de destilador tipo bacia.....	32
Figura 2.8	- Destilador solar com cobertura de 20°.....	33
Figura 2.9	Destilador solar com cobertura de 45°.....	33
Figura 2.10	Destilador solar tipo bacia plano retangular.....	34
Figura 2.11	- Destilador solar de fibra de vidro-bacia plano retangular.....	35
Figura 2.12	- Destilador solar superfície côncavo.....	35
Figura 2.13	Destilador solar côncavo.....	36
Figura 2.14	- Destilador Solar Hemisférico.....	37
Figura 2.15	- Sistema de medições e instalações completa com conjunto de dessalinizadores.....	37
Figura 2.16	- Dessalinizador Solar etapas de construção.....	38
Figura 2.17	- Dessalinizado Solar.....	38
Figura 2.18	- Destilador Solar com Bacia Plana.....	39
Figura 2.19	- Bacias Associadas Passo a Passo.....	40
Figura 2.20	- Coletor Parabólico Composto – CPC.....	41
Figura 2. 21	- Relaciona altura com abertura do CPC.....	42
Figura 2.22	- Área Refletora com Abertura do CPC.....	42
Figura 2.23	- Número Médio de Reflexões do CPC.....	43
Figura 2.24	- Dessalinizador Solar Simétrico.....	44
Figura 2.25	- Parâmetros do CPC.....	47

Figura 2.26	- Teste Óptico do Coletor Parabólico Composto (CPC).....	49
Figura 2.27	- Raio incidente no foco 1 do coletor parabólico composto.....	50
Figura 2.28	- Raio incidente no foco 2 do coletor parabólico composto.....	51
Figura 2.29	- Refletância e transmitância do vidro em função da inclinação de cobertura.....	52
Figura 2.30	- Área de cobertura em função do ângulo de inclinação do CPC.....	53
Figura 3.1	- Construção do Dessalinizador Solar.....	62
Figura 3.2	- Coletor Parabólico Composto.....	62
Figura 3.3	- Geometria do CPC.....	63
Figura 3.4	- Dessalinizador Solar Assimétrico Parabólico Composto (20° e 45°).....	64
Figura 3.5	- Dessalinizador Solar Assimétrico Parabólico Composto (30° e 55°).....	64
Figura 3.6	- Dessalinizador Solar Simétrico Parabólico Composto (20° e 20).....	65
Figura 3.7	- Dessalinizador Solar Simétrico Parabólico Composto (45° e 45°).....	65
Figura 3.8	- Equipamentos utilizados para registro de dados.....	67
Figura 4.1	- Condições climatológicas média horária Dessalinizador Solar (20° e 45°).....	59
Figura 4.2	- Perfis de temperatura para o dessalinizador assimétrico (20° e 45°): 1.0 cm.....	70
Figura 4.3	- Perfis de temperatura para o dessalinizador assimétrico (20° e 45°): 0,50 cm.....	71
Figura 4.4	- Variação da temperatura da água em função da radiação incidente DSAPA (20° e 45°).....	72
Figura 4.5	- Variação da temperatura da cobertura de vidro em função da radiação incidente para o DSAPC (20° e 45°).....	72
Figura 4.6	- Coeficiente convectivo em função da temperatura DSAPC (20° e 45°).....	73
Figura 4.7	- Coeficiente evaporativo em função da temperatura do	

	dessalinizador (20° e 45°).....	74
Figura 4.8	- Produção de destilado real produzido diariamente pelo DSAPA (20° e 45°).....	76
Figura 4.9	- Produtividade em função da temperatura da água DSAPC (20° e 45°).....	76
Figura 4.10	- Produtividade em função do gradiente temperatura DSAPC (20° e 45°).....	77
Figura 4.11	- Temperatura da água e temperatura do vidro DSAPC (20° e 45°).....	78
Figura 4.12	- Produtividade real e produtividade simulada do DSAPC (20 e 45°).....	79
Figura 4.13	- Gráficos comparativos da destilação solar real vs. passivo e ativo.....	80
Figura 4.14	- Gráfico comparativo de área e produtividade.....	81
Figura 4.15	- Produtividade (20° e 45°) e desvio padrão.....	81
Figura 4.16	- Condições climatológicas média horária DSAPC (30° e 55°)....	83
Figura 4.17	- Temperatura da água e temperatura do vidro DSAPC (30° e 55°).....	84
Figura 4.18	- Produtividade real e produtividade simulada do DSAPC (°30 e 55°).....	85
Figura 4.19	- Correlação entre produtividade real e produtividade simulada DSAPC (30° e 55°).....	85
Figura 4.20	- Condições climatológicas média horária DSSPC (45° e 45°)....	87
Figura 4.21	- Temperatura da água e temperatura do vidro DSSPC (45° e 45°).....	88
Figura 4.22	- Produtividade real e produtividade simulada do DSSPC (45° e 45°).....	88
Figura 4.23	- Correlação entre Produtividade real e produtividade simulada DSSPC (45° e 45°).....	89
Figura 4.24	- Condições climatológicas média horária DSSPC (20° e 20°)....	90
Figura 4.25	- Temperatura da água e temperatura do vidro DSSPC (20° e 20°).....	90

Figura 4.26	- Produtividade real e produtividade simulado DSSPC (20° e 20°).....	91
Figura 4.27	- Correlação entre produtividade e temperatura DSSPC (20° e 20°).....	92
Figura 4.28	- Temperatura do CPC em função do tempo no centro e focos...	93
Figura 4.29	- Temperatura do CPC em função do tempo no centro.....	94
Figura 4.30	- Custo Comparativo de produção.....	100
Figura 4.31	- Dispersão de tratamento de crescimento da radiação solar.....	103
Figura 4.32	- Resíduo padronizado da radiação solar.....	104
Figura 4.33	- Dispersão de tratamento de crescimento da temperatura ambiente.....	105
Figura 4.34	- Resíduo padronizado da temperatura ambiente.....	106
Figura 4.35	- Dispersão de tratamento de crescimento da produtividade.....	107
Figura 4.36	- Resíduo padronizado da produtividade.....	108
Figura 4.37	- Dispersão de tratamento de crescimento da temperatura da água....	110
Figura 4.38	- Resíduo padronizado da temperatura da água.....	111

LISTA DE TABELAS

Tabela 2.1	- Propriedades do alumínio e do cobre.....	45
Tabela 2.2	- Tipos de vidro para cobertura do coletor solar.....	46
Tabela 3.1	- Parâmetros físico – químico e métodos empregado.....	59
Tabela 3.2	- Medidas do dessalinizador solar assimétrico (20° e 45°).....	60
Tabela 3.3	- Medidas do dessalinizador solar assimétrico com (30° e 55°).....	60
Tabela 3.4	- Medidas do dessalinizador solar assimétrico com (45° e 45°).....	60
Tabela 3.5	- Medidas do dessalinizador solar assimétrico com (20° e 20°).....	61
Tabela 3.6	- Dimensionamento do coletor parabólico composto (CPC).....	62
Tabela 4.1	- Comparação entre tipos diferentes de dessalinizadores solares.....	95
Tabela 4.2	- Resultado médios das análises dos desaminizados dos DSAPC e DSSPC.....	95
Tabela 4.3	- Redução dos parâmetros físico-químico.....	98
Tabela 4.4	- Custo para construção dos equipamentos de dessalinização solar.....	98
Tabela 4.5	- Radiação dos experimentos para profundidade 1.00cm e 0.50cm.....	102
Tabela 4.6	- Temperatura ambiente dos experimentos para profundidade 1.00cm e 0.50cm.....	104
Tabela 4.7	- Produtividade do DSAPC (20° e 45°).....	107
Tabela 4.8	- Temperatura da água dos experimentos para profundidade 1,00cm e 0,50cm.....	109

LISTA DE SÍMBOLOS

•	- Taxa de condensação [kg/m ² h]
m_{cond}	
$h_{e,w-g}$	- coeficiente de transferência de calor por evaporação da superfície da água para cobertura de vidro[W/m ² °C]
$h_{c,w-g}$	- Coeficiente de transferência de calor por convecção da superfície da água para cobertura de vidro[W/m ² °C]
α	- Ângulo de inclinação do Dessalinizador [°]
θ	- Ângulo de inclinação do Dessalinizador [°]
L	- Calor latente de vapor de água,(J/Kg)
W	- Comprimento do Dessalinizador [m]
$\theta \neq \alpha$	- Dessalinizador Assimétrico
$\theta = \alpha$	- Dessalinizador Simétrico
$I(t)$	- Radiação solar [W/m ²]
T_g	- Temperatura da água no vidro (condensado) [°C]
T_w	- Temperatura da água na base do Dessalinizador [°C]
a'	- Metade do comprimento da abertura de saída do fluxo luminoso
a	- Metade do comprimento da abertura de entrada do fluxo luminoso
L	- Largura do Condensador [m]
L	- Comprimento da altura do CPC
n	- Números de anos de operação do sistema
ζ	- fator de correção da equação
$C_{DSAPC}(20^\circ \text{ e } 45^\circ)$	- Custo real do dessalinizador ao longo do ano[R\$]
$C_{inicial}$	- Custo inicial do dessalinizador assimétrico parabólico composto [R\$]
C_{EE}	- Custo real em energia elétrica de um sistema de dessalinização [R\$]
H_o	- radiação solar extraterrestre [W/m ²]
θ	- Ângulo de latitude local [°]
δ	- Ângulo de declinação solar [°]

ω_s	- Ângulo horário pôr do sol [°]
$\theta_{\text{máx}}$	- Ângulo de aceitação do coletor parabólico composto [°]
A_c	- Área de cobertura do dessalinizador solar simétrico ou assimétrico[m]
A_s	- Área de superfície da lamina de água do evaporador[m ²]
W	- Comprimento do Dessalinizador [m]
f	- Distancia focal do coletor parabólico composto [m]

SUMÁRIO

	CAPÍTULO I.....	20
1	INTRODUÇÃO.....	20
	CAPÍTULO II.....	22
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	22
2.1	Evolução Histórica da Dessalinização.....	22
2.2	Radiação Solar Extraterrestre.....	25
2.3	Radiação Solar Direta e Difusa.....	25
2.4	Radiação Solar Extraterrestre sobre uma Superfície Horizontal.....	26
2.5	A Geometria do Sistema de Dessalinização Solar.....	27
2.6	Truncamento do Coletor Parabólico Composto.....	41
2.7	Parâmetros Geométricos do CPC.....	46
2.8	Análise Óptica do Coletor Solar Cilíndrico Parabólico Composto.....	49
2.9	Modelo Matemático para o Dessalinizador Solar Assimétrico.....	53
	CAPÍTULO III.....	58
3	MATERIAIS E MÉTODOS.....	58
3.1	Parâmetros Físico – Químico Avaliado no Presente Trabalho.....	58
3.2	Construção dos Equipamentos.....	59
3.3	Operação do Sistema.....	66
3.4	Equipamentos Utilizados para Registro de Dados Experimentais.....	66
	CAPÍTULO IV.....	68
4	RESULTADOS E ANÁLISES EXPERIMENTAIS.....	68
4.1	Aspectos Climáticos.....	68
4.2	Perfil da Temperatura.....	69
4.3	Coeficientes de Transferência de Calor Convectivo e Evaporativo.....	73
4.4	Simulação da Produção de Destilado Mediante Aplicação de um Modelo Teórico de Transferência de Calor e Massa.....	75
4.5	Análises das Quantidades de Destilados Reais e Simulados Produzidos pelo DSAPC.....	75

4.6	Dessalinizador assimétrico parabólico composto com (30° e 55°)...	82
4.6.1	<i>Aspectos climáticos.....</i>	82
4.7	Dessalinizador Simétrico Parabólico Composto com (45° e 45°).....	86
4.7.1	<i>Aspectos climáticos.....</i>	86
4.8	Dessalinizador simétrico parabólico composto com (20° e 20°).....	89
4.8.1	<i>Aspectos climáticos.....</i>	89
4.9	Estudo Experimental do Coletor Parabólico Composto.....	92
4.10	Caracterização da Amostra e Qualidade do Destilado Obtido.....	96
4.11	Análise Econômica.....	98
4.12	Comparações de custos do destilado do DSAPC (20° e 45°).....	99
4.13	Análise financeira.....	101
4.14	Análise estatística de resultados.....	101
4.15	Análise estatística de variáveis externas.....	101
4.15.1	<i>Radiação Solar.....</i>	102
4.15.2	<i>Temperatura Ambiente.....</i>	104
4.16	Produtividade.....	106
4.17	Temperatura da água no Evaporador.....	109
	CAPÍTULO V.....	112
5	CONCLUSÃO E SUGESTÃO.....	112
5.1	Conclusão.....	112
5.2	Sugestões de Continuidade do Trabalho.....	113
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	115
	APÊNDICES.....	120

CAPÍTULO I

INTRODUÇÃO

A primeira aplicação da destilação solar, de que se tem conhecimento, teve início em 1872, no deserto da região de Las Salinas, no Chile (DUFFIE, BECKMAN, 1991). Esse sistema operou durante três décadas fornecendo água para os animais usados nas minas.

O destilador consistia de uma bacia rasa com base pintada de preto. Recebia água com sal e absorvia a radiação solar de uma cobertura transparente para condensação e canaletas para recolhimento do destilado. Produzia aproximadamente 20 mil litros de água e ocupava 4,459 m² de área (MALUF, 2005).

A mais antiga referência sobre dessalinização solar tem seu registro no velho testamento da Bíblia Sagrada, no capítulo 15 do livro de Êxodo. Tem-se que: “Depois fez Moisés partir os israelitas do Mar Vermelho, e saíram ao deserto de Sur; e andaram três dias no deserto, e não acharam água, então chegaram a Mara; mas não puderam beber das águas de Mara, porque eram amargas; por isso chamou-se o lugar Mara, e o povo murmurou contra Moisés, dizendo: Que havemos de beber? e ele clamou ao Senhor, e o Senhor mostrou-lhe uma árvore, que lançou nas águas, e as águas se tornaram doces, Ali lhes deu estatutos e uma ordenança, e ali os provou,” (Êxodo, cap. 15, vers. 22-25). (BÍBLIA SAGRADA, 2006).

A água é um recurso natural que está cada vez mais escasso no planeta, segundo Vargas (2001) o volume total de água no planeta não se está reduzindo, porque não há perdas no ciclo de evaporação e precipitação. O que caracteriza a escassez é a poluição. O Brasil é um país privilegiado por concentrar 11,6% de toda água doce do planeta, além de possuir o rio Amazonas considerado o maior rio do mundo, e apresentar

parte do maior reservatório de água subterrânea do planeta, sendo o Sistema Aquífero Guarani. No entanto, essa água está mal distribuída, pois 70% das águas doces do Brasil estão na Amazônia, onde vivem apenas 7% da população e essa distribuição deixa apenas 3% da água para a região nordeste do país, formado pelos Estados do Maranhão, Piauí, Ceará, Alagoas, Rio Grande do Norte, Paraíba, Pernambuco, Sergipe e Bahia. Em razão da variedade de clima, vegetação e economia, está dividida em cinco grandes zonas: litoral, zona da mata, agreste, sertão e meio norte, na região do semiárido nordestino. Grande parte da área é coberta por rochas cristalinas. De acordo com Santos et al. (2008) nessas áreas os poços tubulares perfurados para captação de água subterrânea geralmente são de baixas vazões e altas salinidades, tornando inviável o seu uso para a agricultura convencional, pois a mesma necessita de grandes quantidades de água. Pinheiro e Silva. (2010) afirmam que as águas em contato as rochas cristalinas adquirem algumas de suas características químicas, sendo, portanto, estas características variáveis em função do material rochoso à qual a água está confinada, podendo torná-la salobra. O processo de dessalinizar a água salobra ou salgada sem agredir o meio ambiente, requer um programa bem formulado.

Na região do semiárido ocorrem muitos exemplos de programas ineficientes marcados pela improvisação, paternalismo e com o desperdício de dinheiro público. Para enfrentar estes desafios é necessária a capacitação de pessoal, o avanço e as escolhas tecnológicas adequadas (PINHEIRO; SILVA, 2010), tendo em vista a frequente aplicação da energia solar como fonte alternativa de aproveitamento de energia em sistemas termo – fluidos.

O presente trabalho visa desenvolver melhorias no processo de dessalinização de água salobra ou salgada, analisando, assim, alterações na geometria do dessalinizador e controle nas estratégias de utilização, portanto, apresenta-se um estudo sobre um dessalinizador solar do tipo bacia com cobertura assimétrica, piso parabólico composto, disposto em paralelo com uso exclusivo de energia solar, a baixo custo, quando comparado com outros métodos de dessalinização da água salobra ou do oceano, com a vantagem de baixa emissão de poluentes. A destilação solar tem-se configurado como uma tecnologia ecologicamente limpa, de simples implantação e manutenção, para dessalinização de águas salobras ou salinas.

CAPÍTULO II

REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Evolução Histórica da Dessalinização

Destefani et al. (2007) fizeram o seguinte levantamento histórico sobre a dessalinização, como 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 Harkins 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. Consistia de 64 tanques de água (num total de 4,459 m²) feito 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. Com a chegada da ferrovia ocorreu a abertura da região, e a instalação do destilador solar foi sendo deteriorado até o fim de sua operação em 1912, 40 anos após sua construção.

No Brasil, as primeiras experiências com destilação solar foram realizadas em 1970, sob os auspícios do ITA-Instituto Tecnológico da Aeronáutica. 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 vem-se tornando cada vez mais reduzido em seus vários processos, tais como destilação convencional, destilação

artificial, eletrodialise e osmose reversa.

Países mais desenvolvidos tecnicamente têm investido maciçamente em pesquisas de dessalinização, destacando-se a Inglaterra, os EUA, 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. Apresenta – se a seguir uma revisão dos trabalhos realizados ao tema central desta tese.

Muitos trabalhos têm sido publicados por diversos pesquisadores sobre métodos de dessalinização, com a finalidade de reduzir os custos dos dessalinizadores e aumentar o acesso a água potável, nas regiões onde a água possui um teor médio de sais acima do permitido para consumo, pela organização mundial de saúde, que é de 500 mg/litros. Na tentativa de fornecer mais uma alternativa para solucionar o problema e visando a obtenção de água potável, apresenta-se neste trabalho um dessalinizador solar tipo bacia assimétrico, com piso cilindro parabólico, disposto em paralelo.

A Fig. 2.1 ilustra o sistema térmico apresentado por Lopes (2004), na intenção de explicar de maneira simplificada, as características envolvidas no estudo de um dessalinizador solar híbrido, constituído de um coletor solar plano para pré-aquecimento da água salobra até 70 °C e um trocador de calor(evaporador-condensador) que recebia a água proveniente do coletor e elevava sua temperatura até o ponto de ebulição através de aquecimento por resistência elétrica. A eletricidade necessária era gerada por sensores fotovoltaicos. O sistema proposto produzia 14 litros de água dessalinizada por dia.



Figura 2.1 – Dessalinizador solar tipo bacia
Fonte: Lopes(2004).

Segundo Ismail (2002), a energia solar é gerada no núcleo do sol à temperatura de aproximadamente $15000000,00\text{ }^{\circ}\text{C}$ e a pressão de 340 bilhões de vezes à pressão atmosférica da terra ao nível do mar; neste caso, são tão intensas que ocorrem reações nucleares. São reações (fusão nuclear) que transformam 04 (quatro) prótons ou núcleos de átomos de hidrogênio em uma partícula alfa, que é o núcleo do átomo de Hélio.

A partícula alfa é aproximadamente massiva do que 04 (quatro) prótons. A diferença em massa é expelida como energia e “carregada” até a superfície do sol, através de um processo conhecido como convecção e é liberada em forma de luz e calor. A energia gerada no interior do sol leva um milhão de anos para chegar à superfície. A quantidade de energia solar recebida na atmosfera externa por ano é chamado SERPY e é igual a $1,5 \times 10 \text{ MWh}$.

É interessante notar que $1 \text{ SERPY} = 28000$ vezes a energia utilizada no mundo por ano. Aproximadamente 30% da radiação solar recebida na atmosfera externa da terra é refletida de volta ao espaço na forma de radiação de ondas curtas; quase 47% são absorvidas pela atmosfera, superfície da terra, oceanos e convertida em calor na forma de temperatura ambiental do planeta; o restante 23% provoca evaporação, convecção, precipitação, etc. Uma pequena parte é usada na convecção atmosférica e oceanográfica, na ordem de 370 bilhões kW. Uma parte menor ainda é utilizada na produção de biomassa, a qual é da ordem de 40 bilhões kW; esses dois processos usam somente 0,4% da radiação solar atingida a superfície da terra (ISMAIL, 2002).

2.2 Radiação Solar Extraterrestre

A radiação solar recebida acima da atmosfera é denominada radiação solar extraterrestre e seu estudo tem sido amplamente pesquisado. Nos anos 50, os valores da intensidade da radiação solar extraterrestre eram apenas estimados, pois as medidas eram realizadas na superfície da Terra, já nos anos 70, com a evolução dos balões atmosféricos e aeronaves especiais, foi possível medir a intensidade da radiação solar fora da atmosfera.

Muitos experimentos foram realizados com diferentes instrumentos de medida, e deles resultaram o valor de $1353 \text{ W/m}^2 \pm 1,5\%$, sendo aceito pela “National Aeronautics and Space Administration” (NASA) e pela “American Society of Testing and Materials” (ASTM). Nos anos 80, através de novas medidas realizadas passou-se a recomendar o valor de $1367 \text{ W/m}^2 \pm 1\%$ reconhecido pelo “The World Radiation Center” (WRC).

Este número, denominado Constante Solar (G_{sc}), 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).

2.3 Radiação Solar Direta e Difusa

A intensidade e a distribuição espectral da radiação solar que incidem sobre a superfície da terra dependerão das condições atmosféricas e da massa atmosférica atravessada pela radiação. Ao atravessar a atmosfera, essa radiação percorrerá um caminho de constantes interações, sendo parcialmente absorvida sofrendo inúmeras reflexões e espalhamentos. A partir destes fenômenos, o estudo da radiação solar incidente na superfície da terra divide-se em duas partes distintas: a radiação solar direta, que é a parcela da radiação sem ser espalhada pela atmosfera; já a radiação solar difusa é a parcela da radiação que sofreu modificações em sua trajetória ao atravessar a atmosfera. A soma das parcelas direta e difusa é denominada radiação global.

Com tempo claro, as proporções entre estas duas radiações variarão no decorrer do dia dependendo da altura do sol e das quantidades de água, gás carbônico e poeira contidas na atmosfera. Nesta condição, segundo Palz (2002), a radiação direta será dez vezes superior à radiação difusa quando o sol está próximo do zênite, mas a difusa tornar-se-á quase igual à direta quando o sol estiver próximo do horizonte. Com tempo

nublado, a radiação difusa é sempre superior à direta.

A medida da radiação solar é realizada por instrumentos denominados piranômetros, que registram os valores da radiação em intervalos de tempo determinados e, em geral, são armazenados em valores horários ou diários.

Já na medida da radiação global, o piranômetro é colocado sobre uma base horizontal, que recebe a energia solar de todo o hemisfério, ou seja: de todas as direções, sendo que, na medida da radiação difusa, o piranômetro deverá ser protegido da luz solar direta por um pequeno disco ou cinta que mantém uma sombra constantemente sobre o sensor.

E com relação à medida da radiação direta, utiliza-se um pireliômetro, instrumento que tem o sensor no interior de um tubo comprido, com uma abertura colimada, onde a superfície receptora deve ser mantida normal aos raios solares.

O pireliômetro só será capaz de receber, portanto, os raios provenientes diretamente do sol, variando pela relação do inverso do quadrado da distância até o centro do sol, analisando a partir da fotosfera. Vários valores da constante solar foram sugeridos e o mais preciso considerado hoje, é 1367 W/m².

2.4 Radiação Solar Extraterrestre Sobre uma Superfície Horizontal

A intensidade da radiação solar recebida sobre uma superfície durante determinado tempo é essencial para um bom dimensionamento de sistemas que utilizam energia solar. A energia da radiação solar extraterrestre recebida durante um dia, sobre uma superfície paralela no plano horizontal da superfície da terra, é bem determinada através da equação (1), (LUIZ, 1985).

$$H_o = 3600 \times G_{sc} \times \left[1 + 0,33 \times \cos\left(\frac{369 \times n}{354}\right) \right] \times \left[\left(\frac{2 \times \omega_s}{15}\right) \times \sin\theta \sin\delta + \left(\frac{24}{\pi}\right) \times \cos\theta \cos\delta \sin\omega_s \right] \quad (2.1)$$

Em que, H_o é a energia da radiação solar extraterrestre; θ é a latitude, δ é o ângulo de declinação, n é o número de dias a partir de 1° de janeiro e ω_s é o ângulo horário pôr do sol.

Diferentemente do que acontece com a radiação solar extraterrestre, há muita dificuldade em antever, através de métodos teóricos, a intensidade da radiação solar sobre uma superfície horizontal nas proximidades da terra, uma vez que as características

atmosféricas estão variando constantemente, devido a essa impossibilidade de predeterminar com eficácia a intensidade dessa radiação, as medidas dessa grandeza são realizadas diretamente pelos piranômetros. O pireliômetro mede a radiação direta, o heliógrafo registra a duração de o brilho solar e fornece o número de horas de insolação. Actinógrafo é um instrumento utilizado para medir radiação global.

2.5 Sistema de Dessalinização Solar

AL-HINAI et al. (2007) afirmam que a água é um elemento importante no desenvolvimento da economia e do bem-estar de qualquer nação. Uma das principais preocupações no Terceiro Mundo no momento é encontrar novos recursos e novos processos de obter água doce, sistemas de dessalinização são usados tradicionalmente em muitos países do mundo e em particular no Médio Oriente e os Estados do Golfo, onde os recursos hídricos são muito escassos. A utilização da energia solar em dessalinização está crescendo, especialmente na região onde a intensidade da radiação solar é muito elevada.

Zizzias et al. (2012) estudaram as modificações do destilador solar com um tanque coletor acumulador integrado, com a finalidade de obter maior produção. O modelo físico - matemático que descreve o comportamento do destilador foi validado mediante experimentos.

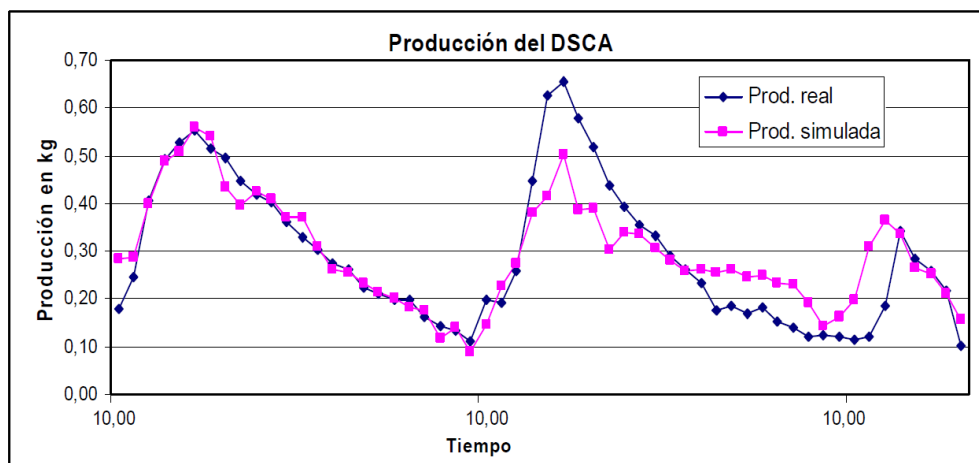


Figura 2.2 – Comparação entre a produção real e simulada
Fonte: Zizzias et al. (2012).

Segundo Vasques (2002) com a salinização da maioria dos poços uma parcela da população cearense é abastecida com água sem as mínimas condições de potabilidade.

A pesquisa empreendida busca responder à pergunta central através da dessalinização por osmose reversa, pois a infraestrutura de captação de água subterrânea, estudada detalhadamente, demonstra a alta salinidade dos Aquíferos; logo, definido o público-alvo da pesquisa e ações mitigadoras para os rejeitos da dessalinização são relatadas as pioneiras experiências cearense de implantação de dessalinizadores móveis durante a grande seca de 1998, em substituição aos carros-pipas, demonstrando-se, assim, sua viabilidade econômica. As legislações internacional e brasileira são minuciosamente pesquisadas com relação às águas subterrâneas, o que auxiliará na elaboração da minuta de lei dos recursos hídricos subterrâneos do Estado do Ceará. O objetivo final desta pesquisa, com ênfase na sua reformatação continua para consolidar-se, a médio e longo prazo em uma instituição formalmente constituída sob um enfoque moderno e inovador do modelo de preparação para estiagens já adotado por países desenvolvidos (VASQUES, 2002).

Pinto et al. (2008) estudaram a eficiência de um dessalinizador para água salobra, de baixo custo, para uso familiar, que possa atender às comunidades na região do semiárido brasileiro. O processo poderá ser aplicado tanto à água do mar (total de sólidos dissolvidos igual ou superior a 30,000 mg/L), quanto à água salobra proveniente de poços artesianos, (total de sólidos dissolvidos entre 500 e 30,000 mg/L) foram analisados as inter-relações de temperatura na lâmina d'água, no vapor produzido no ambiente externo, à altura da lâmina de água e à salinidade da água.

Grigoletto et al. (2010) desenvolveram um software que permite automatizar os cálculos de declinação solar (d), ângulo solar (W_s), irradiação solar no topo da atmosfera (R_o), fator de correção da excentricidade da órbita terrestre (E_o), ângulo diário (G) e radiação global máxima em uma superfície horizontal (Q_{gm}). Isto facilitará no desenvolvimento de pesquisas correlacionadas à área de radiação solar. Para tanto, foi utilizada a linguagem "Delphi" (Versão 5) por proporcionar um ambiente mais agradável para o usuário, pois esta interage com "Windows" e, sendo uma POO (programação orientada ao objeto), poderá ser usado e modificado pelo usuário ampliando a sua aplicabilidade.

Com finalidade de dispor de água destilada ótima foram desenvolvidos no laboratório de energia solar da Universidade Nacional de San Luís protótipos de dessalinizadores solares tipos bacias com sistemas de coberturas simétricos e assimétricos, como mostra a Fig. 2.3.

Os resultados experimentais obtidos mostraram que o dessalinizador solar tipo bacia, com cobertura assimétrica, possui uma produtividade superior entre 20 e 30% quando comparados aos dessalinizadores com cobertura simétrica; além disto, foi verificado que os dessalinizadores construídos com materiais leves, com cobertura assimétrica, possuem uma produção que supera entre 28% no verão e 40% no inverno os dessalinizadores construídos

com materiais pesados (cimento armado) (FASULO et al, 2006).

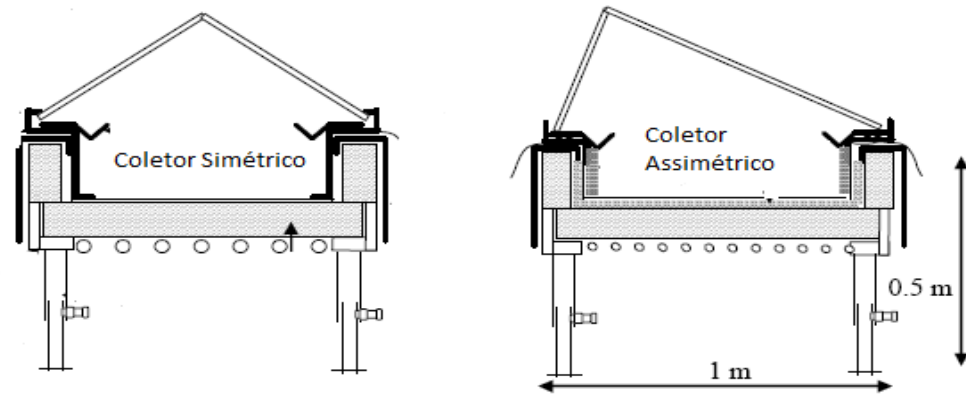


Figura 2.3 – Dessalinizadores tipo bacia, Assimétricos e Simétricos
Fonte: Fasulo et al. (2006)

Uma forma de aumentar o rendimento dos destiladores solares do tipo bacia está em assisti-lo termicamente, incorporando ao sistema um coletor solar. De acordo com estudos de coletores desenvolvidos recentemente no laboratório de energia solar, temos encontrado que os mesmos seriam um excelente complemento para o destilador convencional, motivando a construção de um destilador, assistido por um coletor solar acumulador. Dos resultados obtidos, mostra-se que o Destilador Coletor Solar Acumulador (DCSA) tem uma produção de 70% mas que o tipo bacia é 20% em relação ao tipo bacia, assistido com um coletor solar plano, (ESTEBAN, FRANCO, FASULO, 2002).

Minasian, Al-Karaghoul e Habeeb (1995) estudaram o desempenho do protótipo de um dessalinizador solar para produção de água potável com um refletor cilíndrico-parabólico metálico. O refletor foi concebido para concentrar a radiação solar incidente na superfície preta de uma bandeja localizada na linha focal do refletor, como mostra a Fig. 2.4. Os resultados dos estudos mostraram que a produtividade do dessalinizador cilíndrico-parabólico foi de 25 – 35% maior do que a produtividade do dessalinizador solar tipo bacia retangular.

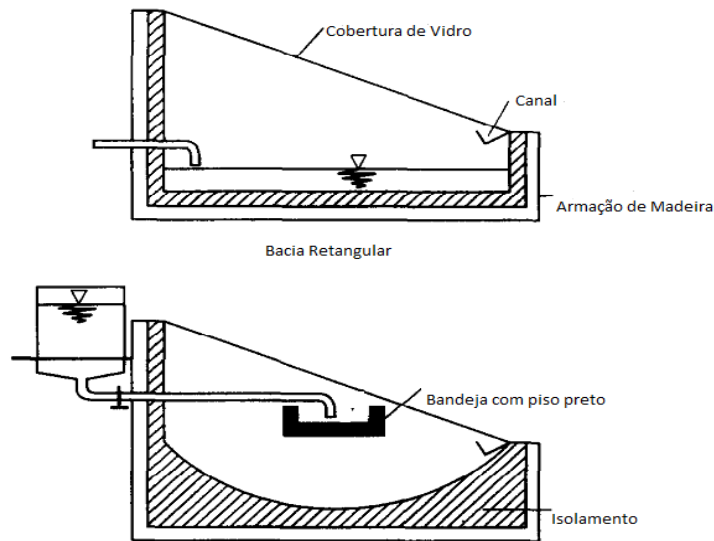


Figura 2.4 – Dessalinizador Solar Plano e Cilíndrico – Parabólico
Fonte: Minasian, AL-Karaghoul e Habeeb (1995).

Ganzarolli (1982) estudou a análise térmica de um coletor solar cilíndrico-parabólico, incluindo a determinação do comportamento óptico do sistema refletor – absorvedor, cálculo das perdas térmicas pela superfície do absorvedor e a determinação das condições ótimas de operação. Um estudo dos parâmetros e variáveis óticas do coletor foi feito, incluindo-se a elaboração do modelo teórico de cálculos para determinação da fração da energia incidente especularmente refletida, que é interceptada pelo absorvedor. A partir desse modelo foi estudado também o efeito do erro de apontamento introduzido pelo mecanismo de seguimento utilizado para acompanhar o sol. O desempenho horário foi simulado em diversos períodos do ano para o coletor construído no Laboratório de Energia Solar do Departamento de Engenharia Mecânica da Universidade Estadual de Campinas; a variação horária da eficiência foi simulada para diferentes orientações do eixo do coletor suposto na posição horizontal; duas comparações foram feitas com valores experimentais obtidos da literatura: a primeira refere-se ao efeito de erro de apontamento do coletor para o sol; a segunda em resultados de desempenho de um coletor solar cilíndrico – parabólico. As comparações feitas com dados experimentais da literatura foram, entretanto encorajadores quanto à validade do método desenvolvido.

Destefani et al. (2007) montaram um destilador com as chapas de vidro coladas com silicone, utilizando as medidas registradas no trabalho. A tampa ficou com uma inclinação de 40° à 50° ; o equipamento foi vedado com silicone e a lateral direita foi perfurada para colocar os reservatórios; a última parte do sistema foi a colocação de uma caneleira para escorrer a água destilada. Para verificação do sistema foi realizado um teste ao sol, quando foi observada a evaporação da água, conforme o esquema na Fig. 2.5.

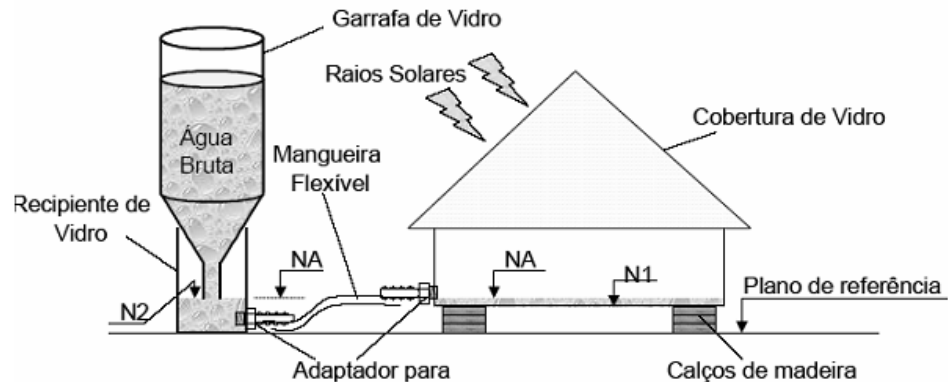


Figura 2.5 – Esquema de um Destilador
Fonte: Destefani et al, (2007).

A Fig. 2.6 mostra os efeitos das condições ambientais na produção do dessalinizador, um fator muito importante e que deverá ser levado em conta no projeto do destilador (ISMAIL, 2002). Pode - se também verificar que as curvas não passam no ponto zero. Isto significa que há uma radiação mínima para iniciar a produção de destilado. O valor mínimo para iniciar a produtividade do sistema é o valor que balança com as perdas térmicas do destilador.

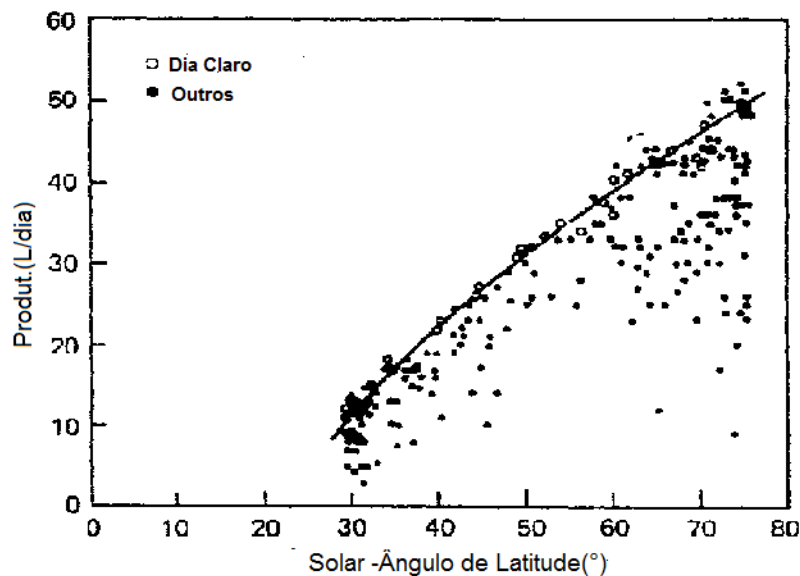


Figura 2.6 – Efeito das condições ambientais na produção do dessalinizador em dias claros
Fonte: Smail (2002).

Na Fig. 2.7, podem-se observar os resultados experimentais dos efeitos da produtividade em função da profundidade da água na bacia, confirmando que o melhor

rendimento da destilação solar passiva é conseguido para a profundidade mínima da bacia.

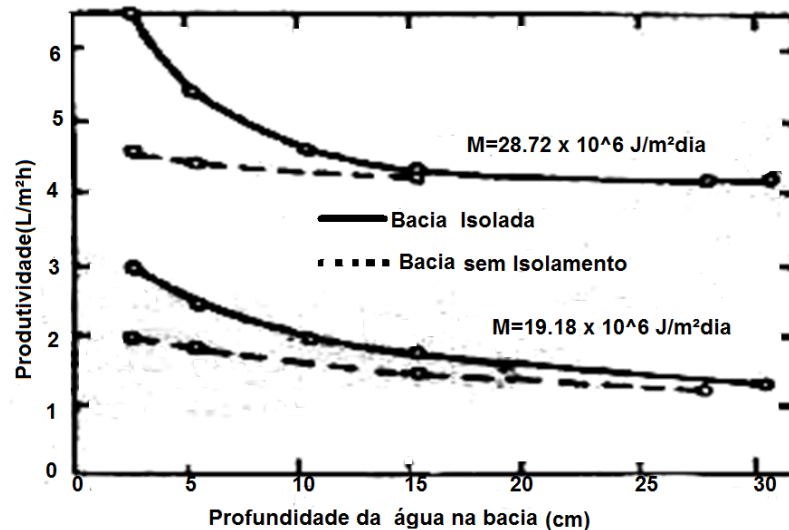


Figura 2.7 – Desempenho de destilador tipo bacia
Fonte: Ismail (2002).

Segundo Jorge (2011) os sistemas de dessalinização solar são classificados conforme o tipo de energia aplicada à bacia de água, dividido no sistema passivo e nos sistemas ativos; uma parcela extra de energia é introduzida no sistema, concretamente na bacia de água, acelerando a evaporação. A parcela extra de energia poderá ser introduzida por um coletor solar plano ou concentrador (RAI, 1982) e (TIWARI, 2009), a destilação solar passiva é a solução economicamente mais recomendada para fornecimento de água potável, enquanto o sistema ativo é a solução mais atrativa do ponto de vista comercial (TIWARI, 2007).

Estudos apresentados por Tiwari e Tiwari (2006) afirmam que a profundidade do volume da água na bacia é um parâmetro de grande importância na produtividade dos destiladores solares, cuja relação de grandezas é inversamente proporcional.

A baixa produtividade é uma desvantagem da dessalinização solar, para destiladores solares passivos, a produção diária é, em média, de 1-3 kg/m²/dia, enquanto que nos destiladores ativos a produção diária é cerca de 3-7 kg/m²/dia, (TIWARI; DIMRI; CHEL, 2009). O sistema regenerativo consiste num fluxo de água que corre sobre a cobertura de vidro ou plástico do destilador solar, com a finalidade de reduzir a temperatura. O modelo de cálculo do sistema regenerativo é realizado com um balanço de energia dos componentes do revestimento da bacia, massa de água da bacia, cobertura e filme de água. Estes balanços de energia são baseados nas temperaturas médias de cada componente.

Bezerra et al. (2004) estudaram as taxas de evaporação em um destilador simples efeito de duas águas que operou com coberturas de 20° e 45°, como mostram as Figs. 2.8 e 2.9, com a finalidade de verificar qual das duas inclinações poderia oferecer o melhor rendimento para as condições climáticas do Nordeste Brasileiro. Afirmaram que a otimização do equipamento passa por utilizar a inclinação de 20° nas estações mais quentes e de 45° nas estações mais frias do ano.



Figura 2.8 – Destilador solar com cobertura de 20°
Fonte: Bezerra et al., (2004).



Figura 2.9 – Destilador solar com cobertura de 45°
Fonte: Bezerra et al, (2004).

Ribeiro et al. (2008) estudaram a viabilidade térmica e econômica de materiais, frente aos destiladores convencionais. Apresentaram um destilador solar de simples estágio

que tem como principais características diferenciais a geometria da cobertura e o material utilizado na construção de seu revestimento. O modelo construído possui área de $0,25\text{m}^2$, piso plano e cobertura piramidal que permite o recolhimento de água destilada através de quatro faces, como mostra a Fig. 2.10 ao contrário de apenas duas nos destiladores convencionais, além de favorecer a absorção da radiação devido sua versatilidade quanto ao posicionamento ao sol, sua construção é favorecida pelo baixo custo associado a agilidade no processo por se trabalhar com material compósito obtido através da mistura de gesso.

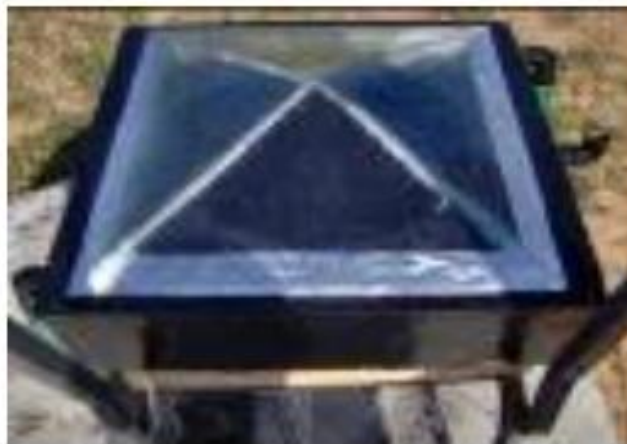


Figura 2.10 – Destilador solar tipo bacia plano retangular
Fonte: Ribeiro et al. (2004).

Fonseca et al. (2005) desenvolveram o protótipo de um destilador solar do tipo bacia de fibra de vidro de $0,16\text{m}^2$ de área de captação, o protótipo consta de um depósito plano construído de fibra de vidro como mostra a Fig. 2.11, para obter água destilada para diferentes usos, tais como: água para o transporte automotor, baterias ,etc. A produtividade do equipamento em dias claros atingiram os valores de 350 mL, representando $2,2\text{L}/\text{m}^2\text{,dia}$.



Figura 2.11 – Destilador solar de fibra de vidro-bacia plano retangular.
Fonte: Fonseca (2005)

Kabeel (2009) desenvolveu um destilador com superfície da bacia côncava utilizado para a evaporação, enquanto quatro lados em forma de pirâmide foram utilizados para o aumento da área de transmissão e condensação, absorção e evaporação, como mostram as Figs. 2.12 e 2.13. Os resultados mostram que de destilados médios produzidos durante um dia foi de $4,1 \text{ L/m}^2$ e uma eficiência máxima do sistema instantâneo de 45% e diária média eficiência de 30% foram registradas, a produtividade horária máxima foi de $0,5 \text{ L / h, m}^2$ após o meio dia solar, o sistema apresentou um custo de 0,065\$ por litro de destilado.

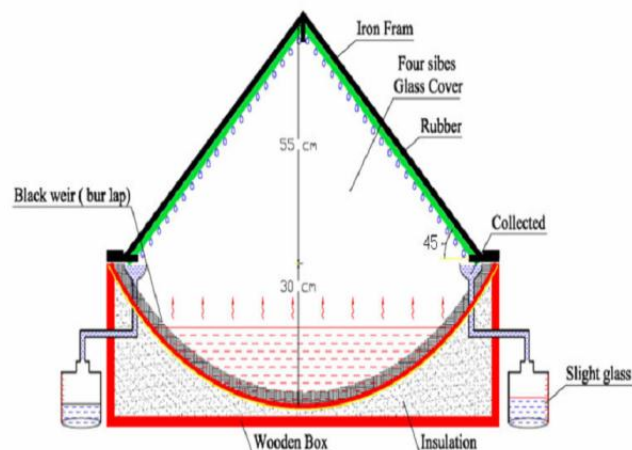


Figura 2.12 – Destilador solar superfície côncavo
Fonte: Kabeel (2009).



Figura 2.13 – Destilador solar côncavo
Fonte: Kabeel (2002)

Ismail (2009) apresentou um destilador simples transportável com cobertura hemisférica, como mostra a Fig. 2.14, com seu desempenho experimentalmente avaliado em relação as condições climáticas. Verificou-se que ao longo das horas de ensaios experimentais através do dia, a produção diária de água destilada, variou de 2,8-5,7 L/m² dia. A eficiência média diária chegou a atingir aproximadamente 33%, com taxa de conversão correspondente próximo de 50%. Constatou-se também que a eficiência média do destilador diminuiu 8% quando a lâmina de água salina foi aumentada em 50%.



Figura 2.14 – Destilador Solar Hemisférico
Fonte: Ismail (2002).

Marchesi et al. (2007) apresentaram uma maneira de medir experimentalmente a produção instantânea de destiladores solares assistidos com sistema auxiliares solares de

pré-aquecimento de água da bacia retangular plana para comparar com um destilador do tipo básico, que é medido também a sua produção durante as 24 horas por dia, indicado pesagem, o destilado produzido pela balança comercial adaptados para tal fim, como mostrado na Fig. 2.15. Apresenta-se detalhe dessa instalação e resultados obtidos durante vários dias claros dos meses de inverno para cada uma das equipes, que foram construídos na Universidade Nacional de Rio Cuarto, Província de Córdoba - República Argentina. Estes resultados permitem ver claramente o tempo de tais produções horarias, bem como a suavelocidade de resposta às variações climáticas. Além das vantagens do pré-aquecimento da água na bacia, indicando que os objetivos foram alcançados.



Figura 2.15 – Sistema de medições e instalações completa com conjunto de dessalinizadores

Fonte: Marchesi et al, (2007).

Vicente (2009) desenvolveu um sistema de dessalinização de água do mar que opera com múltiplos efeitos. O dispositivo consta dos seguintes equipamentos: um coletor solar plano que usa como fluido de trabalho água destilada com anti-congelante; um destilador com 4(quatro) bandejas, vidro inclinado e trocador de calor ao reservatório primário, como ilustrado nas Figs. 2.16 e 2.17. A motivação para realização do presente trabalho se enquadra nos projetos que o grupo de Geração de Energia Alternativas - GAE realiza com intenção de transferência de tecnologia de seus projetos para a comunidade. Este projeto tem como finalidade solucionar de uma maneira econômica os problemas de abastecimento de água doce nas zonas que requererem.

Medugu e Ndatuwong (2009) estudaram e testaram em Nubi, Estado de Adamawa, na Nigéria, um sistema de destilação solar, pelo principio de funcionamento do efeito de estufa do destilador com cobertura de vidro. Os balanços energéticos foram feitos para cada elemento do destilador, considerando o tempo solar, direção do feixe de radiação, radiação de céu claro, óptico propriedades da cobertura, convecção da cobertura para o

meio ambiente, convecção e evaporação dentro do destilador. O desempenho experimental foi comparados com os resultados obtidos teoricamente e, mostraram claramente o aumento de eficiência instantâneo, com o aumento da energia solar e com o aumento da temperatura da água da bacia.



Figura 2.16 – Dessorizador Solar etapas de construção
Fonte: Vicente (2009).



Figura 2.17 – Dessorizador Solar
Fonte: Vicente (2009).

A interpretação dos resultados obtidos, indicam que o coletor alcança temperaturas de 70°C e o trocador de calor permite uma variação de temperatura de 10°C que se distribui para água do tanque primário e por fuga de calor para o meio externo. A

produção média diária foi de 2,5 litros de água condensada, enquanto a fuga detectada era de aproximadamente 5 litros evaporados por dia. Esta fuga de vapor para o meio exterior prejudica a eficiência e a produtividade do sistema.

Jorge (2011) apresentou em sua dissertação de mestrado modelo de sistema de destilação solar de água salgada, para a produção de água potável, tendo considerado quatro tipos de instalações: destilação solar passiva, destilação solar passiva com recurso a um sistema regenerativo, destilação solar ativa e destilação solar ativa com recurso a um tanque de armazenamento. Para o efeito da destilação solar, foi usada uma metodologia de simulação modular, desenvolvida no ambiente integrado *Simulink/Matlab*. Os resultados obtidos revelaram que os parâmetros que mais influenciaram no desempenho das unidades de destilação solar foram a profundidade da bacia, a espessura do isolamento do revestimento da bacia, o ângulo de inclinação da cobertura, o número de coletores solares e o ângulo de inclinação dos coletores.

Nandwani (2009) apresentou seminário sobre “Las Aplicaciones Practias de la Energia Solar”, onde é mostrado a dessalinização solar como uma alternativa para produzir água potável e o uso dos destiladores solares indicado na Fig. 2.18. Disse que tem recebido considerável atenção a partir de 1960 em muitos países. Na Colômbia os destiladores solares vêm sendo estudado como meio de purificar água para o consumo humano em regiões onde os índices de mortalidade são muitos elevados devido a enfermidade de origem hídricos.



Figura 2.18 – Destilador Solar com Bacia Plana
Fonte: Andwani (2009)

Fuentes e Roth (1997) desenvolveram um modelo matemático do destilador solar simples tipo bacia. Este modelo mostra que nas condições de pressão e temperatura

de saturação é possível obter rendimentos de destilação relevante. Um modelo matemático foi formulado para o funcionamento de uma torre de bandeja de destilação de água em condições de pressão e temperaturas de saturação e simula o comportamento da torre com aquecimento solar, os resultados mostram que a produção de água destilada pode aumentar acima de 100 kg/dia, por m^2 de coletor, para um dia claro de 1000 W/m^2 de radiação máxima.

Abdallah, Badran e Abu-Khader (2012) avaliaram o desempenho de um destilador solar simples efeito. Modificações no projeto envolvendo a instalação de espelhos e substituições da bacia plana por uma bacia de passo a passo, Fig. 2.19. A inclusão de espelhos melhorou o desempenho térmico em até 30% a desempenho do equipamento, enquanto a bacia passo a passo desempenho melhorada em até 180%, fornecendo até 250 mL/min (aproximadamente) de destilado.

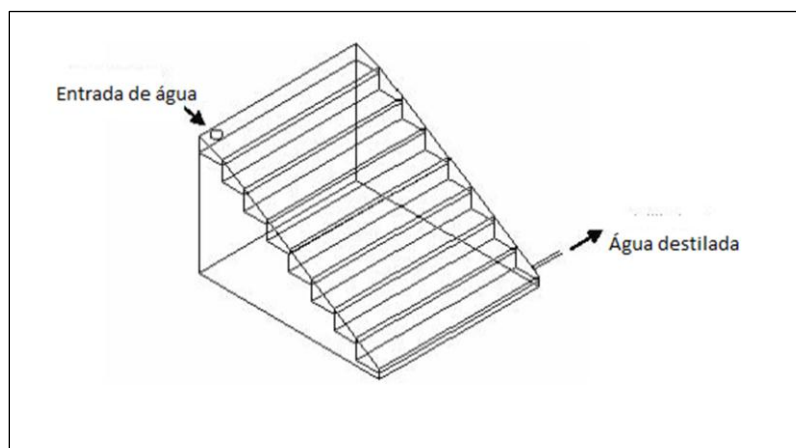


Figura 2.19 - Bacias associadas passo a passo
Fonte: Abdallah (2012).

Prado (2011) dimensionou e construiu um destilador solar de calha parabólica com a finalidade de destilar água salobra, a área de abertura de calha com 20 m^2 e uma tubulação com 43 m para se atingir a temperatura de projeto. Verificou-se que o vento é o maior responsável pela transferência de calor por convecção e que para menores vazões atinge-se a temperatura de equilíbrio do sistema um comprimento de tubulação menor, ao longo do tempo pode-se observar que a temperatura máxima foi de 105°C utilizando vazão via termos sifão. Brandão (2005) deduziu as equações que definem a curva da cavidade concentradora do CPC e estudou detalhadamente suas propriedades ópticas e geométricas, utilizando programa de simulação numérica elaborado em linguagem MATLAB, adicionalmente, realizou estudos de otimização sobre a viabilidade da construção deste coletor, relacionando os efeitos do truncamento com as propriedades geométricas, ópticas e

a energia gerada anualmente pelo equipamento.

Para o coletor parabólico composto completo com absorvedor V invertido completamente iluminado. Concluiu que, na configuração em que seu ângulo de aceitação é igual ao ângulo vértice do absorvedor, ocorre um mínimo no perímetro da cavidade refletora quando se consideram a concentração nominal e o tamanho do absorvedor constante. Os resultados mostram que para concentração de 1,2; as relações ótimas de comprimento da superfície refletora e abertura, número médio de reflexões e energia térmica gerada para concentradores originados de ângulos de aceitação variando de $33,75^\circ$ a $45,58^\circ$.

2.6 Truncamento do Coletor Parabólico Composto

O truncamento do Coletor Parabólico Composto (CPC) não afeta o ângulo de aceitação, entretanto varia a relação entre a altura e abertura, o coeficiente de concentração, e o número médio de reflexão que sofre a radiação antes de chegar ao absorvedor, como mostra a Fig. 2.20.

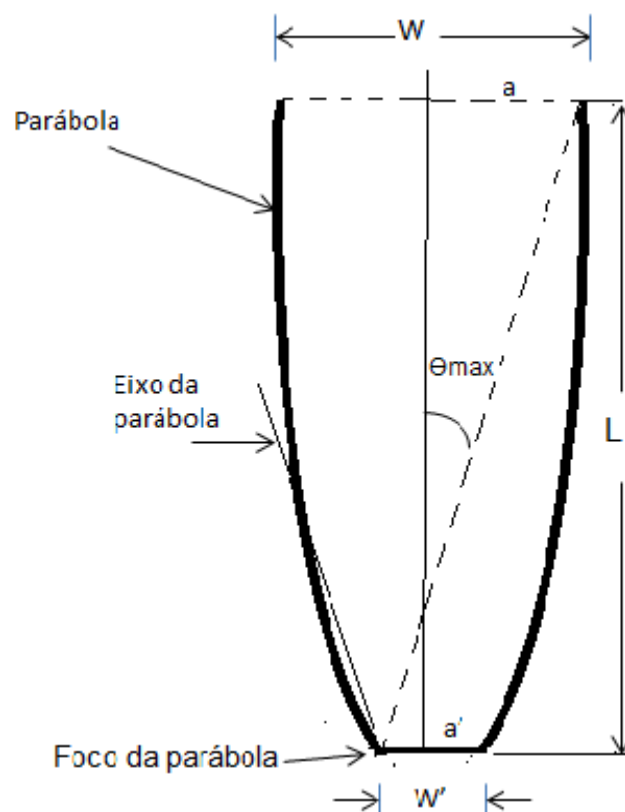


Figura 2.20 – Coletor Parabólico Composto – CPC
Fonte: Lopes (2013)

Os valores dos efeitos do truncamento e os coletores completos são mostrados nas Figs. (2.21; 2.22 e 2.23). Rabl (1976) desenvolveu trabalho relevante no estudo do coletor parabólico composto, apresentando forma que relaciona, altura do coletor em relação à abertura em função da taxa de concentração, área refletora em função da taxa de concentração e números médios de reflexão em função da taxa de concentração.

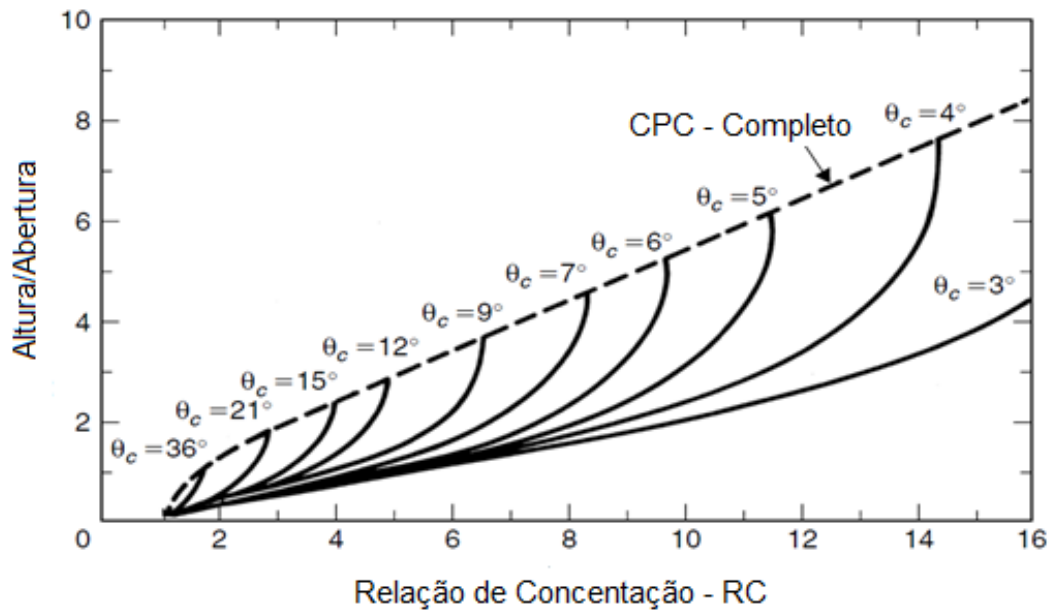


Figura 2. 21 – Relaciona Altura com Abertura do CPC
Fonte: Kalogirou, (2009)

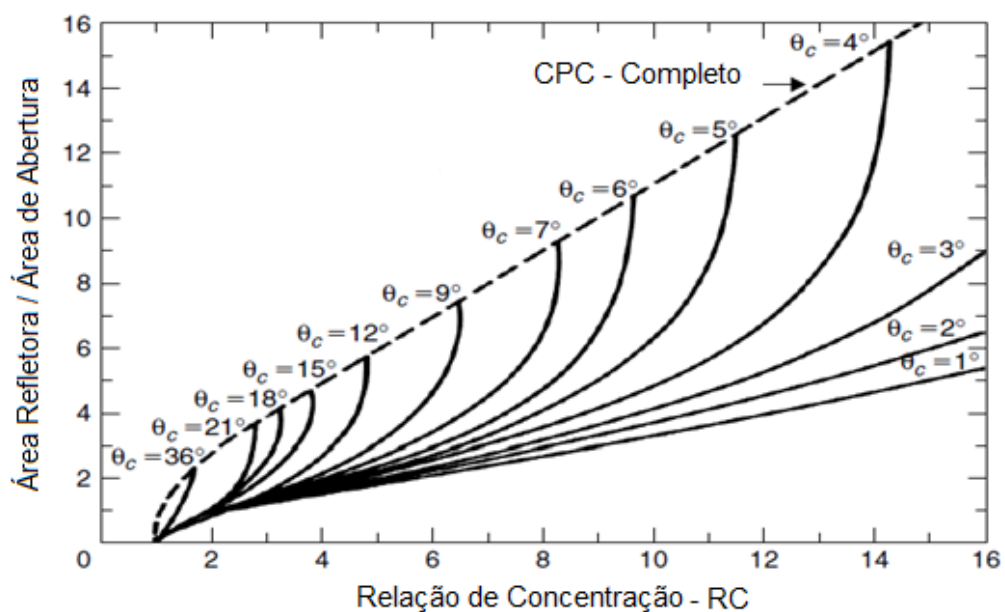


Figura 2.22 - Área refletora com abertura do CPC
Fonte: Kalogirou (2009).

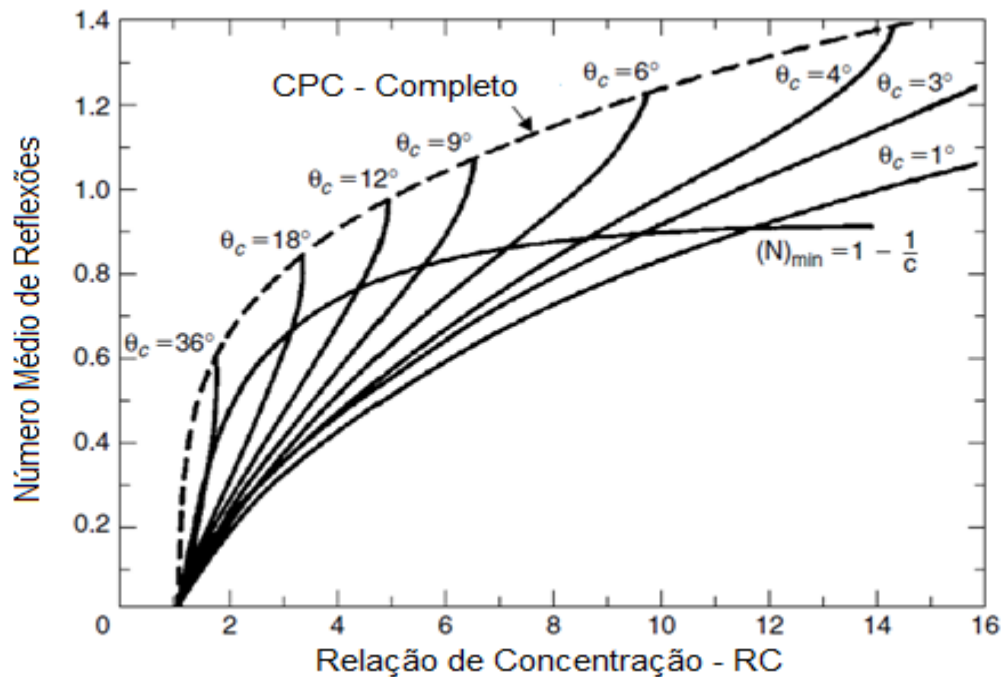


Figura 2.23 – Número Médio de Reflexões do CPC
Fonte: Kalogirou (2009).

Os dados obtidos com auxílio das figs. (2.21;2.22 e 2.23) permitem o truncamento dos coletores parabólicos compostos, análise da eficiência óptica e térmica. Segundo (RABL, 1976) a eficiência ótica do CPC para $\rho > 0,75$ pode ser bem aproximada por: $\eta = \alpha \tau \rho^{\langle n \rangle}$ onde ρ é a refletividade da superfície refletora, α é a absorptância do absorvedor, τ a transmitância do vidro de cobertura, θ_c é o ângulo de aceitação e $\langle n \rangle$ é o número médio de reflexões sofrido por um raio de luz incidente na abertura até encontrar o absorvedor. Os dados para determinar a eficiência ótica para o CPC é obtido usando as Figs. (2.22 e 2.23).

Ciccolella, Carrizo e Chirino (2009) indicam que, diante das dificuldades da água potável na zona rural, o dessalinizador solar é uma alternativa. Para justificativa, utilizar-se uma metodologia de custo doença causada pela água contaminada em uma comunidade carente de água potável. Determinaram o custo de água dessalinizada com energia solar, construíram um destilador de água solar com 0.15m² de área captação. A produção do destilador solar foi de 0,122 m³/ano e 0,369 m³/ano para os períodos úmidos e secos, respectivamente. O custo de um litro de água destilada com energia solar resultou entre 4,52 Real/diáxpessoa e 14,95 Real/diáxpessoa. Considerado pelos autores uma alternativa viável no contexto de implantação de energia alternativa.

Desai e Dhiman(2012) mostram estudos experimentais com dessalinizador solar com bacia côncavo e segundo autores, os principais objetivos dos pesquisadores nos

últimos anos é melhorar as eficiências e produtividades destes sistemas, Verificaram que, até o meio-dia, a produtividade do coletor é muito baixa e que depois do meio-dia a produtividade do coletor com bacia côncavo é mais elevada, quando comparados a destiladores com bacia plana.

Segundo Kalogirou (2009), entre os métodos não convencionais para dessalinizar água salobra e salgada, está a destilação solar. Este processo requer uma tecnologia relativamente simples e poderá ser operado por trabalhadores não qualificados. Além disso, devido à baixa manutenção exigida, pode ser usado em qualquer lugar com um número menor de problemas, um exemplo representativo do sistema de coleta direta, é o típico solar ainda, que utiliza o efeito de estufa para evaporar a água salgada. É constituída por uma bacia na qual uma quantidade constante de água do mar é utilizada como fluido de trabalho. Os raios do sol passam através do vidro teto e são absorvidos pelo fundo escurecido da bacia, conforme ilustrado na Fig.2.24.

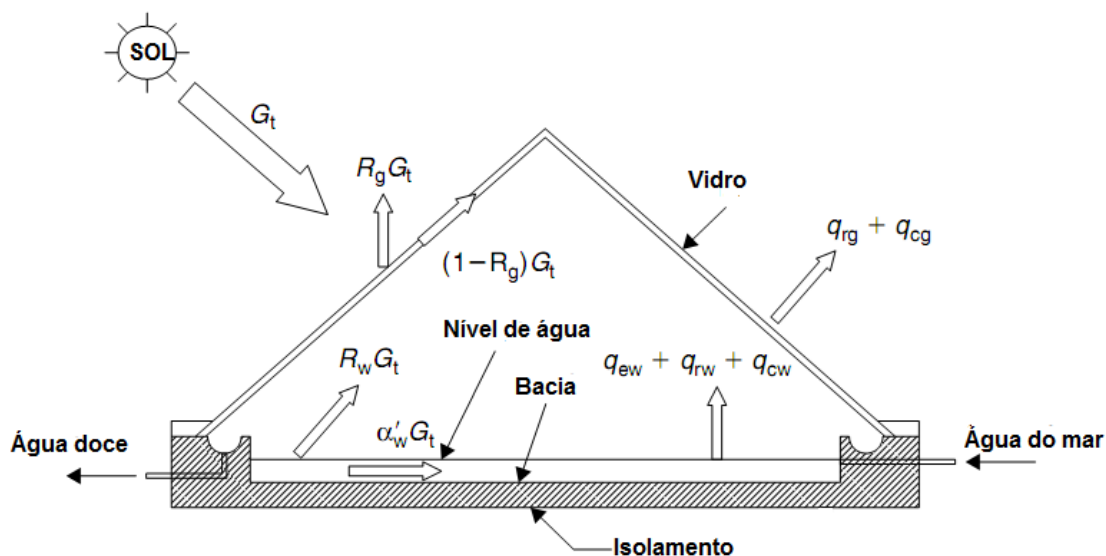


Figura 2.24 – Dessalinizador Solar Simétrico
Fonte: Kalogirou (2009).

Lopes (2004) afirma que, no coletor solar, a placa absorvedora da radiação solar é o item mais importante do coletor. Por isso a sua construção deve obedecer a critérios rígidos quanto a estanqueidade e aderência, já que a placa é constituída do conjunto chapa - tubo, formando uma única peça. O cobre e o alumínio são os materiais mais utilizados na construção da placa absorvedora do coletor plano. Os dados da Tabela 2.1 mostram as propriedades do alumínio e do cobre utilizados como placas absorvedoras de coletores solares e para bacias de dessalinizadores simétricos ou assimétricos. O

absorvedor de coletores solares de alumínio reduz sensivelmente os custos de fabricação em relação ao absorvedor de cobre de mesma área, além disto, o Brasil possui imensas reservas de Bauxita, ao passo que nossas reservas de cobre são muito pequenas. A única desvantagem do alumínio, em relação ao cobre, é que sua corrosão normalmente é maior do que a corrosão do cobre. Contudo, o uso de água desmineralizada e deionizada, reduz sensivelmente o problema da corrosão.

Tabela 2.1 – Propriedades do alumínio e do cobre.

PROPRIEDADES	ALUMÍNIO	COBRE
Massa específica (g/cm ³)	2,7	8,92
Temperatura de fusão sob pressão atmosférica(°C)	660	1083
Condutividade térmica entre 25°C e 100°C(cal/s,m°C)	49	92
Resistividade a 20°C (Ω,m)	$2,8 \times 10^{-8}$	$1,7 \times 10^{-8}$
Coeficiente de temperatura da resistividade (°C)	390	390
Coeficiente de dilatação linear 25°C (1/°C)	23×10^{-6}	17×10^{-6}

Fonte: Luís (1996)

A cobertura do dessalinizador tem como principal função,. permitira livre passagem da radiação solar para seu interior em ondas curta e restringe sua saída em ondas longas. A energia incidente é absorvida pela superfície enegrecida e emitida para dentro do equipamento como radiação em ondas longas favorecendo um aumento na taxa de evaporação da água, contida no condensador do dessalinizador ou no absorvedor do coletor plano.

Dos vários materiais que poderão ser utilizados como cobertura o vidro, apesar de ser mais difícil de manusear e ser mais pesado, é o que ainda é mais recomendável, por não degradar quimicamente na presença de ultravioleta (comprimentos de onda entre 290 nm a 400 nm) e não permite perda significativa de energia para o meio exterior.

Na Tab. 2.2 encontramos vários materiais e suas propriedades, que podem ser utilizados como coberturas de coletor solar. Rocha, et al. (2011) estudaram a viabilidade técnica de um destilador solar constituído de um coletor solar para aquecimento de água salina e um “evaporador/condensador” que recebe a água pré-aquecida do coletor solar plano.

Dois métodos foram avaliados para medir o fluxo de água do coletor solar que chega no tanque do evaporador. Verifica-se que, em termos médios, o M2 produziu 3,1 L./dia de água destilada a mais que o M1, ou seja, o M2 produziu em média 21,05% a mais que o M1.

Tabela 2.2 – Tipos de vidro para cobertura do coletor solar.

PROPRIEDADE	TIPOS DE VIDRO		
	Vidro Comum	Vidro Lima	Vidro Cristal/branco
Índice de refração	1,52	1,51	1,50
Transmitância normal(%)	81 – 85	85 - 87	90,50
Espessura (Pol)	0,175 – 0,187	0,125 – 0,187	0,187
Perdas por reflexão(%)	8,0 – 8,2	8,0 – 8,1	8,00
Perda por absorção (%)	6,8 – 11,0	4,9 – 7,0	1,50
Óxido de ferro	0,1 – 0,13	0,05	0,01

Fonte: Ismail (2002)

A radiação total incidente sobre o coletor solar é percentualmente refletida e absorvida pela cobertura, o restante será transmitido. Na Tab. 2.2 encontramos as propriedades de vários tipos de vidros, quando recebe calor normal a superfície emitida pela placa absorvedora, a porcentagem de óxido de ferro (Fe_2O_3) presente no vidro é um fator importante, quanto maior a porcentagem de óxido de ferro, maior será as perdas de absorvidade e menor a porcentagem de radiação transmitida e assim o vidro é menos transparente. Quanto às perdas por refletância com a incidência normal a cobertura é da ordem de 8% independente se o vidro seja comum, lima ou cristal branco, outro fator que influencia na porcentagem da refletância e conseqüentemente na porcentagem de transmitida, é a variação do ângulo de incidência.

2.7 Parâmetros Geométricos do CPC

Tapia e Rio (2009) estudaram a capacidade de concentração do Coletor Parabólico Composto, os princípios físicos de funcionamento, demonstrações de suas propriedades e a equação (2.2) que descreve o CPC em 2D em coordenadas cartesianas com uma única variável independente “x” e parâmetros geométricos a, a’ e L,

$$z = 2L - \left[\left(\frac{L}{a + a'} \right) (|x| + a') \right] - 2 \frac{a(a + a')}{a'} \sqrt{1 - \left[\frac{|x| + a'}{a + a'} \right]^2} \quad (2.2)$$

Em que:

a' =Metade do comprimento da abertura de saída do fluxo luminoso;
 a = Metade do comprimento da abertura de entrada do fluxo luminoso;
 L =Comprimento da altura do CPC,

O segmento de parábola PQ poderá ser usado como concentrador luminoso ,com intervalo no ângulo θ_{inc} de $0 \leq \theta_{inc} \leq \theta_{max}$,sempre que busquemos que os raios entre um segmento sobre a reta normal N a esquerda do ponto P, e que chamamos de f a distancia focal, então a parábola em coordenadas polares pode ser escrita por meio da relação.

$$r = \frac{2f}{1 - \sin(\phi)} \quad (2.3)$$

Com a equação (2.3) poderemos encontrar os valores dos parâmetros geométricos do CPC. Iniciaremos com avaliação do parâmetro a' , observado na fig. 2.25 que $r = 2a'$ se alcança quando $\phi = -\theta_{max}$,e se considerarmos a equação 2.3, obtemos.

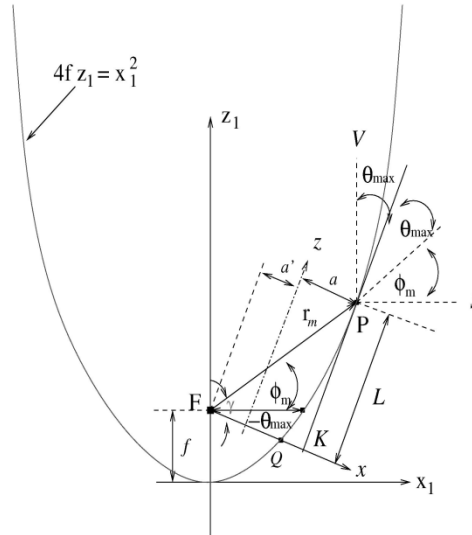


Figura 2.25 – Parâmetros do CPC
 Fonte: Tapia e Del Rio (2009).

$$r = \frac{2f}{1 - \sin(\phi)} = 2a' = \frac{2f}{1 - \sin(-\theta_{max})} \quad (2.4)$$

$$a' = \frac{f}{1 + \sin(\theta_{max})} \quad (2.5)$$

$$f = a'(1 + \sin(\theta_{max})) \quad (2.6)$$

Avaliaremos o valor máximo de r no CPC, o qual denominaremos de r_m , este se obtém da equação (2.3) para o ângulo $\phi_m = \frac{\pi}{2} - 2\theta_{\max}$.

$$r_m = \frac{2f}{1 - \sin(\phi_m)} = \frac{2f}{1 - \sin(\frac{\pi}{2} - 2\theta_{\max})} \quad (2.7)$$

$$r_m = \frac{f = a'(1 + \sin(\theta_{\max}))}{\sin^2(\theta_{\max})} \quad (2.8)$$

A concentração do CPC em 2D, se encontra ao avaliar $a + a'$ em 2D, como

$$a + a' = r_m \sin(\theta_{\max}) \quad (2.9)$$

$$a + a' = a' \frac{(1 + \sin(\theta_{\max}))}{\sin(\theta_{\max})} \quad (2.10)$$

$$a = \frac{a' \sin(\theta_{\max})}{\sin(\theta_{\max})} - a' \frac{(1 + \sin(\theta_{\max}))}{\sin(\theta_{\max})} \quad (2.11)$$

$$\frac{a}{a'} = \frac{1}{\sin(\theta_{\max})} = C_{2D} \quad (2.12)$$

A equação (2.12) foi determinada por Winston (1975) para a concentração do coletor parabólico composto em duas dimensões, A relação para encontrar o comprimento L do CPC, tiramos do triângulo PKF na fig. (2.25).

$$\tan(\gamma) = \frac{L}{a + a'} = \tan(\frac{\pi}{2} - \theta_{\max}) = \frac{1}{\tan(\theta_{\max})} \quad (2.13)$$

Onde L é a altura do CPC, podendo ser escrito da forma.

$$L = (a + a') \cot(\theta_{\max}) \quad (2.14)$$

Ahmed (2012) pesquisou uma forma de aumentar a produtividade de destilação convencional, tipo bacia. Trabalhou com três destiladores idênticos. O primeiro é um convencional, o segundo ligado a dois condensadores e o terceiro ligado com dois condensadores em paralelos. Os resultados obtidos mostram que no segundo caso o

aumento foi de 15,10% na taxa de produção e no terceiro caso rendeu um aumento de 30,54% da taxa de produção de água destilada.

2.8 Análise Óptica do Coletor Solar Cilíndrico Parabólico Composto

O teste óptico da bacia cilindro parabólico composto foi realizado no Laboratório de Física do Instituto Federal do Maranhão no período de 22 de outubro a 30 de outubro de 2011, o qual foi aplicada uma bancada com um Laser Modelo EQO14, e um transferidor tipo LEMBLD. No primeiro teste incidimos o raio de luz paralelo ao eixo principal da parábola A e houve uma reflexão para o foco f_A , como mostra a Fig. 2.26, em seguida incidimos o raio paralelo ao eixo principal da parábola B e o raio foi refletido para o foco f_B , Fig. 2.27.

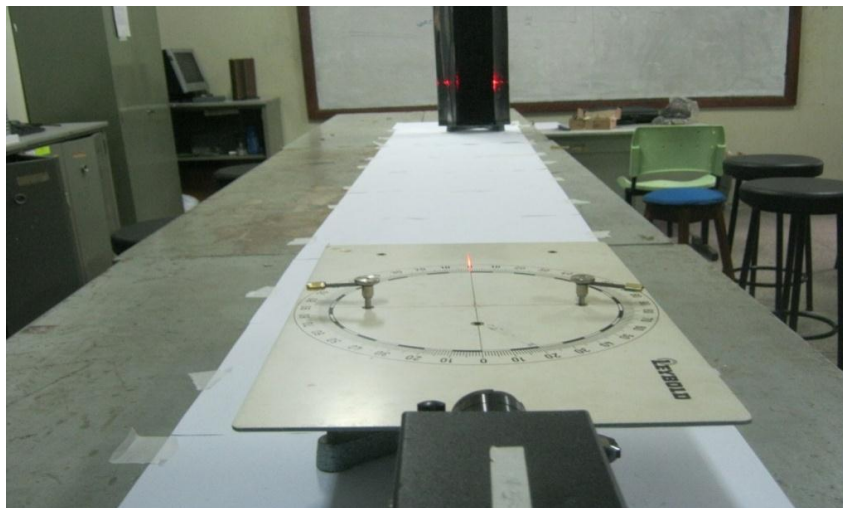


Figura 2.26 – Teste óptico do coletor parabólico composto (CPC).
Fonte: Lopes (2013)

Sobre os concentradores de não imagem, entre eles se enquadram os coletores parabólicos compostos, com grande vantagem de manter-se a concentração de energia solar sem uso de um sistema de rastreamento, diminuindo o custo do sistema concentrador de energia solar, o que o tornará muito atrativo em diversas aplicações solares. No concentrador tipo CPC, pode-se obter concentração, ajustando no sistema o ângulo de abertura. Durante a realização dos experimentos foi possível observar algumas leis ópticas para o coletor parabólico composto.

1ª lei: O raio refletido, a normal e o raio incidente estão situados no mesmo plano;

2ª lei: O ângulo de reflexão é igual ao ângulo de incidência;

Se o ângulo de incidência for menor do que o ângulo de aceitação do CPC, os raios solares incidirão no absorvedor retangular ou tubular, Figs. (2.27 e 2.28).

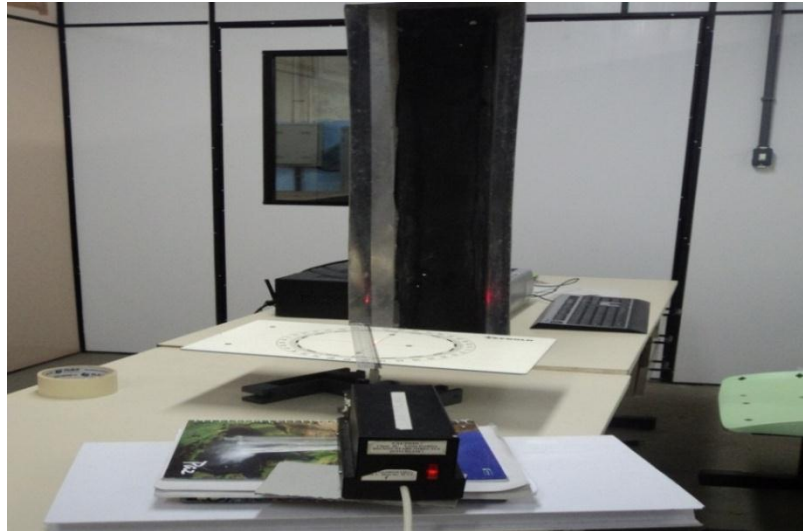


Figura 2.27 – Raio incidente no foco1 do coletor parabólico composto.
Fonte: Lopes (2013)

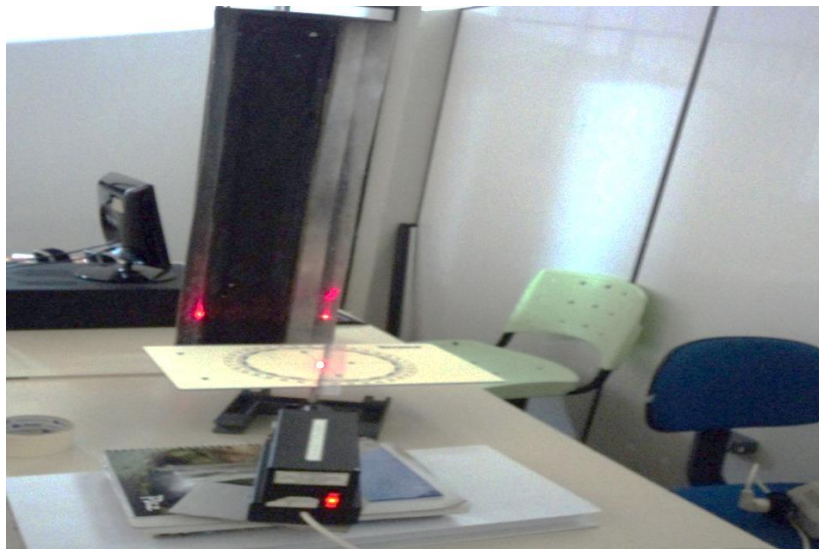


Figura 2.28 – Raio incidente no foco 2 do coletor parabólico composto.
Fonte: Lopes (2013)

Falcão (2008) elaborou um trabalho sobre geometria solar apresentando o movimento e posicionamento relativo terra – sol, declinação solar, ângulo de altitude solar, ângulo de azimute solar, ângulo solar e latitude.

O diagrama da trajetória solar é útil para determinar a sombra associado a coletores solares, janelas e coberturas, a posição do sol no dado local e num dado instante

é determinado pelo ângulo de azimuth solar e de altitude solar.

Sobral, Costa e Fraidgnraich (1983) realizaram estudos sobre energia elétrica gerada mediante células fotovoltaica. Neste caso, a possibilidade de redução de custo utilizando concentração da energia solar foi montado um sistema constituído por painel solar e concentrador de cavidade do tipo parabólico composto de taxa de contração igual a 4,00. Os resultados encontrados permitem verificar um aumento importante de energia, gerada pelo modulo ao longo do dia. O Custo de fabricação do sistema do presente trabalho, quando comparado com sistemas semelhantes, chegou à redução de 50%.

Segundo Tiwari e Singh (2003) o rendimento da unidade de destilação é máximo para uma inclinação da superfície da cobertura correspondente à latitude do lugar onde esta é instalada, uma vez que, uma cobertura com inclinação igual à latitude do local receberá os raios solares aproximadamente perpendiculares à superfície durante todo o ano. Apesar deste fato, a cobertura deverá possuir uma inclinação que impossibilite a queda de água condensada novamente na bacia, quando esta flui por gravidade para os recipientes de recolha, o que poderá condicionar um pouco o valor ideal de inclinação da cobertura.

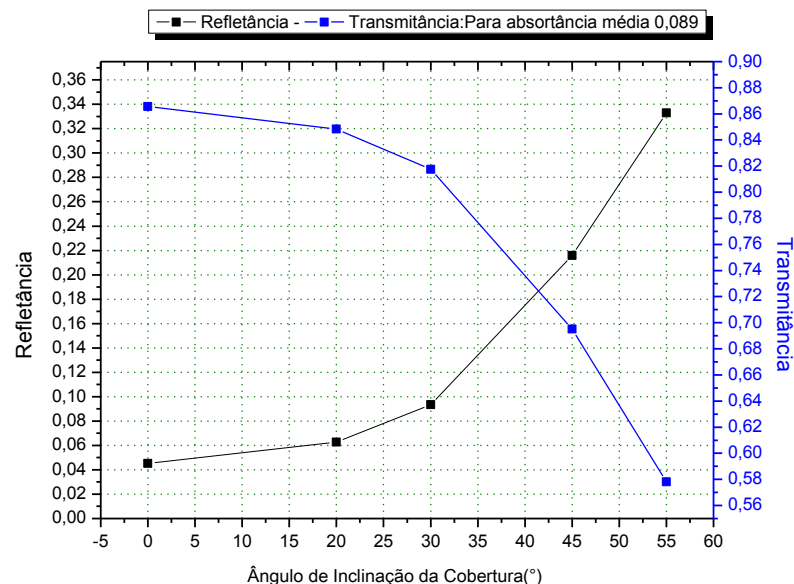


Figura 2.29 – Refletância e transmitância do vidro em função da inclinação de cobertura
Fonte: Lopes (2013)

Deve-se salientar, ainda, a importância do ângulo de inclinação da cobertura nos destiladores solares, visto que a mesma serve tanto para permitir a passagem dos raios solares para a base, quanto como suporte para o escoamento da água destilada, de acordo

com a literatura Bezerra (2004) o aproveitamento energético é máximo quando a radiação solar incide perpendicularmente a superfície coletora, mas os ângulos de incidência dos raios solares variam com a época do ano e com a latitude, de modo que um sistema ideal para absorção da energia solar deveria ser móvel, acompanhando as mudanças solares, no entanto, sistemas assim tornam-se muito onerosos e costuma-se admitir que a melhor inclinação para coletores solares sejam a soma da latitude local mais 15° .

Na destilação solar se quer maximizar a obtenção de energia solar para aumentar a evaporação, contudo precisa-se também, maximizar a condensação, e os ângulos de inclinação muito pequenos não favorecem a condensação tanto porque o gradiente de temperatura é pequeno podendo haver gotejamento da cobertura para a base, logo, outras inclinações poderão ser testadas. Existem estudos de destiladores solares do tipo passivo com inclinação de 4° até 75° .

A Fig. 2.29 mostra a relação entre o ângulo de inclinação da cobertura do dessalinizador solar e a refletância da superfície com crescimento não linear, para os ângulos de $20^\circ, 30^\circ, 45^\circ$ e 55° e refletâncias, respectivamente iguais, a 0,0627; 0,0934; 0,2159 e 0,3329

Para determinar a área de cobertura de dessalinizador solar simétrico, assimétrico e trapezoidal, utilizamos a equação genérica (2.28) ou os dados da fig. (2.30), para ângulos de inclinações de cobertura $20^\circ, 30^\circ, 45^\circ$ e 55° .

Nos destiladores solares convencionais, a cobertura de vidro é a única área disponível para a condensação e, a diferença de temperatura em relação à espessura é muito pequena, o que faz com que a taxa de condensação seja menor, reduzindo a eficiência da unidade, este problema pode ser minimizado aumentando-se a área disponível para a condensação.

Nas regiões de latitude mais elevada, não será aconselhada a utilização de dessalinizadores trapezoidais, podendo ser usadas unidades dessalinizadoras assimétricas e simétricas.

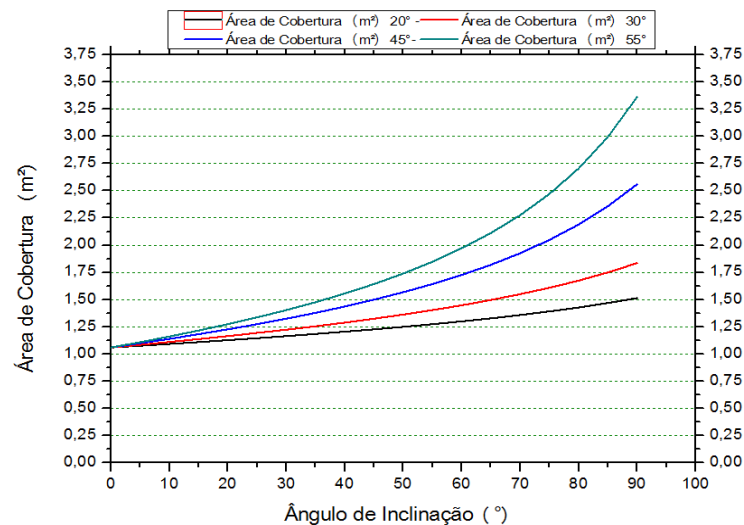


Figura 2.30 – Área de cobertura em função do ângulo de inclinação do CPC.
Fonte: Lopes (2013)

Vargas et al. (2012) projetaram, construíram e testaram um destilador solar, usando apenas componentes de baixo custo, acessíveis a população e de fácil montagem, que permite qualquer pessoa obter água pura através da água salobra em um dia ensolarado. O produto se encontra disponível na internet por R\$289,00 e produtividade de aproximadamente 1,5 L por dia.

Segundo Murakami (2005) a principal finalidade do destilador solar é produzir água para consumo humano a partir de águas salobras ou salgadas. É um processo simples, mas de grande relevância de purificação da água e segue o mesmo princípio do ciclo hidrológico que ocorre na natureza, ocasionados pelos processos de vaporização e condensação.

2.9 Modelo Matemático para o Dessalinizador Solar assimétrico

Modelar um sistema de dessalinização solar apresenta certas dificuldades devido às características transientes e bastantes variáveis e o fato da não homogeneidade da intensidade de radiação solar de região para região. O modelo que apresenta produtividade e eficiência relevante no Maranhão, poderá não ocorrer em outros Estados do Brasil ou países. Os cálculos teóricos para determinação do desempenho do Dessalinizador Solar dependerão do uso de coeficientes empíricos de troca de calor e de massa. Na literatura sobre destilação solar os principais modelos estão baseados nas relações apresentadas por (DUNKLE,1961).

Na modelagem matemática foram admitidas as seguintes hipóteses:

- a) Estado é estacionário;
- b) O isolamento da base do destilador solar é ideal, não existe propagação de calor por condução neste sentido, de modo que todo calor recebido pela base é transferido para a água.

$$I(t)\tau_c\alpha = q_{e,w-g} + q_{r,w-g} + q_{c,w-g} + q_k + (mc_p)_w \frac{dT_w}{dt} \quad (2.15)$$

$$q_{e,w-g} + q_{r,w-g} + q_{c,w-g} = q_{c,g-a} + q_{r,g-a} \quad (2.16)$$

As equações (2. 15) e (2.16) devem ser resolvidas de modo encontrar T_w e $q_{e,w-g}$ como função do tempo.

$q_{c,w-g}$: Calor transferido por convecção da superfície da água para cobertura [W/m²];

$$q_{c,w-g} = h_{c,w-g} (T_w - T_g) \quad (2.17)$$

$$h_{c,w-g} = 0,884 \left[(T_w - T_g) + \frac{(P_w - P_g)(T_w + 273)}{(268900 - P_w)} \right]^{\frac{1}{3}} \quad (2.18)$$

$q_{e,w-g}$: Calor transferido por evaporação da superfície da água para cobertura[W/m²].

$$q_{e,w-g} = h_{e,w-g} (T_w - T_g) \quad (2.19)$$

$$h_{e,w-g} = 0,01627 h_{c,w-g} \left[\frac{(P_w - P_g)}{(T_w - T_g)} \right] \quad (2.20)$$

Os valores de P_w e P_g podem ser obtido pela expressão (2. 21) no intervalo de temperatura entre 10° e 90° (FERNANDES; CHARGOY, 2006).

$$P(T) = \exp\left(25,317 - \frac{5144}{T + 273}\right) \quad (2.21)$$

$q_{r,w-g}$: Calor transferido por radiação da superfície da água para cobertura [W/m²];

$$q_{r,w-g} = h_{r,w-g} (T_w - T_g) \quad (2.22)$$

$$h_{r,w-g} = \varepsilon_g \sigma [(T_w - T_g)(T_w + T_g + 546)] \quad (2.23)$$

Onde T_w e T_g são medidos em Kelvin,

$q_{c,g-a}$: Calor transferido por radiação da cobertura do vidro para o meio ambiente W/m²;

$$q_{r,g-a} = h_{r,g-a} (T_g - T_a) \quad (2.24)$$

$$h_{r,g-a} = \varepsilon_g \alpha \left(\frac{T_g^4 - T_s^4}{T_g - T_a} \right) \quad (2.25)$$

$q_{r,g-a}$: Calor transferido por convecção da cobertura do vidro para o meio ambiente [W/m²];

$$q_{c,g-a} = h_{c,g-a} (T_g - T_a) \quad (2.26)$$

$$h_{c,g-a} = 2,8 + 3,0v \quad (2.27)$$

Onde v é a velocidade do vento,

Área de cobertura do dessalinizador solar simétrico ou assimétrico é obtido pela equação (2.28), original do presente trabalho.

$$A_c = \left[\left(\frac{\tan(\alpha)}{\sin(\theta) + \cos(\theta) \times \tan(\alpha)} \right) + \left(\frac{\tan(\theta)}{\sin(\alpha) + \cos(\alpha) \times \tan(\theta)} \right) \right] \times (WL_1) \quad (2.28)$$

A produtividade do destilado pode ser obtido pela equação (2.29) apresentada por (TIWARI et al ,1997),modificada em 2012 no presente trabalho,

$$\dot{m} = h_{e,w-g} \left(\frac{A_C}{A_S} \right) \times \left(\frac{T_w - T_g}{L} \right) \times 3600 \quad (2.29)$$

$$L = 3161500 - 2407,9 \times (T_w + 273) \quad (2.30)$$

A produção diária é calculada pelo somatório da produção horária ao longo de um dia (08 horas de operação do sistema),

$$\dot{M} = \sum_{09}^{17} \dot{m}_i \quad (2.31)$$

A eficiência simulada instantânea e real do Dessalinizador solar passivo pode ser determinada pela equação (2.32)

$$\eta_i = \frac{\sum \dot{m}_{cond} \times L}{\sum 36 \times I(t)} \quad (2.32)$$

Em que :

•

$\dot{m}_{cond}$: Taxa de condensação [Kg/m²h];

$h_{e,w-g}$:coeficiente de transferência de calor por evaporação da superfície da água para cobertura de vidro[W/m²°C];

T_w : Temperatura da água na base do Dessalinizador [°C];

T_g : Temperatura da água no vidro (condensado) [°C];

L : Calor latente de vapor de água,(J/Kg);

$I(t)$: Radiação solar [W/m²];

α : Ângulo de inclinação do Dessalinizador [°];

θ : Ângulo de inclinação do Dessalinizador [°];

$\theta = \alpha$: Dessalinizador Simétrico;

$\theta \neq \alpha$: Dessalinizador Assimétrico,

W : Comprimento do Dessalinizador [m];

L_1 : Largura do Condensador [m];

A_s : Área de superfície da lamina de água do evaporador[m²];

P_w : Pressão de vapor da água na base do equipamento [Pa];

P_g : Pressão de vapor da água no vidro [Pa].

A incerteza da grandeza de saída produtividade (**m**) obtida indiretamente a partir das grandezas $h_{e,w-g}$, T_w , T_g e L , pelo modelo $m = f(h_{e,w-g}, T_w, T_g, L)$, sob certas condições, pode ser obtida aproximadamente pela expressão.

$$\delta(m) \cong \left(\frac{A_c}{A_s} \right) \left[\left(\frac{\partial m}{\partial h_{e,w-g}} \right)^2 \times (\partial(h_{e,w-g}))^2 + \left(\frac{\partial m}{\partial T_w} \right)^2 \times (\partial(T_w))^2 + \left(\frac{\partial m}{\partial T_g} \right)^2 \times (\partial(T_g))^2 + \left(\frac{\partial m}{\partial L} \right)^2 \times (\partial(L))^2 \right]^{\frac{1}{2}} \quad (2.33)$$

Na equação 2.33 conhecida como lei de propagação incerteza, $\delta(m)$ é a incerteza no valor da principal grandeza de saída(Produtividade).

A potência térmica do DSAPC (20° e 45°) é determinada pela equação (2.34).

$$W_{Térmica} = A_s \times I(t) \times \eta \quad (2.34)$$

Em que:

$W_{Térmica}$: Potência Térmica [W];

η : Eficiência Média [%];

$I(t)$: Radiação Solar [W/m²].

CAPÍTULO III

MATERIAIS E MÉTODOS

A metodologia utilizada para desenvolvimento do presente trabalho consistiu em levantamento da literatura sobre dessalinização solar e coletores parabólicos compostos, análise físico-químico do destilado, tratamentos dos dados e análise econômica. Foram construídos 4 dessalinizadores solares de inclinações 20° e 45°; 30 e 55°; 20° e 20°; 45° e 45°; em que os mesmos foram expostos ao sol, no período 06 de janeiro a 15 de dezembro de 2012. Os resultados obtidos bem como as discussões pertinentes a produtividade, análise econômica, eficiência, e análise de variância (ANOVA) foram decisivos para a escolha do dessalinizador solar assimétrico com ângulos de inclinação de 20° e 45° e evaporador parabólico composto, como o sistema mais eficiente, produtivo e econômico. Voltado principalmente para obtenção de água potável para uso doméstico.

3.1 Parâmetros Físico – Químicos Analisados no Presente Trabalho

Os parâmetros físico – químicos que foram analisados no transcorrer do trabalho estão listados na tabela; consta também a metodologia empregada e a unidade do parâmetro, de acordo com análise realizada no Laboratório de Tecnologia de Bebidas e Águas do IFMA/Maracanã.

Tabela 3.1 – Parâmetros físico – químico e métodos empregado.

PARÂMETROS	RESULTADOS	MÉTODOS
pH	adimensional	Potenciométrico
TDS	mg/l	Gravimétrico
CONDUTIVIDADE	$\mu\text{S/cm}$	Conduvímétrico
CLORETO (mg/L)	mg/L	Mohr
DUREZA TOTAL (mg/L CaCO_3)	mg/L CaCO_3	Titulométrico - EDTA
ALCALINIDADE TOTAL (mg/L CaCO_3)	mg/L CaCO_3	Titulométrico com indicador
SALINIDADE (‰)	‰	Mohr - Knudsen
TURBIDEZ (NTU)	NTU	Nefelométrico
COR (UC)	UC	Comparação Visual

Fonte: Lopes (2013)

3.2 Construção dos Equipamentos

Para construção dos dessalinizadores solares, assimétricos e simétricos com design do evaporador parabólicos compostos, foram levados em considerações dois princípios fundamentais:

Eficiência energética e taxa de condensação, através dos seguintes passos:

- Escolha da Baía de São José de Ribamar no Maranhão para coleta do fluido de trabalho (água salgada);
- Pesquisa no mercado local dos materiais e suas propriedades;
- Dimensionamento dos dessalinizadores solares assimétricos e simétricos;
- Determinação e compra dos materiais a serem utilizados na construção dos equipamentos;
- construção;
- execução.

A construção dos equipamentos de dessalinização solar foi realizada na oficina Mecânica Charles e na oficina do Curso de Engenharia Mecânica do IFMA, Figs. (3.1 e 3.2) conformes as medidas registradas nas Tabs. (3.2; 3.3; 3.4 e 3.5).

Tabela 3.2 - Medidas do dessalinizador solar assimétrico (20° e 45°).

Descrição	Comprimento (cm)	Largura (cm)	Altura (cm)	Espessura (mm)
Base (madeira)	106	106	20	20
Estrutura (alumínio)	106	106	100	3
Cobertura (vidro -20°)	82,7	100	28,29	4
Cobertura (vidro -45°)	40	100	28,29	4

Fonte: Lopes (2013)

Tabela 3.3 - Medidas do dessalinizador solar assimétrico com (30° e 55°).

Descrição	Comprimento (cm)	Largura (cm)	Altura (cm)	Espessura (mm)
Base (madeira)	106,00	106,00	20,00	20,00
Estrutura (alumínio)	106,00	106,00	100,00	3,00
Cobertura (vidro -30°)	87,16	100,00	43,58	4,00
Cobertura (vidro -55°)	53,20	100,00	43,58	4,00

Fonte: Lopes (2013)

Tabela 3.4 – Medidas do dessalinizador solar assimétrico com (45° e 45°).

Descrição	Comprimento (cm)	Largura (cm)	Altura (cm)	Espessura (mm)
Base (madeira)	106,00	106,00	20,00	20,00
Estrutura (alumínio)	106,00	106,00	100,00	3,00
Cobertura (vidro -45°)	74,95	100,00	53,00	4,00
Cobertura (vidro -45°)	74,95	100,00	53,00	4,00

Fonte: Lopes (2013)

Tabela 3.5 – Medidas do dessalinizador solar assimétrico com (20° e 20°).

Descrição	Comprimento (cm)	Largura (cm)	Altura (cm)	Espessura (mm)
Base (madeira)	106,00	106,00	20,00	20,00
Estrutura (alumínio)	106,00	106,00	100,00	3,00
Cobertura (vidro -20°)	56,40	100,00	19,29	4,00
Cobertura (vidro -20°)	56,40	100,00	19,29	4,00

Fonte: Lopes (2013)



Figura 3.1 – Construção do Dessalinizador Solar.
Fonte:: Lopes (2013)

O absorvedor retangular do coletor parabólico composto foi pintado com tinta não seletiva do tipo preto fosco de alta absorvida e emissividade, Fig. 3.2. As medidas do sistema e a forma geométrica estão registradas, na Tab. 3.6 e Fig. 3.3.



Figura 3.2 – Coletor Parabólico Composto.
Fonte:: Lopes (2013)

Tabela 3.6 - Dimensionamento do coletor parabólico composto (CPC)

Discrição	Comprimento (cm)	Base (cm)	Abertura (cm)	Altura (cm)	Concentração -
CPC (alumínio)	96,00	12,00	24,00	7,50	2,00

Fonte: Lopes (2013)

A Fig. (3.3) indica o perfil do coletor solar parabólico composto (CPC) submetido ao processo de truncamento de parábola, observa-se uma altura de 7,50cm e as coordenadas do ponto inicial e final do segmento de parábola. De igual maneira se pode deduzir o comprimento da entrada e saída do CPC, conhecendo um único parâmetro o foco (f).

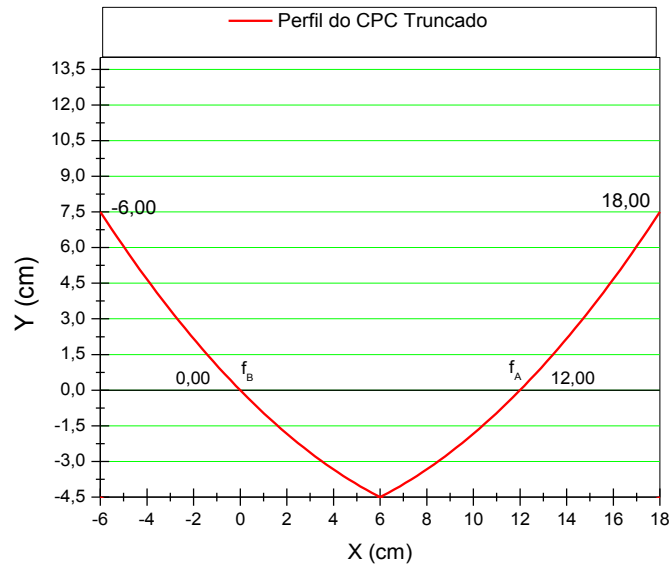


Figura 3.3 – Geometria do CPC
Fonte:: Lopes (2013)

O gráfico da Fig. 33 foi gerado pelas equações (31), (32)

$$Y = \frac{x^2}{4f} - x \quad \{-6 \leq x \leq 6\} \quad (3.1)$$

$$Y = \frac{x^2}{4f} - f \quad \{6 \leq x \leq 18\} \quad (3.2)$$

Com: $a' = f$ e $a = 2f$

Os equipamentos de dessalinização solar e o campo experimental ao lado do laboratório de Injeção Eletrônica Campus Monte Castelo/IFMA podem ser visualizados nas Figs. (3.4; 3.5; 3.6 e 3.7).



Figura 3.4 – Dessalinizador Solar Assimétrico Parabólico Composto (20° e 45°).
Fonte:: Lopes (2013)



Figura 3.5 – Dessalinizador Solar Assimétrico Parabólico Composto (30° e 55°).
Fonte:: Lopes (2013)



Figura 3.6 – Dessalinizador Solar Simétrico Parabólico Composto (20° e 20°).
Fonte:: Lopes (2013)



Figura 3.7 – Dessalinizador Solar Simétrico Parabólico Composto (45° e 45°).
Fonte:: Lopes (2013)

3.3 Operação do Sistema

O dessalinizador foi alimentado com água salgada coletada na baía de São José de Ribamar no período 05 de janeiro a 12 de dezembro de 2012. Para realização dos experimentos foram definidos quatro fatores para estudos dos sistemas: assimetria e simetria com seus respectivos ângulos de inclinação de cobertura, nível das lâminas de água, geometria da bacia dos dessalinizadores e análises físico - químicas. As temperaturas da água em cada bacia, temperatura interna do vidro, foi monitorada com uma placa de aquisição de dados modelo TC – 08 – WIE 731 com 08 (oito) saídas e termopares tipo K, as taxas de condensação (mL/h) foram obtidas através da medição do escoamento com proveta graduada de 500mL e um cronometro digital modelo MONDAINE. A temperatura ambiente, umidade do ar, radiação solar, pressão atmosférica e velocidade do vento foram adquiridas através do site do Instituto Nacional de Meteorologia – INMET.

Os experimentos foram realizados no período de 06 de janeiro a 15 de dezembro de 2012, com oito coletas de amostras. Para tratamento dos dados e realização dos balanços energéticos e de massa, utilizou – se os resultados experimentais e equações da literatura.

3.4 Equipamentos Utilizados para Registro de dados Experimentais

Para medir as eficiências térmicas dos dessalinizadores solar e simétricos e assimétricos, foi utilizada uma placa de aquisição de dados modelo TC – 08 – WIE 731 com 08(oito) saídas e termopares tipo K, posicionados nas coberturas internas de vidros e nos evaporadores parabólicos compostos, transmitindo informações para placa e os dados registrados em um notebook com software Picolog Record, como mostra a Fig. 3.8.

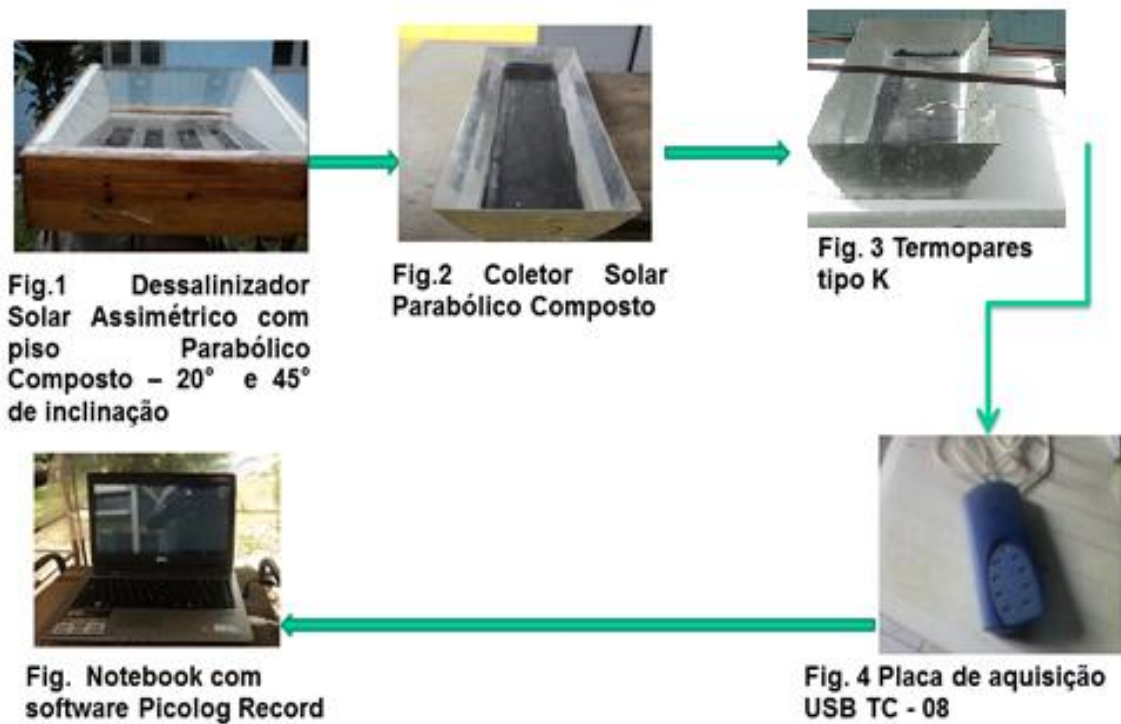


Figura 3.8 – Equipamentos utilizados para registro de dados.
Fonte: Lopes (2013)

CAPÍTULO IV

RESULTADOS E ANÁLISES EXPERIMENTAIS

Neste capítulo analisa-se o desempenho de quatro sistemas de dessalinização solar passivo, simétricos e assimétricos, com variação de alguns parâmetros. Essa parte do presente trabalho procurou discutir os resultados, evidenciando os mesmos e comparando quando possível com dados da literatura. Foram avaliadas as produtividades reais e simuladas, eficiência do sistema real e simulada, a qualidade da água produzida, análise físico – químico, condições climatológicas da região em estudo e, a influência nos resultados obtidos. Os tratamentos dos dados e análise econômica foram realizados após finalizados todos os experimentos propostos.

4.1 Aspectos Climáticos

Para o cálculo da produção de um dessalinizador solar, em um dado local, poder-se-ão utilizar apenas como dado de radiação solar os dias característicos representativos de cada mês. No presente trabalho, para a obtenção dos dias característicos de radiação solar global e de temperatura ambiente, utilizamos a base de dados diários das estações do Instituto Nacional de Meteorologia / INMET, com dados dispostos em tabelas e gráficos, onde estão registrados as variáveis meteorológicas diárias no período de janeiro a dezembro 2012. A Fig. 4.1 e a Tab. BI 19 do apêndice II mostram as variações da radiação solar, temperatura ambiente, umidade do ar e velocidade do vento, no período de estudo tomados a cada uma hora entre 9:00 e 17:00h ao longo do dia. Na avaliação de cada grandeza meteorológica que apresentou maior valor instantâneo. A radiação solar $848,24\text{W/m}^2$, temperatura ambiente $31,05^\circ\text{C}$, velocidade do vento $4,17\text{ m/s}$ e umidade relativa de $66,835\%$. O menor valor instantâneo para radiação solar $195,13\text{W/m}^2$

corresponde ao valor de pico da umidade relativa 77,668%, velocidade do vento do 3,53 m/s, temperatura ambiente de 28,53°C e potencia térmica de 249,03 W.

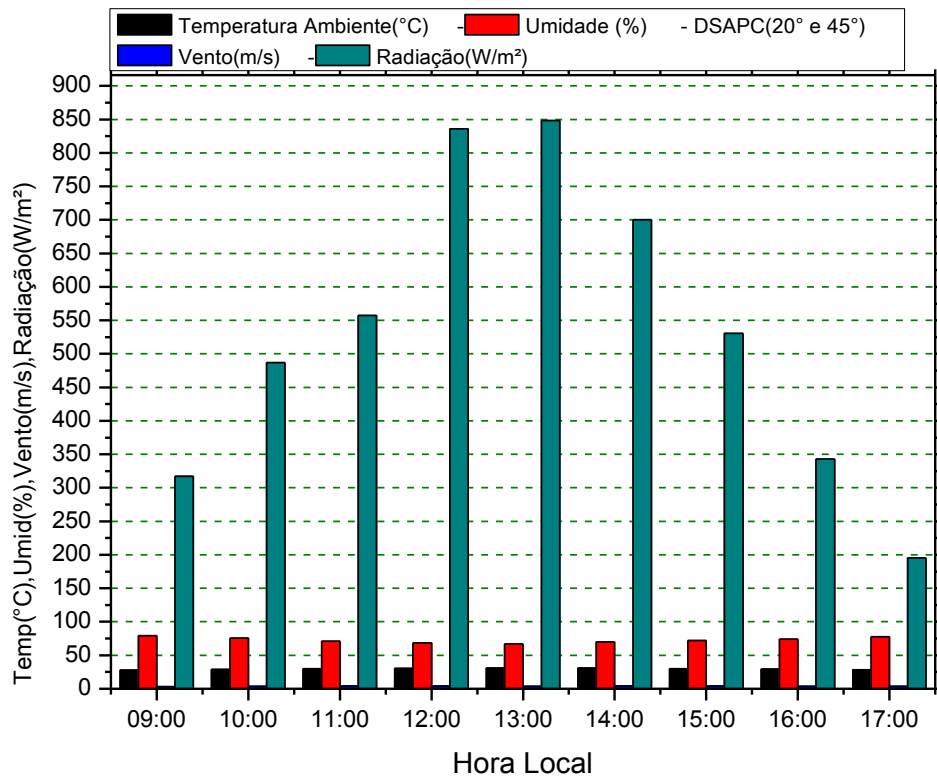


Figura 4.1 – Condições climatológicas média horária Dessalinizador Solar (20° e 45°).

Fonte: Lopes (2013)

4.2 Perfil da Temperatura

Os experimentos foram realizados com profundidade da lâmina de água de 1,00 cm e 0,50 cm para verificação do perfil da temperatura da água na bacia tipo parabólico composto e a temperatura do condensador assimétrico de vidro. As figs. 4.2 e (4.3) apresentam os resultados experimentais para o dessalinizador solar assimétrico com inclinações de 20° e 45°, realizados nos meses de janeiro, fevereiro, março e abril de 2012.

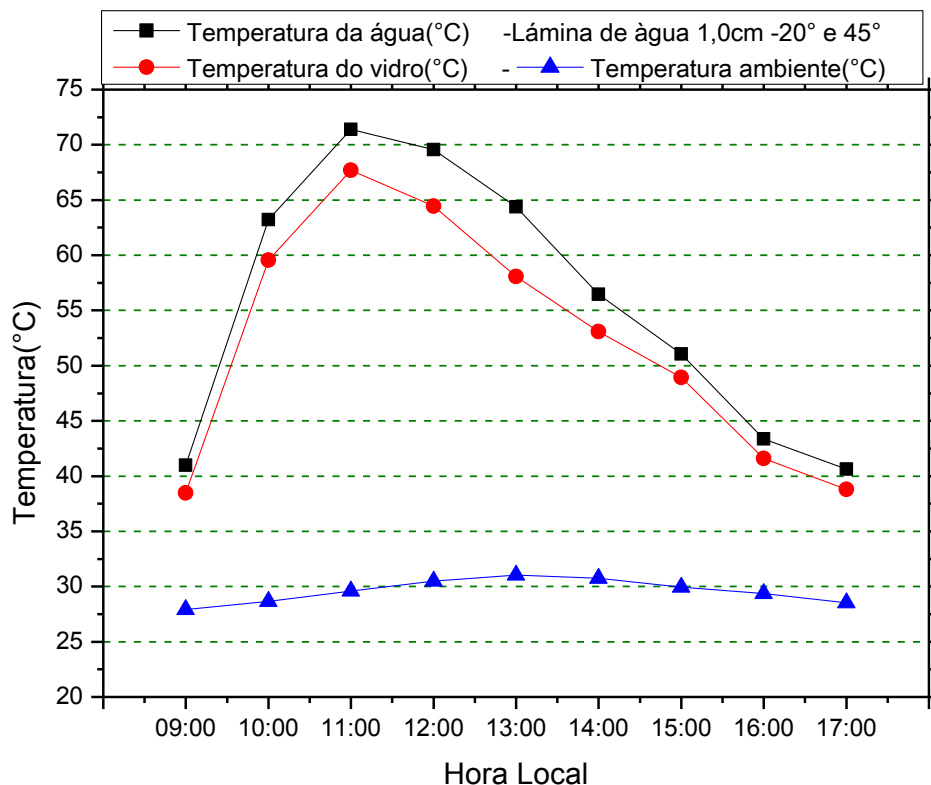


Figura 4.2 – Perfis de temperatura para o dessalinizador assimétrico (20° e 45°): 1.0 cm.
Fonte: Lopes (2013)

Os gráficos das Figs. 4.2 e 4.3 apresentam os valores da temperatura ambiente média horária, temperatura horária média da água e temperatura horária média do vidro, nos meses de realizações dos experimentos para o dessalinizador solar assimétrico parabólico composto com inclinação de cobertura de 20° e 45°. Para uma avaliação mais rigorosa consultar as tabelas CI 2 e CI 4 que deram origem aos gráficos das Figs. 4.2 e 4.3. Analisando-se o perfil de temperatura da água, verifica-se que, quanto menor a profundidade da lamina de água, maior será a temperatura da água. Na realização dos ensaios operando com o Coletor Solar Assimétrico Parabólico Composto com inclinação de 20° e 45° (DSAPC /20° e 45°) com 1,00 cm de profundidade da lâmina de água, no dia 10 de janeiro de 2012 registrou-se a temperatura máxima da água de 80,90°C, nebulosidade média de 5,5 décimo. No dia 13 de janeiro de 2012 foi constatada para profundidade de 0,50cm, temperatura máxima de 76,98 °C, com nebulosidade média de 4,0 décimo.

O gráficos da Fig. 4.3 referentes às temperaturas ambientes, temperatura da água, temperatura de cobertura de vidro, mostram as médias horarias em função do tempo. A temperatura máxima da água alcançada foi 71,50°C às 13:00h e produtividade de 1,0634 Kg/m²h ocorreu às 13:00h para radiação de 851,944W/m². Segundo (TIWARI; DIMRI; CHEL, 2009) uma das desvantagens do destilador solar passivo é a baixa capacidade de

produção diária, em média, de 1 a 3 kg/m²dia. Nos experimentos realizados com o dessalinizador solar assimétrico com inclinação (20° e 45°) para 8h de operação o destilado produzido foi de 3,32 kg/m²dia em dias com nebulosidades médias diária de 4,30 decimo.

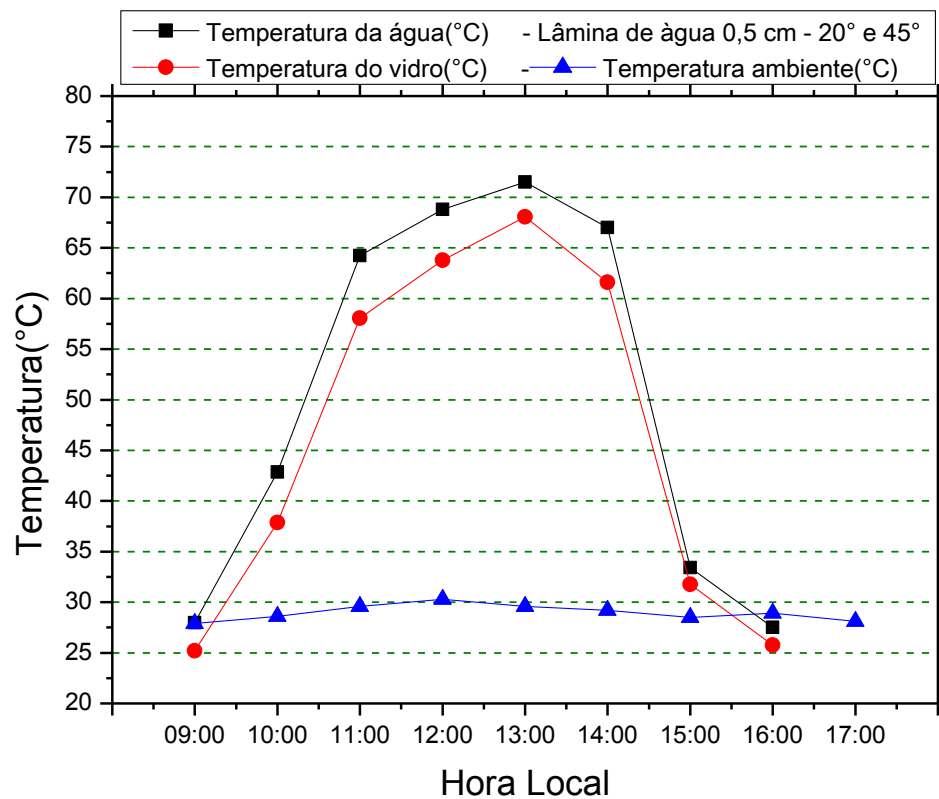


Figura 4.3 – Perfis de temperatura para o dessalinizador assimétrico (20° e 45°):0,50 cm.
Fonte: Lopes (2013)

A radiação solar é o parâmetro que mais afeta a produtividade de um destilador solar e, conseqüentemente, o mais importante, será a variável que comandará o processo de destilação. A fração de radiação solar disponível dependente das condições climáticas, da posição geográfica e da geometria do destilador solar, sendo esperada uma boa correlação com a temperatura da água do evaporador e com a temperatura da cobertura de vidro do condensador do sistema, em relação à radiação solar, como podem ser visualizados através das Figs. 4.4 e 4.5.

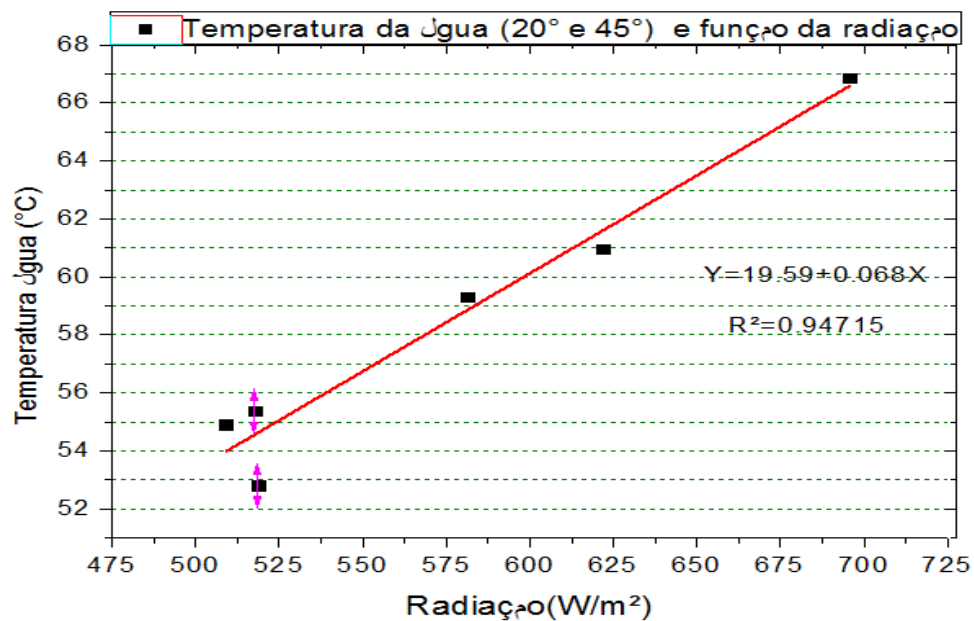


Figura 4.4 – Variação da temperatura da água em função da radiação incidente DSAPA (20° e 45°).

Fonte: Lopes (2013)

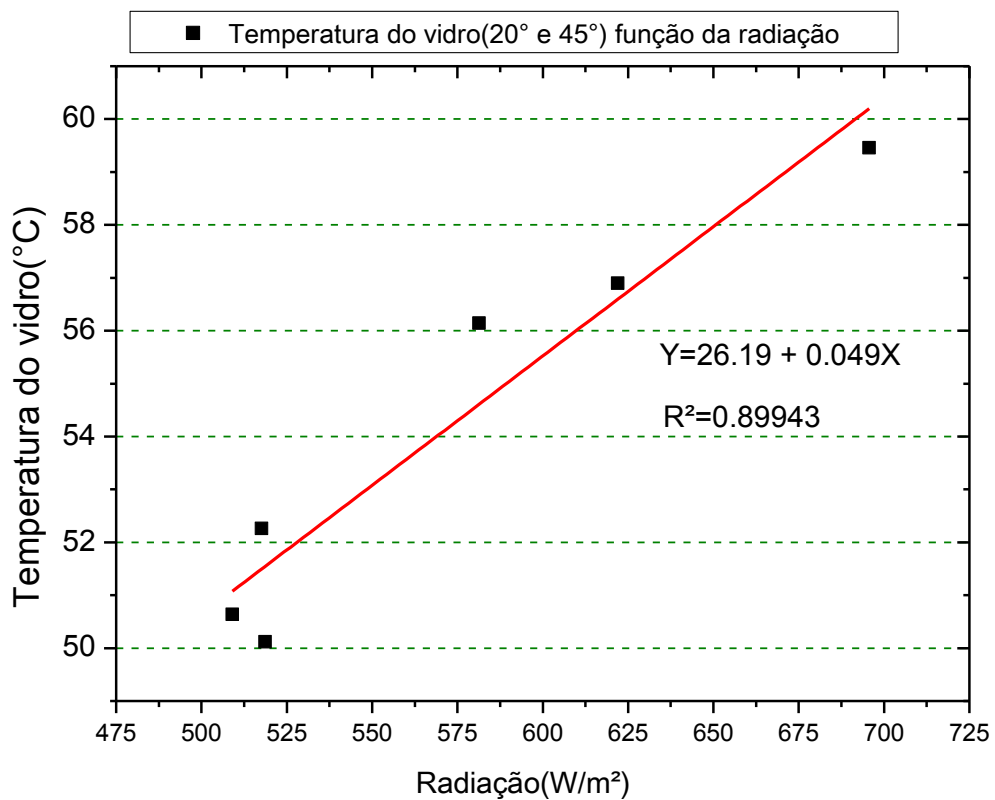


Figura 4.5 – Variação da temperatura da cobertura de vidro em função da radiação incidente para o DSAPC(20° e 45°).

Fonte: Lopes (2013)

As Figs. 4.4 e 4.5 ilustraram os gráficos de dispersões das temperaturas da água da bacia parabólica e da cobertura de vidro que foram plotados em função da radiação solar média diária. Os coeficientes de correlação linear da temperatura da água e temperatura do vidro em função da radiação solar apresentaram valores acima de 0,94 (correlação muito forte).

4.3 Coeficientes de Transferência de Calor Convectivo e Evaporativo

Os valores dos coeficientes convectivos do dessalinizador solar assimétrico parabólico, composto com inclinação de cobertura (20° e 45°), estão de acordo com os dados da literatura para coletores solares de simples efeito, conforme artigo publicado por (SHAWAQFEH; FARID, 1995). Em pesquisa realizada por (TSINLINGIRIS, 2007) os valores encontrados para os coeficientes convectivos variaram entre 2,00 e 3,00 W/m²K para gradiente de temperatura de 10°C. Na Fig. 4.6 verifica – se que o coeficiente convectivo varia entre 0,72 e 2,65 W/m²K para variação de temperatura médio diário de 4,05 °C.

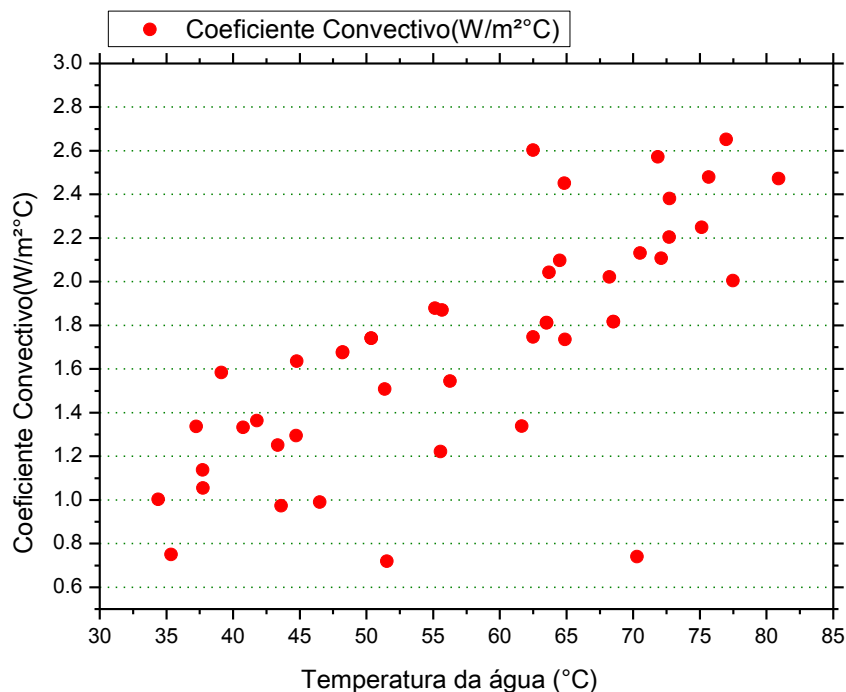


Figura 4.6 – Coeficiente convectivo em função da temperatura DSAPC (20° e 45°).
Fonte: Lopes (2013)

Com os valores dos coeficientes convectivos podem-se obter os valores dos coeficientes evaporativos a partir da equação (20), conforme dados registrados na tabela

(JI 9) do apêndice X e gráfico da Fig.4.7. Segundo Jorge (2011), a temperatura da cobertura é um dos parâmetros mais importantes da destilação solar, a diminuição desta temperatura leva a um incremento de produtividade, uma vez que, a diferença de temperatura entre a cobertura e a bacia aumenta, provocando um acréscimo na transferência de calor convectiva e evaporativa entre a bacia e a cobertura devido, a um aumento da circulação natural da massa de ar no interior da unidade. Na Fig. 4.7 é possível perceber que a variação do coeficiente evaporativo encontra-se entre 3,67 e 71,97 W/m²K para variação de temperatura médio de 4,05°C entre a água da bacia e a cobertura de vidro.

No presente trabalho não foi verificada a evolução do coeficiente de transferência de calor, evaporativo (hew), da superfície da água para a cobertura em função da velocidade do a vento, devido todos experimentos terem sido realizados em ambiente praticamente fechado, onde foi registrado velocidade média diária de 0,6 m/s, conforme tabela (JI 8) do apêndice (X), mesmo sabendo que a produção horária de destilado é também dependente desse parâmetro.

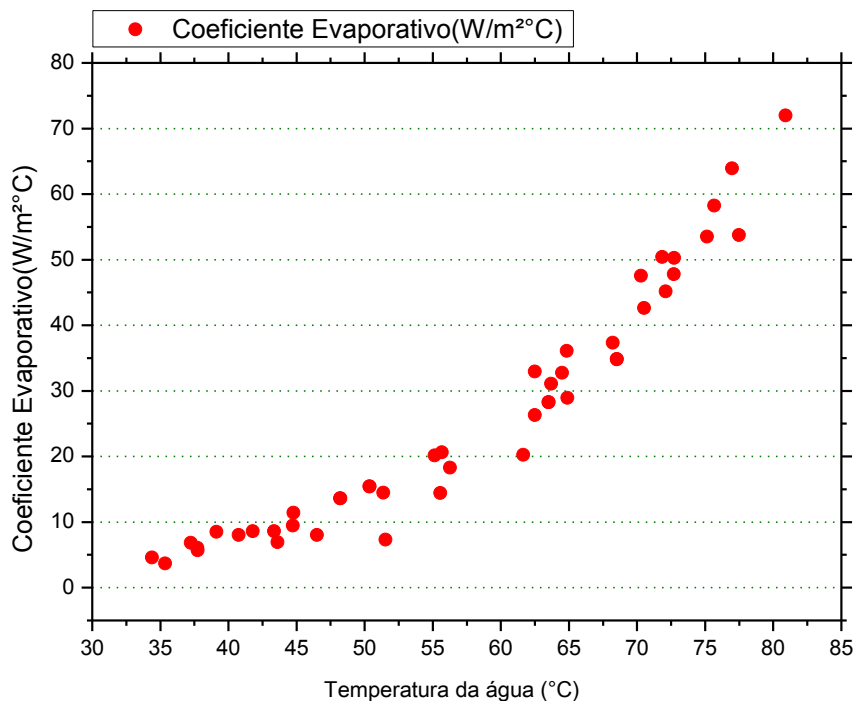


Figura 4.7 – Coeficiente evaporativo em função da temperatura do dessalinizador (20° e 45°).

Fonte: Lopes (2013)

Utilizou-se a equação modificada Sousa (2010) para calcular o número de Reyleigh (Re), modificado, obtida pelo produto dos números de Grashof (Gr) e Prandtl (Pr). Os valores de (Re) confirmam que a convecção nos sistemas é do tipo Livre ou Natural visto

$Re < 10^9$ (INCROPERA et al., 2008), conforme equação (EI 4 1) no apêndice V.

4.4 Simulação da Produção de Destilado Mediante Aplicação de um Modelo Teórico de Transferência de Calor e Massa

Nesta seção aplicamos o modelo teórico desenvolvido por Dunkle (1961) para previsão do destilado produzido pelo dessalinizador solar assimétrico com evaporador parabólico composto disposto em paralelo. Para validação foi usado os dados obtidos nos 24(vinte e quatro) experimentos para profundidades de 0,5 e 1,0 cm e, as equações (2.4), (2.6), (2.7), (2.8), programado no Excel 2010 e plotado no Origin. 8.1.

A eficiência real instantânea do dessalinizador solar foi determinada pela equação (2.29), nas Fig. (4.8 e 4.9) verificam-se os resultados dos destilados simulados comparados com os valores reais obtidos, durante o período de operacionalização do sistema, das 09:00 as 17:00h em cada dia analisado.

4.5 Análises das Quantidades de Destilados reais e Simulados Produzidos pelo DSAPC

Ela análise gráfica da Fig. 4.8 permite-se verificar as duas curvas da produção teórica e experimental possuem as mesmas configurações, é possível perceber que no dia 13 de janeiro de 2012 a produtividade teórica supera a produtividade experimental em 4,29%, além deste aspecto percebemos que os valores teóricos estão abaixo dos valores experimentais.

A Fig. 4.9 indica que os coeficientes de correlações entre a produtividade, variável dependente e temperatura da água (variável independente) se encontra próximos de 1, principalmente os dados experimentais que apresentaram correlação muito forte entre a produtividade real e a temperatura da água e, ainda correlação forte entre a produtividade simulada e a temperatura da água.

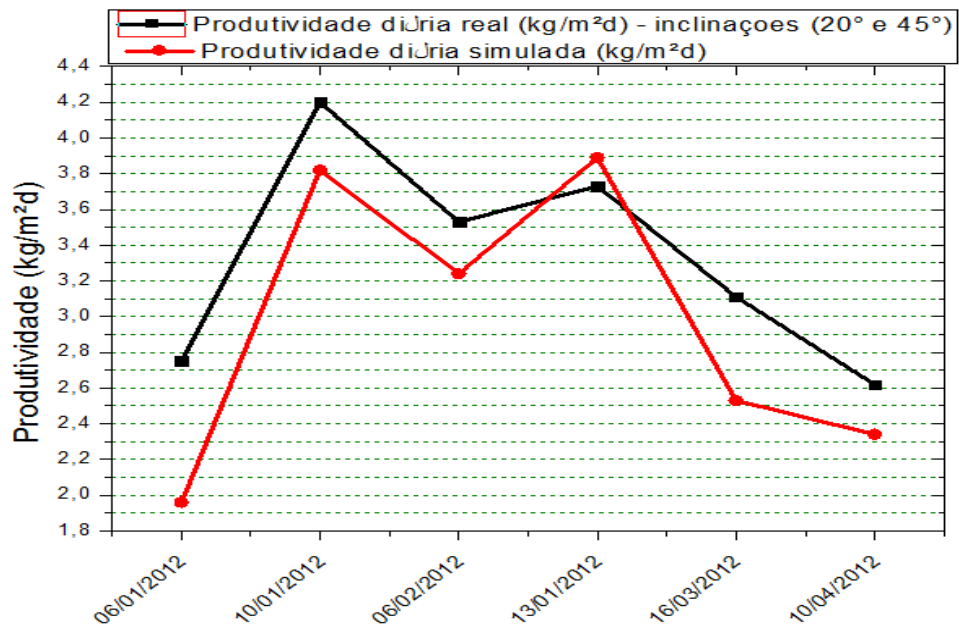


Figura 4.8 – Produção de destilado real produzido diariamente pelo DSAPA (20° e 45°)
Fonte: Lopes (2013)

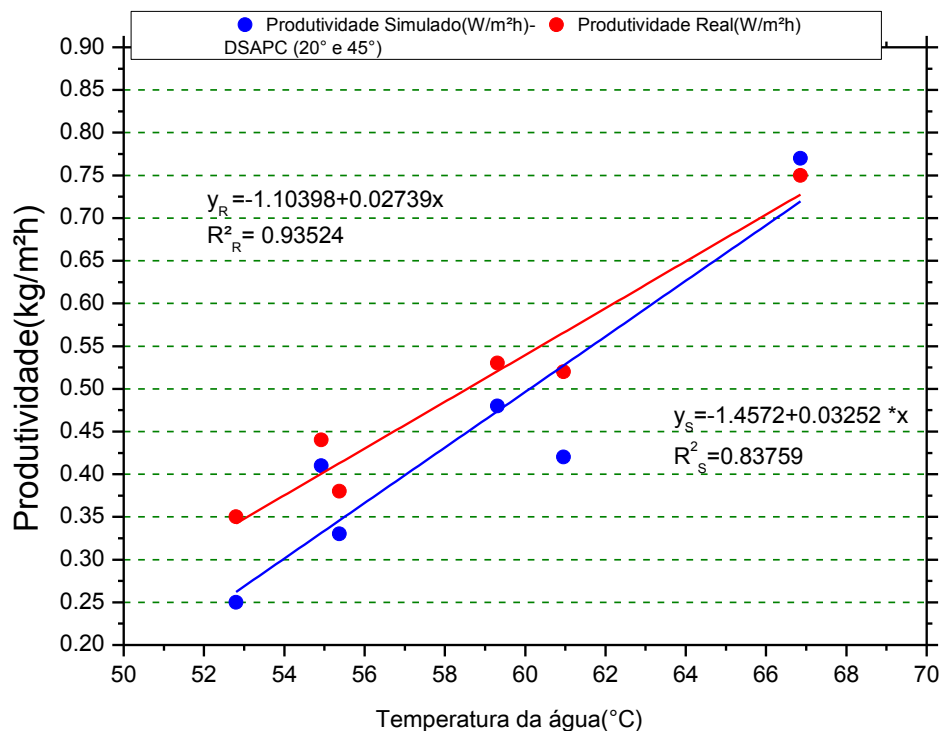


Figura 4.9 – Produtividade em função da temperatura da água DSAPC (20°e 45°).
Fonte: Lopes (2013)

Pela Fig. 4.10 verifica-se que o coeficiente de determinação entre as variáveis dependentes: produtividade real e produtividade simulada, e a variável independente,

gradiente de temperatura dentro do destilador solar, são respectivamente iguais a 0,963 e 0,775; gerando as correlações fortes 0,981 e 0,881, entre as variáveis dependentes e as variáveis independentes.

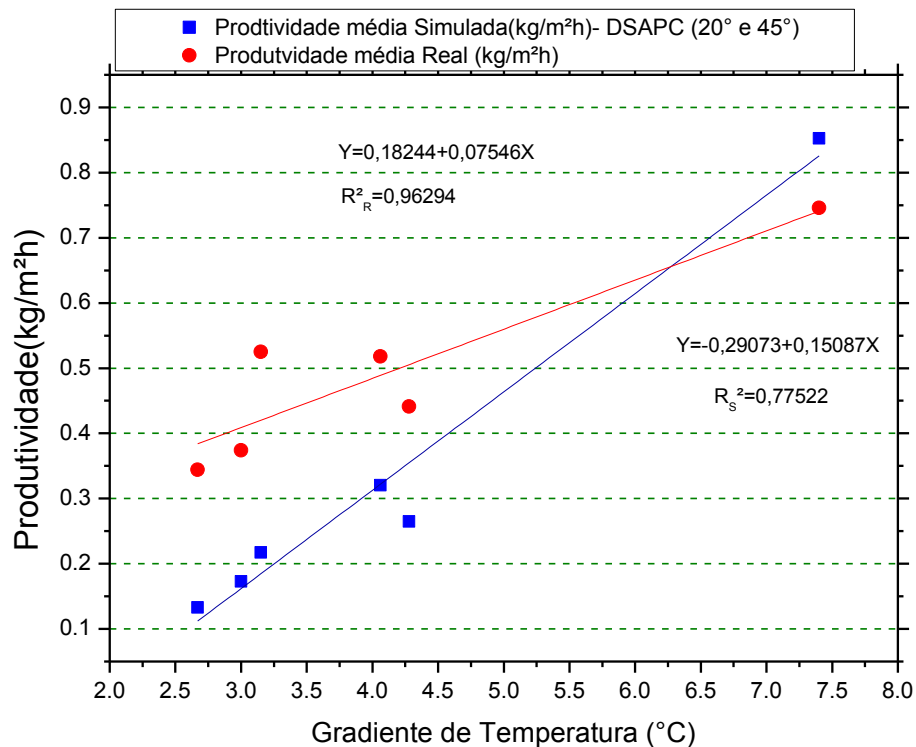


Figura 4.10 – Produtividade em função do gradiente temperatura DSAPC (20°e 45°).
Fonte: Lopes (2013)

Na Comparação da produtividade do destilado para cobertura de 20° de inclinação com área 0,83m² e cobertura de 45° de inclinação com área de 0,40m², verifica-se que, embora nas mesmas condições climatológicas, o processo de condensação ocorreu primeiro para o condensador a 20°, entretanto iniciada a evaporação as duas inclinações assimétricas em todos os experimentos responderam ao mesmo tempo as variações climáticas, como mostram as tabelas BI 3, BI 6, BI 9, BI 12, BI 15 e BI 18.

Nos gráficos das Fig. 4.11 e 4.12 foram observados que a produtividade varia com o intervalo de temperatura da água e da cobertura de vidro, apresentando valores mais acentuado no período entre 10:00 as 14:00h, confirmado no gráfico da Fig. 4.12 e Tabela B I 20 do apêndice II , que registram neste intervalo de tempo ,produtividade mínima de 0,1062 kg/m²h,máxima de 0,9003kg/m²h e produtividade média do intervalo 0,5359kg/m²h, compatível com o intervalo no mesmo período para radiação solar, Fig. 4.1 e Tab.B1 19 do apêndice II, verifica-se que no intervalo compreendido entre 11:00 e 13:00h a produção de

destilado é maior e varia consideravelmente com a profundidade da lamina de água, que no presente trabalho foi 0,5 e 1,0 cm. Outra relação relevante é a produtividade em função da inclinação da cobertura. Deve-se salientar a importância do ângulo de inclinação da cobertura nos destiladores solares, visto que o mesmo serve tanto para permitir a passagem dos raios solares para a base, quanto como suporte para o escoamento da água destilada.

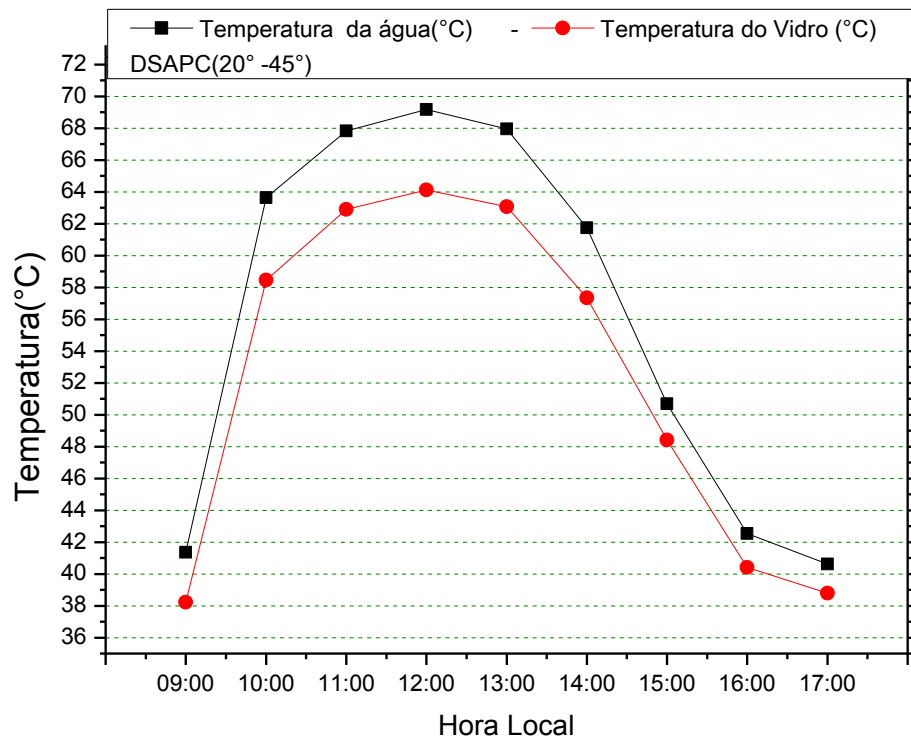


Figura 4.11 – Temperatura da água e temperatura do vidro DSAPC (20° e 45°).
Fonte: Lopes (2013)

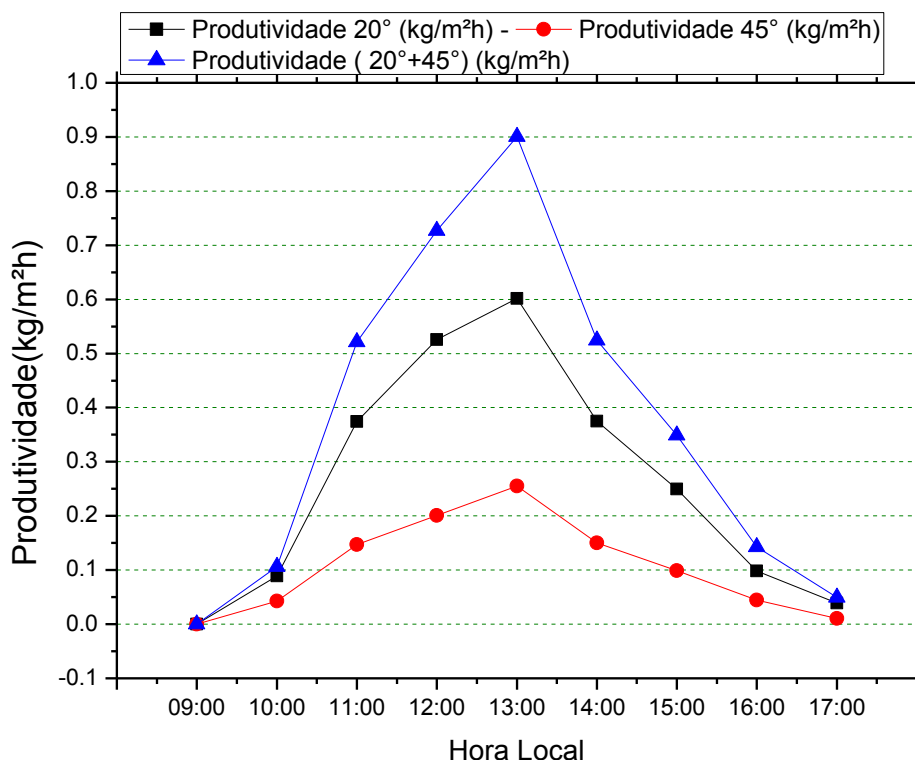


Figura 4.12 – Produtividade real e produtividade simulada do DSAPC ($^{\circ}20$ e 45°).
Fonte: Lopes (2013)

Segundo Bezerra (2004), o aproveitamento energético será máximo quando a radiação solar incidir perpendicularmente a superfície coletora, mas os ângulos de incidência dos raios solares variam com a época do ano e com a latitude, de modo que um sistema ideal para absorção da energia solar deveria ser móvel, acompanhando as mudanças solares. No entanto, sistemas assim tornam-se muito onerosos e costuma-se admitir que a melhor inclinação para coletores solares fosse a soma da latitude local mais 15° . No caso São Luís do Maranhão com latitude de $2,55^{\circ}$ S, uma inclinação desejável para cobertura seria de $17,55^{\circ}$.

Na pesquisa sobre destilação solar uma das finalidades é maximizar a obtenção de energia solar para aumentar a evaporação, contudo se precisa também, maximizar a condensação. Ângulos de inclinação muito pequenos não favorecerão a condensação tanto porque o gradiente de temperatura é pequeno podendo haver gotejamento da cobertura para a base, logo, outras inclinações podem ser testadas. Existem estudos de destiladores solares do tipo passivo com inclinação de 4° até 75° . No presente trabalho a produtividade média na área do condensador de inclinação 20° foi $2,3020\text{kg/m}^2\text{dia}$ enquanto no condensador de inclinação 45° a produtiva média atingiu $0,9265\text{kg/m}^2\text{h}$, com razão de 2.4849 para produtividade e 2.0674 entre áreas de

coberturas.

Com base no gráfico da Fig. 4.13, podem-se observar a comparação do destilado produzido pelo DSAPC (20° e 45°) e os limites estabelecidos na literatura para sistemas passivos e ativos. Para os destiladores solares passivos, a produção diária de destilado é, em média, de 1-3 kg/m²/dia, enquanto que nos destiladores solares ativos esse número sobe até cerca de 3-7 kg/m²/dia, (TIWARI; DIMRI; CHEL, 2009).

No presente trabalho as produtividades médias de 3,389 kg/m²/dia para lâmina de água 0,50 cm e 3,4943 kg/m²/dia para lâmina de água 1,00 cm apresentam valores acima do limite mínimo do sistema ativo, embora o sistema operacional do dessalinizador seja passivo. Foi realizada avaliação de incerteza tipo B, utilizando a equação (2.33), gerando o intervalo de confiança para produtividade real [3,02;3,62]kg/m²h. Conforme registro na tabela (JI 10) do apêndice X.

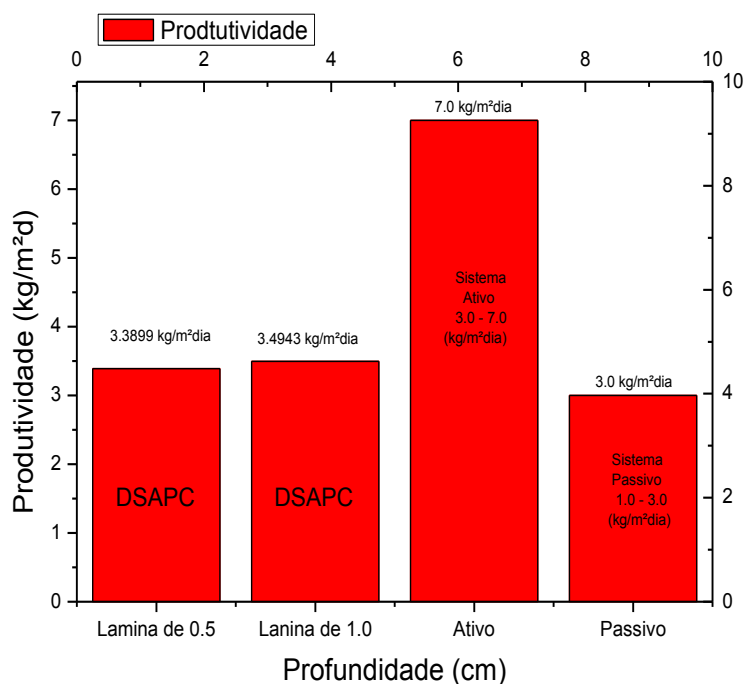


Figura 4.13 – Gráficos comparativos da destilação solar real vs. passivo e ativo.
Fonte: Lopes (2013)

A Fig. 4.14 do gráfico comparativo de área de cobertura e produtividade mostra que a relação entre a área de inclinação 20° é 2,070 maior que a área de inclinação 45°, porém a produtividade para inclinação de 20° é maior 2,4850 do que a produtividade para inclinação de 45°.

O destilado obtido com o dessalinizador solar assimétrico com inclinações de coberturas 20° e 45° com água salgada proveniente da baía de São Jose de Ribamar/MA,

apresentou baixo desvio padrão para produtividade, como mostra a Fig. 4.15.

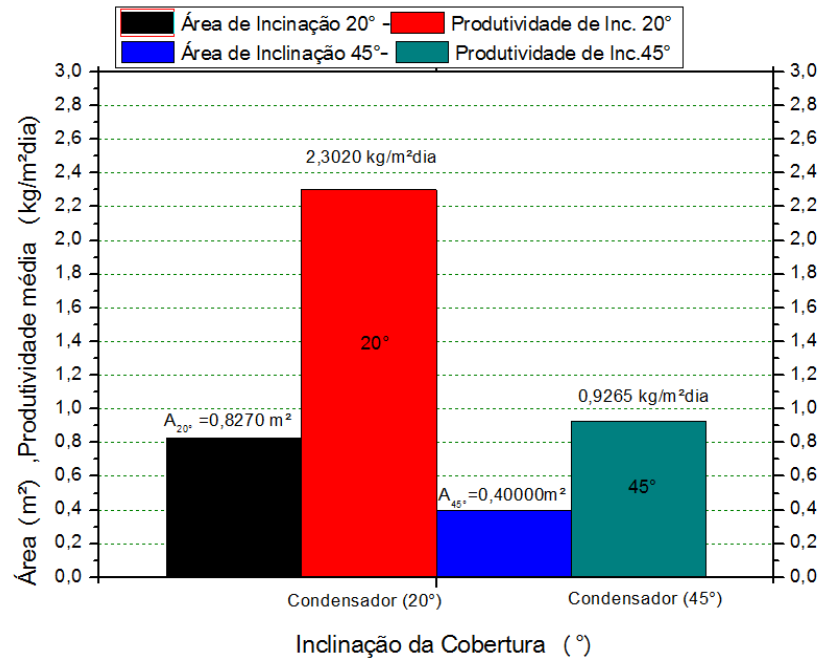


Figura 4.14 – Gráfico comparativo de área e produtividade.
Fonte: Lopes (2013)

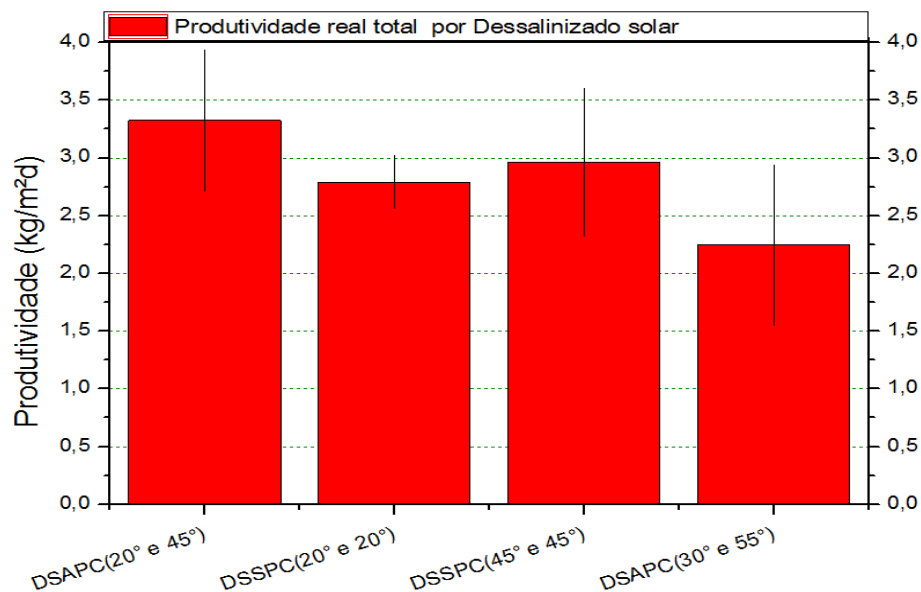


Figura 4.15 – Produtividade (20° e 45°) e desvio padrão.
Fonte: Lopes (2013)

4.6 Dessalinizador Assimétrico Parabólico Composto com (30° e 55°)

4.6.1 Aspectos climáticos

Pela Fig. 4.16 pode ser comprovada a variação de radiação solar que chega no dessalinizador solar assimétrico com inclinação de 30 e 55°, com variação senoidal, apresenta valor de radiação mínima 210,93 W/m² as 17:00h e valor máximo de 744,58 W/m² as 12:00h. É importante referir que no período de realização dos experimentos a nebulosidade média atingiu o valor mínimo de 6/10 as 09:00 h e valor máximo de 6.5/10 as 15:00h, conforme Tabela FI 20 do apêndice VI, dos dados da temperatura ambiente, umidade relativa, pressão, velocidade do vento e radiação solar, fornecidos pelo Instituto Nacional de Meteorologia (INMET). Analisando-se os dados da Fig. 4.16 e da Tabela FI 20 do apêndice VI, é possível verificar a relação inversa da temperatura ambiente e a umidade do ar. A pressão atmosférica varia dependendo do lugar, essa variação é causada pela altitude e principalmente pela temperatura, como mostram os dados registrados na Tabela FI 20 do apêndice VI, destacando o valor máximo para temperatura ambiente 30,83°C, velocidade do vento de 2,69m/s e umidade do ar de 81,50 (%). No interior do dessalinizador solar, embora exista influencia direta da radiação, não existe valor fixo da radiação para mesma temperatura no interior do dessalinizador solar.

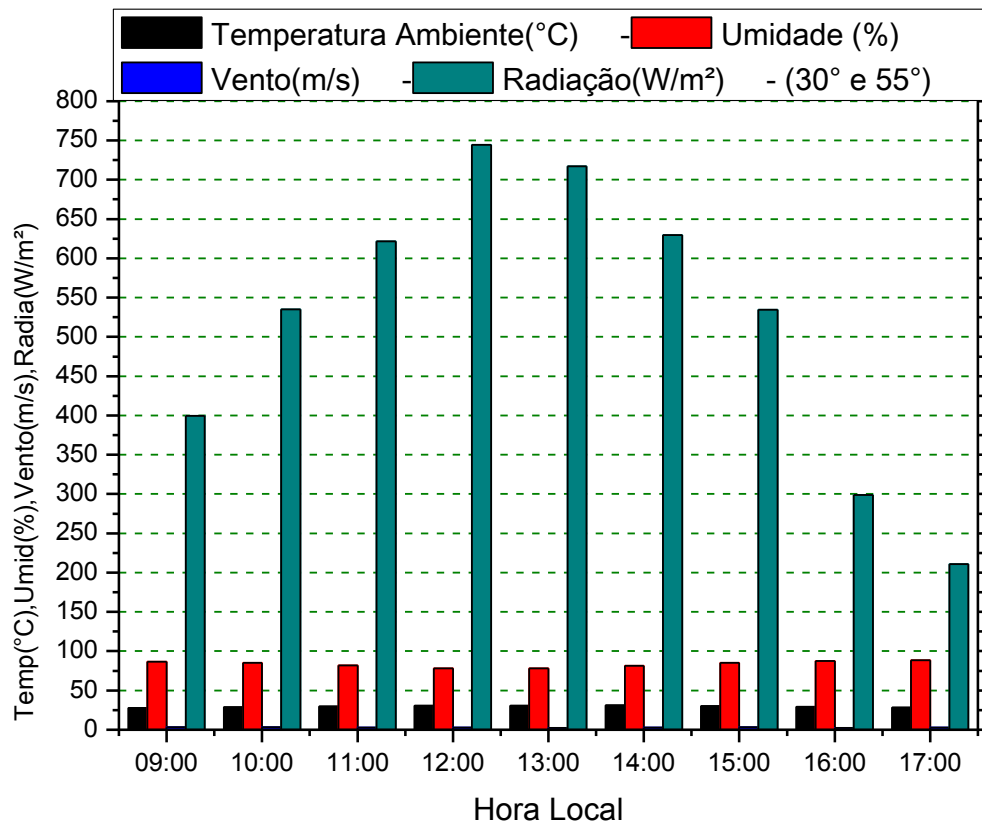


Figura 4.16 – Condições climatológicas média horária DSAPC (30° e 55°).
Fonte: Lopes (2013)

No gráfico da Fig. 4.17 é estabelecida uma comparação entre a temperatura ambiente, temperatura da água e temperatura do vidro, sendo importante observa-se que a maior variação de temperatura ocorreu no intervalo de tempo de 11:00h as 15:00h, para produtividade média máxima de 0,4198 kg/m²h registrada as 14:00h, como ilustrado na 4.18 a Fig. 4.18 e as Tabelas FI 10 e FI 19 do apêndice VI. Nos experimentos realizados com o dessalinizador assimétricos com inclinação de 30° e 55°, foi registrado produtividade real média diária de 0,2800kg/m²h e 0.260 kg/m²h para produtividade simulada, com eficiência real de 34,963% e 31,702% para eficiência simulada.

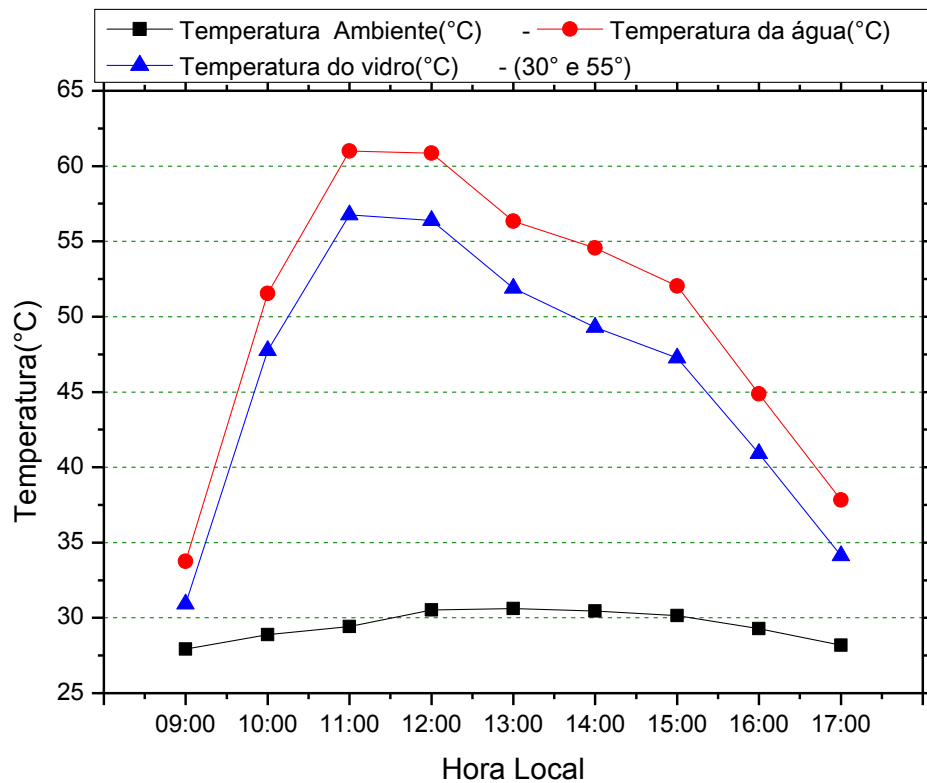


Figura 4.17 – Temperatura da água e temperatura do vidro DSAPC (30° e 55°).
Fonte: Lopes (2013)

A Fig. 4.19 representa a produtividade média horária em função do tempo de realização dos experimentos. Através do gráfico pode-se observar claramente quanto maior a variação de temperatura entre a temperatura da água e a temperatura do vidro de cobertura, maior é a condensação, com produção máxima diária de 2,56kg/m²d no dia 09 de agosto de 2012 e produção total nos 6(seis) dias de operação de 13,47kg/m²d. Conforme Tabela II 1 do apêndice IX.

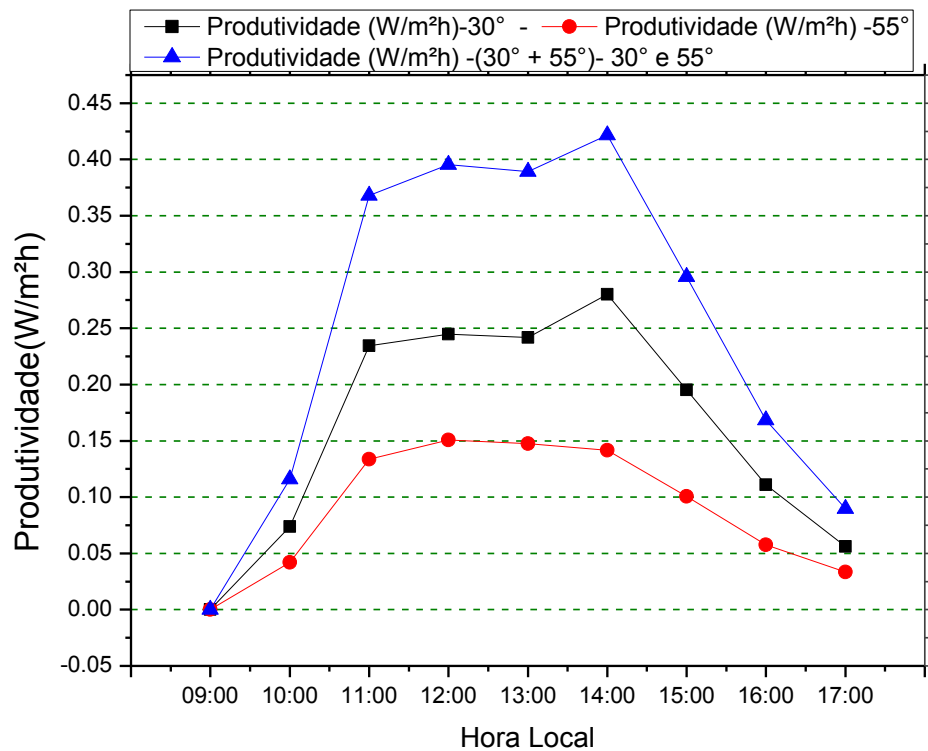


Figura 4.18 – Produtividade real e produtividade simulada do DSAPC (°30 e 55°).
Fonte: Lopes (2013)

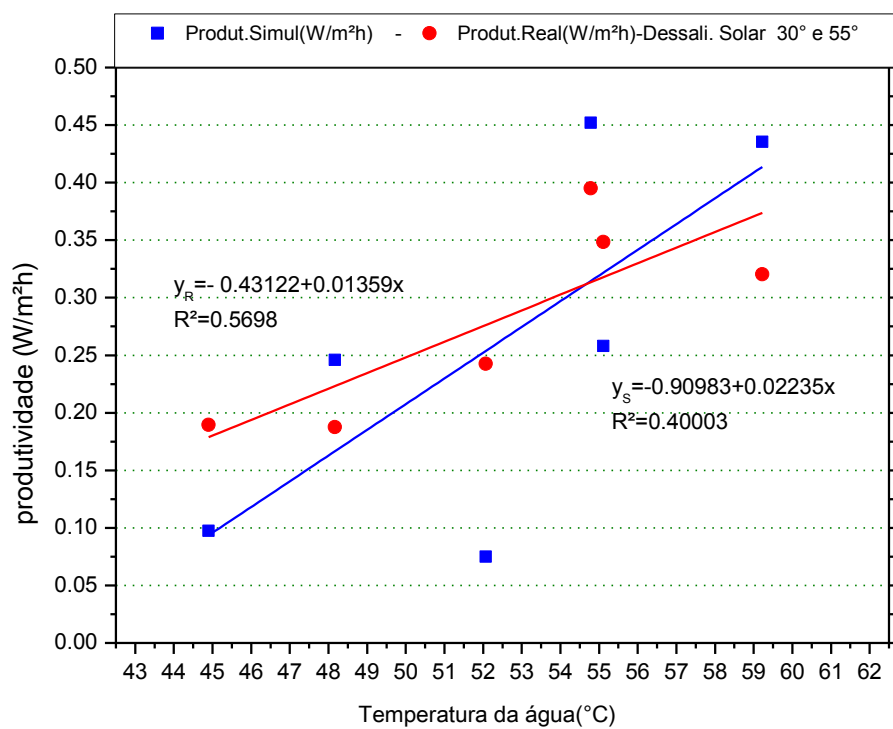


Figura 4.19 – Correlação entre produtividade real e produtividade simulada DSAPC (30° e 55°).
Fonte: Lopes (2013)

A análise do gráfico que consta na fig. 4.19 permite verificar que as duas retas representativas da produtividade real média diária e da produtividade simulada média diária, apresentam um ponto de intersecção para temperatura da água a 55°C. Sendo perceptíveis igualdade nos valores da produtividade.

4.7 Dessalinizador Simétrico Parabólico Composto com (45° e 45°)

4.7.1 Aspectos climáticos

Com fundamento no gráfico da Fig. 4.20 é possível observar o total de radiação solar disponível na realização dos experimentos com o dessalinizador solar simétrico de 45° de inclinação da cobertura. O valor máximo da radiação solar 791,39 W/m² ocorreu as 13:00h e o mínimo 172,21W/m² as 09:00h, tabela HI 13 do apêndice VIII. Segundo Bezerra (1979), a radiação difusa representa 10 a 16% da radiação direta que chega à superfície de forma num dia ensolarado e sem nuvens. Com o tempo parcialmente nublado ela pode atingir 50%, e em dias completamente nublado corresponde à radiação global. Da análise da Fig. 4.20 e da Tabela HI 1 do apêndice VIII é possível verificar a forte relação inversa da temperatura ambiente e a umidade do ar. A pressão atmosférica varia de lugar para lugar. Essa variação é causada pela altitude e principalmente pela temperatura, como indicam os dados registrados na Tabela HI 1 do apêndice VIII, destacando o valor máximo para temperatura ambiente 31,5°C e mínimo para velocidade do vento de 3,0m/s.

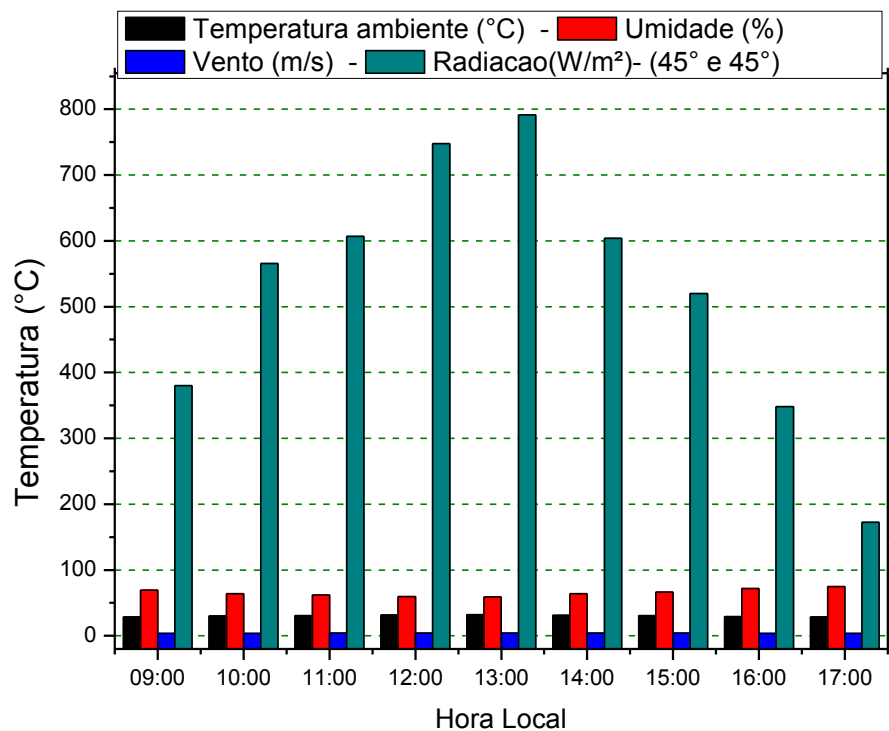


Figura 4.20 – Condições climatológicas média horária DSSPC (45° e 45°).
Fonte: Lopes (2013)

Com base no gráfico da Fig. 4.21 observa-se a variação de temperatura interna da cobertura de vidro e da temperatura da água. À medida que avança o tempo a água varia de 37,98°C as 09:00h para 61,23°C as 13:00h, decaindo até 37,46°C as 17:00 h. A maior variação de temperatura ocorreu no intervalo de tempo entre 11:00h e 15:00h, compatível com o intervalo de tempo de maior produtividade média. Durante a realização dos experimentos com o dessalinizador solar simétrico (45°), a produtividade média mínima 0,33kg/m²h foi obtido as 11:00h e a produtividade média máxima 0,47kg/m²h as 14:00h, como mostra a Fig. 4.22 e a Tabela (HI 13) do apêndice VIII. A Fig. 2.23 indica a comparação entre a produtividade média simulada com a produtividade média real, com respectivos valores de correlação em relação a temperatura da água, representando 0,676($R^2_s=0.4573$) para a produtividade simulado e 0,885($R^2_R=0.7829$) para a produtividade real. A produtividade total coletada foi 17,77kg/m²d para 6 (seis) dias de operação, com média diária de 2,96 kg/m²h, Tabela II 1 do apêndice IX. A eficiência real média conseguida no período de realização dos experimentos com o DSSPC (45°) foi 43,21% e a eficiência simulada 39,70%, conforme Tabela II 4 do apêndice IX.

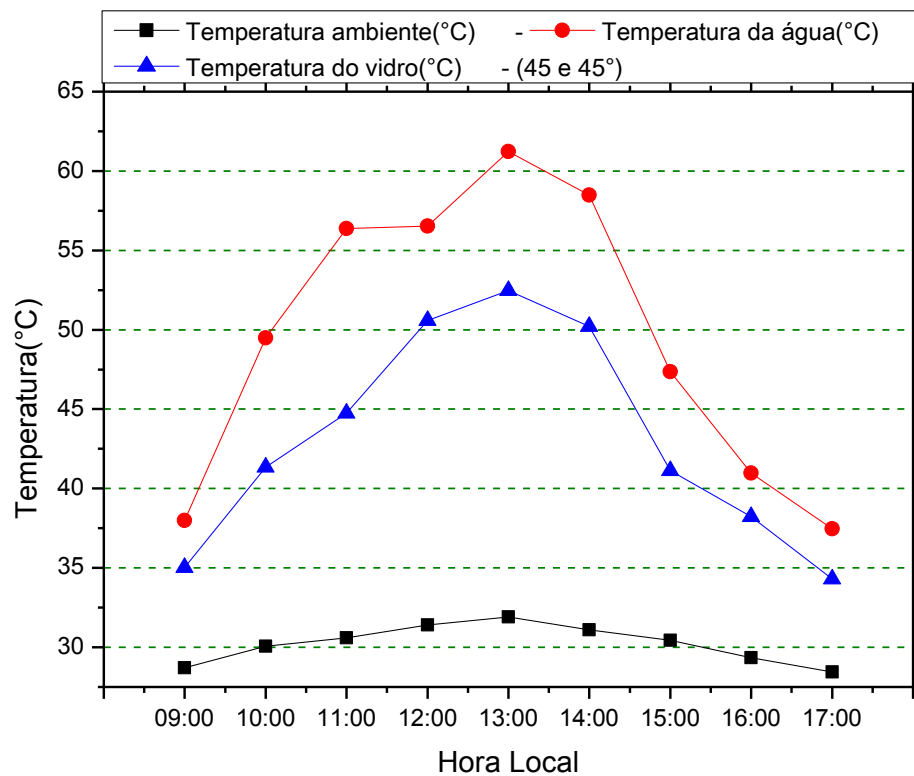


Figura 4.21 – Temperatura da água e temperatura do vidro DSSPC (45° e 45°).
Fonte: Lopes (2013)

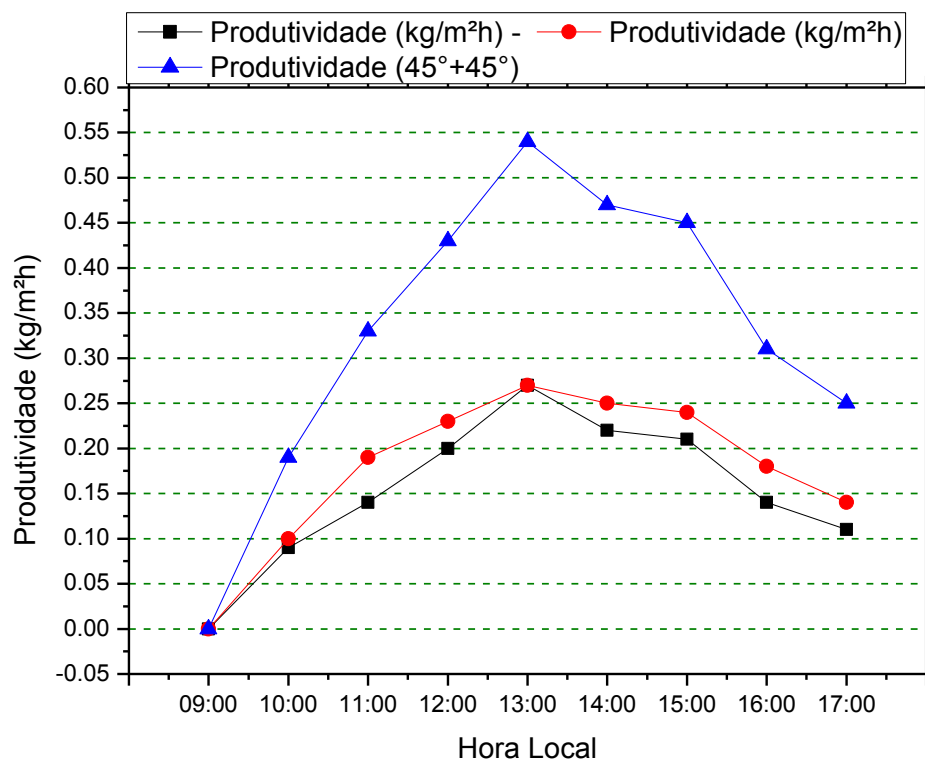


Figura 4.22 – Produtividade real e produtividade simulada do DSSPC (45° e 45°).
Fonte: Lopes (2013)

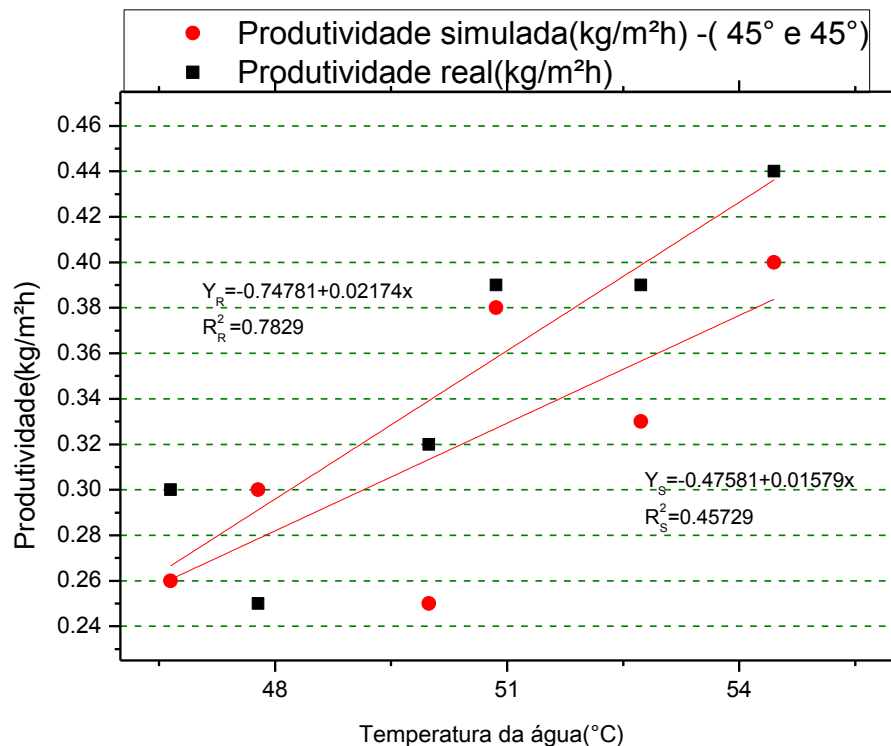


Figura 4.23 – Correlação entre Produtividade real e produtividade simulada DSSPC (45° e 45°).

Fonte: Lopes (2013)

4.8 Dessalinizador simétrico parabólico composto com (20° e 20°)

4.8.1 Aspectos climáticos

As Fig. (4.24; 4.25 e 4.26) indicam que existe uma simetria relativa nos dados da radiação solar média, no período da manhã e da tarde em relação as 13:00h, com valor máximo 697,00W/m² as 13:00h e radiação média mínima 305.08 W/m² ocorrido as 09:00h. Os valores de energia solar mais acentuados foram no período de 12:00h as 14:00h como mostra a Tabela GI 14 do apêndice VII, com nebulosidade máxima de 08/10 as 09:00h e nebulosidade mínima 04/10 as 15:00h. Na Fig. 4.24 e Tabela GI e apêndice VII, pode-se verificar que a temperatura ambiente sofreu variação entre 28,5°C e 27,60°C. Importante observação nas condições climatológicas médias horárias, que a curva de variação da radiação solar segue a mesma semelhança da curva da temperatura ambiente crescente e decrescente com referência aos valores obtidos as 13:00h.

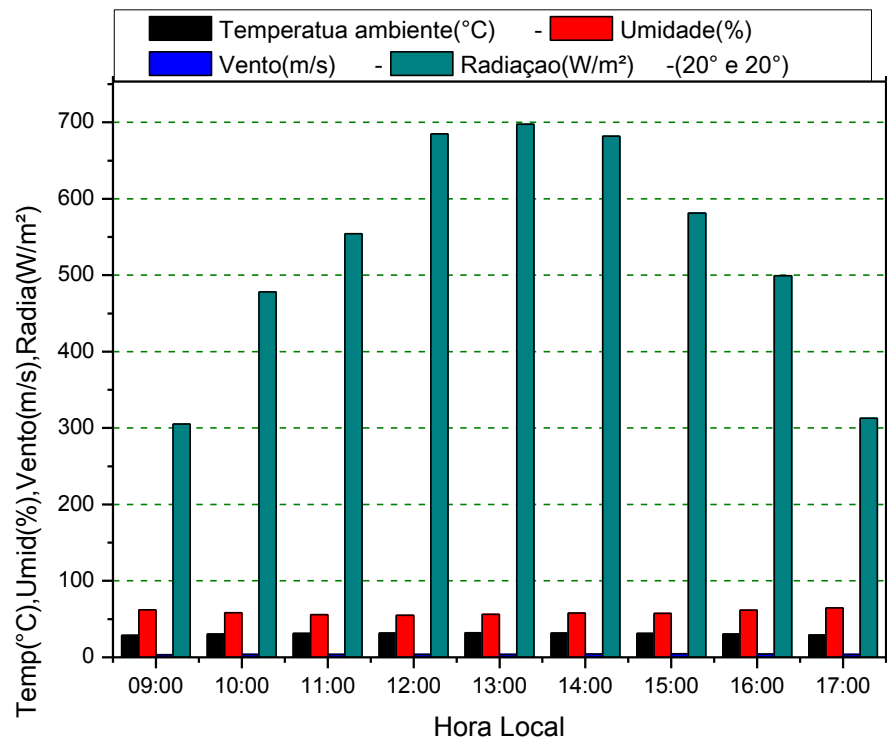


Figura 4.24 – Condições climatológicas média horária DSSPC (20° e 20°).
Fonte: Lopes (2013)

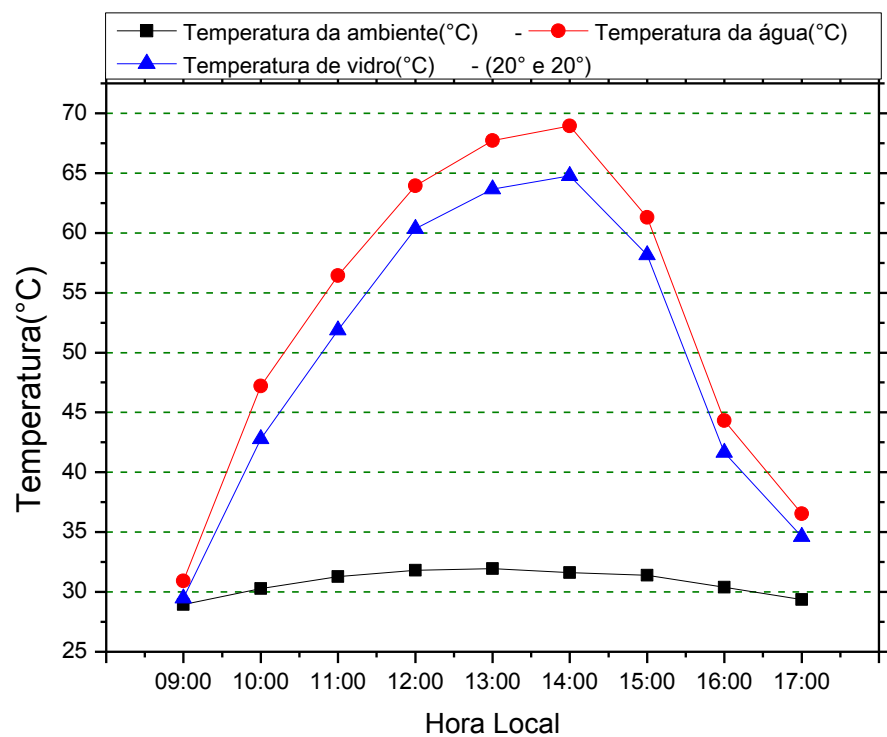


Figura 4.25 – Temperatura da água e temperatura do vidro DSSPC (20° e 20°).
Fonte: Lopes (2013)

Nas Fig. (4.24; 4.25 e 4.26) expressam semelhanças entre as curvas da temperatura da água, temperatura do vidro de cobertura e temperatura ambiente, o mesmo ocorrendo com a produtividade real e produtividade simulada de cada dessalinizador solar. Verificamos que o dessalinizador simétrico com 20° de inclinação, apresentou produtividade total diária de 2,79 kg/m²d e 16,75 litros de água destilada por metro quadrado em 6 (seis) dias de operação, como indica na Tabela II 1 do apêndice IX. Por meio da Figura 4.25 observa-se que no intervalo de tempo entre 12:00h as 14:00h, ocorreu a maior variação de produtividade. A maior temperatura da água 71,56°C foi obtido no dia 15 de dezembro de 2012 as 13:00h, com nebulosidade média diária de 4,5/10, conforme Tabela GI 11 do apêndice VII.

A Fig. 4.26 apresenta a produtividade média simulada de 0,27 kg/m²h e a produtividade média real de 0,35 kg/m²h, com eficiências respectivamente iguais a 26,42% e 41,07%; Tabela II 2 do apêndice IX. Nesse gráfico da Fig. 4.25 é possível perceber que no dia 11 de dezembro de 2012 a variação entre a temperatura da água e do vidro de cobertura foi 6,99°C, proporcionando a maior produtividade média de 0,54 kg/m²h, com o destilador solar simétrico com inclinação de cobertura de 20°.

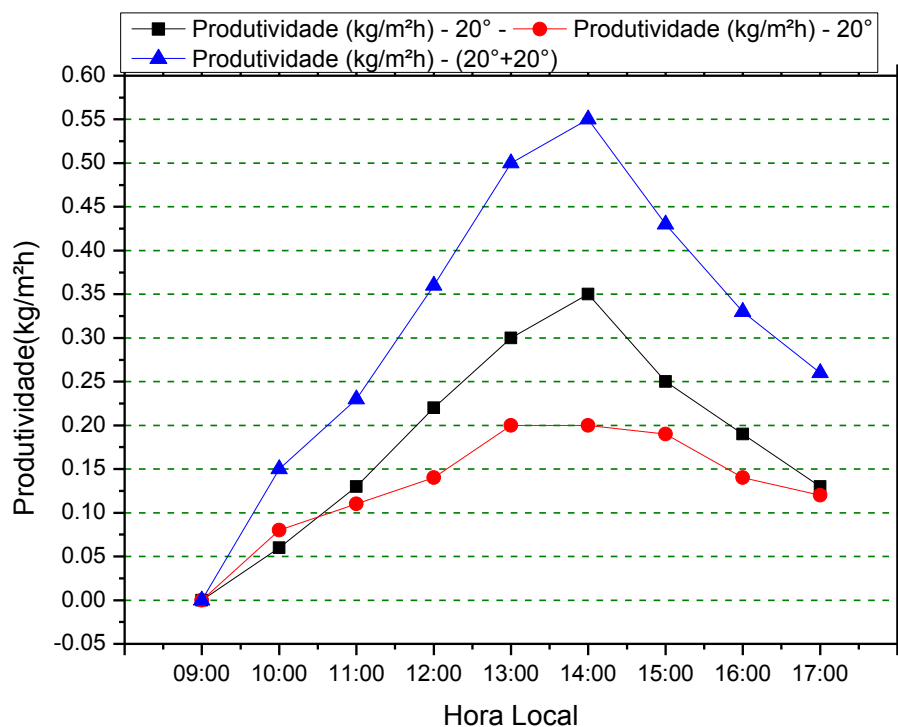


Figura 4.26 – Produtividade real e produtividade simulado DSSPC (20° e 20°).
Fonte: Lopes (2013)

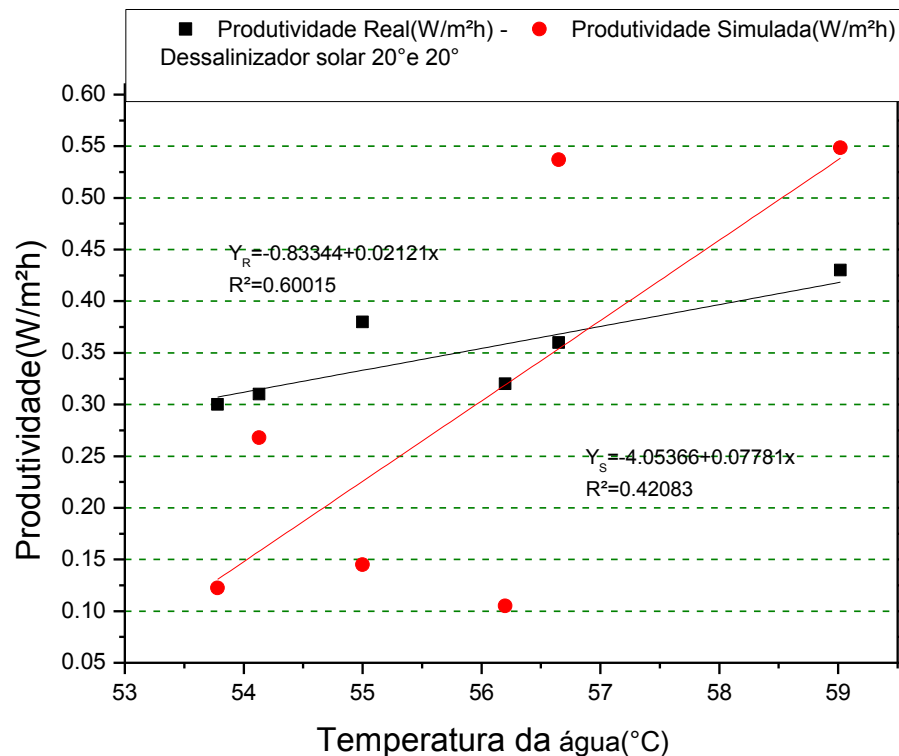


Figura 4.27 – Correlação entre produtividade e temperatura DSSPC (20° e 20°).
Fonte: Lopes (2013)

4.9 Estudo experimental do coletor parabólico composto

Os projetos de concentradores dependerão das características operacionais de cada aplicação e das condições ambientais. O concentrador poderá ser modelado para aplicação em vários sistemas térmicos. No presente trabalho o concentrador parabólico composto foi otimizado para as condições de operação como evaporador de dessalinizador solar tipo bacia, com testes para determinação experimental da taxa de concentração em função da temperatura. O valor médio da temperatura na bacia atingiu 91,98 °C implicando numa taxa de concentração média experimental de 1,72 e variação entre 1,20 e 2,34, para um dia de nebulosidade média de 8,5/10 e radiação solar média de 339,35 W/m², conforme Fig. (4.28 e 4.29) e Tabelas (JI 01) e (JI 02).

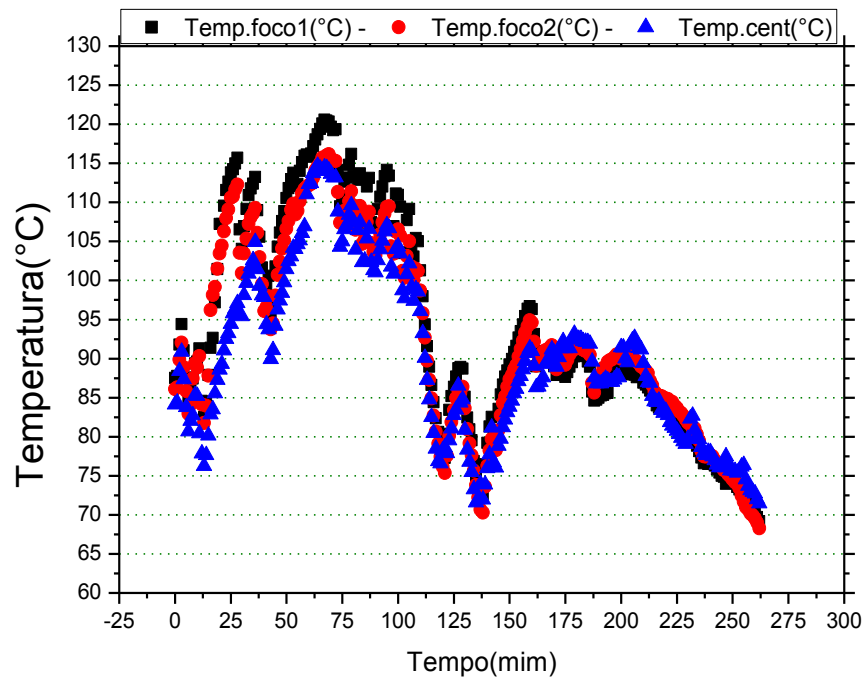


Figura 4.28 – Temperatura do CPC em função do tempo no centro e focos.
Fonte: Lopes (2013)

Segundo López (2011), é possível obter com os coletores concentradores de radiação solar temperaturas entre 100 e 500°C se o sistema óptico dos coletores são bem acabados e entre 1500 e 3500°C se o sistema óptico tem acabamento perfeito. No presente trabalho a temperatura do coletor solar parabólico composto variou entre 68,26 e 120,58°C.

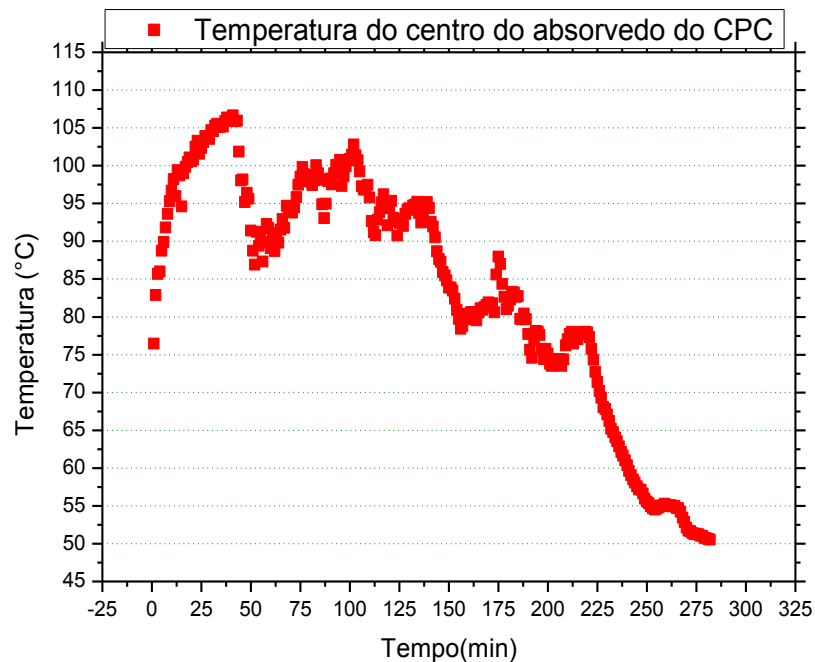


Figura 4.29 – Temperatura do CPC em função do tempo no centro.
Fonte: Lopes (2013)

A Tab. 4.1, a seguir, traz comparações entre destiladores quanto ao tipo, especificações, resultados experimentais e comentários. Os valores apresentados na Tabela registram os estudos realizados por (PHADATARE; VERME. 2007) com destilador solar com cobertura de plástico para lamina de água de 2,00cm, conseguindo produtividade máxima de 2.1 L/m²/dia. (KUMAR; BAI, 2008), desenvolveram estudo com destilador solar avaliando o desempenho do sistema, conseguindo 1,4 L/m²/dia com eficiência de 30% para radiação média de 28 MJ/dia. Esse resultado representa desempenho com condensação melhorada do sistema pesquisado.

Com desenvolvimento de estudo em Nova Deli, Índia Yadav e Prasad (1995), pesquisaram o uso de destiladores solares para destilação de água com um coletor de plano acoplado, obtendo produção máxima 0,250 kg/m² e registrando temperatura máxima de 69°C, para um sistema ativo. Em pesquisa realizada na cidade de Giza, no Egito, com um sistema ativo de dessalinização solar com área coletora 3,20cm², Zeinab et al. (2007), conseguiram uma produção 2.75L/dia com um destilador solar acoplado a concentrador parabólico.

Kabeel (2009), apresentou estudo sobre Destilador solar com superfície côncavo, obtendo eficiência média de 30% para produtividade horária máxima de 0,5 L/m²h após o meio dia, com custo de R\$ 0,1225 por litro destilado.

Tabela 4.1 - Comparação entre tipos diferentes de dessalinizadores solares.

Tipo	Autores	Especificações	Resultados Experimentais	Comentários
Destilador solar plástico	Phadatare e Verme. 2007	Lamina de água 2.0 cm	Destilado máximo de 2.1L/m²/dia	Estudaram a influência da profundidade de água na base do destilador
Destilador solar	Kumar e Bai(2008)	Avaliação do desempenho	Produção de 1.4 L/m²/dia, com eficiência de 30% para radiação média de 28MJ/dia	Estudo do desempenho com condensação melhorada
Destilador solar com coletor de placa paralela	Yaday e Prasad 1995 (Nueva Deli, Índia)	Área 1mx1m Comprimento do coletor de placas paralelo. 1.0 m	Produção máxima 0.250 kg/m², registrando temperatura máxima de 69°C	Destilador simples acoplada ao coletor de placa, mas a sua produtividade é menor.
Destilador solar acoplado a concentrador parabólico	Zeinab et al 2007 (Giza, Egito)	Diâmetro do tubo de cobre: 0.0095m Área 1.0m² Comprimento 14.m Área coletora 3.20cm²	Produção 2.75L/dia	Mas econômico do que o coletor convencional
Destiladores solar acoplado a tubos coletores	Tiwari et al 2007 (Nueva Deli. India)	Área 1.0m² Massa de água 50 kg Fluxo 0.035 kg/s	Produtividade 4.0kg/m²/dia Eficiência 17%	Opção válida para aquecimento e destilação de água
Destilador solar tipo bacia plano retangular	Fonseca et al ., 2008	Destilador solar de fibra de vidro Área 0.16 m²	Produtividade 2.2 L/m²/dia.	Água destilada para diferentes usos: Transporte automotor, baterias, etc.
Destilador solar com superfície côncavo	Kabeel, 2009	Superfície da bacia côncavo com quatro lados em forma de pirâmide	Eficiência média de 30% para produtividade horária máxima de 0.5 L/m²h após o meio dia.	O sistema apresentou um custo de R\$0.1225 por litro destilado
Destilador solar simétrico de 20° e 45°	Sousa, Magna Angélica dos Santos Bezerra(2010)	Bacia retangular Área 20° e Área 45° 0.8464 m²	Eficiência de 33% e produtividade média de 2.9L/m²/dia	Destilação solar para polimento de água produzido por petróleo
Destilador solar tipo vertical	Boukar e Harmin. 2007 (C.Rural na Algeria)	Destilador vertical	Produção que variou entre 0.863 e 1.323 L/m²/dia Temperaturas ambientes entre 10.68 e 15.19°C	Provisionamento de água potável
Dessalinizador solar híbrido	Lopes. 2004 (UNICAMP)	Bacia retangular Coletor solar plano Placas fotovoltaico	Produção de 14 litros de água destilada por metro quadrado dia	Sistema solar híbrido estudado
Destilador de água salina	Ortiz 1985 (C.Rurais Equador e países Andinos)	Bacia retangular	Produção de 2.5 a 30 L/m²	Guayquil (Latitude 2°13' sul e 79°54' longitude oeste)
Dessalinizador solar assimétrico parabólico composto (CSAPC-20° e 45°)	Lopes. 2012 (UFU)	Bacia Parabólico Composto com piso coincidente com o foco	Produção média de 3.4 L/m²/dia.	Lamina de água de 1.0cm(8 horas de operação) Lamina de água 0.5cm(6 horas de operação)

Fonte: Elaborado pelo autor a partir de Yabroudi et al. (2011)

4.10 Caracterização da Amostra e Qualidade do Destilado Obtido

Os resultados dos parâmetros físico-químicos descritos na análise da água destilada pelos dessalinizadores solares simétricos e assimétrico com bacia parabólico composto são apresentados na Tabela 4.2. As amostras utilizadas nos dessalinizadores foram coletadas na baía de São José de Ribamar na ilha de UpuonAçu no Maranhão. Diante dos resultados apresentados pelas análises físico-químicas realizado no laboratório de água e bebidas do campus Maracanã (IFMA), constatou-se que o tratamento de água salgada pelo processo de dessalinização solar é eficaz, visto que, a condutividade elétrica, alcalinidade, cloretos, sólidos totais dissolvidos, dureza total, cor, turbidez, pH (potencial de hidrogênio iônico) e salinidade não ultrapassam os padrões de potabilidade após a dessalinização.

Tabela 4.2 – Resultado médios das análises dos dessalinizadores dos DSAPC e DSSPC.

PARÂMETROS	Média	Limites (OMS)	MÉTODOS
pH	7.87	5.0-9.5*	Potenciométrico
TDS (mg/L)	72.84	1000*	Gravimétrico
CONDUTIVIDADE (µS/cm)	150.63	250	Condutivimétrico
CLORETO (mg/L)	38.41	250*	Mohr
DUREZA TOTAL (mg/L CaCO ₃)	27.62	500*	Titulométrico - EDTA
ALCALINIDADE TOTAL (mg/L CaCO ₃)	49.42	-	Titulométrico com indicador
SALINIDADE (‰)	0.27	0.50	Mohr - Knudsen
TURBIDEZ (NTU)	1.12	≤ 40	Nefelométrico
COR (UC)	3.69	15*	Comparação Visual

Pela Portaria nº 518/2004 do Ministério da Saúde e Resolução 357 (CONAMA, 2005) que estabelecem os procedimentos e responsabilidade relativos ao controle e vigilância da qualidade da água para consumo humano e padrão de potabilidade, e de outras providencias, pode-se inferir que os parâmetros analisados possuem características conformes descritos a seguir.

De acordo com a resolução 357 - CONAMA e Portaria 518 - Ministério da Saúde – Água Doce (classe 3), em relação à salinidade, todas as amostras apresentaram valores abaixo de 0,5 ‰, classificados como água doce. Quanto aos parâmetros pH, cor,

turbidez e sólidos totais dissolvidos os resultados estão condizentes com a legislação de Resolução CONAMA e Ministério da Saúde. A condutividade elétrica teve redução de 39,75% e o pH que representa a concentração de íons hidrogênio em uma solução, apresentou pH de 7,87; estando de acordo com a resolução 357 - CONAMA e Portaria 518 - Ministério da Saúde que recomenda o pH aceitável da água esteja na faixa de 6,0 a 9,5. (CONAMA, 2005).

O artigo 2º da resolução CONAMA nº 357, de 17 de março de 2005 (CONAMA, 2005). Para efeito desta Resolução são adotadas as seguintes definições: águas doces: águas com salinidade igual ou inferior a 0,50 ‰. Os dados da Tabela 4.3, mostram que a salinidade da água 0,27 ‰ obtida com os dessalinizadores assimétricos e simétricos são concordantes com a resolução e reduz em 99,95% a salinidade da água salgada (36 ‰ água do mar), coletada na baía de São José de Ribamar/MA. Em relação aos parâmetros físico – químicos analisados, estão atendendo aos padrões de potabilidade, contudo, para consumo humano, entretanto, serão necessários às análises microbiológicas de coliformes termo tolerantes, coliformes totais e *Escherichia Coli*.

A Tabela 4.3 ilustra os resultados experimentais obtidos através da destilação solar. Os valores que aparecem na tabela, são médias sem considerar a geometria de cobertura dos destiladores solares. Analisando os dados da tabela verifica-se que a redução percentual na salinidade foi de 99,25%, proporcionando um destilado com 0,27 g/L de sais, representando 60% de redução em relação ao limite máximo 0,50 g/L permitido para água doce (CONAMA - Resolução 137). O parâmetro que apresentou o menor percentual na redução foi a alcalinidade total com 75,40%. Observando a tabela ocorreu alta redução de sais e modificação do pH da amostra com média de 7,87, permanecendo no interior do intervalo estabelecido pelo CONAMA (2005). A condutividade elétrica da amostra sofreu redução de 96,32%, apresentando uma queda de 4,10 mS/cm(água salgada) para 159µS/cm (água doce).

Tabela 4.3 – Redução dos parâmetros físico-químico.

PARÂMETROS	Água Salgada	Água Dessalinizada	Redução (%)
pH	7,56	7,87	No intervalo
TDS (mg/L)	-	72,84	-
CONDUTIVIDADE ($\mu\text{S/cm}$)	4100,00	150,63	96,32
CLORETO (mg/L)	-	38,41	-
DUREZA TOTAL (mg/L CaCO_3)	-	27,62	-
ALCALINIDADE TOTAL (mg/L CaCO_3)	200,93	49,42	75,40
SALINIDADE (‰)	36	0,27	99,25
TURBIDEZ (NTU)	15,8	1,12	92,91
COR (UC)	24	3,69	84,62

Fonte: Lopes (2013)

4.11 Análise econômica

O custo do capital investido para instalação dos sistemas de dessalinizadores solares simétricos e assimétricos com bacia parabólicos compostos desde a aquisição, transporte, instalação e manutenção, estão indicados na Tabela 4.4. Para determinação dos custos dos equipamentos foi incluso o valor da mão de obra utilizada na execução do projeto e os valores dos materiais em reais (R\$).

Tabela 4.4 - Custo para construção dos equipamentos de dessalinização solar.

Itens	Valor por equipamento (R\$)			
	20° e 45°	30° e 55°	20° e 20°	45° e 45°
Dessalinizadores	20° e 45°	30° e 55°	20° e 20°	45° e 45°
CPC de alumínio*	600,00	600,00	600,00	600,00
Estrutura de Madeira	250,00	-	-	-
Estrutura de alumínio*	-	800,00	800,00	-
Estrutura de Aço*	-	-	-	550,00
Vidro comum	120,00	120,00	120,00	120,00
Silicone	22,00	22,00	22,00	22,00
Tinta preta	12,00	12,00	12,00	12,00
Folhas de isopor	40,00	40,00	40,00	40,00
Custo inicial	1044,00	1594,00	1594,00	1344,00

Incluindo mão de obra.

Segundo Tiwari, Singh e Tripathi, (2003), diferente de outros métodos de dessalinização, onde o custo capital por unidade diminui com o aumento da capacidade, na destilação solar, esse custo cresce na medida em que se aumenta o número de equipamento. Na análise econômica torna-se necessário avaliar o custo inicial, ou custo de investimento do sistema. Os custos iniciais do sistema compreendem os custos dos coletores. Segundo (SOUSA, 2010), em escala real o sistema de destilação solar deveria ser do tipo ativo, onde o fornecimento extra de energia poderia vir de um coletor solar plano ou mesmo concentrador solar. Esses sistemas de destilação solar não existem comercialmente e precisam ser projetados para cada caso específico de acordo com as necessidades e demandas do projeto.

Os sistemas ativos, via de regra, aproveitam a própria energia solar, através de coletores planos ou concentradores solares, para preaquecer a água salobra ou salina que vai ser alimentada ao sistema e assim melhorar a produtividade. Lopes (2004) produziu um dessalinizador solar híbrido com coletor solar plano acoplado ao sistema para pré-aquecimento e uma resistência elétrica alimentada por duas placas fotovoltaico para ajudar na evaporação do fluido de trabalho, chegando a produzir 14 litros de água dessalinizada por dia, com custo de R\$ 0,037 por litro em 25 anos de vida útil do sistema.

4.12 Comparações de custos do destilado do DSAPC(20° e 45°).

Na análise econômica é imprescindível a comparação de custo do sistema DSAPC (20° e 45°), com o sistema alimentado por eletricidade convencional e com o custo de produção com água mineral natural engarrafado. Considerando três possibilidades para regiões de difícil acesso e falta de água para o consumo humano, analisamos o custo do fornecimento de água, utilizando um dessalinizador solar assimétrico com bacia parabólico composto disposto em paralelo, destilação com energia elétrica tradicional e fornecimento de água mineral natural engarrafada.

Para análise econômica do dessalinizador pelo DSAPC, consideramos o custo inicial de R\$ 1044,00 e produtividade de 3,20 kg/m²d, representando o custo médio anual de R\$ 0,044692 por litro, em 20 anos de operação. Sistema nas mesmas condições utilizando energia elétrica convencional (hidrelétrica) para R\$ 0,410032 o valor do kWh, já acrescidos os tributos de 12% de ICMS cobrados pela Companhia Energética do Maranhão, com taxa de variação de preço da ordem de 10% ao ano, proporcionando preço médio anual do litro de água dessalinizada por R\$0,3142. Na análise de custo com abastecimento com água mineral natural foi considerado o valor médio de R\$1,32 por litro pesquisado no comercio

local e taxa de variação de preço de 10% ao ano. Como indicados nos gráficos da Fig. 4.30, geradas pelas equações (4.1) e (4.2).

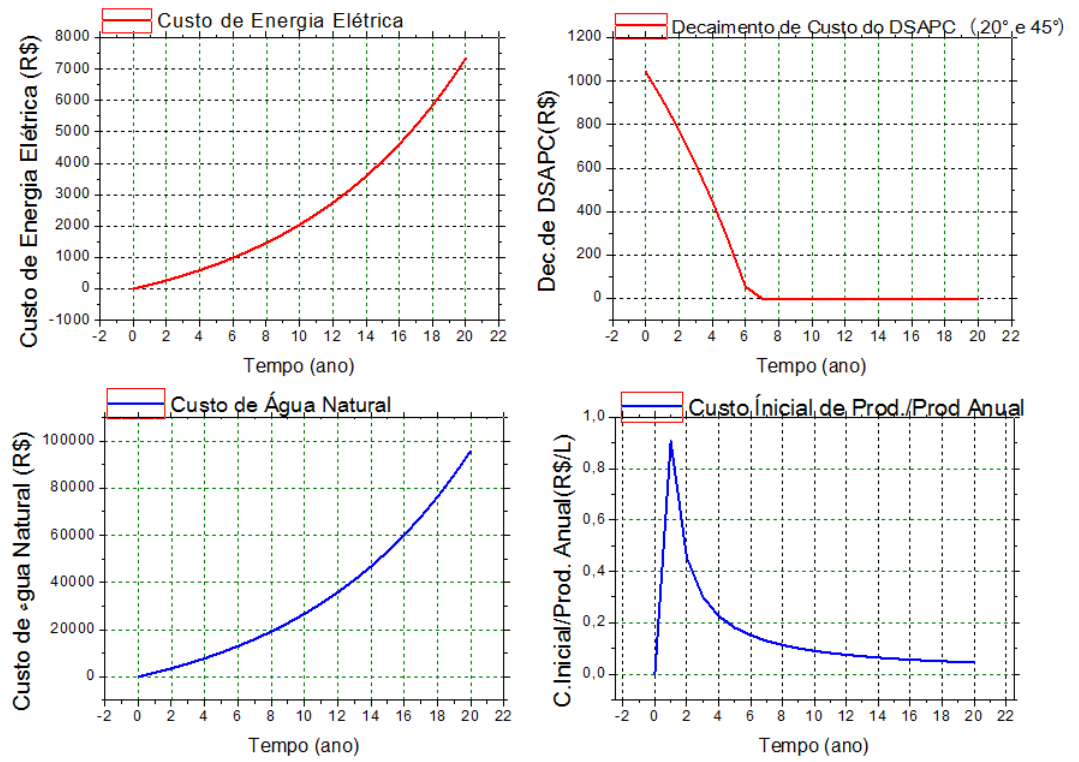


Figura 4.30 - Custo Comparativo de produção
Fonte: Lopes (2013)

$$C_{DSAPC(20^\circ e 45^\circ)} = 1044,00 - \xi \times \left(128,17 \times \sum_{0}^{20} (1,1)^n \right) \quad (4.1)$$

$$C_{EE} = \xi \times \left(128,17 \times \sum_{0}^{20} (1,1)^n \right) \quad (4.2)$$

$$n = 0 \rightarrow \xi = 0 \quad (4.3)$$

$$n \neq 0 \rightarrow \xi = 1 \quad (4.4)$$

$$C_{\text{Inicial}} = \text{R\$}1044,00 \quad (4.5)$$

$$C_{\text{Inicial}} < C_{\text{E.E}} \rightarrow C_{DSAPC(20^\circ e 45^\circ)} \cong 0 \quad (4.6)$$

4.13 Análise Financeira

Como pudemos observar no item anterior, o investimento para construção e operacionalização do dessalinizador assimétrico com piso cilíndrico parabólico composto e inclinação de cobertura 20° e 45° foi R\$ 1044.00 de capital inicial, com produtividade em 20 anos de operação. Mostrar-se que o retorno do capital investido ocorrerá após 5 (cinco) anos e 3(três) meses e 6(seis) dias em relação ao dessalinizador alimentado com energia elétrica convencional (hidrelétrica) e retorno a partir de 1(um) ano se o fornecimento 3.2 litros for de água mineral natural engarrafada a R\$1.32 o litro ,como mostram a Fig.4.30 e a Tabela (JI 17) do apêndice X.

4.14 Análise Estatística de Resultados

Para os resultados apresentados em gráficos foram realizados tratamentos estatísticos com auxílio de programas informáticos STATISTICA 7 e OriginPro 8.1 em ambiente Windows 7. No caso dos dessalinizadores solar simétricos e assimétricos, foram testadas as diferenças entre os dois processos de profundidade de lamina de água para cada um dos dessalinizadores estudados, efetuando uma análise de variância (ANOVA) aos resultados obtidos com três variáveis de entrada (radiação solar, temperatura ambiente e geométrica de cada dessalinizador) e com a principal variável de saída (produtividade).

Recorrendo à formulação de hipóteses nula e alternativa, é possível testar se $H_0: (\mu_1=\mu_2=\mu_3=\mu_4)$ não há diferença entre as medias) versus H_1 : pelo menos um é diferente. Utilizando-se a estatística de teste F, será possível verificar qual das duas hipóteses se aplicará nesse caso, com um intervalo de confiança de 95 % ao nível de significância de 5%. Depois de concluir que não existe diferença significativa entre os tratamentos por meio do teste F, avaliaremos a magnitude do aceite do teste de hipótese nulo, utilizando-se o teste de comparação múltipla, isto é, o teste de Tukey.

4.15 Analise Estatística de Variáveis Externas

Ao longo deste trabalho foram realizados vários experimentos e, para verificação da diferença estatística entre as temperaturas ambiente, entre as radiações solares para cada dessalinizador, combinados dois a dois, em relação às profundidades da

lamina de água nas bacias, foi aplicado um Teste - *F*, avaliado ao nível de significância de 5% (0,05). Como observadas nas Figs. (4.31; 4.33 e 4.35) e Tabelas (4.5; 4.6 e 4.7).9

4.15.1 Radiação Solar

Tabela 4.5 – Radiação dos experimentos para profundidade 1.00cm e 0.50cm.

Condições	Tamanho da Amostra		G		Média (W/m ²)	Desvio Padrão (W/m ²)	(CV) (%)	F-Valor (Exp)	F-Valor (Resid)
		T o t	L M o d	R e s					
R1P1	3	23	7	16	536,33	39,23	7,31	1,024	2,660
R1P2	3	23	7	16	533,42	69,51	13,03		
R2P1	3	23	7	16	525,96	53,47	10,17		
R2P2	3	23	7	16	546,54	20,89	3,82		
R3P1	3	23	7	16	579,62	48,17	8,31		
R3P2	3	23	7	16	543,07	29,56	5,44		
R4P1	3	23	7	16	497,30	50,77	10,21		
R4P2	3	23	7	16	575,65	32,77	5,69		
Média	3	23	7	16	542,24	43,05	8,00		

Fonte: Lopes (2013)

Na Fig. 4.31 e Tabela (4.5) foi possível observar que a radiação solar de maior valor médio diário 579,62 W/m², foi obtido no ensaio com dessalinizador solar assimétrico (30° e 55°) e o valor mínimo registrado de 497,30 W/m², ocorreu no ensaio com o dessalinizador solar simétrico (20° e 20°). A análise de variância apresentada na tabela 4.5 apresenta o valor calculado de F igual a 1,024 e está associado a 7 graus de liberdade de tratamento. Como o valor de F calculado é menor do que o F crítico, a hipótese nula de que as médias de tratamentos das radiações solares são iguais deverá ser aceita ao nível de significância de 5%.

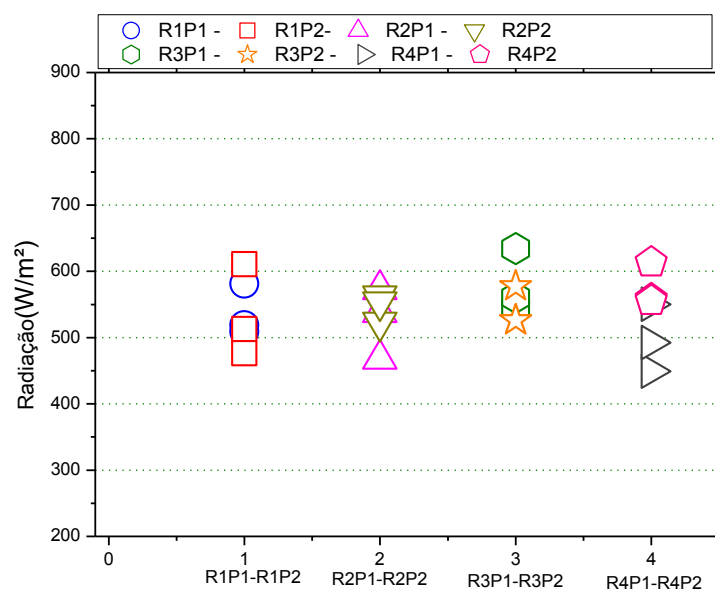


Figura 4.31 – Dispersão de tratamento de crescimento da radiação solar.
Fonte: Lopes (2013)

O gráfico de resíduos padronizados apresentados na Fig. 4.32 não exibe valor discrepante. Cerca de 70,83% dos pontos estão concentrados no intervalo $[-1;1]$, 91, 66% no intervalo $[-2,2]$ e 100% no intervalo $[-3,3]$.

A garantia da precisão dos dados em relação a média é dado pelo coeficiente de variação (CV) de 8,38% muito menor que o limite de 30% exigido na literatura, para experimento de campo.

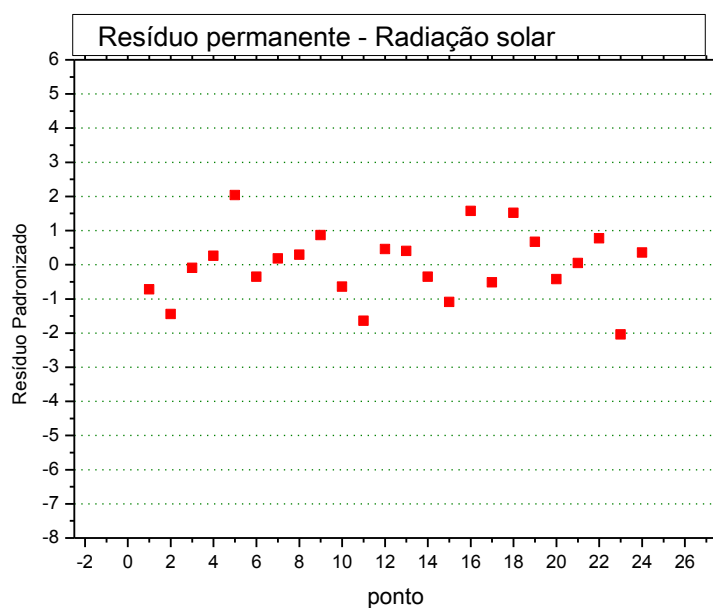


Figura 4.32 – Resíduo padronizado da radiação solar.
Fonte: Lopes (2013)

4.15.2. Temperatura Ambiente

Tabela 4.6 – Temperatura ambiente dos experimentos para profundidade 1,00cm e 0,50cm

Condições	Tamanho da Amostra		G L		Média (°C)	Desvio Padrão (°C)	(CV) (%)	F-Valor (Exp)	F-Valor (Resid)
		T o t	M o d	R e s					
T1P1	3	23	7	16	30,24	0,44	1,46	2.655	2.660
T1P2	3	23	7	16	28,93	1,77	6,12	-	-
T2P1	3	23	7	16	29,40	0,69	2,35	-	-
T2P2	3	23	7	16	29,66	0,40	1,35	-	-
T3P1	3	23	7	16	30,73	0,20	0,65	-	-
T3P2	3	23	7	16	30,83	0,23	0,75	-	-
T4P1	3	23	7	16	30,59	0,13	0,42	-	-
T4P2	3	23	7	16	29,87	0,34	1,14	-	-
Média	3	23	7	16	30,03	0,53	1,78		

Fonte: Lopes (2013)

Na Tabela 4.6 da temperatura ambiente o valor de F_{cal} calculado é menor do que o valor de F_{cri} crítico, garantindo-se que não há diferença significativa entre as suas médias, para um nível de significância de 5 %. No gráfico da Fig. 4.33 os tratamentos estão no eixo das abscissas e as temperaturas médias estão no eixo das ordenadas, não apresentando dados muito disperso, confirmado pelo valor do coeficiente de variância menor do que 30%.

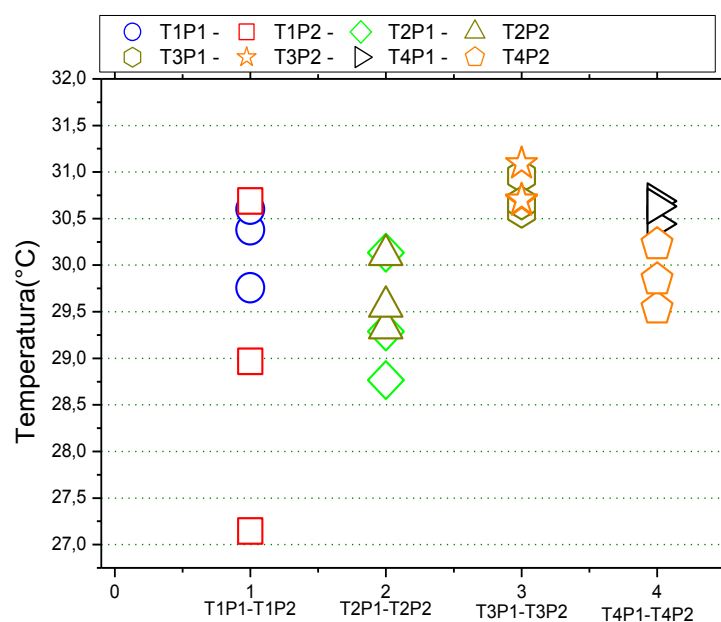


Figura 4.33 – Dispersão de tratamento de crescimento da temperatura ambiente
Fonte: Lopes (2013)

Cerca de 100% dos resíduos padronizados apresentados na Fig.4.33 não exibem pontos discrepantes, estando todos concentrados no intervalo fechado $[-1;1]$, o que garantirá a validade da análise de variância (ANOVA) para o nível de significância de 5%.

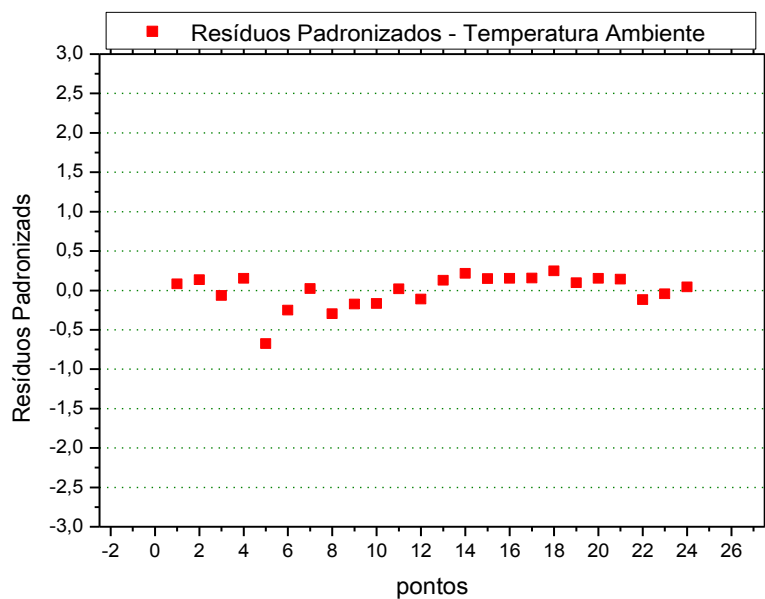


Figura 4.34 – Resíduo padronizado da temperatura ambiente.
 Fonte: Lopes (2013)

4.16 Produtividade

Da análise da Tabela 4.7 fica constatada a não uniformidade da quantidade de água produzida pelos dessalinizadores solares; entretanto, podem-se conhecer alguns parâmetros relevantes para análises dos sistemas. Como o valor de F apresentado na Tabela 4.7 é não significativo ao nível de 5%, as médias das produtividades são estatisticamente iguais, aceita – se a hipótese nula.

Tabela 4.7 – Produtividade do DSAPC (20° e 45°).

Condições	Tamanho da Amostra		G L		Média (kg/m ² h)	Desvio Padrão (kg/m ² h)	(CV) (%)	F-Valor (Exp)	F-Valor (Resid)
		T o t	M o d	R e s					
C1P1	3	23	7	16	3,49	0,73	20,92	2.138	2.660
C1P2	3	23	7	16	3,15	0,56	17,78		
C2P1	3	23	7	16	2,48	0,87	35,08		
C2P2	3	23	7	16	2,01	0,52	25,87		
C3P1	3	23	7	16	3,32	0,57	17,17		
C3P2	3	23	7	16	2,60	0,56	21,54		
C4P1	3	23	7	16	2,81	0,32	11,39		
C4P2	3	23	7	16	2,77	0,17	6,14		
Média	3	23	7	16	2,829	0,538	19,00		

Fonte: Lopes (2013)

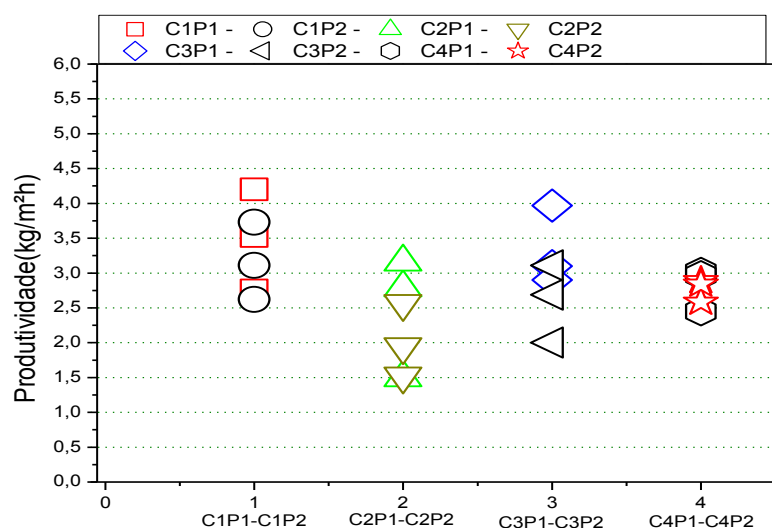


Figura 4.35 – Dispersão de tratamento de crescimento da produtividade.

Fonte: Lopes (2013)

Na fig. 4.36 não são exibidos valores discrepantes, sendo possível verificar que 67% dos resíduos padronizados caíram no intervalo $[-1;1]$, 87,50% no intervalo $[-2;2]$ e 100% no intervalo de $[-3;3]$. Como todos os pontos dos resíduos padronizados apresentados

nas Figs. (4.32; 4.33 e 4.34) se encontram 100% no intervalo $[-3;3]$ as análises de variâncias são aceitáveis ao nível de significância de 5%. Outra informação importante está relacionada com o coeficiente de variância médio registrado na Tabela 4.7. O valor calculado do coeficiente de variância 4,7% é inferior a 30% para trabalho de campo, o que garante a precisão dos dados experimentais para produtividade (VIEIRA, 2006).

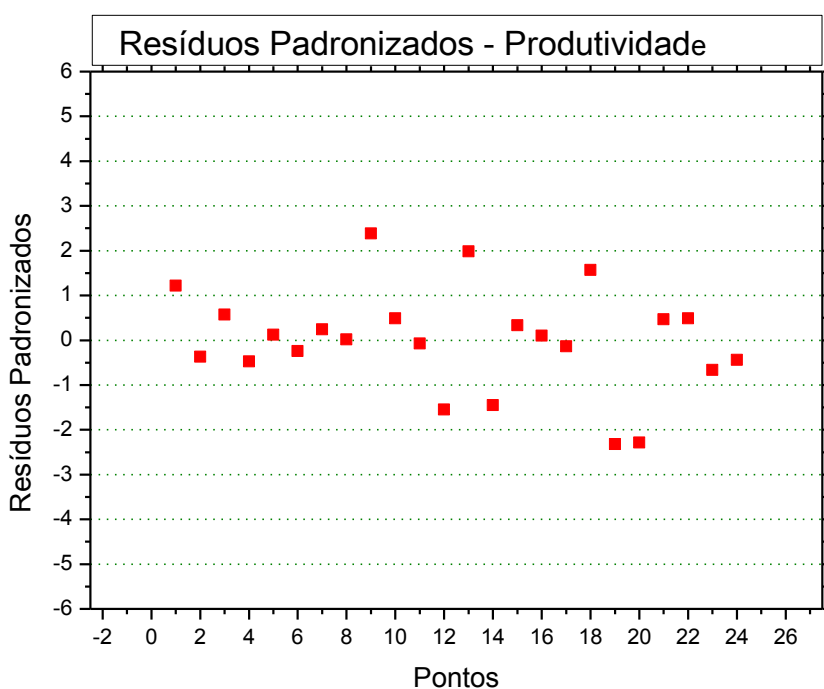


Figura 4.36 – Resíduo padronizado da produtividade
Fonte: Lopes (2013)

Nos gráficos (4.31), (4.33) e (4.35) de dispersão de crescimentos para quatro tratamentos, é possível verificar o comportamento da radiação solar, temperatura ambiente e da produtividade, com ênfase para o dessalinizador solar assimétrico (20° e 45°) que apresentou produtividade máxima diária de $4,20 \text{ kg/m}^2\text{h}$ de destilado e produção média diária de $3,32 \text{ kg/m}^2 \text{ h}$. Não houve diferença significativa entre as medias da produtividade ao nível de 5%.

4.17 Temperatura da água no Evaporador

Tabela 4.8 - Temperatura da água dos experimentos para profundidade 1,00cm e 0,50cm

Condições	Tamanho da Amostra		G		Média (°C)	Desvio Padrão (°C)	(CV) (%)	Fo - Valor (Exp.)	F-Valor (Resid)
		T o t	M o d	R e s					
TW1P1	3	23	7	16	55.6766	3.3203	5.9635	2.5996	2,660
TW1P1	3	23	7	16	61.0633	5.7457	9.4094		
TW1P2	3	23	7	16	52.0633	7.1600	13.752		
TW1P2	3	23	7	16	52.6900	3.9177	7.4354		
TW2P1	3	23	7	16	49.0533	3.2338	6.5924		
TW2P1	3	23	7	16	51.7466	2.3868	4.6125		
TW2P2	3	23	7	16	57.2900	1.5150	2.6444		
TW2P2	3	23	7	16	54.3033	0.6282	1.1568		
Média	3	23	7	16	54.2358	3.4884	6.4458		

Fonte: Lopes (2013)

Os resultados foram analisados estatisticamente pelos testes de Fisher (teste - F). Para 24 amostras da temperatura da água, verificam – se não existir diferenças significativas entre as médias, ao nível de significância de 5% ($F_{\text{calculado}} < F_{\text{resíduo}}$). No gráfico da Fig.4.37 os tratamentos estão no eixo das abscissas e as temperaturas médias da água no evaporador estão no eixo das ordenadas, não apresentando dados muito disperso, confirmado pelo valor do coeficiente de variância menor do que 30%.

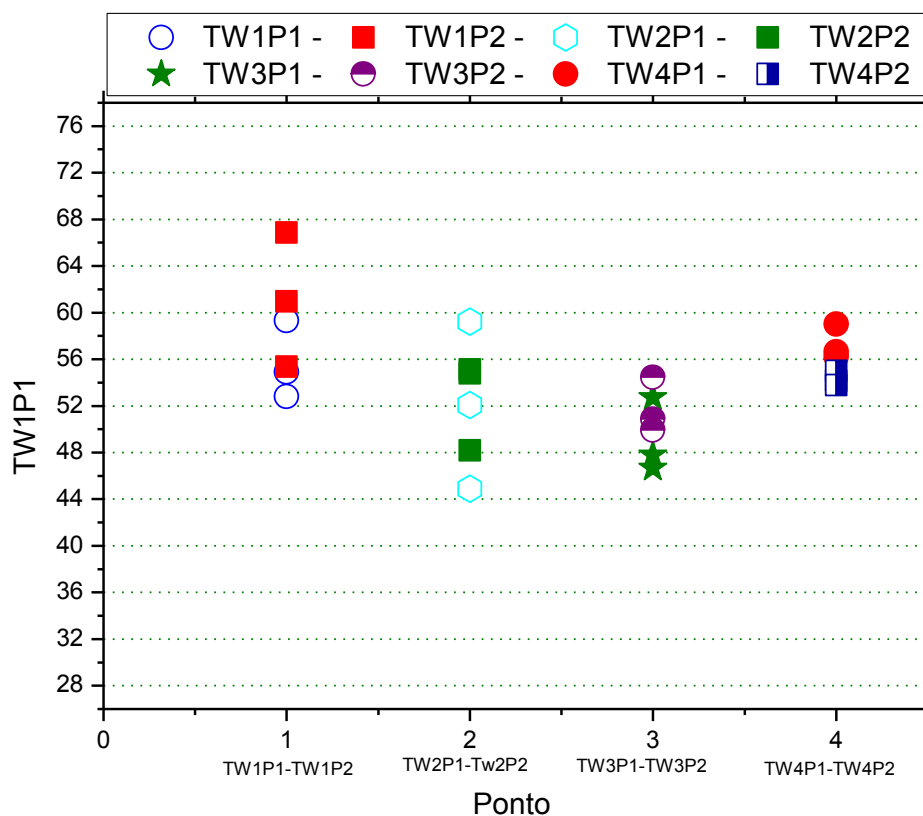


Figura 4.37 – Dispersão de tratamento de crescimento da temperatura da água
 Fonte: Lopes (2013)

Analisando-se os dados da fig. (4.37), pode – se observar que existe uma constância de 66,66% da temperatura da água, no intervalo [52;60]°C, o que garante para o dessalinizador assimétrico com 20° e 45° de inclinação de cobertura, produtividade de 3.32kg/m²h.

Para análise dos resíduos obtidos, verificamos os resíduos padronizados, conforme dados registrados na fig. (4.38).

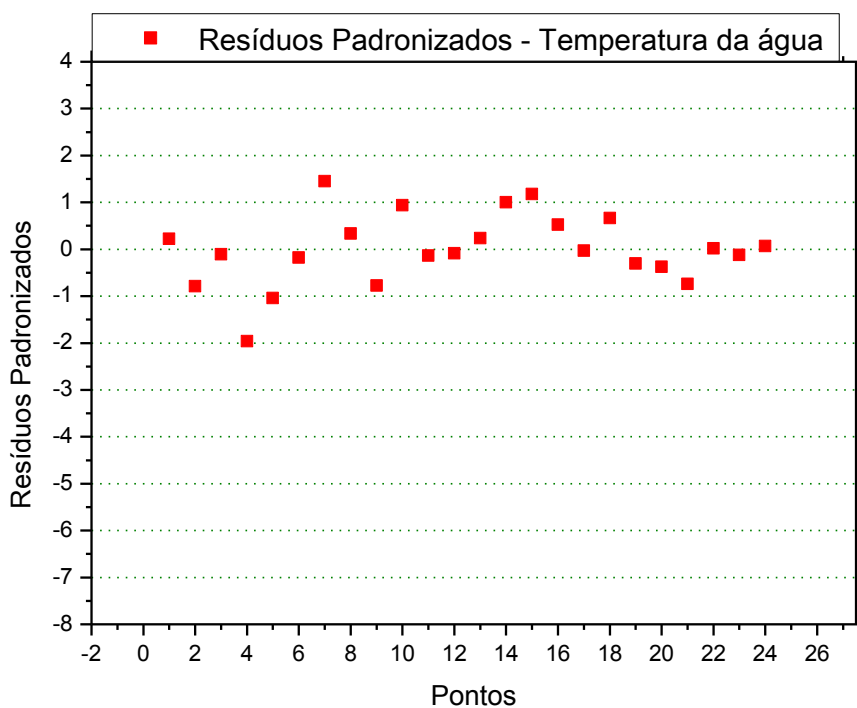


Figura 4.38 – Resíduo padronizado da temperatura da água.
Fonte: Lopes (2013)

Verifica – se que não existe resíduo padronizado superior a +3 e nenhum inferior a -3. No intervalo $[-1;1]$ estão contidos 75% dos resíduos padronizados, o que garante a manutenção desses registros.

CAPÍTULO V

CONCLUSÃO E SUGESTÃO

5.1 Conclusão

A contribuição relativamente simples do dessalinizador solar assimétrico, com inclinação de cobertura de 20° e 45° e evaporador parabólico composto, revelou-se possível, utilizando-se a energia solar como fonte primária e a energia térmica da bacia como fonte secundária. Os resultados obtidos com o sistema passivo encontram-se em concordância com alguns resultados experimentais na faixa de sistema ativo, possibilitando, desta maneira, a construção e utilização do sistema. Um avanço alcançado por este trabalho foi apresentar um coletor parabólico composto para uso exclusivo como evaporador de dessalinizador solar. A avaliação econômica e ecológica e as contribuições do presente trabalho, como uma das formas de obter a água doce, só poderão ser feitas no decorrer de sua utilização por parte da comunidade. No presente trabalho, além de atingirmos os objetivos iniciais e diante dos resultados obtidos, pode-se inferir que

- a) A análise estatística da temperatura ambiente e radiação solar medidos nos dias de ensaios com os 4 (quatro) dessalinizadores não mostraram diferenças significativas ao nível de 5% quando aplicada análise de variância (ANOVA).
- b) Com relação à cidade de São Luís, localizada na ilha de UpaonAçu, no Maranhão, quanto ao estudo climatológico, verificou-se que a radiação média diária no período de 9:00 às 17:00h variou entre 449,13 e 634,45 W/m², com insolação média de 11h 20min, o que garante adequado o local para o uso da energia solar;
- c) A qualidade do destilado com respeito aos parâmetros avaliados neste estudo estão de acordo com a resolução 367 - CONAMA - Ministério da

Saúde. Em relação à salinidade, todas as amostras apresentam valores abaixo de 0,50%; portanto, consideradas como água doce;

- d) A análise de variância realizado com os dados das produtividades dos 4(quatro) dessalinizadores mostraram que não existe diferença significativa entre suas médias ao nível de significância de 5%;
- e) Os tratamentos estatísticos dos parâmetros externos e internos não consideram a geometria dos dessalinizadores simétricos e assimétricos e nem os dias de realizações dos experimentos. Confirmado pelo teste F ao nível de significância de 5%;
- f) Ao sistema consegue reduzir da água do mar, coletada na baía de São José de Ribamar no Maranhão, a salinidade em 99,25%, a condutividade em 96,32%, a alcalinidade total em 75,40%, a turbidez em 92,91%, a cor em 84,62% e o PH, que se manteve no intervalo estabelecido pelo a resolução 367 - CONAMA. Produziu-se um destilado com características de água doce;
- g) A produção média diária do dessalinizador estático solar assimétrico, parabólico composto com inclinação de 20° e 45° foi de 3,32 kg/m²h, apresentou uma produtividade equivalente a de um sistema ativo;
- h) O método matemático, utilizando apenas um dos parâmetros geométricos do coletor parabólico composto, para obter as parábolas refletoras, apresentou um bom resultado;
- i) O maior custo dos dessalinizadores está no seu preço inicial, no entanto, o sistema estudado apresentou um custou inicial de R\$ 1044,00 para uma produção 23904 litros de água em 20 anos de vida útil. Representa R\$ 0,0437 por litro, assegurando que o sistema é economicamente viável;
- j) A utilização de dessalinizador parabólico composto disposto em paralelo é uma proposta inédita em sistemas passivos que apresentam desempenho equivalente ao de sistemas ativos, com um baixo custo de operação.

5.2 Sugestões de continuidade do trabalho

Evidentemente que este trabalho deixou de abordar alguns aspectos relevantes, e abriu novas questões que poderão e deverão ser objeto de estudos posteriores. Algumas destas questões estão citadas abaixo:

- a) Analisar a eficiência óptica e térmica de um dessalinizador solar assimétrico com inclinações de coberturas iguais a latitude e o dobro da latitude local,

com evaporador parabólico composto utilizado no presente trabalho;

- b) Estudar as propriedades físicas e químicas do dessalinizador solar assimétrico com inclinação de cobertura de 20° e 45° e evaporador parabólico composto, com um sistema fotovoltaico acoplado;
- c) Pesquisar a produtividade do dessalinizador solar assimétrico com inclinação (20° e 45°), para cobertura de vidro com diferentes comprimentos de ondas na faixa do visível.
- d) Estudar a eficiência do dessalinizador solar assimétrico (20° e 45°),com evaporador parabólico composto em 3D;
- e) Analisar a produtividade do dessalinizador solar assimétrico (20° e 45°) do presente trabalho com um coletor solar plano acoplado.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABDALLAH, S.; BADRAN, O.; ABU-KHADER, M. M, Performance evaluation of a Ahmed; Husham, M., Experimental Investigations of Solar Stills Connected to External Passive Condensers, **Journal of Advanced Science and Engineering Research**. v. 2. p.1-11. 2012.
- AHMED, Husham, M. Experimental Investigations of Solar Stills Connected to External Passive Condensers, **Journal of Advanced Science and Engineering Research**. v. 2, 2012, p. 1-11.
- AL-HINAI, H.; AL-NASSRI, M. S.; JUBRAN, B. A. **“Parametric investigation of a double-effect solar still in comparison with a single-effect solar still**. Desalination, analysis of heat and mass transfer processing on solar systems. Solar Energy, 81. 2007.
- BEZERRA, A. de M. Estudou o desenvolvimento de um protótipo de função solar, destinado ao esporte. Este trabalho encontra-se nas Atas. **2º CONGRESSO LATINO AMERICANO DE ENERGIA SOLAR**. v. II, 1979,p. 371-395, Universidade Estadual da Paraíba.
- BEZERRA, M. A. dos S. **Desenvolvimento de um. destilador solar para tratamento de águas de produção de petróleo com vistas a sua utilização na agricultura e geração de vapor**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) – Centro Tecnológico, Departamento de Engenharia Química, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Química, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, RN. 2004. 105p
- BÍBLIA. Português. **Bíblia Sagrada**. Tradução de João Francisco de Almeida. Rio de Janeiro: Simplificada, 2006.
- BRANDÃO,B. B., **“CPC com absorvedor V invertido e estacionário operando em modo termo – sifão”** ASADES, v. 9. Impresso na Argentina, 2005.
- CICCOLELLA, Chinappi; CARRIZO, Italia Jerez; CHIRINOS, Jesus Rosales. Destilador de agua solar: alternativa para potabilizar agua en zonas rurales eterminación de costos. **Revista SABER –ULA**. Venezuela. 2009.
- CONAMA RESOLUÇÃO - Conselho Nacional do Meio Ambiente n. 357, de 17 de março de 2005, Disponível em: <Zhttp://www.mma.gov.br/port/conama/res/res05/res35705.pdf>. Acesso em: 30 out., 2013.
- DESAI, A. K.; DHIMAN,V. D. Experimental analysis conventional and concave solar still, **World journal of Science and Technology**. 2012, India - April 21,2012.
- DESTEFANI, A.; CORRÊA, C. T.; BEHLING, E. E.; BAIFUS,W. C. **“Destilador solar”**. 2007. Disponível em: <ifc-araquari,edu,br/1/mct/2007/saude/saude5,pd>, Acesso em: 15-07-2010, diffusion still. International Developments in Heat Transfer, ASME, in Proc.
- DUFFIE, J. A.; BECKMAN, W. A. **“Solar Engineering of thermal processes”**, 2. ed. Edition, J, Wiley, New York,907p,1991, 1991.
- DUNKLE, R. V. **Solar water distillation: the roof type still and a multiple effect-** 1961.

ESTEBAN, C.; FRANCO, J.; FASULO, A. "Evaluación Experimental de um Destilador Colector Solar Acumulador", **Avances em Energías Renovables y Medio Ambiente**, Argentina. v. 6, n. 1, 2002.

FALÇÃO, A. F. O., **Movimento e posicionamento relativos terra – sol**, Instituto Superior Técnico, Departamento de Engenharia Mecânica - Lisboa – 2008,

FASULO, A.; ESTEBAN, C.; ODICINO, L.; FOLLARI, J. "Pequeña Planta Experimental de Destilación Solar", **Avances em Energías Renovables y Medio Ambiente**, Argentina, v. 10, 2006.

FERNANDES JUNIOR, W. E. **Projeto e operação em escala semi-industrial de um equipamento para tratamento de águas produzidas na indústria do petróleo utilizando nova tecnologia**: Misturador-Decantador à Inversão de Fases. 2006. 154p. Tese (Doutorado em Engenharia Química) – Centro Tecnológico, Departamento de Engenharia Química, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Química, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, RN,

FONSECA, S.; RODRIGUES, J. E. L.; VILLAFANE, PEDROGRIÑÁN; HECHAVANA, JORGE, L, SANCHEZ. "Protótipo de um destilador Solar Fibra de Vidro", **Tecnologia Química**. v. XXV n. 3, 2005.

FUENTES, R.; ROTH, P. "Teoría de La Destilación Solar em vacío", **Revista Facultad de Ingeniería**, enero –diciembre, v. 4, Universidad de Tarapaca, Arica, Chile, 49 – 56p, 1997.

GANZAROLLI, M. M. **Análise técnica de um coletor cilíndrico –parabólico**. 1982, 89 f, Tese de Doutorado - Universidade Estadual de Campinas, Campinas –SP. 1982.

GRIGOLETO, M. W.; RICIERI, R. P.; SILVA, W. DA ; AMORIM, R. C. F. "**Software para Estimativa do Potencial de Energia Solar à Superfície**". 2010. Disponível em: <sbiagro,110mb.com/pdf/iii_congresso/Artigo26.pdf>, Acesso em: 15-07-2013.

INCROPERA, F. P.; DEWITT, D. P.; BERGMAN, T. L.; LAVINE, A. S. **Fundamentos de transferência de calor e de massa**. LTC, 6. ed., Rio de International Heat Transfer, part V, University of Colorado, 2008.

ISMAIL, K. A. R. "**Energia solar**: teoria e aplicação", Campinas – São Paulo: Ed. do Autor, 2000, p. 400, Janeiro - RJ, 2002.

JORGE, B. M. J. "**Simulação de processos de destilação solar de água salgada**". [Dissertação de mestrado]. Universidade Técnica de Lisboa, 2011.

KALOGIROU, S. "**Solar energy engineering**: processes and systems", 1st ed, 756p, 2009.

KEBEEL, A. E, "**Performance of solar still with a concave wick evaporation surface**", Energy. v. 34, p. 1504-1509, 26 July 2009.

KUMAR, Vinodh; BAI, Kasturi R. **Performance study on solar still with enhanced condensation**, Desalination, v. 230, 2008, p. 51-61

LOPES, Joaquim Teixeira., "**Dimensionamento e Análise Térmica de um Dessalinizador Solar Híbrido**", [Dissertação de Mestrado]. Universidade Estadual de Campinas – Campinas – São Paulo, 2004, p. 92.

LÓPEZ, Cesar Antonio Echevarria. **“Diseño de un colector cilindro parabólico compuesto con aplicación para el calentamiento de agua”**, Tesis para optar el Título de Ingeniero Mecánico – Eléctrico, 2011.

LUIZ, Adir M. **Como aproveitar a energia solar**, Edgard Blucher LTDA, 1985.

MALUF, ALEXANDRE PRATA. **Destiladores solares no Brasil**. 39f. Monografia (Especialista em Fontes Alternativas de Energia) – Programa de Pós-Graduação em Fontes Alternativas de Energia, Departamento de Engenharia da Universidade Federal de Lavras, Lavras, Minas Gerais. 2005.

MARCHESI, J.; DUCCULI, E. ; ADARO, J. ; FASULO, A.” Sistematizacion de las Mediciones de Produccion y Temperaturas de Destiladores Solares en la U.N.R.C.” Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente. v. 11, 2007. **Impreso en la Argentina**. ISSN 0329-5184, modified design of a single slope solar still, Desalination 219 (2008) p. 222-230, 2008.

MEDUGU, D. W.; Ndatuwong, L. G. ‘Theoretical analysis of water distillation using solar Still’. **International Journal of Physical Sciences**. v. 4 n. 11, 2009, p. 705-712.

MINASIAN, A.N; AI-KARAGHOULI, A.A; HABEEB, S.K.. “Utilization of a Cylindrical Parabolic Reflector for Desalination of Saline Water”. **Energy Convers**. v. 38, n. 7, p. 701-704, 2 Septiembre, 1995.

MURAKAMI, D.T. **Potabilização de água utilizando um destilador solar em forma de pirâmide invertida**. Trabalho de Conclusão de Curso em Engenharia Sanitária e Ambiental. Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2005, p. 38.

NANDWANI SHYAM, S. “Destilador Solar - Construcción, Funcionamiento y Uso”. 2009. Disponível em: <www.una.ac.cr/fisica/index2.php?option=com_docman&task=doc_view&gid=6&Itemid=38> Acesso em: 02. ago., 2013.

PALZ, Wolfgang. **Energia solar e fontes alternativas**. Editora Hemus, Curitiba, PR, 2002.

PHADATARE, M. K.; VERMA, S. K. Influence of water depth on internal heat and mass transfer in a plastic solar still. Lonere. v. 40, 2103, Maharashtra State, India Received 1 February 2006; Accepted 9 March 2007.

PRADO, Gustavo Otero. **Concentrador solar para dessalinização de água: projeto e construção**. Dissertação (Mestrado). Uberlândia – MG. 2011. Disponível em: <http://www.bdtu.ufu.br/tde_arquivos/12/TDE-2012-01-26T115912Z-2757/Publico/parte1.pdf>. Acesso em: 18 ago. 2013.

PINHEIRO, J. C. V; SILVA, L. A. C. “Estratégia para Formulação e Implantação de um Programa de Dessalinização da Água Salobra no Ceará”. 2010. Disponível em: <www.bvsde.paho.org/bvsacd/encuen/vieira.pdf>. Acesso em: 19 jun. 2013.

PINTO. L. F.; SILVA, D. I. S.; CARVALHO, S. H. V.; SOLETTI, J. I. **Estudo de um dessalinizador de água com aquecimento solar**. Engenharia Química/ UFAL. Unidade Acadêmica Centro de Tecnologia – Universidade Federal de Alagoas. 2008.

RABL, A. **Optical and thermal properties of compound parabolic concentrators, solar energy** 18. 1976, p. 497-511.

RAI, S. N.; TIWARI, G. N. (1982). Single Basin Solar Still Coupled with Flat Plate Collector. **Journal of Energy Conversion and Management**, 23, p. 145-150. 1982.

RIBEIRO, F.A.; SANTOS, R.P.; MENDES, J.U.; LIMA, R.S.; SOUZA, L.G.; ABREU, R.F. "Destiladores Solar de Cobertura Piramidal e Isolamento em material Compósito a Base de Gesso e EPS". **XIV CONGRESSO IBÉRICO E IX CONGRESSO IBERO-AMERICANO DE ENERGIA SOLAR**. Vigo, Galícia, Espanha. 17-21 junho 2008.

ROCHA, Elizabete Nunes da; MARINHO, Francisco José Loureiro; MOURÃO, Allan Félix; CRUZ, Marcelo Pereira. Destilador solar destinado a fornecer água potável para as famílias de agricultores de base familiar. **VII CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROECOLOGIA – Fortaleza/CE – 12 a 16/12/2011**.

SANTOS, N. A.; SOARES, T. M.; SILVA, E. F. F.; SILVA, D. J. R. "Utilização de Águas Salobras de Diferentes Poços no Cultivo Hidropônico da Alfafa 'Vera'", 2008. Disponível em: <www.eventosufrpe.com.br/jepex2009/cd/resumos/R0958-1.pdf>. Acesso em: 20 jun. 2010.

SHAWAQFEH. AHMAD.; TALEB, Y. FARID; MOHAMMED, Mehdi. New development in theory of heat and mass transfer in solar still. **Solar Energy**. v. 55, n. 6, p. 527-535, 1995.

SINGH, H. N.; TIWARI, G. N. (2004). Monthly Performance of Passive and Active Solar Stills for Different Indian Climatic Conditions. **Desalination**, 168, 145-150. 2004.

SOBRAL, R. F. F.; COSTA, H. S.; FRAIDENRAICH, N. Projeto e Desempenho de um Painel Fotovoltaico Acoplado a um Concentrador Parabólico Composto (CPC). COBEM 83, Uberlândia 13 de dezembro 1983. Uberlândia – Minas Gerais Solar Energy 75. 2003. 367-373p.

SOUZA, M. A. DOS S. "Estudo e Viabilidade de Destinação Solar por Polimento de Água Produzida por Petróleo".. Tese de Doutorado - Universidade Federal do Rio Grande do Norte - Natal. 2010, p. 133

TAPIA S. Y J. A. DEL RIO, P. Concentrador parabólico compuesto: una descripción opto-geométrica, **Revista mexicana de física**. v. 55, n. 2, p. 141-153. Diciembre 2009.

TIWARI, A. K.; TIWARI, G. N. Effect of Water Depths on Heat and Mass Transfer in a Passive Solar Still: **In Summer Climatic Condition**. Desalination, 195, 78-94p. 2006.

TIWARI, A. K.; TIWARI, G. N. Thermal Modeling Based on Solar Fraction and Experimental Study of the Annual and Seasonal Performance of a Single Slope Passive Solar Still: **The Effect of Water Depths**. Desalination, v. 207, p.184-204, 2007.

TIWARI, G. N.; DIMRI, V.; CHEL, A. Parametric Study of an Active and Passive Solar Distillation System: **Energy and Exergy Analysis**. Desalination, v. 242, p. 1-18, 2009.

TIWARI, G. N., SINGH, H. N., TRIPATHI, R. Present status of solar distillation. **Solar Energy**. v. 75, 2003, p. 367-373.

TRIPATHI, R., & TIWARI, G. N. Thermal Modeling of Passive and Active Solar Stills for Different Depths of Water by Using the Concept of Solar Fraction. **Solar Energy**, 80, 956-967, 2006.

TSILINGIRIS, P. T. The influence of binary mixture thermophysical properties in the analysis of heat and mass transfer processing on solar systems. **Solar Energy**. v. 81, 2007, p. 1482-1491.

VARGAS, B. C.; ITO,, YOSHID, M.; KEITI, COSSA ,C., DE AVILA, Destilador Solar de Baixo Custo, **Revista Ciências do Ambiente On-Line** - 08, UNICAMP, Campinas São Paulo, 2012.

VARGAS,G. B. F. “**Elaboração de uma proposta de projeto de tratamento de águas residuárias da industria de tintas**”, 2003. Trabalho de Conclusão de Curso, Engenharia Ambiental, Universidade do Extremo Sul Catarinense.

VASQUES, A. C. “**Modelagem Organizacional de um Instituto de Preparação para estiagem no Estado do Ceará, com ênfase na dessalinização desubterrânea**”. 240 f, [Tese de Doutorado]. Universidade Estadual de Campinas, Campinas- São Paulo, 2002.

VIEIRA, S. Análise de Variância: (**Anova**). São Paulo: Atlas, 2006.

VICENTE, Olavarría Baeza “**Construcción de un desalinizador solar multi-etapas para el estudio de variantes en el diseño que mejoren su rendimiento**”. 2009. Disponível em: <www,gea,usm,cl/wp-content/uploads/2009/10/Construcción-de-un-Desalinizador-Solar-Multietapas.pdf>. Acesso em: 01 out., 2010.

WINSTON, J.C.R. Miñano y P. Benítez. **Nonimaging Optics** (Elsevier Academic Press., USA, 1975).

YADAV, Y. P.; PRASAD, A. S. **Performance analysis of a high temperature solar distillation system**. Energy Conv, Manag, v. 36, p. 365-374, 1995.

_____. **Performance analysis of a high temperature solar distillation**,1995.

YABROUDI, Suher Carolina; CÁRDENAS, Carmen; ALDANA, Leonardo, NÚÑEZ, José; HERRERA, Lenin. **Dessalinização de água empregando um destilador solar tubular**. Imerciencia OCT 2011, v. 36, n. 10. Recebido: 25/10/10; Modificado: 07/10/2011.

ZEINAB S, ABDEL R, ASHRAF L.**Experimental and theoretical study of a solar desalination systemlocated in Cairo-Egypt**, Desalination. v. 217, p. 52-64, 2007.

ZIZZIAS, Javier Rodolfo Stoll. et al. Evaluación Mediante Simulación de Modificaciones Propuestas en un Destilador Solar Asistido por un Tanque Colector Acumulador Integrado. **Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente**. v. 16, 2012. Impreso en la Argentina. ISSN 0329-5184.

APÊNDICES

APÊNDICES A1 – Parâmetros Físico-Químicos: Análise da água produzida pelo DSAPC.

Tabela A1 1 - Análise físico-químico da amostra do destilado

PARÂMETROS	RESULTADOS	MÉTODOS
Ph	6,70	Potenciométrico
TDS (mg/L)	65,00	Gravimétrico
CONDUTIVIDADE ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	144,00	Condutivimétrico
CLORETO (mg/L)	7,00	Mohr
DUREZA TOTAL (mg/L CaCO_3)	41,02	Titulométrico - EDTA
ALCALINIDADE TOTAL (mg/L CaCO_3)	50,23	Titulométrico com indicador
SALINIDADE (‰)	1,49	Mohr - Knudsen
TURBIDEZ (NTU)	0,85	Nefelométrico
COR (UC)	12,00	Comparação Visual

Tabela A1 2 – Análise físico-químico da amostra do destilado

PARÂMETROS	RESULTADOS	MÉTODOS
pH	6,77	Potenciométrico
TDS (mg/L)	10,00	Gravimétrico
CONDUTIVIDADE ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	19,00	Condutivimétrico
CLORETO (mg/L)	7,00	Mohr
DUREZA TOTAL (mg/L CaCO_3)	18,46	Titulométrico - EDTA
ALCALINIDADE TOTAL (mg/L CaCO_3)	53,37	Titulométrico com indicador
SALINIDADE (‰)	1,12	Mohr - Knudsen
TURBIDEZ (NTU)	0,93	Nefelométrico
COR (UC)	13,00	Comparação Visual

Tabela AI 3 - Análise físico-químico da amostra do destilado

PARÂMETROS	RESULTADOS	MÉTODOS
pH	6,29	Potenciométrico
TDS (mg/L)	13,00	Gravimétrico
CONDUTIVIDADE ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	28,00	Condutivimétrico
CLORETO (mg/L)	6,00	Mohr
DUREZA TOTAL (mg/L CaCO_3)	16,41	Titulométrico - EDTA
ALCALINIDADE TOTAL (mg/L CaCO_3)	37,67	Titulométrico com indicador
SALINIDADE (‰)	1,87	Mohr - Knudsen
TURBIDEZ (NTU)	0,85	Nefelométrico
COR (UC)	12,00	Comparação Visual

Tabela AI 4 – Análise físico-químico da amostra da água salgada da Baía de São José de Ribamar – Maranhão

PARÂMETROS	RESULTADOS	MÉTODOS
pH	7,56	Potenciométrico
TDS (mg/L)	-	Gravimétrico
CONDUTIVIDADE ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	-	Condutivimétrico
CLORETO (mg/L)	-	Mohr
DUREZA TOTAL (mg/L CaCO_3)	-	Titulométrico - EDTA
ALCALINIDADE TOTAL (mg/L CaCO_3)	200,93	Titulométrico com indicador
SALINIDADE (‰)	36,00	Mohr - Knudsen
TURBIDEZ (NTU)	15,80	Nefelométrico
COR (UC)	24	Comparação Visual

Tabela AI 5, Comparação da água dessalinizada pelo DSAPC e os limites estipulados pelo Conselho Mundial de Saúde (OMS) para consumo humano.

Tabela 7 – Análise físico-químico da amostra do destilado

PARÂMETROS	RESULTADOS (DSAPC)	Limites (OMS)	MÉTODOS
pH	6,59	5,0-9,0	Potenciométrico
TDS (mg/L)	29,33	500	Gravimétrico
CONDUTIVIDADE ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	63,67	250	Condutivimétrico
CLORETO (mg/L)	6,67		Mohr
DUREZA TOTAL (mg/L CaCO_3)	25,30		Titulométrico - EDTA
ALCALINIDADE TOTAL (mg/L CaCO_3)	47,09		Titulométrico com indicador
SALINIDADE (‰)	1,49	0,50	Mohr - Knudsen
TURBIDEZ (NTU)	0,88	≤ 40	Nefelométrico
COR (UC)	12,33		Comparação Visual

APÊNDICES II B – Aspectos climáticos e resultados experimentais.

É de grande relevância o conhecimento do comportamento climático da região onde foi realizado o estudo em energia solar, No presente trabalho, foram utilizados os dados fornecidos pelo Instituto Nacional de Meteorologia / INMET

Tabela BI 1 – Condições climatológicas do 1º experimento realizado em 06 de janeiro de 2012,

Data	Tempo (h)	Temperatura Ambiente* (°C)	Umidade* (%)	Nebulosidade * (Décimos)	Pressão* (hPa)	Vento* (m/s)	Radiação * (W/m²)
06/01/2012	09:00	28,00	74	6	1006,8	4,0	246
06/01/2012	10:00	29,40	69	-	1006,7	3,9	453,06
06/01/2012	11:00	30,60	64	-	1006,5	4,7	641,67
06/01/2012	12:00	31,40	62	-	1005,9	4,5	825,28
06/01/2012	13:00	32,00	61	-	1005,5	4,3	673,61
06/01/2012	14:00	32,40	61	-	1004,5	4,6	826,67
6/01/2012	15:00	31,00	65	6	1003,8	4,4	533,61
06/01/2012	16:00	29,50	70	-	1003,6	34	286,39
06/01/2012	17:00	29,10	71	-	1003,6	4,2	181,39

*Fonte - Instituto Nacional de meteorologia – INMET,

Tabela BI 2 – Produtividade total e climatologia do 1º Experimento em 06 de janeiro de 2012

Tempo(h)	Temperatura (°C) Ambiente	Temperatura (°C) Bacia (água – E1)	Temperatura (°C) Cobertura (vidro – E1)	Radiação (W/m²) Solar	Vento (m/s)	Produt, (Kg/m²h) (20°+45°)
09:00	28,00	35,35	34,90	246	4,0	0
10:00	29,40	64,51	58,75	453,06	3,9	0,194532
11:00	30,60	68,23	63,65	641,67	4,7	0,523753
12:00	31,40	55,68	50,64	825,28	4,5	0,594837
13:00	32,00	55,55	54,19	673,61	4,3	0,3367
14:00	32,40	56,26	53,52	826,67	4,6	0,422743
15:00	31,00	51,53	51,23	533,61	4,4	0,340444
16:00	29,50	44,74	42,71	286,39	34	0,224467
17:00	29,10	43,35	41,48	181,39	4,2	0,112233

Tabela BI 3 – Produtividade parcial e total do DSAPC do 1º experimento em

Tempo(h)	Temperatura (°C) Bacia (água – E1)	Temperatura (°C) Cobertura (vidro – E1)	Radiação (W/m²) Solar	Produt, (Kg/m²h) (20°)	Produt, (Kg/m²h) (45°)	Produt, (Kg/m²h) (20°+45°)
09:00	35,35	34,90	246	0	0	0
10:00	64,51	58,75	453,06	0,149639	0,089787	0,194532
11:00	68,23	63,65	641,67	0,392817	0,130936	0,523753
12:00	55,68	50,64	825,28	0,430222	0,164606	0,594837
13:00	55,55	54,19	673,61	0,239425	0,097266	0,3367
14:00	56,26	53,52	826,67	0,317989	0,104745	0,422743
15:00	51,53	51,23	533,61	0,246914	0,093522	0,340444
16:00	44,74	42,71	286,39	0,16835	0,056117	0,224467
17:00	43,35	41,48	181,39	0,093522	0,018703	0,112233

Tabela BI 4 – Condições climatológicas do 2º experimento realizado em 10 /01/12

Data	Tempo (h)	Temperatura Ambiente* (°C)	Umidade* (%)	Nebulosidade* (Décimo)	Pressão* (hPa)	Vento (m/s)	Radiação (W/m²) Solar
10/01/2012	09:00	28,20	72	8	1005,40	3,70	238,39
10/01/2012	10:00	28,90	71	-	1005,50	3,80	337,22
10/01/2012	11:00	30,30	64	-	1005,20	4,40	471,94
10/01/2012	12:00	31,60	60	-	1004,70	4,20	772,78
10/01/2012	13:00	32,10	54	-	1004,00	4,00	918,61
10/01/2012	14:00	32,10	58	-	1003,10	4,20	873,06
10/01/2012	15:00	31,70	62	3	1002,70	4,10	738,33
10/01/2012	16:00	30,90	66	-	1002,30	3,90	542,78
10/01/2012	17:00	29,60	71	-	1002,40	4,30	339,44

*Fonte - Instituto Nacional de meteorologia – INMET,

Tabela BI 5 – Produtividade total e climatologia do 2º experimento em 10 de janeiro de 2012

Tempo(h)	Temperatura (°C) Ambiente	Temperatura (°C) Bacia (água – E1)	Temperatura (°C) Cobertura (vidro – E1)	Radiação (W/m²) Solar	Vento (m/s)	Produt, (Kg/m²h) (20°+45°)
09:00	28,20	37,23	34,71	238,39	3,70	0
10:00	28,90	61,64	60,1	337,22	3,80	0,044893
11:00	30,30	77,48	74,19	471,94	4,40	0,34119
12:00	31,60	80,90	75,25	772,78	4,20	1,14927
13:00	32,10	75,14	70,00	918,61	4,00	1,01459
14:00	32,10	64,89	61,76	873,06	4,20	0,799103
15:00	31,70	55,14	49,97	738,33	4,10	0,709316
16:00	30,90	43,60	42,73	542,78	3,90	0,098765
17:00	29,60	37,75	36,53	339,44	4,30	0,044894

Tabela BI 6 – Produtividade parcial e total do DSAPC do 2º experimento 10/01/12

Tempo(h)	Temperatura (°C) Bacia (água – E1)	Temperatura (°C) Cobertura (vidro – E1)	Radiação (W/m²) Solar	Produt, (Kg/m²h) (20°)	Produt, (Kg/m²h) (45°)	Produt, (Kg/m²h) (20°+45°)
09:00	37,23	34,71	238,39	0	0	0
10:00	61,64	60,1	337,22	0,026936	0,017957	0,044893
11:00	77,48	74,19	471,94	0,251403	0,089787	0,34119
12:00	80,90	75,25	772,78	0,852974	0,296296	1,14927
13:00	75,14	70,00	918,61	0,736251	0,278339	1,01459
14:00	64,89	61,76	873,06	0,538721	0,260382	0,799103
15:00	55,14	49,97	738,33	0,502806	0,20651	0,709316
16:00	43,60	42,73	542,78	0,071829	0,026936	0,098765
17:00	37,75	36,53	339,44	0,035915	0,008979	0,044894

Tabela BI 7 – Condições climatológicas do 3º experimento realizado em 06 de fevereiro de 2012,

Data	Tempo (h)	Temperatura Ambiente* (°C)	Umidade* (%)	Nebulosidade* (Décimo)	Pressão* (hPa)	Vento* (m/s)	Radiação* (W/m²)
06/01/2012	09:00	28,6	76	8	1005,3	2,9	365,0000
06/01/2012	10:00	28,8	76	-	1006,1	3,2	491,9444
06/01/2012	11:00	29,6	72	-	1006,2	4,0	419,7222
06/01/2012	12:00	30,3	64	-	1005,7	3,9	741,1111
06/01/2012	13:00	32,0	58	-	1004,8	3,5	941,3889
06/01/2012	14:00	30,6	67	-	1003,7	3,7	574,4444
06/01/2012	15:00	29,2	69	9	1003,3	3,5	391,1111
06/01/2012	16:00	29,6	70	-	1003,0	4,2	320,5556
06/01/2012	17:00	29,1	73	-	1003,4	4,2	336,3889

*Fonte - Instituto Nacional de meteorologia – INME

Tabela BI 8 – Produtividade total e climatologia do 3º Experimento em 6 de fevereiro de 2012

Tempo(h)	Temperatura Ambiente (°C)	Temperatura Bacia (água – E1) (°C)	Temperatura Cobertura (vidro – E1) (°C)	Radiação Solar (W/m²)	Vento (m/s)	Produt, (Kg/m²h) (20°+45°)
09:00	28,6	50,36	45,83	365,0000	2,9	0
10:00	28,8	63,51	59,78	491,9444	3,2	0,187055
11:00	29,6	68,52	65,27	419,7222	4,0	0,57052
12:00	30,3	72,11	67,48	741,1111	3,9	0,439581
13:00	32,0	62,49	50,07	941,3889	3,5	0,860456
14:00	30,6	48,22	44,00	574,4444	3,7	0,411522
15:00	29,2	46,51	45,64	391,1111	3,5	0,3367
16:00	29,6	41,80	39,30	320,5556	4,2	0,224467
17:00	29,1	40,76	38,39	336,3889	4,2	0,140292

TabelBI 9 – Produtividade parcial e total do DSAPC do 3º experimento em 06/02/12

Tempo(h)	Temperatura (°C) Bacia (água – E1)	Temperatura (°C) Cobertura (vidro – E1)	Radiação (W/m²) Solar	Produt, (Kg/m²h) (20°)	Produt, (Kg/m²h) (45°)	Produt, (Kg/m²h) (20°+45°)
09:00	50,36	45,83	365	0	0	0
10:00	63,51	59,78	491,9444	0,130939	0,056117	0,187055
11:00	68,52	65,27	419,7222	0,420875	0,149645	0,57052
12:00	72,11	67,48	741,1111	0,327348	0,112233	0,439581
13:00	62,49	50,07	941,3889	0,589226	0,271231	0,860456
14:00	48,22	44,00	574,4444	0,308642	0,10288	0,411522
15:00	46,51	45,64	391,1111	0,252525	0,084175	0,3367
16:00	41,80	39,30	320,5556	0,158997	0,06547	0,224467
17:00	40,76	38,39	336,3889	0,102881	0,037411	0,140292

Tabela BI 10 – Condições climatológicas do 4º experimento realizado em 13 de janeiro de 2012

Data	Tempo (h)	Temperatura Ambiente* (°C)	Umidade * (%)	Nebulosidade* (Décimos)	Pressão * (hPa)	Vento* (m/s)	Radiação* (W/m²)
13/01/2012	09:00	28,3	73	6	1006,1	4,3	271,6111
13/01/2012	10:00	29,8	66	-	1006,2	5,1	556,6667
13/01/2012	11:00	31,2	62	-	1006,0	5,0	785,5556
13/01/2012	12:00	31,8	60	-	1005,4	4,9	869,7222
13/01/2012	13:00	32,0	61	-	1004,7	4,8	872,5
13/01/2012	14:00	31,9	62	-	1004,2	4,8	818,0556
13/01/2012	15:00	31,5	62	3	1003,7	4,8	683,0556
13/01/2012	16:00	30,8	65	-	1003,1	4,4	526,1111
13/01/2012	17:00	28,9	75	-	1002,9	3,5	114

*Fonte - Instituto Nacional de meteorologia – INMET,

Tabela BI 11 – Produtividade total e climatologia do 4º experimento em 13 de janeiro de 2012

Tempo(h)	Temperatura (°C) Ambiente	Temperatura (°C) Bacia (água – E1)	Temperatura (°C) Cobertura (vidro – E1)	Radiação (W/m²) Solar	Vento (m/s)	Produt, (Kg/m²h) (20°+45°)
09:00	28,3	39,12	34,99	271,6111	4,3	0
10:00	29,8	64,845	55,37	556,6667	5,1	0,1404462
11:00	31,2	71,85	62,93	785,5556	5,0	1,031297
12:00	31,8	72,725	66,01	869,7222	4,9	0,9430209
13:00	32,0	75,66	68,73	872,5	4,8	0,9530465
14:00	31,9	76,9875	68,74	818,0556	4,8	0,6621188
15:00	31,5	0	0	683,0556	4,8	0
16:00	30,8	0	0	526,1111	4,4	0
17:00	28,9	0	0	114	3,5	0

Tabela BI 12 – Produtividade parcial e total do DSAPC do 4º experimento 13/01/2012

Tempo(h)	Temperatura (°C) Bacia (água – E1)	Temperatura (°C) Cobertura (vidro – E1)	Radiação (W/m²) Solar	Produt, (Kg/m²h) (20°)	Produt, (Kg/m²h) (45°)	Produt, (Kg/m²h) (20°+45°)
09:00	39,12	34,99	271,6111	0	0	0
10:00	64,845	55,37	556,6667	0,100321	0,040128	0,1404462
11:00	71,85	62,93	785,5556	0,710273	0,321027	1,031297
12:00	72,725	66,01	869,7222	0,642055	0,300963	0,9430209
13:00	75,66	68,73	872,5	0,471509	0,220706	0,9530465
14:00	76,9875	68,74	818,0556	0,461477	0,200642	0,6621188
15:00	0	0	683,0556	0	0	0
16:00	0	0	526,1111	0	0	0
17:00	0	0	114	0	0	0

Tabela BI 13 – Condições climatológicas do 5º experimento realizado em 16 de março 2012.

Data	Tempo (h)	Temperatura Ambiente* (°C)	Umidade* (%)	Nebulosidade* (Décimos)	Pressão* (hPa)	Vento* (m/s)	Radiação* (W/m²)
16/03/2012	09:00	26,6	95	9	1007,1	2,1	370,5556
16/03/2012	10:00	26,5	92	-	1007,4	3	461,3889
16/03/2012	11:00	26,2	86	-	1007,3	3,3	411,6667
16/03/2012	12:00	27,6	89	-	1006,7	3,3	984,4444
16/03/2012	13:00	28,6	86	-	1005,4	3,3	1011,111
16/03/2012	14:00	28,3	90	-	1004,4	3,9	678,8889
16/03/2012	15:00	27,7	91	10	1003,9	4,1	560
16/03/2012	16:00	26,4	91	-	1003,6	2,4	85,66667
16/03/2012	17:00	26,4	90	-	1003,6	2,5	52,83333

*Fonte - Instituto Nacional de meteorologia – INMET,

Tabela BI 14 – Produtividade total e climatológicas 5º experimento 16 /03/2012

Tempo(h)	Temperatura (°C) Ambiente	Temperatura (°C) Bacia (água – E1)	Temperatura (°C) Cobertura (vidro – E1)	Radiação (W/m²) Solar	Vento (m/s)	Produt, (Kg/m²h) (20°+45°)
09:00	26,6	0	0	370,5556	2,1	0
10:00	26,5	0	0	461,3889	3	0
11:00	26,2	50,36	45,825	411,6667	3,3	0,19061
12:00	27,6	63,51	59,785	984,4444	3,3	0,611958
13:00	28,6	68,515	65,265	1011,111	3,3	1,173756
14:00	28,3	72,7125	67,475	678,8889	3,9	0,601926
15:00	27,7	62,4875	59,07	560	4,1	0,361156
16:00	26,4	48,1975	44,005	85,66667	2,4	0,170546
17:00	26,4	0	0	52,83333	2,5	0

Tabela BI 15 – Produtividade parcial e total do DSAPC do 5º experimento 16/03/2012

Tempo(h)	Temperatura (°C) Bacia (água – E1)	Temperatura (°C) Cobertura (vidro – E1)	Radiação (W/m²) Solar	Produt, (Kg/m²h) (20°)	Produt, (Kg/m²h) (45°)	Produt, (Kg/m²h) (20°+45°)
09:00	0	0	370,5556	0	0	0
10:00	0	0	461,3889	0	0	0
11:00	50,36	45,825	411,6667	0,120385	0,070225	0,19061
12:00	63,51	59,785	984,4444	0,461477	0,150482	0,611958
13:00	68,515	65,265	1011,111	0,852729	0,321027	1,173756
14:00	72,7125	67,475	678,8889	0,451445	0,150482	0,601926
15:00	62,4875	59,07	560	0,250803	0,110353	0,361156
16:00	48,1975	44,005	85,66667	0,100321	0,070225	0,170546
17:00	0	0	52,83333	0	0	0

Tabela BI 16 – Condições climatológicas do 6º experimento realizado em 10 de abril de 2012, 05 cm.

Data	Tempo (h)	Temperatura Ambiente* (°C)	Umidade* (%)	Nebulosidade* (Décimos)	Pressão* (hPa)	Vento* (m/s)	Radiação* (W/m²)
15/03/2012	09:00	27,9	84	6	1006,4	2,9	413,0556
15/03/2012	10:00	28,6	79	-	1006,7	3,7	619,7222
15/03/2012	11:00	29,6	78	-	1006,3	3,6	611,6667
15/03/2012	12:00	30,3	74	-	1005,7	3,1	822,5
15/03/2012	13:00	29,6	81	-	1004,9	3,2	672,2222
15/03/2012	14:00	29,2	81	-	1004,2	3,8	429,4444
15/03/2012	15:00	28,5	83	-	1003,6	2,8	277,0278
15/03/2012	16:00	28,9	82	5	1003,3	3,0	295,5556
15/03/2012	17:00	28,1	86	-	1004	2,5	146,75

*Fonte - Instituto Nacional de meteorologia – INMET

Tabela BI 17 – Produtividade total e climatológica do 6° experimento 10/04/2012

Tempo(h)	Temperatura (°C) Ambiente	Temperatura (°C) Bacia (água – E1)	Temperatura (°C) Cobertura (vidro – E1)	Radiação (W/m²) Solar	Vento (m/s)	Produt, (Kg/m²h) (20°+45°)
09:00	27,9	44,785	40,64	413,0556	2,9	0
10:00	28,6	63,7	58,285	619,7222	3,7	0,070225
11:00	29,6	70,5125	65,465	611,6667	3,6	0,471509
12:00	30,3	70,1675	65,53	822,5	3,1	0,62199
13:00	29,6	70,3025	70,145	672,2222	3,2	1,063403
14:00	29,2	51,3825	48,545	429,4444	3,8	0,250803
15:00	28,5	37,725	36,19	277,0278	2,8	0,110353
16:00	28,9	34,39	33,295	295,5556	3,0	0,036116
17:00	28,1	0	0	146,75	2,5	0

Tabela BI 18 – Produtividade parcial e total do PSAPC do 6° experimento 10 de abril de 2012

Tempo(h)	Temperatura (°C) Bacia (água – E1)	Temperatura (°C) Cobertura (vidro – E1)	Radiação (W/m²) Solar	Produt, (Kg/m²h) (20°)	Produt, (Kg/m²h) (45°)	Produt, (Kg/m²h) (20°+45°)
09:00	44,785	40,64	413,0556	0,0	0,0	0,0
10:00	63,7	58,285	619,7222	0,050161	0,020064	0,070225
11:00	70,5125	65,465	611,6667	0,351124	0,120385	0,471509
12:00	70,1675	65,53	822,5	0,441413	0,180578	0,62199
13:00	70,3025	70,145	672,2222	0,722311	0,341091	1,063403
14:00	51,3825	48,545	429,4444	0,170546	0,080257	0,250803
15:00	37,725	36,19	277,0278	0,080257	0,030096	0,110353
16:00	34,39	33,295	295,5556	0,026083	0,010032	0,036116
17:00	0	0	146,75	0,0	0,0	0,0

Tabela B1 19 – Condições climatológicas médios horário: Experimentos realizados com o dessalinizador solar assimétrico com inclinações de 20° e 45°,

Tempo (h)	Temperatura Ambiente* (°C)	Umidade* (%)	Nebulosidade* (Décimos)	Pressão* (hPa)	Vento* (m/s)	Radiação* (W/m²)
09:00	27,93	79	6	1006,18	3,31	317,44
10:00	28,66	75,5		1006,44	3,78	486,67
11:00	29,58	70,998		1006,25	4,17	557,04
12:00	30,5	68,165		1005,68	3,98	835,97
13:00	31,05	66,833		1004,89	3,85	848,24
14:00	30,75	69,835		1004,02	4,17	700,09
15:00	29,93	72,0015	6	1003,50	3,95	530,52
16:00	29,35	73,998		1003,15	3,55	342,84
17:00	28,53	77,668		1003,32	3,53	195,13

*Fonte - Instituto Nacional de meteorologia – INMET,

Tabela B1 20 – Temperatura média horaria e Produtividade média – 20° e 45°.

Tempo(h)	Temp, (°C) Bacia (água)	Temp, (°C) Cobertura vidro	Produt, (Kg/m²h) (20°)	Produt, (Kg/m²h) (45°)	Produt, (Kg/m²h) (20°+45°)
09:00	41,3690	38,2140	0,0000	0,0000	0,0000
10:00	63,6410	58,4570	0,0889	0,0424	0,1062
11:00	67,8254	62,8883	0,3745	0,1470	0,5215
12:00	69,1821	64,1158	0,5259	0,2009	0,7268
13:00	67,9429	63,0667	0,6019	0,2549	0,9003
14:00	61,7421	57,3400	0,3748	0,1499	0,5247
15:00	50,6785	48,4200	0,2498	0,0991	0,3490
16:00	42,5455	40,4080	0,0981	0,0448	0,1429
17:00	40,6200	38,8000	0,0387	0,0108	0,0496

APÊNDICES III – C – Produtividade real e produtividade simulada

	06/01/2012		10/01/2012		06/02/2012	
Tempo (h)	Destilado Real (Kg/m²h)	Destilado Simulado (Kg/m²h)	Destilado Real (Kg/m²h)	Destilado Simulado (Kg/m²h)	Destilado Real (Kg/m²h)	Destilado Simulado (Kg/m²h)
09:00	0.000	0	0.000	0	0.00	0
10:00	0.194532	0.648996	0.044893	0.106872	0.20833	0.362532
11:00	0.523753	0.591024	0.34119	0.616884	0.63542	0.3912
12:00	0.594837	0.354204	1.14927	1.42332	0.48958	0.725472
13:00	0.3367	0.066984	1.01459	0.956952	0.95833	1.404156
14:00	0.422743	0.170928	0.799103	0.311676	0.45833	0.194676
15:00	0.340444	0.007476	0.709316	0.35544	0.375	0.023568
16:00	0.224467	0.064668	0.098765	0.020268	0.25	0.072396
17:00	0.112233	0.054144	0.044894	0.023208	0.15625	0.064068
Soma	2.749709	1.958424	4.202021	3.814608	3.53124	3.238068

Tabela CI 2 – Produtividade média real e simulada para profundidade de 1.0cm.

Tempo (h)	Destilado Real (Média) (Kg/m²h)	Destilado Simulado (Média) (Kg/m²h)	Temperatura Água (Média) (°C)	Temperatura Vidro (Média) (°C)	Radiação Média (W/m²)	Eficiência Real (%)	Eficiência Simulado (%)
09:00	0	0	40.98	38.48	283.13	0.0000	0
10:00	0.149252	0.372804	63.22	59.54333	427.4081	22.8138	56.98452
11:00	0.500121	0.53304	71.41	67.70333	511.1107	63.3903	67.56276
12:00	0.744562	0.834336	69.56333	64.45667	779.7237	61.9797	69.45276
13:00	0.769873	0.809364	64.39333	58.08667	844.5363	59.4837	62.535
14:00	0.560059	0.225756	56.45667	53.09333	758.0581	48.6012	19.59084
15:00	0.47492	0.128832	51.06	48.94667	554.3504	56.6668	15.372
16:00	0.191077	0.05244	43.38	41.58	383.2419	33.2344	9.12096
17:00	0.104459	0.047136	40.62	38.8	285.7396	24.4359	11.02644
Média	0.436790	0.375468	55.67593	52.29889	4827.2988	46.32573	38.95572

Tabela CI 3 – Produtividade Real e Simulado do DSAPC - 0.5 cm de profundidade

Tempo (h)	13/01/2012		16/03/2012		10/04/2012	
	Destilado Real (Kg/m ² h)	Destilado Simulado (Kg/m ² h)	Destilado Real (Kg/m ² h)	Destilado Simulado (Kg/m ² h)	Destilado Real (Kg/m ² h)	Destilado Simulado (Kg/m ² h)
09:00	0.000	0	0.000	0	0.000	0
10:00	0.1404462	0.629484	0**	0	0.070225	0.620604
11:00	1.031297	0.833832	0.19061	0.25464	0.471509	0.79938
12:00	0.9430209	0.6263052	0.611958	0.388212	0.62199	0.70848
13:00	0.9530465	0.751242	1.173756	0.41952	1.063403	0.008688
14:00	0.6621188	0.9825204	0.601926	0.932016	0.250803	0.149604
15:00	0*	0	0.361156	0.331224	0.110353	0.033516
16:00	0*	0	0.170546	0.206892	0.036116	0.018096
17:00	0*	0	0**	0	0**	0
Soma	3.7299294	3.88641	3.109952	2.532504	2.624399	2.3383644

(*) Evaporação total – (**) Chuva

Tabela CI 4 – Produtividade Real e Simulado médio do DSAPC - 0.5 cm de profundidade

Tempo (h)	Destilado Real (Média) (Kg/m ² h)	Destilado Simulado (Média) (Kg/m ² h)	Temperatura Água (Média) (°C)	Temperatura Vidro (Média) (°C)	Radiação Média (W/m ²)	Eficiência Real (%)	Eficiência Simulado (%)
09:00	0.0000	0	27.96833	25.21	351.7408	0.0000	0
10:00	0.105336	0.625044	42.84833	37.885	545.9259	8.5790	76.35912
11:00	0.564472	0.62928	64.24083	58.07333	602.963	61.0966	68.11116
12:00	0.725656	0.574332	68.80083	63.775	892.2222	52.8310	41.81388
13:00	1.063402	0.393156	71.4925	68.04667	851.9444	80.8559	29.89368
14:00	0.504949	0.688044	67.0275	61.58667	642.1296	51.1738	69.72948
15:00	0.235755	0.121584	33.40417	31.75333	506.6945	20.8834	16.155
16:00	0.103331	0.1125	27.52917	25.76667	302.4445	15.4240	25.18908
17:00	0.0000	0	0.0000	0.0000	104.5278	0.0000	0
Média	0.4842662	0.449136	44.81241	41.34407	533.3991	47.0441	46.7502

Parabólico Composto (DSAPC)

Tabela DI 1 – Análise Físico –Químico da amostra do destilado – 4º Destilado

Ministério da
Educação



LABORATÓRIO DE TECNOLOGIA DE BEBIDAS E ÁGUAS

Análise Físico – Química do 4º Destilado

Parâmetros	Unidades	Resultados	Limites máximos permitidos
pH	-	6,59	6,0 – 9,5*
Cor	uC	10	15*
Turbidez	NTU	0,64	5 *
Alcalinidade total	CaCO ₃ mg/L	51,75*	-
Dureza total	CaCO ₃ mg/L	20,94	500*
Cloretos	mg/L Cl ⁻	0,99	250*
Sólidos totais dissolvidos (TDS)	mg/L	14	1000*
Condutividade elétrica	µS	21**	-
Salinidade	‰	0,1767**	-

*Segundo a Portaria 518, de março de 2004 da Agência Nacional de Vigilância Sanitária - ANVISA e Ministério da Saúde - MS apresenta os limites máximos permitidos para água potável.

**Parâmetro não mencionado pela portaria nº 518.

Segundo a resolução CONAMA nº 20 18 de junho de 1986 a salinidade $\leq 0,5\text{‰}$ é classificada como água doce. Resultado da análise físico-química dentro dos padrões de potabilidade.

Silvio Carlos Coelho

Analista Responsável

Silvio Carlos Coelho

Prof. IFMA – São Luís – Campus Maracanã

Tabela DI 2 – Análise Físico –Químico da amostra do destilado – 1° , 2° ,3° Destilado e Amostra da água salgada.



**INSTITUTO FEDERAL
MARANHÃO**
Campus São Luís - Maranhão

**Ministério da
Educação**

GOVERNO FEDERAL



BRASIL
PAÍS RICO É PAÍS SEM POBREZA

AMOSTRAS DA ÁGUAS SALGADAS E DESSALINIZADAS

SOLICITANTE: Prof. Joaquim Teixeira Lopes

AMOSTRA: Água da Baía de São José de Ribamar

DATA: 05/01/2012 - Água da Baía de São José de Ribamar

06/01/2012 - Destilado 3

11/01/2012 - Destilado 2

10/01/2012 - Destilado 1

Tabela 1 – Análise físico-química da amostra 1 do destilado

PARÂMETROS	RESULTADO	MÉTODO
pH	6,70	Eletrométrico
TDS (mg/L)	65	Gravimétrico
CONDUTIVIDADE ELÉTRICA (µS/cm)	144	Eletrométrico
CLORETOS (mg/L)	7,0	Mohr
DUREZA TOTAL (mg/L CaCO ₃)	41,024	Titulométrico - EDTA
ALCALINIDADE TOTAL (mg/L CaCO ₃)	50,23	Titulométrico com indicador
SALINIDADE (‰)	1,49	Mohr-Knudsen
TURBIDEZ (NTU)	0,85	Nefelométrico
COR (UC)	12	Comparação visual

Tabela 2 – Análise físico-química da amostra 2 do destilado

PARÂMETROS	RESULTADO	MÉTODO
pH	6,77	Eletrométrico
TDS (mg/L)	10	Gravimétrico
CONDUTIVIDADE ELÉTRICA (µS/cm)	19	Eletrométrico
CLORETOS (mg/L)	7,0	Mohr
DUREZA TOTAL (mg/L CaCO ₃)	18,461	Titulométrico - EDTA
ALCALINIDADE TOTAL (mg/L CaCO ₃)	53,37	Titulométrico com indicador
SALINIDADE (‰)	1,12	Mohr-Knudsen
TURBIDEZ (NTU)	0,93	Nefelométrico
COR (UC)	13	Comparação visual

Tabela 3 – Análise físico-química da amostra 3 do destilado

PARÂMETROS	RESULTADO	MÉTODO
pH	6,29	Eletrométrico
TDS (mg/L)	13	Gravimétrico
CONDUTIVIDADE ELÉTRICA (µS/cm)	28	Eletrométrico
CLORETOS (mg/L)	6,0	Mohr
DUREZA TOTAL (mg/L CaCO ₃)	16,4096	Titulométrico - EDTA
ALCALINIDADE TOTAL (mg/L CaCO ₃)	37,67	Titulométrico com indicador
SALINIDADE (‰)	1,87	Mohr-Knudsen
TURBIDEZ (NTU)	0,85	Nefelométrico
COR (UC)	12	Comparação visual

Tabela 4 – Análise físico-química da amostra 4 - Baía de São José de Ribamar

PARÂMETROS	RESULTADO	MÉTODO
pH	7,56	Eletrométrico
TDS (mg/L)	-	Gravimétrico
CONDUTIVIDADE ELÉTRICA (µS/cm)	-	Eletrométrico
CLORETOS (mg/L)	-	Mohr
DUREZA TOTAL (mg/L CaCO ₃)	-	Titulométrico - EDTA
ALCALINIDADE TOTAL (mg/L CaCO ₃)	200,93	Titulométrico com indicador
SALINIDADE (‰)	36	Mohr-Knudsen
TURBIDEZ (NTU)	15,8	Nefelométrico
COR (UC)	24	Comparação visual

Silvio Carlos Coelho

Prof. Esp. Silvio Carlos Coelho

Laboratório de Tecnologia de Bebidas e Águas

IFMA São Luís Campus Maracanã

¶

BIBLIOGRAFIAS

FEEMA – FUNDAÇÃO ESTADUAL DE ENGENHARIA DO MEIO AMBIENTE. Departamento de controle poluição. **Manual de análises físicas e químicas de água**. Rio de Janeiro, dicomt. 1978, 2v.

BRASIL. Fundação Nacional de Saúde. **Manual técnico de análise de água para consumo humano**. Brasília: Funasa, 1999.

Valores 2 – Análise físico-química da amostra 1 de destilado

PARAMETROS	RESULTADO	METODO
OD (unidade)	65	Gravimétrico
CONDUTIVIDADE (µS/cm)	214	Condutivímetro
PH	7,0	Medido
CLORO (mg/L)	7,0	Medido
ALCALINIDADE TOTAL (mg/L CaCO ₃)	30,3	Titrimétrico (ácido clorídrico)
SALINIDADE (mg/L)	148	Gravimétrico
TURBIDIMETRIA	0,85	Nefelômetro



Ministério da
Educação



RESULTADOS DAS ANÁLISES FÍSICO-QUÍMICA DO DESSALINIZADOR DE 45° DE INCLINAÇÃO

PARÂMETROS	DESTILADO 27/11/2012	DESTILADO 28/11/2012	DESTILADO 29/11/2012	DESTILADO 30/11/2012	DESTILADO 01/12/2012
pH	8,10	8,02	7,76	7,98	8,15
Condutividade elétrica (μS)	100	69	336	754	52
Turbidez (NTU)	1,65	1,57	1,65	1,87	0,97
Cor (uH)	4,8	2,7	4,7	2,6	1,3
Sólidos toais dissolvidos (TDS) (mg.L^{-1})	45	29	148	343	23
Cloretos ($\text{mg Cl}^{-1}/\text{L}$)	6,9	3,9	69,9	176,6	3,9
Salinidade (‰)	0,17	0,17	0,35	0,53	0,17

PARÂMETROS FÍSICO-QUÍMICOS DA RESOLUÇÃO 357 – CONAMA E PORTARIA 518 – MINISTÉRIO DA SAÚDE – ÁGUA DOCE (CLASSE 3).

Parâmetros	Métodos	Resolução 357 Classe 3 - (Água Doce)	Portaria 518 – Ministério da Saúde
pH	Potenciométrico	6,0 – 9,0	6,0 – 9,5
Condutividade elétrica ($\mu\text{S/cm}$)	Condutivimétrico	-	-
Turbidez (NTU)	Nefelométrico	< 100	< 5
Cor aparente (uC)	Colorimétrico	-	15
Sólidos totais dissolvidos – TDS (mg.L^{-1})	Gravimétrico	< 1000	-
Cloretos ($\text{mg Cl}^{-1}/\text{L}$)	Método de Mohr	250	250
Salinidade (‰)	Método de Mohr-Knudsen	$\leq 0,5$	-

Prof. Silvio Carlos Coêlho

IFMA – Campus São Luís Maracanã



Ministério da
Educação



RESULTADOS DAS ANÁLISES FÍSICO-QUÍMICA DO DESTILADO DO DESSALINIZADOR
DE 45° DE INCLINAÇÃO

PARÂMETROS	DESTILADO 1 10/12/2012	DESTILADO 2 10/12/2012	DESTILADO 1 11/12/2012	DESTILADO 1 12/12/2012	DESTILADO 1 13/12/2012
pH	7,45	7,76	8,25	8,21	8,35
Condutividade elétrica (μS)	98	85	564	207	42
Turbidez (NTU)	2,98	2,83	0,62	0,87	0,49
Cor (uH)	6,6	6,1	1,1	1,9	0,9
Sólidos toais dissolvidos (TDS) (mg.L ⁻¹)	110	41	267	97	19
Salinidade (‰)	0,35‰	0,35‰	0,18‰	0,18‰	0,09‰

PARÂMETROS	DESTILADO 2 13/12/2012	DESTILADO 1 14/12/2012	DESTILADO 2 14/12/2012	DESTILADO 1 15/12/2012	DESTILADO 2 15/12/2012
pH	8,26	8,15	8,00	8,15	8,09
Condutividade elétrica (μS)	43	33	34	30	29
Turbidez (NTU)	0,46	0,87	1,12	0,71	0,73
Cor (uH)	0,7	0,9	2,0	2,8	1,3
Sólidos toais dissolvidos (TDS) (mg.L ⁻¹)	19	15	14	13	12
Salinidade (‰)	0,09‰	0,09‰	0,09‰	0,09‰	0,09‰

**PARÂMETROS FÍSICO-QUÍMICOS DA RESOLUÇÃO 357 – CONAMA E PORTARIA 518 –
MINISTÉRIO DA SAÚDE – ÁGUA DOCE (CLASSE 3).**

Parâmetros	Métodos	Resolução 357 Classe 3 - (Água Doce)	Portaria 518 – Ministério da Saúde
pH	Potenciométrico	6,0 – 9,0	6,0 – 9,5
Condutividade elétrica (µS/cm)	Condutivimétrico	-	-
Turbidez (NTU)	Nefelométrico	< 100	< 5
Cor aparente (uC)	Colorimétrico	-	15
Sólidos totais dissolvidos-TDS (mg.L ⁻¹)	Gravimétrico	500	1000
Salinidade (‰)	Método de Mohr-Knudsen	≤ 0,5	-

CONSIDERAÇÕES GERAIS DOS RESULTADOS

- a) De acordo com a Resolução 357 – CONAMA e Portaria 518 – Ministério da Saúde – Água Doce (classe 3), em relação à salinidade, todas as amostras apresentaram valores abaixo de 0,5‰, portanto considerada água doce.
- b) Quanto aos parâmetros pH, cor, turbidez e sólidos totais dissolvidos os resultados estão condizentes com a legislação de Resolução CONAMA e Ministério da Saúde.
- c) Quanto aos parâmetros da condutividade elétrica não tem valor especificado na legislação.
- d) Em relação aos parâmetros físico-químicos analisados, estão atendendo os padrões de potabilidade, mas para consumo humano é necessário às análises microbiológicas de Coliformes termotolerantes, Coliformes totais e Escherichia Coli.



Prof. Silvio Carlos Coêlho

IFMA – Campus São Luís Maracanã

APÊNDICES V

E – Simulação Computacional usando o MAPLE

Tabela EI 1 - Simulação para determinação da refletância do vidro de cobertura do Dessalinizador Solar em função do ângulo do raio incidente,

# SIMULAÇÃO PARA DETERMINAR A REFLETÂNCIA #		
$\phi := \text{evalf}\left(-\frac{2.55 \cdot \pi}{180}\right); \# \text{Latitude} \#$	-0.04450589594	(1)
$\beta := \text{evalf}\left(\frac{55 \cdot \pi}{180}\right); \# \text{Inclinação} \#$	0.9599310889	(2)
$n := 1; \# \text{Números de dia apartir de 1 de janeiro} \#$	1	(3)
$\delta := \text{evalf}\left(23.45 \cdot \sin\left(\left(\frac{360 \cdot (284 + n)}{365}\right) \cdot \left(\frac{\pi}{180}\right)\right)\right); \# \text{Declinação} \#$	-23.01163673	(4)
$\omega := \text{evalf}\left(-22.5 \cdot \left(\frac{\pi}{180}\right)\right); \# \text{Angulo Solar} \#$	-0.3926990818	(5)
$\alpha := 0; \# \text{Azimute Solar} \#$	0	(6)
$X := \sin(\delta) \cdot \sin(\phi) \cdot \cos(\beta) - \sin(\delta) \cdot \cos(\phi) \cdot \sin(\beta) \cdot \cos(\alpha) + \cos(\delta) \cdot \cos(\phi) \cdot \cos(\beta) \cdot \cos(\omega) + \cos(\delta) \cdot \sin(\phi) \cdot \sin(\beta) \cdot \cos(\alpha) \cdot \cos(\omega) + \cos(\delta) \cdot \sin(\beta) \cdot \sin(\alpha) \cdot \sin(\omega);$	-0.9785120998	(7)
$\theta := \text{evalf}(\arcsin(X));$	-1.363117251	(8)
$n1 := 1; \# \text{Índice de refração do meio 1- AR} \#$	1	(9)
$n2 := 1.526; \# \text{Índice de refração médio do meio 2 - VIDRO} \#$	1.526	(10)
$\theta2 := \text{evalf}\left(\arcsin\left(\frac{n1 \cdot \sin(\theta)}{n2}\right)\right);$	-0.6960959483	(11)
$\rho := \left(\frac{1}{2}\right) \cdot \left(\left(\frac{\sin(\theta2 - \theta)}{\sin(\theta2 + \theta)}\right)^2 + \left(\frac{\tan(\theta2 - \theta)}{\tan(\theta2 + \theta)}\right)^2\right);$	0.3329212156	(12)

Tabela EI 2 – Simulação para determinação da área de cobertura de vidro do Dessalinizador Solar.

$M := 106 \llbracket cm \rrbracket;$	$106 \llbracket cm \rrbracket$	(1)
$L := 106 \llbracket cm \rrbracket;$	$106 \llbracket cm \rrbracket$	(2)
$\alpha := 20;$	20	(3)
$\theta := 45;$	45	(4)
$a := evalf \left(M \cdot \left(\frac{\tan \left(\frac{\alpha \cdot \pi}{180} \right)}{\left(\tan \left(\frac{\alpha \cdot \pi}{180} \right) + \tan \left(\frac{\theta \cdot \pi}{180} \right) \right)} \right) \right);$	$28.28569413 \llbracket cm \rrbracket$	(5)
$b := evalf \left(M \cdot \left(\frac{\tan \left(\frac{\theta \cdot \pi}{180} \right)}{\left(\tan \left(\frac{\alpha \cdot \pi}{180} \right) + \tan \left(\frac{\theta \cdot \pi}{180} \right) \right)} \right) \right);$	$77.71430590 \llbracket cm \rrbracket$	(6)
$At := evalf \left(a^2 \cdot \tan \left(\frac{\theta \cdot \pi}{180} \right) + b^2 \cdot \tan \left(\frac{\alpha \cdot \pi}{180} \right) + \left(\frac{a \cdot L}{\cos \left(\frac{\theta \cdot \pi}{180} \right)} \right) + \left(\frac{b \cdot L}{\cos \left(\frac{\alpha \cdot \pi}{180} \right)} \right) \right);$	$16004.89159 \llbracket cm \rrbracket^2$	(7)
$A2 := evalf \left(\frac{At}{10000} \frac{\llbracket m \rrbracket^2}{\llbracket cm \rrbracket^2} \right);$	$1.600489159 \llbracket m \rrbracket^2$	(8)
$Al := evalf \left(a^2 \cdot \tan \left(\frac{\theta \cdot \pi}{180} \right) + b^2 \cdot \tan \left(\frac{\alpha \cdot \pi}{180} \right) \right);$	$2998.283578 \llbracket cm \rrbracket^2$	(9)
$Ac := evalf \left(\left(\frac{a \cdot L}{\cos \left(\frac{\theta \cdot \pi}{180} \right)} \right) + \left(\frac{b \cdot L}{\cos \left(\frac{\alpha \cdot \pi}{180} \right)} \right) \right);$	$13006.60801 \llbracket cm \rrbracket^2$	(10)

Tabela EI 3 – Simulação para truncar Coletor Parabólico Composto

```

>
#Ângulo de aceitação do Coletor Parabólico Composto#
θ := 2.5;      # ÂNGULO DE ACEITAÇÃO#
2.5

α := evalf( ( θ · π / 180 ) );
0.0436332313

C := evalf( ( 1 / sin(α) ) );
# TAXA DE CONCENTRAÇÃO #
22.9255856

h := 7.5;
# ALTURA DO COLETOR SOLAR PARABÓLICO COMPOSTO#
7.5

wI := 12; # LARGURA DO EVAPORADOR DO CPC #
12

W := wI · C;
275.107027

R := ( h / W );
# Relação entre a altura do CPC e alargura do Condensador (utilizar figura 2.21) #
0.0272621171

H := ( wI · (C + 1) / 2 ) · (C² - 1)⁰·⁵;
3287.916026

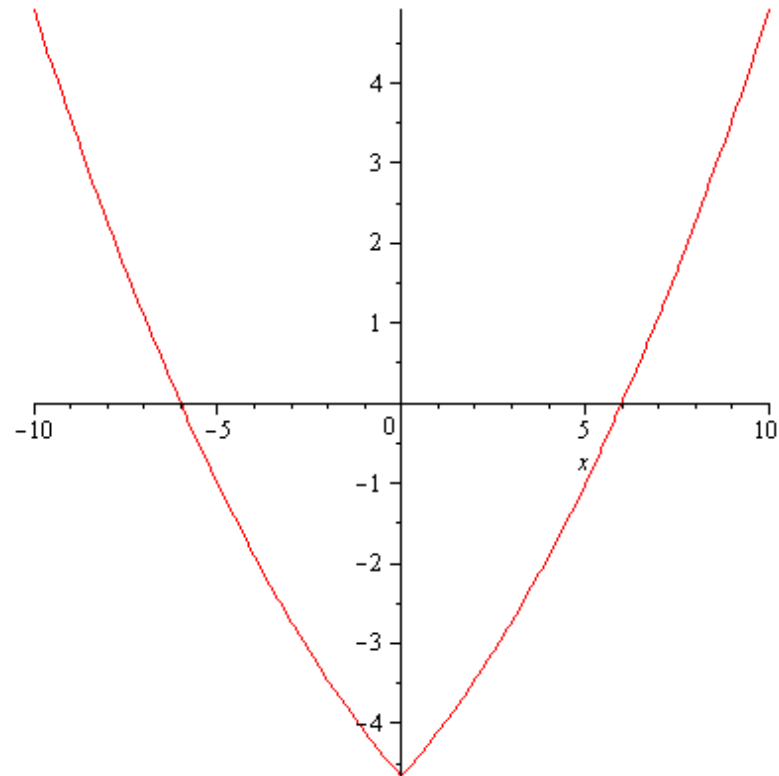
mI := wI / 2;
6

m := W / 2;
137.553513

z := 2 · H - ( H / (mI + m) ) · (abs(x) + mI)
- ( 2 · m · (m + mI) / mI ) · ( 1 - (abs(x) + mI) / (m + mI) )⁰·⁵;
6438.409447 - 22.90376554|x| - 6582.096736(0.9582037399
- 0.006966043354|x|)⁰·⁵

```

`plot(z, x);`



Cálculo do número do número de Rayleigh El 4

`Tw := 58.370;#Temperatura da água#`

58.370

`Tg := 54.44;#Temperatura do vidro#`

54.44

`X1 := 5.66 · 1010;`

5.660000000 10¹⁰

`X2 := 6.48 · 1010;`

6.480000000 10¹⁰

`T2 := 60;`

60

`A := simplify` $\left(\text{evalf} \left(\frac{(Tw - T2)}{(T1 - T2)} \cdot (X1 - X2) \right. \right.$
 $\left. \left. + X2 \right) \right)$;

$$6.239604317 \cdot 10^{10}$$

#CÁLCULO DE REYNOLD

$$L := 0.2064;$$

$$0.2064$$

$$P_w := 18307.954;$$

$$18307.954$$

$$P_g := 14934.068;$$

$$14934.068$$

$$T_3 := \left((T_w - T_g) + \left(\frac{T_w \cdot (P_w - P_g)}{(289900 - P_w)} \right) \right)^{0.33};$$

$$1.661180557$$

$$Ra := (A \cdot L^3 \cdot T_3);$$

$$9.113872907 \cdot 10^8$$

$$A = \frac{g\beta\rho^2 c_p}{\mu k} = 6,239604317 \times 10^{10} \left(\frac{1}{m^3 \cdot ^\circ C} \right)$$

$$T_3 = \Delta T' = 1.661180557^\circ C$$

$$L = 0.2064m$$

$$R_e = (A \times L^3 \times \Delta T')$$

$$R_e = 9.113872907 \times 10^8$$

$$R_e = \left(\frac{g\beta\rho^2 c_p L^3 \Delta T'}{\mu k} \right)$$

(El 4 1)

APÊNDICES VI F – Condições Climatológicas

Tabela FI 1 – Condições climatológicas médios diários o Dessalinizador solara assimétrico de 30° e 55°,

Data	Temperatura Ambiente* (°C)	Umidade* (%)	Nebulosidade* (Décimo)	Pressão * (hPa)	Vento (m/s)	Radiação (W/m²) Solar
06/06/12	30,18	80,25	4,5	1005,50	2,73	572,47
27/06/12	29,18	93,25	8,5	1006,73	1,93	467,53
28/06/12	29,30	93,75	6,5	1006,73	1,93	537,87
07/08/12	29,43	83,50	8,0	1005,60	3,40	522,99
08/08/12	30,13	80,50	6,0	1005,23	2,85	562,84
09/08/12	29,23	82,50	4,5	1004,95	3,63	553,79

Tabela FI 2 – Produtividade parcial e total do DSAPC do (C°) experimento 30° e 55°

Data	Temperatura (°C)Bacia (água)	Temperatura (°C) Cobertura (vidro)	Radiação (W/m²) Solar	Produt, (Kg/m²h) (30°)	Produt, (Kg/m²h) (55°)	Produt, (Kg/m²h) (30°+55°)
06/06/12	44,90	42,14	572,47	0,1158	0,0736	0,1894
27/06/12	52,07	50,32	467,53	0,1616	0,0811	0,2427
28/06/12	59,22	53,71	537,87	0,2064	0,1139	0,3203
07/08/12	48,17	43,04	522,99	0,1178	0,0697	0,1875
08/08/12	55,11	50,95	562,84	0,2235	0,1250	0,3485
09/08/12	54,79	48,14	553,79	0,2531	0,1418	0,3949

Tabela FI 3 – Produtividade parcial e total do DSAPC do (C°)

Data	Temperatura (°C)Bacia (água)	Temperatura (°C) Cobertura (vidro)	Radiação (W/m²) Solar	Produt,Simu (Kg/m²h) (30°+ 55°)	Produt,Real (Kg/m²h) (30°+55°)
06/06/12	44,90	42,14	572,47	0,0975364	0,1894
27/06/12	52,07	50,32	467,53	0,0749411	0,2427
28/06/12	59,22	53,71	537,87	0,4355419	0,3203
07/08/12	48,17	43,04	522,99	0,2458117	0,1875
08/08/12	55,11	50,95	562,84	0,2580795	0,3485
09/08/12	54,79	48,14	553,79	0,4519683	0,3949

Tabela FI 4 – Condições climatológicas do 1º experimento realizado em 07 de agosto de 2012 (30° e 55°) - 0,5cm

Data	Tempo (h)	Temperatura Ambiente* (°C)	Umidade* (%)	Nebulosidade* (Décimo)	Pressão* (hPa)	Vento (m/s)	Radiação (W/m²) Solar
07/08/2012	09:00	27,8	83	8	1008	4,2	424,4444
07/08/2012	10:00	28,9	80		1008,2	3,8	546,6666
07/08/2012	11:00	29	82		1007,9	3,6	554,4444
07/08/2012	12:00	30,3	79		1007,3	3	657,5000
07/08/2012	13:00	30,2	83		1006,4	3,5	744,4444
07/08/2012	14:00	30	83		1005,8	3,8	565,2777
07/08/2012	15:00	30,1	82	8	1005,4	3,3	562,7777
07/08/2012	16:00	29,3	84		1005,5	3,5	317,7777
07/08/2012	17:00	28,3	85		1005,7	3	235,0555

Tabela FI 5 – Produtividade parcial e total do DSAPC do (1) experimento em 07/08/2012 - 0,5 cm

Tempo(h)	Temperatura (°C) Bacia (água – E1)	Temperatura (°C) Cobertura (vidro – E1)	Radiação (W/m²) Solar	Produt, (Kg/m²h) (30°)	Produt, (Kg/m²h) (55°)	Produt, (Kg/m²h) (30°+55°)
09:00	31,99667	30,95	424,4444	0	0	0
10:00	52,34667	47,435	546,6666	0,059322	0,033898	0,09322
11:00	55,4	49,74	554,4444	0,162712	0,091525	0,254237
12:00	54,96	49,44	657,5000	0,135593	0,094915	0,230508
13:00	50,28667	44,84	744,4444	0,152542	0,101695	0,254237
14:00	50,20333	43,485	565,2777	0,118644	0,061017	0,179661
15:00	48,13	41,965	562,7777	0,161017	0,084746	0,245763
16:00	40,33667	36,575	317,7777	0,084746	0,050847	0,135593
17:00	33,67333	30,855	235,0555	0,067797	0,038983	0,10678

Tabela FI 6 – Condições climatológicas do 2º experimento realizado em 08 de agosto de 2012 (30° e 55°) -0,5cm

Data	Tempo (h)	Temperatura Ambiente* (°C)	Umidade* (%)	Nebulosidade* (Décimo)	Pressão* (hPa)	Vento (m/s)	Radiação (W/m²) Solar
08/08/2012	09:00	28	83	5	1008,7	3,9	333,3333
08/08/2012	10:00	28,9	80	-	1008,6	3,1	505
08/08/2012	11:00	30,4	72	-	1008,2	3,1	665,8333
08/08/2012	12:00	31,3	66	-	1007,6	3	696,9444
08/08/2012	13:00	31,9	62	-	1006,5	3,1	889,4444
08/08/2012	14:00	32,5	72	-	1005,6	2,2	782,7778
08/08/2012	15:00	30,5	81	6	1005,1	3,3	488,6111
08/08/2012	16:00	29,4	83	-	1005	2,5	326,6667
08/08/2012	17:00	28,1	86	-	1005,2	3,4	147,5

Tabela FI 7 – Produtividade parcial e total do DSAPC do (D) experimento em 08/08/2012 - 0,5cm

Tempo(h)	Temperatura (°C) Bacia (água – E1)	Temperatura (°C) Cobertura (vidro – E1)	Radiação (W/m²) Solar	Produt, (Kg/m²h) (30°)	Produt, (Kg/m²h) (55°)	Produt, (Kg/m²h) (30°+55°)
09:00	42,69	40,555	333,3333	0	0	0
10:00	58,87	54,765	505	0,081633	0,05102	0,132653
11:00	64,105	58,7	665,8333	0,346939	0,183673	0,530612
12:00	64,805	59,965	696,9444	0,289796	0,159184	0,44898
13:00	61,255	56,335	889,4444	0,310204	0,179592	0,489796
14:00	60,52	55,915	782,7778	0,265306	0,146939	0,412245
15:00	56,475	51,76	488,6111	0,269388	0,15102	0,420408
16:00	40,955	37,87	326,6667	0,183673	0,097959	0,281633
17:00	33,885	32,26	147,5	0,040816	0,030612	0,071429

Tabela FI 8 – Condições climatológicas do 3º experimento realizado em 09 de agosto de 2012 (30° e 55°) - 0,5cm

Data	Tempo (h)	Temperatura Ambiente* (°C)	Umidade* (%)	Nebulosidade* (Décimo)	Pressão* (hPa)	Vento (m/s)	Radiação Solar (W/m²)
09/08/2012	09:00	28,3	80	5	1008,3	3,1	396,3889
09/08/2012	10:00	28,8	79	-	1008,4	3,3	585,5556
09/08/2012	11:00	30,2	75	-	1007,9	2,3	613,8889
09/08/2012	12:00	30,6	69	-	1007,1	2,6	769,1667
09/08/2012	13:00	31	74	-	1006	1,5	539,4444
09/08/2012	14:00	30,2	80	-	1005,2	4,1	587,7778
09/08/2012	15:00	30	81	4	1004,7	4	627,7778
09/08/2012	16:00	29,1	81	-	1004,8	3,4	493,3333
09/08/2012	17:00	27,8	88	-	1005,1	3	213,3889

Tabela FI 9 – Produtividade parcial e total do DSAPC do (D) experimento em 09/08/2012 - 0,5 cm.

Tempo(h)	Temperatura (°C) Bacia (água – E1)	Temperatura (°C) Cobertura (vidro – E1)	Radiação (W/m²) Solar	Produt, (Kg/m²h) (30°)	Produt, (Kg/m²h) (55°)	Produt, (Kg/m²h) (30°+55°)
09:00	29,7325	29,525	396,3889	0	0	0
10:00	55,67	50,295	585,5556	0,102041	0,044898	0,146939
11:00	59,4025	53,115	613,8889	0,306122	0,171429	0,477551
12:00	65,005	57,71	769,1667	0,269388	0,163265	0,432653
13:00	52,415	45,09	539,4444	0,37551	0,216327	0,591837
14:00	65,78	56,325	587,7778	0,44898	0,269388	0,718367
15:00	58,8925	50,885	627,7778	0,355102	0,167347	0,522449
16:00	46,215	39,865	493,3333	0,110204	0,061224	0,171429
17:00	34,96	31,805	213,3889	0,057143	0,040816	0,097959

Tabela FI 10 – Condições climatológicas médios horário para os dias 07,08 e 09 de agosto de 2012 (30° e 55°) - 0,5cm

Data	Tempo (h)	Temperatura Ambiente* (°C)	Umidade* (%)	Nebulosidade* (Décimo)	Pressão* (hPa)	Vento (m/s)	Radiação Solar (W/m²)
09/08/2012	09:00	28,033	82	6	1008,333	3,7333	384,722
09/08/2012	10:00	28,866	79,666	-	1008,4	3,4	545,741
09/08/2012	11:00	29,866	76,333	-	1008	3	611,389
09/08/2012	12:00	30,733	71,333	-	1007,333	2,8666	707,870
09/08/2012	13:00	31,033	73	-	1006,3	2,7	724,444
09/08/2012	14:00	30,9	78,333	-	1005,533	3,3666	645,278
09/08/2012	15:00	30,2	81,333	6	1005,067	3,5333	559,722
09/08/2012	16:00	29,266	82,666	-	1005,1	3,1333	379,259
09/08/2012	17:00	28,066	86,333	-	1005,333	3,1333	198,648

Tabela FI 11 – Produtividade parcial e total do DSAPC dos experimentos em 07,08 e 09/08/2012 -0,5 cm

Tempo(h)	Temperatura (°C) Bacia (água – E1)	Temperatura (°C) Cobertura (vidro – E1)	Radiação (W/m²) Solar	Produt, (Kg/m²h) (30°)	Produt, (Kg/m²h) (55°)	Produt, (Kg/m²h) (30°+55°)
09:00	34,80639	33,67667	384,722	0	0	0
10:00	55,62889	50,83167	545,741	0,080999	0,043272	0,124271
11:00	59,63583	53,85167	611,389	0,271924	0,148876	0,4208
12:00	61,59	55,705	707,870	0,231592	0,139121	0,370714
13:00	54,65222	48,755	724,444	0,279419	0,165871	0,44529
14:00	58,83444	51,90833	645,278	0,277643	0,159115	0,436758
15:00	54,49917	48,20333	559,722	0,261836	0,134371	0,396207
16:00	42,50222	38,10333	379,259	0,126208	0,07001	0,196218
17:00	34,17278	31,64	198,648	0,055252	0,036804	0,092056

Tabela FI 12 – Condições climatológicas do 1º experimento realizado em 06 de junho de 2012 (30° e 55°)

Data	Tempo (h)	Temperatura Ambiente* (°C)	Umidade* (%)	Nebulosidade* (Décimo)	Pressão* (hPa)	Vento (m/s)	Radiação (W/m²) Solar
06/06/2012	09:00	28,4	81	5	1007,9	3,2	442, 222
06/06/2012	10:00	29,4	80	-	1008	3,5	591,9444
06/06/2012	11:00	30,2	80	-	1007,6	2,7	617,7778
06/06/2012	12:00	30,8	77	-	1006,9	2,9	794,4444
06/06/2012	13:00	31,7	73	-	1006,3	2,5	823,0556
06/06/2012	14:00	31,6	73	-	1005,5	2,3	761,1111
06/06/2012	15:00	31,1	81	4	1005,3	3,4	556,9444
06/06/2012	16:00	29,2	84	-	1005,5	2,4	249,8611
06/06/2012	17:00	28,8	83	-	1005,7	2,8	184,6389

Tabela FI 13 – Produtividade parcial e total do DSAPC do (A°) experimento em 06/06/2012

Tempo(h)	Temperatura (°C) Bacia (água – E1)	Temperatura (°C) Cobertura (vidro – E1)	Radiação (W/m²) Solar	Produt, (Kg/m²h) (30°)	Produt, (Kg/m²h) (55°)	Produt, (Kg/m²h) (20°+45°)
09:00	32,48333	31,83667	442,2222	0	0	0
10:00	42,78667	38,55333	591,9444	0,056604	0,037736	0,09434
11:00	63,26333	59,86667	617,7778	0,141509	0,075472	0,216981
12:00	52,31333	48,69167	794,4444	0,207547	0,141509	0,349056
13:00	45,57667	42,76333	823,0556	0,226415	0,150943	0,377358
14:00	40,03	37,87	761,1111	0,122642	0,084906	0,207548
15:00	40,38	38,08	556,9444	0,075472	0,037736	0,113208
16:00	38,16	36,195	249,8611	0,067925	0,041509	0,109434
17:00	36,65667	35,12833	184,6389	0,028302	0,018868	0,04717

Tabela FI 14 – Condições climatológicas do 2º experimento realizado em 27 de junho de 2012 (30° e 55°)

Data	Tempo (h)	Temperatura Ambiente* (°C)	Umidade* (%)	Nebulosidade* (Décimo)	Pressão* (hPa)	Vento (m/s)	Radiação (W/m²) Solar
27/06/2012	09:00	27,2	99	9	1009,3	2,0	393,0556
27/06/2012	10:00	27,7	99	-	1009,4	2,4	449,7222
27/06/2012	11:00	28,7	94	-	1009,0	1,8	630,8333
27/06/2012	12:00	29,3	92	-	1008,2	1,7	727,7778
27/06/2012	13:00	29,3	92	-	1007,5	1,2	500,2778
27/06/2012	14:00	29,8	96	-	1006,8	2,4	463,8889
27/06/2012	15:00	29,5	89	8	1006,5	2,6	576,6667
27/06/2012	16:00	29,1	95	-	1006,6	1,1	199,25
27/06/2012	17:00	28,3	93	-	1007,0	1,6	191,8611

Tabela FI 15 – Produtividade parcial e total do DSAPC do (B°) experimento em 27/06/2012

Tempo(h)	Temperatura (°C) Bacia (água – E1)	Temperatura (°C) Cobertura (vidro – E1)	Radiação (W/m²) Solar	Produt, (Kg/m²h) (30°)	Produt, (Kg/m²h) (55°)	Produt, (Kg/m²h) (30°+55°)
09:00	32,9433	32,06	393,0556	0	0	0
10:00	44,9133	43,3	449,7222	0,075472	0,04717	0,122642
11:00	62,3233	61,615	630,8333	0,184906	0,098113	0,283019
12:00	62,8766	62,135	727,7778	0,188679	0,109434	0,298113
13:00	60,6766	59,53	500,2778	0,235849	0,141509	0,377358
14:00	45,4166	43,255	463,8889	0,290566	0,098113	0,388679
15:00	52,1566	50,465	576,6667	0,150943	0,086792	0,237736
16:00	48,03	46,125	199,25	0,090566	0,037736	0,128302
17:00	40,1966	36,1	191,8611	0,075472	0,030189	0,10566

Tabela FI 16 – Condições climatológicas do 3º experimento realizado em 28 de junho de 2012 (30° e 55°)

Data	Tempo (h)	Temperatura Ambiente* (°C)	Umidade* (%)	Nebulosidade* (Décimo)	Pressão* (hPa)	Vento (m/s)	Radiação (W/m²) Solar
28/06/2012	09:00	27,5	94	5	1009,5	2,7	407,2222
28/06/2012	10:00	28,5	92	-	1009,6	3,3	531,9444
28/06/2012	11:00	29,6	89	-	1009,2	2,4	647,7778
28/06/2012	12:00	30,4	86	-	1008,5	2,4	821,6667
28/06/2012	13:00	30,4	86	-	1007,8	2,6	805,2778
28/06/2012	14:00	30,9	85	-	1007,1	1,4	615,8333
28/06/2012	15:00	29,2	98	8	1006,5	2,3	381,9444
28/06/2012	16:00	28,5	97	-	1006,6	2,2	204,6944
28/06/2012	17:00	28,6	95	-	1006,7	1,8	293,3333

Tabela FI 17 – Produtividade parcial e total do DSAPC do (C°) experimento em 28/06/2012.

Tempo(h)	Temperatura (°C) Bacia (água – E1)	Temperatura (°C) Cobertura (vidro – E1)	Radiação (W/m²) Solar	Produt, (Kg/m²h) (30°)	Produt, (Kg/m²h) (55°)	Produt, (Kg/m²h) (30°+55°)
09:00	32,68	20,625	407,2222	0	0	0
10:00	54,73	52,195	531,9444	0,067925	0,037736	0,10566
11:00	61,48	57,555	647,7778	0,264151	0,181132	0,445283
12:00	65,153	60,315	821,6667	0,377358	0,235849	0,613208
13:00	67,77	62,8	805,2778	0,150943	0,09434	0,245283
14:00	65,36	58,88	615,8333	0,433962	0,188679	0,622642
15:00	56,123	50,385	381,9444	0,160377	0,075472	0,235849
16:00	55,563	48,87	204,6944	0,128302	0,056604	0,184906
17:00	47,586	38,66	293,3333	0,067925	0,041509	0,109434

Tabela FI 18 – Condições climatológicas médios horário para os dias - 06/06/2012-
27/06/2012 -28/06/2012 – lâmina de água 1,0 cm

Data	Tempo (h)	Temperatura Ambiente* (°C)	Umidade* (%)	Nebulosidad e* (Décimo)	Pressã o* (hPa)	Vento (m/s)	Radiação (W/m²) Solar
6/27/28/12	09:00	27,7	91,33333	6	1008,9	2,6333 33	414, 388
6/27/28/12	10:00	28,53333	90,33333	-	1009	3,0666 67	524, 536
6/27/28/12	11:00	29,5	87,66667	-	1008,6	2,3	632, 130
6/27/28/12	12:00	30,16667	85	-	1007,86 7	2,3333 33	781, 296
6/27/28/12	13:00	30,46667	83,66667	-	1007,2	2,1	709, 537
6/27/28/12	14:00	30,76667	84,66667	-	1006,46 7	2,0333 33	613, 611
6/27/28/12	15:00	29,93333	89,33333	7	1006,1	2,7666 67	505, 185
6/27/28/12	16:00	28,93333	92	-	1006,23 3	1,9	217, 935
6/27/28/12	17:00	28,56667	90,33333	-	1006,46 7	2,0666 67	223, 211

Tabela – Produtividade parcial e total do DSAPC do (C°) experimento em 28/06/2012

Tempo(h)	Temperatura (°C) Bacia (água – E)	Temperatura (°C) Cobertura (vidro – E)	Radiação (W/m²) Solar	Produt, (Kg/m²h) (30°)	Produt, (Kg/m²h) (55°)	Produt, (Kg/m²h) (30°+55°)
09:00	32,70221	28,17389	414, 388	0	0	0
10:00	47,47666	44,68277	524, 536	0,066667	0,040881	0,107548
11:00	62,35554	59,67889	632, 130	0,196855	0,118239	0,315094
12:00	60,11431	57,04722	781, 296	0,257861	0,162264	0,420125
13:00	58,00776	55,03111	709, 537	0,204402	0,128931	0,333333
14:00	50,26887	46,66833	613, 611	0,28239	0,123899	0,406289
15:00	49,5532	46,31	505, 185	0,128931	0,066667	0,195597
16:00	47,251	43,73	217, 935	0,095598	0,045283	0,140881
17:00	41,47976	36,62944	223, 211	0,057233	0,030189	0,087422

Tabela FI 19 – Condições climatológicas médios – lâmina de água(0,50 cm + 1,00cm) – 30° e 55°.

Tempo (h)	Temperatura Ambiente* (°C)	Umidade* (%)	Nebulosidade* (Décimo)	Pressão* (hPa)	Vento (m/s)	Radiação (W/m²) Solar
09:00	27,866	86,666	6	1008,61	3,18	399,55
10:00	28,699	84,999	-	1008,7	3,23	535,13
11:00	29,683	81,999	-	1008,3	2,65	621,75
12:00	30,449	78,166	-	1007,6	2,59	744,58
13:00	30,749	78,333	-	1006,75	2,4	716,99
14:00	30,833	81,499	-	1006	2,69	629,44
15:00	30,066	85,333	6.5	1005,58	3,14	534,45
16:00	29,099	87,333		1005,66	2,51	298,59
17:00	28,316	88,333		1005,9	2,59	210,92

APÊNDICES VII G - DADOS EXPERIMENTAIS PARA DESSALINIZADOR SOLAR SIMÉTRICO (20° E 20°)

Tabela GI 1 – Condições climatológicas médios para os dias - 10/12/2012 – lâmina de água 0,50 cm – 20° e 20°.

Tempo (h)	Temperatura Ambiente* (°C)	Umidade * (%)	Nebulosidade* (Décimo)	Pressão* (hPa)	Vento (m/s)	Radiação (W/m²) Solar
09:00	28,7	72	8,0	1005,4	2,6	313,61
10:00	30,2	64	-	1005,5	3,4	560,00
11:00	31,5	60	-	1004,6	2,8	680,00
12:00	32,0	59	-	1004,0	3,7	667,50
13:00	31,7	65	-	1003,0	3,5	616,94
14:00	31,5	66	-	1002,2	4,3	509,44
15:00	31,5	61	4,0	1001,2	4,6	535,28
16:00	30,0	72	-	1001,1	4,2	502,50
17:00	29,1	75	-	1001,3	3,8	281,11

Tabela GI 2 – Produtividade parcial e total do DSAPC do (C°) experimento em 10/12/2012 – 0,50 cm – 20° e 20°.

Tempo(h)	Temperatura (°C) Bacia (água – E)	Temperatura (°C) Cobertura (vidro – E)	Radiação (W/m²) Solar	Produt, (Kg/m²h) (20°)	Produt, (Kg/m²h) (20°)	Produt, (Kg/m²h) (20°+20°)
09:00	31,19	30,97	313,61	0,00	0,00	0,00
10:00	57,44	52,04	560,00	0,04	0,07	0,11
11:00	55,82	53,11	680,00	0,11	0,10	0,20
12:00	67,70	65,50	667,50	0,13	0,09	0,22
13:00	67,63	66,84	616,94	0,16	0,11	0,26
14:00	68,42	68,29	509,44	0,59	0,21	0,81
15:00	58,82	57,25	535,28	0,25	0,13	0,38
16:00	39,73	37,57	502,50	0,19	0,14	0,33
17:00	34,06	33,14	281,11	0,14	0,13	0,27

Tabela GI 3 – Condições climatológicas médios para os dias - 11/12/2012 – lâmina de água 0,50 cm – 20° e 20°.

Tempo (h)	Temperatura Ambiente* (°C)	Umidade* (%)	Nebulosidade * (Décimo)	Pressão* (hPa)	Vento (m/s)	Radiação (W/m²) Solar
09:00	29,1	68	8	1004,6	3,8	346,67
10:00	29,4	67	-	1004,8	4,2	354,44
11:00	30,9	64	-	1004,2	4,0	486,39
12:00	31,2	60	-	1003,6	4,4	664,44
13:00	32,0	57	-	1002,9	4,8	839,17
14:00	32,3	56	-	1002,3	4,8	807,50
15:00	32,0	57	9	1001,9	4,6	674,17
16:00	30,0	68	-	1001,5	4,1	423,06
17:00	29,4	68	-	1001,4	3,4	233,44

Tabela GI 4 – Produtividade parcial e total do DSAPC do (C°) experimento em 11/12/2012 – 0,50 cm – 20° e 20°.

Tempo(h)	Temperatura (°C) Bacia (água – E)	Temperatura (°C) Cobertura (vidro – E)	Radiação (W/m²) Solar	Produt, (Kg/m²h) (20°)	Produt, (Kg/m²h) (20°)	Produt, (Kg/m²h) (20°+20°)
09:00	33,29	29,79	346,67	0,00	0,00	0,00
10:00	51,32	47,26	354,44	0,06	0,10	0,16
11:00	64,96	57,30	486,39	0,08	0,11	0,19
12:00	69,28	61,83	664,44	0,24	0,13	0,37
13:00	64,29	56,09	839,17	0,32	0,22	0,53
14:00	69,16	54,19	807,50	0,36	0,26	0,62
15:00	58,02	49,27	674,17	0,16	0,27	0,43
16:00	39,87	36,20	423,06	0,13	0,18	0,31
17:00	36,29	33,55	233,44	0,12	0,15	0,27

Tabela GI 4 – Condições climatológicas médios para os dias 12/12/2012 – lâmina de água 0,50 cm – 20° e 20°.

Tempo (h)	Temperatura Ambiente* (°C)	Umidade * (%)	Nebulosidade * (Décimo)	Pressã o* (hPa)	Vento (m/s)	Radiação (W/m²) Solar
09:00	29,3	67	8	1005,2	3,7	449,17
10:00	30,8	63	-	1005,4	3,7	532,78
11:00	31,3	59	-	1005,2	4,4	629,72
12:00	31,9	58	-	1004,2	4,3	851,94
13:00	32,9	56	-	1003,4	4,6	971,67
14:00	31,4	62	-	1002,4	4,2	770,56
15:00	31,7	60	3	1001,6	4,1	598,61
16:00	30,6	63	-	1001,2	4,3	416,11
17:00	29,9	67	-	1001,2	3,2	304,17

Tabela GI 5 – Produtividade parcial e total do DSAPC do (C°) experimento em 12/12/2012 – 0,50 cm – 20° e 20°.

Tempo(h)	Temperatura (°C) Bacia (água – E)	Temperatura (°C) Cobertura (vidro – E)	Radiação (W/m²) Solar	Produt, (Kg/m²h) (20°)	Produt, (Kg/m²h) (20°)	Produt, (Kg/m²h) (20°+20°)
09:00	30,85	29,55	449,17	0,00	0,00	0,00
10:00	59,61	57,21	532,78	0,07	0,06	0,13
11:00	63,18	57,72	629,72	0,21	0,14	0,35
12:00	67,20	63,78	851,94	0,32	0,17	0,49
13:00	69,01	66,83	971,67	0,35	0,20	0,55
14:00	67,04	65,39	770,56	0,21	0,15	0,37
15:00	63,09	60,64	598,61	0,25	0,17	0,43
16:00	45,73	43,64	416,11	0,18	0,13	0,31
17:00	37,35	35,20	304,17	0,11	0,10	0,21

Tabela GI 6 – Condições climatológicas médios para os dias - 13/12/2012 – lâmina de água 1,0 cm – 20° e 20°.

Tempo (h)	Temperatura Ambiente* (°C)	Umidade * (%)	Nebulosidade * (Décimo)	Pressão* (hPa)	Vento (m/s)	Radiação (W/m²) Solar
09:00	29,3	65	8	1003,9	2,5	151,81
10:00	30,3	62	-	1004,2	4,2	405,83
11:00	31,3	60	-	1004,5	3,8	424,72
12:00	31,5	60	-	1004,2	3,9	670,28
13:00	32,5	62	-	1003,8	3,3	638,61
14:00	31,0	64	-	1002,9	3,9	810,28
15:00	30,5	69	5	1002,1	5,0	524,44
16:00	29,9	70	-	1001,3	4,8	652,78
17:00	28,9	74	-	1000,9	4,7	490,56

Tabela GI 7 – Produtividade parcial e total do DSAPC do (C°) experimento em 13/12/2012 – 1,0 cm – 20° e 20°.

Tempo(h)	Temperatura (°C) Bacia (água – E)	Temperatura (°C) Cobertura (vidro – E)	Radiação (W/m²) Solar	Produt, (Kg/m²h) (20°)	Produt, (Kg/m²h) (20°)	Produt, (Kg/m²h) (20°+20°)
09:00	31,20	29,97	151,81	0,00	0,00	0,00
10:00	43,65	32,27	405,83	0,05	0,09	0,14
11:00	51,08	47,21	424,72	0,11	0,11	0,22
12:00	62,20	58,28	670,28	0,21	0,12	0,33
13:00	63,05	55,17	638,61	0,32	0,18	0,50
14:00	68,90	65,97	810,28	0,30	0,14	0,44
15:00	61,65	60,32	524,44	0,22	0,15	0,36
16:00	45,60	43,10	652,78	0,17	0,10	0,26
17:00	36,93	35,20	490,56	0,11	0,09	0,19

Tabela GI 8 – Condições climatológicas médios para os dias - 14/12/2012 – lâmina de água 1,0 cm – 20° e 20°.

Tempo (h)	Temperatura Ambiente* (°C)	Umidade * (%)	Nebulosidade * (Décimo)	Pressão* (hPa)	Vento (m/s)	Radiação (W/m²) Solar
09:00	28,6	73	8	1004,0	3,5	242,28
10:00	30,7	65	-	1004,0	3,8	530,28
11:00	31,6	61	-	1003,9	3,6	547,78
12:00	32,2	61	-	1003,2	3,5	681,39
13:00	31,9	67	-	1002,4	3,7	623,61
14:00	31,7	67	-	1001,3	4,6	565,28
15:00	31,1	66	3	1000,5	4,2	482,50
16:00	31,2	67	-	1000,3	3,5	495,83
17:00	29,6	75	-	1000,2	3,4	281,94

Tabela GI 9 – Produtividade parcial e total do DSAPC do (C°) experimento em 14/12/2012 – 1,0 cm – 20° e 20°.

Tempo(h)	Temperatura (°C) Bacia (água – E)	Temperatura (°C) Cobertura (vidro – E)	Radiação (W/m²) Solar	Produt, (Kg/m²h) (20°)	Produt, (Kg/m²h) (20°)	Produt, (Kg/m²h) (20°+20°)
09:00	32,25	30,43	242,28	0,00	0,00	0,00
10:00	44,56	41,31	530,28	0,09	0,08	0,18
11:00	52,61	49,40	547,78	0,13	0,08	0,21
12:00	57,82	56,80	681,39	0,20	0,17	0,37
13:00	70,73	66,89	623,61	0,35	0,23	0,58
14:00	69,69	66,56	565,28	0,40	0,24	0,64
15:00	61,64	59,45	482,50	0,25	0,18	0,43
16:00	46,16	43,49	495,83	0,18	0,14	0,32
17:00	36,84	34,90	281,94	0,17	0,13	0,30

Tabela GI 10 – Condições climatológicas médios para os dias 15/12/2012 – lâmina de água 1,0 cm – 20° e 20°.

Tempo (h)	Temperatura Ambiente* (°C)	Umidade * (%)	Nebulosidade * (Décimo)	Pressão* (hPa)	Vento (m/s)	Radiação (W/m²) Solar
09:00	28,7	70	8	1003,7	3,8	326,94
10:00	30,3	67	-	1003,8	3,6	486,39
11:00	31,0	65	-	1003,4	3,0	558,33
12:00	32,0	64	-	1002,9	3,3	573,33
13:00	30,7	70	-	1002,0	4,1	495,83
14:00	31,8	61	-	1001,1	4,6	628,06
15:00	31,6	62	1	1000,6	4,3	672,78
16:00	30,6	65	-	1000,8	4,1	506,39
17:00	29,3	73	-	1001,2	4,1	286,11

Tabela GI 11 – Produtividade parcial e total do DSAPC do (C°) experimento em 15/12/2012 – 1,0 cm – 20° e 20°.

Tempo(h)	Temperatura (°C) Bacia (água – E)	Temperatura (°C) Cobertura (vidro – E)	Radiação (W/m²) Solar	Produt, (Kg/m²h) (20°)	Produt, (Kg/m²h) (20°)	Produt, (Kg/m²h) (20°+20°)
09:00	26,68	26,13	326,94	0,00	0,00	0,00
10:00	26,76	26,57	486,39	0,07	0,10	0,17
11:00	51,01	46,45	558,33	0,11	0,11	0,22
12:00	59,41	55,90	573,33	0,22	0,16	0,37
13:00	71,56	70,14	495,83	0,30	0,25	0,54
14:00	70,34	68,18	628,06	0,25	0,17	0,41
15:00	64,56	62,06	672,78	0,34	0,21	0,54
16:00	48,87	45,94	506,39	0,26	0,17	0,42
17:00	37,73	35,65	286,11	0,14	0,14	0,28

Tabela GI 12 – Produtividades médios horário do DSAPC do experimento em– 20° e 20°.

Tempo(h)	Temperatura (°C) Bacia (água – E)	Temperatura (°C) Cobertura (vidro – E)	Radiação (W/m ²) Solar	Produt, (Kg/m ² h) (20°)	Produt, (Kg/m ² h) (20°)	Produt, (Kg/m ² h) (20°+20°)
09:00	30,91	29,47	305,08	0,00	0,00	0,00
10:00	47,22	42,78	478,29	0,06	0,08	0,15
11:00	56,44	51,87	554,49	0,13	0,11	0,23
12:00	63,94	60,35	684,81	0,22	0,14	0,36
13:00	67,71	63,66	697,64	0,30	0,20	0,50
14:00	68,93	64,76	681,85	0,35	0,20	0,55
15:00	61,30	58,17	581,30	0,25	0,19	0,43
16:00	44,33	41,66	499,45	0,19	0,14	0,33
17:00	36,53	34,61	312,89	0,13	0,12	0,26

Tabela GI 13 - Condições climatológicas médios – 20° e 20°.

Tempo (h)	Temperatura Ambiente* (°C)	Umidade* (%)	Nebulosidade* (Décimo)	Pressão* (hPa)	Vento (m/s)	Radiação (W/m ²) Solar
09:00	28,95	62,28	8	1004,47	3,32	305,08
10:00	30,28	58,55	-	1004,62	3,82	478,29
11:00	31,27	55,83	-	1004,30	3,60	554,49
12:00	31,80	55,00	-	1003,68	3,85	684,81
13:00	31,95	56,28	-	1002,92	4,00	697,64
14:00	31,62	57,80	-	1002,03	4,40	681,85
15:00	31,40	57,43	4	1001,32	4,47	581,30
16:00	30,38	61,77	-	1001,03	4,17	499,45
17:00	29,37	64,72	-	1001,03	3,77	312,89

APÊNDICES VIII H – Dados experimentais para dessalinizador solar de 45° e 45°

Tabela HI 1 – Condições climatológicas médios para os dias - 29/11/2012 – lâmina de água 0,50 cm – 45° e 45°.

Tempo (h)	Temperatura Ambiente* (°C)	Umidade * (%)	Nebulosidade * (Décimo)	Pressão* (hPa)	Vento (m/s)	Radiação (W/m²) Solar
09:00	27,4	78	10,00	1005,1	3,1	228,32
10:00	29	67	-	1005,2	3,6	503,82
11:00	29,9	66	-	1004,9	4,1	451,18
12:00	31,4	60	-	1004,1	3,5	687,65
13:00	31,5	63	-	1003,1	3	721,76
14:00	30,9	66	-	1001,8	4	521,76
15:00	29,6	70	9,00	1001,1	4,6	496,18
16:00	28,5	75	-	1001	3,8	174,82
17:00	27,6	78	-	1001,5	4	35,85

Tabela HI 2 – Produtividade parcial e total do DSAPC do (C°) experimento em 29/11/2012 – 0,50 cm – 45° e 45°.

Tempo(h)	Temperatura (°C) Bacia (água – E)	Temperatura (°C) Cobertura (vidro – E)	Radiação (W/m²) Solar	Produt, (Kg/m²h) (45°)	Produt, (Kg/m²h) (45°)	Produt, (Kg/m²h) (45°+45°)
09:00	31,76	30,84	228,32	0,00	0,00	0,00
10:00	45,62	34,61	503,82	0,06	0,09	0,16
11:00	55,21	36,09	451,18	0,09	0,32	0,41
12:00	57,75	53,68	687,65	0,29	0,31	0,61
13:00	65,21	61,77	721,76	0,41	0,32	0,73
14:00	66,08	60,37	521,76	0,16	0,19	0,35
15:00	52,05	47,42	496,18	0,18	0,23	0,41
16:00	44,27	50,51	174,82	0,13	0,15	0,28
17:00	35,68	33,84	35,85	0,07	0,10	0,17

Tabela HI 3 – Condições climatológicas médios para os dias - 30/11/2012 – lâmina de água 0,50 cm – 45° e 45°.

Tempo (h)	Temperatura Ambiente* (°C)	Umidade* (%)	Nebulosidade* (Décimo)	Pressão* (hPa)	Vento (m/s)	Radiação (W/m²) Solar
09:00	28,2	69	9,00	1005,5	4,2	291,24
10:00	29,6	66	-	1005,6	3,3	401,47
11:00	30,3	61	-	1005,2	4,8	640,88
12:00	30,7	61	-	1004,6	4,1	657,06
13:00	31,7	60	-	1004	4,8	842,35
14:00	30,7	64	-	1003,2	4,1	566,47
15:00	30,2	65	10,00	1002,6	3,9	460,29
16:00	29	69	-	1002,6	3,4	297,35
17:00	28,2	74	-	1003	3	73,74

Tabela HI 4 – Produtividade parcial e total do DSAPC do (C°) experimento em 30/11/2012 – 0,50 cm – 45° e 45°.

Tempo(h)	Temperatura (°C) Bacia (água – E)	Temperatura (°C) Cobertura (vidro – E)	Radiação (W/m²) Solar	Produt, (Kg/m²h) (45°)	Produt, (Kg/m²h) (45°)	Produt, (Kg/m²h) (45°+45°)
09:00	37,67	34,23	291,24	0,00	0,00	0,00
10:00	53,35	46,92	401,47	0,06	0,09	0,16
11:00	58,06	48,96	640,88	0,14	0,17	0,31
12:00	53,83	49,03	657,06	0,13	0,17	0,29
13:00	57,96	47,76	842,35	0,18	0,16	0,34
14:00	52,95	44,32	566,47	0,16	0,12	0,28
15:00	38,12	33,92	460,29	0,09	0,16	0,26
16:00	35,24	32,09	297,35	0,09	0,13	0,22
17:00	32,72	30,77	73,74	0,08	0,09	0,16

Tabela HI 5 – Condições climatológicas médios para os dias - 01/12/2012 – lâmina de água 0,50 cm – 45° e 45°.

Tempo (h)	Temperatura Ambiente* (°C)	Umidade* (%)	Nebulosidade* (Décimo)	Pressão* (hPa)	Vento (m/s)	Radiação (W/m²) Solar
09:00	29,2	65	6,00	1005,1	3,6	523,24
10:00	30,8	60	-	1005,3	3,5	737,35
11:00	30,9	61	-	1005,2	4,1	662,06
12:00	30,9	60	-	1004,9	3,8	676,76
13:00	31,8	56	-	1003,8	4,6	771,18
14:00	31,4	62	-	1002,8	4,7	731,47
15:00	30,5	67	9,00	1002,5	3,8	468,24
16:00	28,3	80	-	1002,2	1,5	214,06
17:00	28,2	77	-	1002,4	3,3	168,65

Tabela HI 6 – Produtividade parcial e total do DSAPC do (C°) experimento em 01/12/2012 – 0,50 cm – 45° e 45°.

Tempo(h)	Temperatura (°C) Bacia (água – E)	Temperatura (°C) Cobertura (vidro – E)	Radiação (W/m²) Solar	Produt, (Kg/m²h) (45°)	Produt, (Kg/m²h) (45°)	Produt, (Kg/m²h) (45°+45°)
09:00	37,67	34,23	523,24	0,00	0,00	0,00
10:00	53,35	46,92	737,35	0,07	0,08	0,15
11:00	58,06	48,96	662,06	0,18	0,16	0,34
12:00	53,83	49,03	676,76	0,22	0,17	0,39
13:00	57,96	47,76	771,18	0,25	0,29	0,54
14:00	52,95	44,32	731,47	0,28	0,25	0,53
15:00	38,12	33,92	468,24	0,22	0,13	0,35
16:00	35,24	32,09	214,06	0,13	0,12	0,24
17:00	32,72	30,77	168,65	0,09	0,06	0,15

Tabela HI 7 – Condições climatológicas médios para os dias - 26/11/2012 – lâmina de água 1,0 cm – 45° e 45°.

Tempo (h)	Temperatura Ambiente* (°C)	Umidade* (%)	Nebulosidade* (Décimo)	Pressão* (hPa)	Vento (m/s)	Radiação (W/m²) Solar
09:00	28,9	69	6	1005,9	4,1	421,94
10:00	30,2	65	-	1006,1	4,1	598,89
11:00	30,3	64	-	1006,1	4,2	493,61
12:00	31,8	61	-	1004,9	5,0	800,83
13:00	31,3	60	-	1004,5	4,2	731,39
14:00	31,4	63	-	1003,7	3,9	469,44
15:00	31,0	63	1	1003,1	4,6	588,06
16:00	30,1	68	-	1002,6	4,3	511,11
17:00	29,0	73	-	1002,5	3,6	272,31

Tabela HI 8 – Produtividade parcial e total do DSAPC do (C°) experimento em 26/11/2012 – 1,0 cm – 45° e 45°,

Tempo(h)	Temperatura (°C) Bacia (água – E)	Temperatura (°C) Cobertura (vidro – E)	Radiação (W/m²) Solar	Produt, (Kg/m²h) (45°)	Produt, (Kg/m²h) (45°)	Produt, (Kg/m²h) (45°+45°)
09:00	35,56	32,92	421,94	0,00	0,00	0,00
10:00	41,38	35,76	598,89	0,06	0,14	0,20
11:00	47,18	37,54	493,61	0,09	0,19	0,28
12:00	51,28	44,34	800,83	0,09	0,17	0,27
13:00	55,29	51,98	731,39	0,15	0,34	0,49
14:00	57,05	49,79	469,44	0,18	0,39	0,57
15:00	54,9	46,61	588,06	0,16	0,34	0,51
16:00	50,91	44,17	511,11	0,14	0,29	0,43
17:00	48,91	42,85	272,31	0,11	0,25	0,36

Tabela HI 9 – Condições climatológicas médios para os dias - 27/11/2012 – lâmina de água 1,0 cm – 45° e 45°.

Tempo (h)	Temperatura Ambiente* (°C)	Umidade * (%)	Nebulosidade* (Décimo)	Pressão* (hPa)	Vento (m/s)	Radiação (W/m²) Solar
09:00	28,9	69	5	1006,1	3,4	393,89
10:00	30,6	62	-	1006,2	3,6	617,78
11:00	31,0	59	-	1005,6	4,1	698,61
12:00	31,9	57	-	1004,5	3,7	858,61
13:00	33,0	55	-	1003,4	3,5	917,50
14:00	31,0	64	-	1002,4	4,3	679,17
15:00	30,8	65	3	1001,7	4,2	605,28
16:00	30,1	68	-	1001,3	4,2	480,56
17:00	28,9	72	-	1001,3	3,4	269,69

Tabela HI 10 – Produtividade parcial e total do DSAPC do (C°) experimento em 27/11/2012 – 1,0 cm – 45° e 45°.

Tempo(h)	Temperatura (°C) Bacia (água – E)	Temperatura (°C) Cobertura (vidro – E)	Radiação (W/m²) Solar	Produt, (Kg/m²h) (45°)	Produt, (Kg/m²h) (45°)	Produt, (Kg/m²h) (45°+45°)
09:00	50,12	43,68	393,89	0,00	0,00	0,00
10:00	58,4	54,59	617,78	0,17	0,12	0,29
11:00	62,16	56,61	698,61	0,20	0,14	0,34
12:00	69,06	57,67	858,61	0,25	0,34	0,59
13:00	65,05	54,75	917,50	0,36	0,31	0,67
14:00	58,07	49,21	679,17	0,31	0,30	0,61
15:00	46,16	42,04	605,28	0,36	0,35	0,71
16:00	39,24	36,71	480,56	0,20	0,22	0,42
17:00	37,43	35,28	269,69	0,17	0,18	0,36

Tabela HI 11 – Condições climatológicas médios para os dias - 28/11/2012 – lâmina de água 1,0 cm – 45° e 45°.

Tempo (h)	Temperatura Ambiente* (°C)	Umidade* (%)	Nebulosidade* (Décimo)	Pressão* (hPa)	Vento (m/s)	Radiação Solar (W/m²)
09:00	29,7	66	5	1004,1	4,1	420,56
10:00	30,2	64	-	1004,5	3,9	534,44
11:00	31,2	61	-	1004,1	4,1	694,17
12:00	31,8	59	-	1003,4	3,9	804,17
13:00	32,2	60	-	1002,7	3,5	764,17
14:00	31,2	65	-	1002	4,4	654,44
15:00	30,6	68	3	1001,2	4,3	501,67
16:00	30,0	70	-	1001,2	4,2	410,83
17:00	28,8	74	-	1001,3	4,3	213,00

Tabela HI 12 – Produtividade parcial e total do DSAPC do (C°) experimento em 28/11/2012 – 1,0 cm – 45° e 45°.

Tempo(h)	Temperatura (°C) Bacia (água – E)	Temperatura (°C) Cobertura (vidro – E)	Radiação (W/m²) Solar	Produt, (Kg/m²h) (45°)	Produt, (Kg/m²h) (45°)	Produt, (Kg/m²h) (45°+45°)
09:00	35,11	34,21	420,56	0,00	0,00	0,00
10:00	42,85	39,28	534,44	0,11	0,08	0,20
11:00	56,62	51,32	694,17	0,15	0,14	0,29
12:00	53,09	49,71	804,17	0,21	0,23	0,44
13:00	65,60	56,82	764,17	0,27	0,22	0,48
14:00	63,85	55,20	654,44	0,24	0,23	0,47
15:00	54,77	48,88	501,67	0,23	0,24	0,47
16:00	40,54	36,11	410,83	0,12	0,15	0,27
17:00	36,91	34,34	213,00	0,13	0,15	0,28

Tabela HI 13 – Condições climatológicas médios horário para todos os dias - lâmina de água de 1,00 e 0,50 cm – 45° e 45°.

Tempo (h)	Temperatura Ambiente* (°C)	Umidade* (%)	Nebulosidade* (Décimo)	Vento (m/s)	Radiação (W/m²) Solar
09:00	28,72	69,33	7,00	3,75	379,87
10:00	30,07	64,00	-	3,67	565,63
11:00	30,60	62,00	-	4,23	606,75
12:00	31,42	59,67	-	4,00	747,51
13:00	31,92	59,00	-	3,93	791,39
14:00	31,10	64,00	-	4,23	603,79
15:00	30,45	66,33	6,00	4,23	519,95
16:00	29,33	71,67	-	3,57	348,12
17:00	28,45	74,67	-	3,60	172,21

Tabela HI 14 – Produtividade médios horário total do DSAPC do (C°) – 45° e 45°.

Tempo(h)	Temperatura (°C) Bacia (água – E)	Temperatura (°C) Cobertura (vidro – E)	Radiação (W/m²) Solar	Produt, (Kg/m²h) (45°)	Produt, (Kg/m²h) (45°)	Produt, (Kg/m²h) (45°+45°)
09:00	37,98	35,02	379,87	0,00	0,00	0,00
10:00	49,49	41,35	565,63	0,09	0,10	0,19
11:00	56,38	44,75	606,75	0,14	0,19	0,33
12:00	56,54	50,58	747,51	0,20	0,23	0,43
13:00	61,23	52,47	791,39	0,27	0,27	0,54
14:00	58,49	50,20	603,79	0,22	0,25	0,47
15:00	47,35	41,13	519,95	0,21	0,24	0,45
16:00	40,97	38,23	348,12	0,14	0,18	0,31
17:00	37,46	34,31	172,21	0,11	0,14	0,25

APÊNDICES IX - Tabela geral da produtividade médios diários.

Tabela II 1 – Produtividades diária dos dessalinizadores solares simétricos e assimétricos

Experimentos	Dessalinizador solar (20° e 45°)	Dessalinizador solar (30° e 55°)	Dessalinizador solar (45° e 45°)	Dessalinizador solar (20° e 20°)
1	2.75	1,5	3,1	2,45
2	4.20	2,79	3,97	3,02
3	3.53	3,16	2,9	2,97
4	3.73	1,52	3,11	2,58
5	3.11	1,94	2	2,89
6	2.62	2,56	2,69	2,84
Total	19,94	13,47	17,77	16,75
Média	3,32	2,25	2,96	2,79

Tabela II 2 – Temperatura Ambiente dos experimentos

	MeanDiff	SEM	q Value	Prob	Alpha	Sig	LCL	UCL
T1P2 T1P1	-1.31111	0.59156	3.13439	0.39181	0.05	0	-3.35919	0.73697
T2P1 T1P1	-0.84815	0.59156	2.02761	0.82925	0.05	0	-2.89623	1.19993
T2P1 T1P2	0.46296	0.59156	1.10677	0.99177	0.05	0	-1.58512	2.51104
T2P2 T1P1	-0.58148	0.59156	1.39011	0.97059	0.05	0	-2.62956	1.4666
T2P2 T1P2	0.72963	0.59156	1.74428	0.90985	0.05	0	-1.31845	2.77771
T2P2 T2P1	0.26667	0.59156	0.6375	0.99974	0.05	0	-1.78141	2.31475
T3P1 T1P1	0.48889	0.59156	1.16875	0.98872	0.05	0	-1.55919	2.53697
T3P1 T1P2	1.8	0.59156	4.30314	0.10734	0.05	0	-0.24808	3.84808
T3P1 T2P1	1.33704	0.59156	3.19636	0.36963	0.05	0	-0.71104	3.38512
T3P1	1.07037	0.59156	2.55886	0.62319	0.05	0	-0.97771	3.11845

T2P2								
T3P2 T1P1	0.58148	0.59156	1.39011	0.97059	0.05	0	-1.4666	2.62956
T3P2 T1P2	1.89259	0.59156	4.52449	0.08116	0.05	0	-0.15549	3.94067
T3P2 T2P1	1.42963	0.59156	3.41772	0.29681	0.05	0	-0.61845	3.47771
T3P2 T2P2	1.16296	0.59156	2.78022	0.53053	0.05	0	-0.88512	3.21104
T3P2 T3P1	0.09259	0.59156	0.22135	1	0.05	0	-1.95549	2.14067
T4P1 T1P1	0.34444	0.59156	0.82344	0.99865	0.05	0	-1.70364	2.39252
T4P1 T1P2	1.65556	0.59156	3.95783	0.16318	0.05	0	-0.39252	3.70364
T4P1 T2P1	1.19259	0.59156	2.85105	0.50148	0.05	0	-0.85549	3.24067
T4P1 T2P2	0.92593	0.59156	2.21355	0.763	0.05	0	-1.12215	2.97401
T4P1 T3P1	-0.14444	0.59156	0.34531	1	0.05	0	-2.19252	1.90364
T4P1 T3P2	-0.23704	0.59156	0.56667	0.99988	0.05	0	-2.28512	1.81104
T4P2 T1P1	-0.37778	0.59156	0.90313	0.99759	0.05	0	-2.42586	1.6703
T4P2 T1P2	0.93333	0.59156	2.23126	0.75626	0.05	0	-1.11475	2.98141
T4P2 T2P1	0.47037	0.59156	1.12448	0.99098	0.05	0	-1.57771	2.51845
T4P2 T2P2	0.2037	0.59156	0.48698	0.99996	0.05	0	-1.84438	2.25178
T4P2 T3P1	-0.86667	0.59156	2.07188	0.81431	0.05	0	-2.91475	1.18141
T4P2 T3P2	-0.95926	0.59156	2.29324	0.73217	0.05	0	-3.00734	1.08882
T4P2	-0.72222	0.59156	1.72657	0.91395	0.05	0	-2.7703	1.32586

Tabela II 2 – Temperatura Ambiente dos experimentos para profundidade 1.00cm e 0.50cm

	Tamanho da Amostra	Mean	Standard Deviation	SE of Mean
T1P1	3	30,24444	0,43773	0,25272
T1P2	3	28,93333	1,77246	1,02333
T2P1	3	29,3963	0,68964	0,39816
T2P2	3	29,66296	0,40526	0,23398
T3P1	3	30,73333	0,19752	0,11404
T3P2	3	30,82593	0,2278	0,13152
T4P1	3	30,58889	0,12814	0,07398
T4P2	3	29,86667	0,34498	0,19918

Tabela II 2 –Anova geral

	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Prob>F
Model	7	9,75646	1,39378	2,65521	0,05013
Error	16	8,39877	0,52492		
Total	23	18,15523			

Tabela II 3 – Homogeneidade e teste de variância

	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Prob>F
Model	7	2,63435	0,37634	2,44101	0,06606
Error	16	2,46675	0,15417		

Tabela II 4 – Produtividade dos dessalinizadores

	MeanDiff	SEM	q Value	Prob	Alpha	Sig	LCL	UCL
C1P2 C1P1	-0.34	0.46853	1.02625	0.99474	0.05	0	-1.96213	1.28213
C2P1 C1P1	-1.01	0.46853	3.04856	0.42369	0.05	0	-2.63213	0.61213
C2P1 C1P2	-0.67	0.46853	2.02231	0.83101	0.05	0	-2.29213	0.95213
C2P2 C1P1	-1.48667	0.46853	4.48732	0.08511	0.05	0	-3.1088	0.13547
C2P2 C1P2	-1.14667	0.46853	3.46107	0.28377	0.05	0	-2.7688	0.47547
C2P2 C2P1	-0.47667	0.46853	1.43876	0.96478	0.05	0	-2.0988	1.14547
C3P1 C1P1	-0.17	0.46853	0.51312	0.99994	0.05	0	-1.79213	1.45213
C3P1 C1P2	0.17	0.46853	0.51312	0.99994	0.05	0	-1.45213	1.79213
C3P1 C2P1	0.84	0.46853	2.53543	0.63302	0.05	0	-0.78213	2.46213
C3P1 C2P2	1.31667	0.46853	3.97419	0.16006	0.05	0	-0.30547	2.9388
C3P2 C1P1	-0.89333	0.46853	2.69641	0.56541	0.05	0	-2.51547	0.7288
C3P2 C1P2	-0.55333	0.46853	1.67017	0.92624	0.05	0	-2.17547	1.0688
C3P2 C2P1	0.11667	0.46853	0.35214	0.99999	0.05	0	-1.50547	1.7388
C3P2 C2P2	0.59333	0.46853	1.7909	0.89851	0.05	0	-1.0288	2.21547
C3P2 C3P1	-0.72333	0.46853	2.18329	0.77437	0.05	0	-2.34547	0.8988
C4P1 C1P1	-0.68	0.46853	2.05249	0.82093	0.05	0	-2.30213	0.94213
C4P1	-0.34	0.46853	1.02625	0.99474	0.05	0	-1.96213	1.28213

C1P2								
C4P1	0.33	0.46853	0.99606	0.99561	0.05	0	-1.29213	1.95213
C2P1								
C4P1	0.80667	0.46853	2.43482	0.67492	0.05	0	-0.81547	2.4288
C2P2								
C4P1	-0.51	0.46853	1.53937	0.95032	0.05	0	-2.13213	1.11213
C3P1								
C4P1	0.21333	0.46853	0.64392	0.99972	0.05	0	-1.4088	1.83547
C3P2								
C4P2	-0.72333	0.46853	2.18329	0.77437	0.05	0	-2.34547	0.8988
C1P1								
C4P2	-0.38333	0.46853	1.15704	0.98935	0.05	0	-2.00547	1.2388
C1P2								
C4P2	0.28667	0.46853	0.86527	0.99816	0.05	0	-1.33547	1.9088
C2P1								
C4P2	0.76333	0.46853	2.30403	0.72791	0.05	0	-0.8588	2.38547
C2P2								
C4P2	-0.55333	0.46853	1.67017	0.92624	0.05	0	-2.17547	1.0688
C3P1								
C4P2	0.17	0.46853	0.51312	0.99994	0.05	0	-1.45213	1.79213
C3P2								

Tabela II 5 – (ANOVA GERAL) Produtividade

	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Prob>F
Model	7	4.9283	0.70404	2.13808	0.09866
Error	16	5.2686	0.32929		
Total	23	10.1969			

Tabela II 6 – Homogeneidade e teste de variância produtividade

	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Prob>F
Model	7	0.52524	0.07503	1.06313	0.42924
Error	16	1.12927	0.07058		

Tabela II 7 – Produtividade dos experimentos para profundidade 1.00cm e 0.50cm

	Sample Size	Mean	Standard Deviation	SE of Mean
C1P1	3	3.49333	0.7257	0.41898
C1P2	3	3.15333	0.55627	0.32116
C2P1	3	2.48333	0.87145	0.50313
C2P2	3	2.00667	0.5232	0.30207
C3P1	3	3.32333	0.56889	0.32845
C3P2	3	2.6	0.56045	0.32357
C4P1	3	2.81333	0.31565	0.18224
C4P2	3	2.77	0.16643	0.09609

Tabela II – Estatística da Radiação

	MeanDiff	SEM	q Value	Prob	Alpha	Sig	LCL	UCL
T1P2 T1P1	-1.31111	0.59156	3.13439	0.39181	0.05	0	-3.35919	0.73697
T2P1 T1P1	-0.84815	0.59156	2.02761	0.82925	0.05	0	-2.89623	1.19993
T2P1 T1P2	0.46296	0.59156	1.10677	0.99177	0.05	0	-1.58512	2.51104
T2P2 T1P1	-0.58148	0.59156	1.39011	0.97059	0.05	0	-2.62956	1.4666
T2P2 T1P2	0.72963	0.59156	1.74428	0.90985	0.05	0	-1.31845	2.77771
T2P2 T2P1	0.26667	0.59156	0.6375	0.99974	0.05	0	-1.78141	2.31475
T3P1 T1P1	0.48889	0.59156	1.16875	0.98872	0.05	0	-1.55919	2.53697
T3P1 T1P2	1.8	0.59156	4.30314	0.10734	0.05	0	-0.24808	3.84808
T3P1 T2P1	1.33704	0.59156	3.19636	0.36963	0.05	0	-0.71104	3.38512

T3P1 T2P2	1.07037	0.59156	2.55886	0.62319	0.05	0	-0.97771	3.11845
T3P2 T1P1	0.58148	0.59156	1.39011	0.97059	0.05	0	-1.4666	2.62956
T3P2 T1P2	1.89259	0.59156	4.52449	0.08116	0.05	0	-0.15549	3.94067
T3P2 T2P1	1.42963	0.59156	3.41772	0.29681	0.05	0	-0.61845	3.47771
T3P2 T2P2	1.16296	0.59156	2.78022	0.53053	0.05	0	-0.88512	3.21104
T3P2 T3P1	0.09259	0.59156	0.22135	1	0.05	0	-1.95549	2.14067
T4P1 T1P1	0.34444	0.59156	0.82344	0.99865	0.05	0	-1.70364	2.39252
T4P1 T1P2	1.65556	0.59156	3.95783	0.16318	0.05	0	-0.39252	3.70364
T4P1 T2P1	1.19259	0.59156	2.85105	0.50148	0.05	0	-0.85549	3.24067
T4P1 T2P2	0.92593	0.59156	2.21355	0.763	0.05	0	-1.12215	2.97401
T4P1 T3P1	-0.14444	0.59156	0.34531	1	0.05	0	-2.19252	1.90364
T4P1 T3P2	-0.23704	0.59156	0.56667	0.99988	0.05	0	-2.28512	1.81104
T4P2 T1P1	-0.37778	0.59156	0.90313	0.99759	0.05	0	-2.42586	1.6703
T4P2 T1P2	0.93333	0.59156	2.23126	0.75626	0.05	0	-1.11475	2.98141
T4P2 T2P1	0.47037	0.59156	1.12448	0.99098	0.05	0	-1.57771	2.51845
T4P2 T2P2	0.2037	0.59156	0.48698	0.99996	0.05	0	-1.84438	2.25178
T4P2 T3P1	-0.86667	0.59156	2.07188	0.81431	0.05	0	-2.91475	1.18141
T4P2 T3P2	-0.95926	0.59156	2.29324	0.73217	0.05	0	-3.00734	1.08882
T4P2 T4P1	-0.72222	0.59156	1.72657	0.91395	0.05	0	-2.7703	1.32586

Tabela II 9 – ANOVA (ANOVA GERAL) Radiação

	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Prob>F
Model	7	14791.10396	2113.01485	1.02376	0.45205
Error	16	33023.7464	2063.98415		
Total	23	47814.85036			

Homogeneidade e teste de variância radiação

	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Prob>F
Model	7	2601.23898	371.60557	1.02061	0.45391
Error	16	5825.59631	364.09977		

Tabela II 10 - Radiação dos experimentos para profundidade 1.00cm e 0.50cm

	Sample Size	Mean	Standard Deviation	SE of Mean
R1P1	3	536.33	39.22881	22.64876
R1P2	3	533.41667	69.50789	40.1304
R2P1	3	525.95667	53.47473	30.87365
R2P2	3	546.54	20.89085	12.06134
R3P1	3	579.62333	48.16892	27.81034
R3P2	3	543.06667	29.5605	17.06676
R4P1	3	497.30333	50.77427	29.31454
R4P2	3	575.65333	32.7652	18.91699

±

Tabela II 11 – Dados experimentais da temperatura da bacia do DSAPC(20° e 45°)

T(h)	Tf1(C)	Tf2(C)	Tce(C)	T(h)	Tf1(°C)	Tf2(C)	Tce(C)	T(h)	Tf1(C)	Tf2(C)	Tce(C)
0	87.53	86.08	84.13	24	112.63	109.06	93.24	48	107.58	104.06	98.41
1	87.78	86.31	84.37	25	113.82	110.6	94.44	49	108.88	105.14	99.79
2	91.8	89.88	88.44	26	114.22	110.74	95.8	50	110.53	106.63	101.45
3	94.41	92.03	90.88	27	114.97	111.66	96.36	50	110.53	106.63	101.45
4	91.04	88.86	87.38	28	115.7	112.25	97.11	51	111.81	107.6	102.48
5	87.58	85.86	83.79	29	106.51	103.54	95.59	52	112.98	109.04	103.1
6	84.57	82.93	80.69	30	104.02	100.91	95.45	53	113.76	109.8	104.18
7	85.89	84.08	82.04	31	106.96	103.44	98.14	54	112.12	108.45	104.04
8	87.43	87.45	82.74	32	109.17	105.33	99.69	55	112.36	108.92	104.64
9	89.37	89.38	85.3	33	110.9	107.22	100.86	56	114.03	110.12	105.15
10	89.6	88.83	85.23	34	111.78	108.1	101.82	57	115.13	111.14	106.1
11	91.31	90.32	80.44	35	112.38	108.55	102.61	58	115.94	111.7	106.92
12	84.56	84.12	77.86	36	113.24	109.27	104.95	59	116.1	111.99	111.02
13	82.47	81.73	76.25	37	108.99	106.1	101.46	60	115.83	112.2	112.36
14	84.46	83.98	77.65	38	105.58	102.98	99.34	61	116.24	112.35	112.45
15	87.9	87.83	80.17	39	101.65	99.51	98.09	62	117.2	113.11	113.72
16	91.38	96.19	82.86	40	98.49	96.1	97.89	63	118.04	114.11	114.31
17	92.65	98.14	83.51	41	99.13	96.56	94.39	64	118.71	114.54	114.68
18	97.19	99.15	85.57	42	100.6	97.95	93.76	65	119.38	115	114.3
19	101.45	101.49	87.29	43	95.5	93.74	89.94	66	120.07	115.7	114.02
20	107.22	103.47	88.58	44	97.25	94.47	91.1	67	120.58	115.75	114.47
21	107.22	104.44	89.33	45	101.76	98.04	94.19	68	120.45	115.98	114.4
22	109.56	106.3	91.03	46	104.31	100.72	96.29	69	120.34	116.17	114.05
23	111.56	107.98	92.51	47	106.13	102.38	97.44	70	119.69	115.57	113.64
71	119.21	115.39	113.19	94	113.34	108.54	106.27	117	82.37	80.63	78.49
72	119.36	115.29	113.2	95	114.13	109.39	107.05	118	80.6	79.08	76.88
73	114.14	111.34	108.81	96	113.41	109.48	106.69	119	79.03	77.4	76.57
74	109.48	107.39	104.31	97	106.69	104.34	101.78	120	77.76	76.14	78.27
75	110.78	107.51	105.02	98	106.96	103.43	100.87	121	77.28	75.37	78.65
76	112.65	108.92	106.57	99	111.1	106.23	104.05	122	80.35	77.56	77.91
77	113.16	108.9	107.11	100	110.95	106.51	104.34	123	83.44	80.12	79.55
78	114.8	110.12	108.42	101	109.42	105.77	103.46	124	85.21	81.88	81.07
79	116.21	111.42	109.64	102	103.48	101.21	98.76	125	86.38	83.38	82.79
80	113.37	109.55	107.54	103	103.59	100.36	97.72	126	87.7	84.93	83.46
81	109.55	106.49	103.95	104	107.7	103.13	100.78	127	88.77	85.95	86.54
82	112.86	108.71	106.44	105	109.16	105.02	102.19	128	88.92	85.61	84.39

83	113.69	109.5	107.42	106	104.44	101.77	99.2	129	88.7	86.38	84.79
84	107.37	104.67	102.37	107	103.04	100.09	97.4	130	85.09	83.63	80.87
85	108.71	105.22	102.56	108	105.44	101.49	98.87	131	82.44	80.99	78.35
86	112	107.47	105.39	109	105.02	101.21	98.58	132	80.95	79.13	76.78
87	113.13	108.8	106.61	110	101.27	98.71	96.07	133	79.53	77.63	75.49
88	107.49	104.77	102.39	111	97.95	95.79	93.24	134	76.89	75.63	73.29
89	107.24	103.67	101.33	112	94.38	92.69	90.09	135	74.93	73.82	71.58
90	107.03	103.21	101.04	113	91.57	89.75	87.26	136	73.33	72.21	72.02
91	109.15	104.89	102.61	114	88.97	87.26	84.8	137	72.19	70.65	73.97
92	110.7	105.91	103.98	115	86.63	84.91	82.51	138	72.23	70.27	71.98
93	112.02	107.43	105.09	116	84.42	82.68	80.47	139	76.46	73.58	73.87
140	79.19	76.26	75.99	165	90.93	90.8	87.59	190	85	87.5	86.86
141	81.3	78.23	77.74	166	89.73	91.03	89.31	191	85.29	87.96	86.81
142	82.53	79.69	81.18	167	89.81	91.13	89.75	192	85.37	88.8	87.1
143	80.25	78.49	76.7	168	90.13	91.37	90	193	85.57	88.86	87.42
144	80.22	78.28	76.05	169	89.89	91.69	91.19	194	85.61	89.59	87.18
145	83.56	80.79	78.83	170	89.01	90.51	90.77	195	87.78	89.76	87.04
146	85.41	82.74	79.73	171	87.91	88.64	88.96	196	89.28	89.92	87.03
147	86.68	84.29	81.22	172	88.9	89.73	90.17	197	89.58	90.15	87.3
148	87.67	85.15	82.18	173	89.07	90.28	91.35	198	89.46	90.52	87.72
149	88.45	86.37	83.14	174	89.47	90.91	92.23	199	89.32	90.44	87.6
150	89.24	87.31	83.85	175	87.66	89.22	91.35	200	87.97	90	91.46
151	89.95	87.88	84.61	176	88.25	89.81	91.47	201	88.33	90	91.43
152	90.86	88.63	85.54	177	88.97	90.5	91.33	202	88	90.06	90.02
153	91.61	89.16	86.13	178	89.54	90.96	92.45	203	87.96	90.25	89.54
154	92.67	90.24	87.11	179	90.26	91.21	93.16	204	88.3	90.26	91.79
155	93.52	91.23	87.77	180	90.39	91.34	92.49	205	88.26	90.56	92.3
156	94.35	92.26	88.64	181	91.31	91.38	92.52	206	87.94	89.85	92.66
157	95.42	93.29	89.71	182	91.19	91.47	92.53	207	87.61	89.65	91.82
158	96.36	94.11	90.71	183	90.95	91.13	92.23	208	87.7	89.39	91.39
159	96.68	94.88	91.29	184	90.3	90.98	92.14	209	87.82	88.99	91.16
160	96.32	94.61	90.95	185	89.63	90.93	92.13	210	86.92	88.84	89.44
161	93.14	92.16	89.09	186	88.96	90.47	91.9	211	86.66	88.47	87.79
162	88.98	89.09	86.33	187	85.77	86.88	89.62	212	86.3	88.12	86.98
163	90.05	89.47	86.4	188	84.61	85.63	87.61	213	85.87	87.16	86.9
164	90.88	90.47	86.98	189	84.76	86.83	86.84	214	85.52	86.57	85.25
215	84.79	85.78	84.54	237	76.59	77.48	77.99	244	75.4	76.47	76.08
216	84.02	85.42	84.47	238	77.1	77.44	77.67	245	75	76.15	76.11

217	83.71	85.24	84.61	239	76.49	77.61	78.06	246	74.87	75.73	76.26
218	84.17	85.21	83.41	240	76.71	77.67	78.01	247	73.97	75.71	77.5
219	84.05	85.02	83.04	241	76.67	77.49	77.47	248	74.44	75.19	76.52
220	83.93	84.78	83.29	242	76.32	77	77	249	74.23	74.92	75.69
221	83.89	84.81	82.76	243	75.8	76.54	76.41	250	74.1	74.53	75.67
222	83.54	84.53	81.86	244	75.4	76.47	76.08	251	74.04	74.17	75.62
223	83.26	84.46	81.44	245	75	76.15	76.11	252	73.56	73.96	75.42
224	82.9	83.95	81.14	246	74.87	75.73	76.26	253	73.21	73.38	75.65
225	82.52	83.69	80.76	247	73.97	75.71	77.5	254	72.87	72.44	76.18
226	82.17	83.24	80.35	248	74.44	75.19	76.52	255	72.36	71.68	76.39
227	81.8	83	79.86	249	74.23	74.92	75.69	244	75.4	76.47	76.08
228	81.49	82.65	79.41	250	74.1	74.53	75.67	245	75	76.15	76.11
229	81.13	82.2	79.07	251	74.04	74.17	75.62	246	74.87	75.73	76.26
230	80.74	81.81	79.75	252	73.56	73.96	75.42	247	73.97	75.71	77.5
231	80.43	81.55	82.34	253	73.21	73.38	75.65	248	74.44	75.19	76.52
232	79.74	81.11	82.7	254	72.87	72.44	76.18	249	74.23	74.92	75.69
233	79.36	81.07	80.9	255	72.36	71.68	76.39	250	74.1	74.53	75.67
234	78.84	80.33	80.03	240	76.71	77.67	78.01	251	74.04	74.17	75.62
235	78.14	79.48	79.69	241	76.67	77.49	77.47	252	73.56	73.96	75.42
236	77.32	78.2	78.66	242	76.32	77	77	253	73.21	73.38	75.65
237	76.59	77.48	77.99	243	75.8	76.54	76.41	254	72.87	72.44	76.18
255	72.36	71.68	76.39	258	70.81	70.16	73.16	261	69.72	69.03	72.02
256	71.82	70.98	74.54	259	70.54	69.92	72.95	262	69.19	68.26	71.46
257	71.33	70.63	73.73	260	70.18	69.56	72.74	M	93.58	92.29	90.09

Tabela II 12 – Dados experimentais da temperatura da bacia do DSAPC(20° e 45°)

N	T(°C)	N	T(°C)	N	T(°C)	N	T(°C)	N	T(°C)	N	T(°C)
1	76,45	37	105,9	73	95,85	109	97,48	145	87,65	181	82,27
2	82,9	38	106,37	74	97,46	110	95,78	146	87,28	182	83,28
3	85,68	39	106,31	75	98,55	111	92,67	147	85,9	183	83,21
4	86,01	40	106,3	76	99,81	112	91,19	148	85,48	184	82,64
5	88,75	41	106,63	77	98,88	113	90,79	149	84,8	185	82,71
6	89,89	42	105,88	78	97,95	114	92,85	150	83,87	186	79,72
7	91,8	43	105,95	79	98,72	115	93,83	151	83,86	187	79,67
8	93,61	44	101,84	80	97,86	116	95,14	152	83,45	188	80,41
9	95,3	45	98,03	81	97,42	117	96,21	153	82,39	189	79,69
10	96,68	46	98,17	82	98,04	118	94,72	154	80,91	190	77,73
11	98,21	47	95,17	83	100,06	119	92,1	155	79,74	191	75,64
12	95,97	48	96,39	84	98,97	120	94,36	156	78,43	192	74,56
13	99,4	49	95,61	85	98,13	121	95,33	157	78,8	193	77
14	98,68	50	91,42	86	94,89	122	93,08	158	79,64	194	78,14
15	94,6	51	88,73	87	93,05	123	92,65	159	80,33	195	78,05
16	99	52	86,9	88	94,98	124	90,77	160	80,34	196	77,6
17	99,85	53	91,26	89	97,98	125	92,44	161	80,59	197	75,68
18	100,44	54	89,39	90	98,28	126	92,9	162	80,63	198	74,41
19	101,09	55	90,88	91	97,53	127	92,03	163	79,7	199	75,77
20	100,58	56	87,33	92	99	128	93,61	164	79,51	200	75,14
21	100,81	57	89,86	93	100,08	129	94,21	165	80,54	201	73,8
22	102,49	58	92,27	94	99,88	130	94,36	166	81,14	202	73,5
23	103,3	59	91,73	95	100,75	131	94,14	167	80,94	203	73,85
24	101,55	60	89,06	96	97,3	132	94,74	168	81,3	204	74,36
25	102,34	61	90,53	97	98,57	133	94,84	169	81,57	205	74,39
26	103,14	62	88,69	98	99,9	134	95,2	170	81,9	206	74,4
27	103,91	63	91,05	99	100,67	135	93,73	171	81,65	207	73,49
28	103,92	64	89,82	100	100,87	136	92,48	172	81,77	208	74,36
29	103,52	65	91,53	101	101,44	137	93,97	173	80,6	209	76,21
30	104,66	66	92,91	102	102,79	138	94,4	174	85,6	210	77,03
31	104,55	67	91,76	103	101,35	139	95,17	175	87,97	211	77,71
32	105,31	68	94,67	104	100,72	140	94,38	176	86,97	212	78,02
33	105,53	69	94,29	105	99,22	141	92,55	177	84,36	213	76,44
34	105,07	70	94,37	106	97,27	142	91,94	178	82,65	214	77,36
35	105,23	71	93,8	107	96,85	143	90,49	179	81,01	215	77,03
36	105,16	72	94,49	108	96,82	144	88,67	180	81,45	216	77,76

217	77,96	231	66,21	245	57,57	259	55,27	273	51,4	277	51,07
218	77,99	232	65,18	246	57,16	260	55,06	274	51,25	278	51,01
219	78	233	64,74	247	57,12	261	55	275	51,31	279	50,78
220	77,95	234	64,05	248	56,64	262	55,06	276	51,23	280	50,7
221	77,32	235	63,54	249	55,95	263	54,91	277	51,07	281	50,61
222	75,75	236	62,86	250	55,57	264	55,01	278	51,01	282	50,51
223	74,34	237	62,14	251	55,32	265	54,72	279	50,78	-	83,54
224	72,74	238	61,61	252	54,95	266	54,68	280	50,7	-	-
225	71,39	239	61,02	253	54,66	267	54,21	281	50,61	-	-
226	70,19	240	60,37	254	54,51	268	53,44	282	50,51	-	-
227	69,3	241	59,64	255	54,62	269	52,88	273	51,4	-	-
228	68,04	242	59,03	256	54,78	270	52,14	274	51,25	-	-
229	67,8	243	58,48	257	55,03	271	51,71	275	51,31	-	-
230	67,06	244	58,08	258	55,03	272	51,63	276	51,23	-	-

APÊNDICES X – J - Dados experimentais do Coletor Parabólico composto (CPC)

Tabela 1. Dados Metrológicos de São Luís – Maranhão : -24/02/12- Fonte- INMET

Tempo (h)	Temperatura (°C)	Umidade (%)	Pressão (hPa)	Vento (m/s)	Radiação (W/m²)	Nebulosidade (Décimos)
07:00	24,8	93	1002,7	2	42,69	-
08:00	25,6	89	1003,6	3,1	217,36	-
09:00	26,9	87	1004,4	3,2	343,89	8
10:00	26,9	85	1004,8	3,8	298,05	-
11:00	27,6	82	1004,6	3,5	570	-
12:00	27,9	84	1003,9	3,9	801,67	-
13:00	28,6	81	1002,9	4	898,61	-
14:00	28,8	82	1002,1	4	757,5	-
15:00	28,5	81	1002	4,1	746,67	8
16:00	27,8	85	1001,8	3,7	313,05	-
17:00	27,5	89	1001,9	2,7	155,35	-
18:00	27	89	1001,9	2,5	60	-

Tabela JI 02 – Dados Meteorológicos de São Luís – Maranhão :16/12/2012 – Fonte - INMET

Tempo (h)	Temperatura (°C)	Umidade (%)	Pressão (hPa)	Vento (m/s)	Radiação (W/m²)	Nebulosidade (Décimos)
07:00	27,3	83	1003,6	0,9	61,92	-
08:00	28,2	77	1004,3	3,8	155,67	-
09:00	29,4	72	1004,7	3,2	300,56	10
10:00	30,1	69	1004,8	4,1	432,50	-
11:00	30,8	69	1004,6	4,1	468,89	-
12:00	31,0	68	1004,2	4,2	653,06	-
13:00	30,1	72	1004,1	4,7	403,33	-
14:00	30,6	68	1003,2	4,1	505,83	-
15:00	29,9	70	1002,3	4,7	366,39	8
16:00	30,2	68	1002,0	4,9	436,11	-
17:00	29,2	71	1001,9	3,5	240,17	-
18:00	28,1	79	1002,3	3,0	47,83	-

Tabela JI 03 e (JI 04) – Simulação do DSSPC(20° e 20°) e DSSPC(45° e 45°)

Data	T _w	T _v	R	P _w	P _v	h _{c,w-g}	q _{c,w-g}	h _{e,w-g}	q _{e,w-g}	As	Ac	Latente	Dest. Simu	Efic.Simu	ef.Simu	dest.real	efi. Real
10/12/2012	56,200	54,220	544,100	16175,299	14715,984	1,111	2,200	13,326	26,386	0,535	1,402	2372319,320	0,10	12,714	12,714	0,320	38,756
11/12/2012	56,650	49,460	560,320	16524,032	11668,332	1,708	12,278	18,766	134,929	0,535	1,402	2371235,765	0,54	63,134	63,134	0,360	42,319
12/12/2012	59,020	56,300	634,450	18471,004	16252,235	1,235	3,360	16,397	44,601	0,535	1,402	2365529,042	0,18	18,431	18,431	0,430	44,535
13/12/2012	54,130	49,690	577,20	14652,475	11801,761	1,454	6,456	15,192	67,455	0,535	1,402	2377303,673	0,27	30,639	30,639	0,310	35,466
14/12/2012	55,000	52,350	526,10	15276,533	13444,623	1,224	3,245	13,773	36,499	0,535	1,402	2375208,800	0,15	18,189	18,189	0,380	47,656
15/12/2012	53,780	51,360	525,900	14407,765	12811,235	1,188	2,875	12,752	30,860	0,535	1,402	2378146,438	0,12	15,385	15,385	0,300	37,684
Média	55,797	52,230	561,345	15917,851	13449,028	1,320	5,069	15,035	56,788	0,535	1,402	2373290,506	0,226	26,415	26,415	0,350	41,069

45° e 45°

Data	T _w	T _v	R	P _w	P _v	h _{c,w-g}	q _{c,w-g}	h _{e,w-g}	q _{e,w-g}	As	Ac	Latente	Dest. Simu	Efic.Simu	ef.Simu	dest.real	efi. Real
29/11/2012	52,730	47,230	449,130	13694,909	10441,522	1,562	8,588	15,031	82,671	0,535	1,402	2380674,733	0,33	48,259	48,259	0,390	57,424
30/11/2012	47,780	41,720	492,450	10733,098	7881,808	1,613	9,772	12,347	74,821	0,535	1,402	2392593,838	0,30	39,834	39,834	0,250	33,740
01/12/2012	46,650	40,890	550,330	10141,576	7548,419	1,585	9,132	11,615	66,904	0,535	1,402	2395314,765	0,26	31,873	31,873	0,300	36,271
26/11/2012	50,860	44,130	558,210	12501,371	8924,206	1,670	11,239	14,445	97,216	0,535	1,402	2385177,506	0,38	45,660	45,660	0,390	46,290
27/12/2012	54,450	48,360	613,450	14879,377	11048,275	1,616	9,839	16,539	100,720	0,535	1,402	2376533,145	0,40	43,046	43,046	0,440	47,349
28/11/2012	49,930	45,100	555,300	11942,411	9376,713	1,495	7,222	12,925	62,429	0,535	1,402	2387416,853	0,25	29,475	29,475	0,320	38,216
Média	50,400	44,572	536,478	12315,457	9203,491	1,590	9,299	13,817	80,793	0,535	1,402	2386285,140	0,320	39,691	39,691	0,348	43,215

Tabela JI 05 e (JI 06) - Simulação do DSAPC(20° e 45°) e DSAPC(30° e 55°)

20° e 45°

Data	T _w	T _v	R	P _w	P _v	h _{c,w-g}	q _{c,w-g}	h _{e,w-g}	q _{e,w-g}	As	Ac	Latente	Dest. Simu	Efic.Simu	ef.Simu	dest.real	efi. Real
06/01/2012	52,800	50,130	518,630	13741,456	12060,737	1,227	3,277	12,572	33,568	0,535	1,402	2380506,180	0,13	16,969	16,969	0,344	43,860
10/01/2012	59,310	56,160	581,290	18722,436	16144,613	1,297	4,086	17,275	54,417	0,535	1,402	2364830,751	0,22	24,543	24,543	0,525	59,329
06/02/2012	54,920	50,640	509,070	15218,197	12367,119	1,436	6,148	15,571	66,645	0,535	1,402	2375401,432	0,26	34,323	34,323	0,441	57,160
13/01/2012	66,860	59,460	610,860	26406,248	18853,653	1,725	12,765	28,649	212,002	0,535	1,402	2346651,106	0,85	90,990	90,990	0,746	79,606
16/03/2012	60,960	56,900	512,950	20210,503	16720,590	1,412	5,732	19,748	80,178	0,535	1,402	2360857,716	0,32	40,980	40,980	0,518	66,225
10/04/2012	55,370	52,370	476,440	15548,887	13457,696	1,276	3,828	14,475	43,425	0,535	1,402	2374317,877	0,17	23,896	23,896	0,374	51,773
Média	58,370	54,277	534,873	18307,954	14934,068	1,396	5,973	18,048	81,706	0,535	1,402	2367094,177	0,327	38,617	38,617	0,491	59,659

30° e 55°

Data	T _w	T _v	R	P _w	P _v	h _{c,w-g}	q _{c,w-g}	h _{e,w-g}	q _{e,w-g}	As	Ac	Latente	Dest. Simu	Efic.Simu	ef.Simu	dest.real	efi. Real
06/06/2012	44,900	42,140	572,470	9281,802	8055,383	1,241	3,424	8,971	24,761	0,535	1,402	2399528,590	0,097	11,340	11,340	0,190	22,122
27/06/2012	52,070	50,320	467,530	13262,768	12174,094	1,066	1,866	10,793	18,887	0,535	1,402	2382263,947	0,075	10,592	10,592	0,345	48,831
28/06/2012	59,220	53,710	537,870	18644,088	14359,253	1,563	8,611	19,778	108,976	0,535	1,402	2365047,462	0,435	53,119	53,119	0,394	48,123
07/08/2012	48,170	43,040	522,990	10944,147	8438,664	1,525	7,826	12,124	62,197	0,535	1,402	2391654,757	0,245	31,179	31,179	0,190	24,135
08/08/2012	55,110	50,950	562,840	15357,065	12556,658	1,423	5,919	15,587	64,844	0,535	1,402	2374943,931	0,258	30,205	30,205	0,243	28,435
09/08/2012	54,790	48,140	553,790	15123,814	10927,785	1,664	11,063	17,082	113,596	0,535	1,402	2375714,459	0,451	53,779	53,779	0,320	38,133
Média	52,377	48,050	536,248	13768,947	11085,306	1,414	6,452	14,056	65,543	0,535	1,402	2381525,524	0,260	31,702	31,702	0,280	34,963

Tabela JI 7 – Custo de água com DSAPA (20° e 45°),Energia elétrica e Água engarrafada.

Tempo (ano)	Energia Elétrica (R\$)	Custo do DSAPA (R\$)	Custo anual do H2O (R\$)	C. Inicial/Prod. Anual (R\$/L)
0	0	1044	0	0
1	128,17	915,83	1672,704	0,90625
2	140,987	774,843	3512,6784	0,45313
3	155,0857	619,7573	5536,65024	0,30208
4	170,59427	449,16303	7763,01926	0,22656
5	187,653697	261,50933	10212,02519	0,18125
6	206,4190667	55,09	12905,93171	0,15104
7	227,0609734	0	15869,22888	0,12946
8	249,7670707	0	19128,85577	0,11328
9	274,7437778	0	22714,44535	0,10069
10	302,2181556	0	26658,59388	0,09062
11	332,4399711	0	30997,15727	0,08239
12	365,6839682	0	35769,57699	0,07552
13	402,252365	0	41019,23869	0,06971
14	442,4776015	0	46793,86656	0,06473
15	486,7253617	0	53145,95722	0,06042
16	535,3978979	0	60133,25694	0,05664
17	588,9376877	0	67819,28664	0,05331
18	647,8314564	0	76273,9193	0,05035
19	712,6146021	0	85574,01523	0,0477
20	783,8760623	0	95804,12075	0,04531

Tabela JI 8 – Tabela da velocidade do vento sobre o DSAPC (20° e 45°)

Data	v_o(m/s)	H(m)	Ho (m)	n₁	v(m/s)
06/01/2012	4,22	10,00	1,60	1	0,68
10/01/2012	4,07	10,00	1,60	1	0,65
06/02/2012	3,68	10,00	1,60	1	0,59
13/01/2012	4,62	10,00	1,60	1	0,74
16/03/2012	3,1	10,00	1,60	1	0,50
10/04/2012	3,18	10,00	1,60	1	0,51
Média					0,61

$$v = v_o \left(\frac{H}{H_o} \right)^{n_r} \quad (J1)$$

v: Velocidade do vento na altura desejada;

v_o : Velocidade do vento disponível na altura conhecida(INMET);

H : Altura desejada;

H_o : Altura conhecida (INMET);

n_r : Fator de rugosidade do terreno.

Tabela JI 9 – Coeficientes Convectivos e Evaporativos - DSAPC (20° e 45°)

Tw(°C)	Tg(°C)	Pw (Pa)	Pg(Pa)	hc (W/m² °C)	he (W/m² °C)
35,3500	34,9000	5623,2131	5487,7688	0,7504	3,6747
64,5100	58,7500	23765,0218	18239,5602	2,0978	32,7416
68,2300	63,6500	28060,6584	22857,5246	2,0210	37,3551
55,6800	50,6400	15780,3266	12367,1193	1,8703	20,6073
55,5500	54,1900	15682,9080	14694,7874	1,2220	14,4459
56,2600	53,5200	16221,4224	14228,2968	1,5448	18,2826
51,5300	51,2300	12918,1072	12730,0317	0,7192	7,3357
44,7400	42,7100	9206,4795	8296,3103	1,2949	9,4462
43,3500	41,4800	8574,3374	7784,1039	1,2504	8,5970
37,2300	34,7100	6221,4223	5431,4490	1,3361	6,8145
61,6400	60,1000	20853,0861	19422,5498	1,3383	20,2259
77,4800	74,1900	41772,1705	36348,3855	2,0044	53,7613
80,9000	75,2500	48137,6826	38025,1155	2,4715	71,9725
75,1400	70,0000	37848,0613	30330,6931	2,2488	53,5105
64,8900	61,7600	24175,8763	20968,3089	1,7348	28,9239
55,1400	49,9700	15379,0927	11965,9943	1,8778	20,1699
43,6000	42,7300	8685,1411	8304,8774	0,9728	6,9179
37,7500	36,5300	6396,4626	5992,4490	1,0547	5,6825
50,3600	45,8300	12198,0776	9730,3982	1,7408	15,4289
63,5100	59,7800	22712,6801	19136,2608	1,8123	28,2722
68,5200	65,2700	28422,1649	24592,8867	1,8172	34,8353
72,1100	67,4800	33243,2666	27144,1625	2,1079	45,1780
62,4900	50,0700	21681,2518	12025,1317	2,6025	32,9197
48,2200	44,0000	10971,4659	8865,0394	1,6782	13,6291
46,5100	45,6400	10070,3164	9637,2363	0,9900	8,0181
41,8000	39,3000	7914,6150	6944,1742	1,3636	8,6118
40,7600	38,3900	7497,3389	6617,8301	1,3325	8,0457
39,1200	34,9900	6878,5235	5514,6255	1,5840	8,5111
64,8500	55,3700	24132,3399	15548,8871	2,4513	36,1102
71,8500	62,9300	32871,7722	22121,0748	2,5716	50,4279
72,7250	66,0100	34136,4934	25422,9173	2,3811	50,2699
75,6600	68,7300	38691,3687	28686,4603	2,4799	58,2496
76,9900	68,7400	40922,5777	28699,0987	2,6522	63,9347

50,3600	45,8250	12198,0776	9727,9365	1,7415	15,4328
63,5100	59,7850	22712,6801	19140,7056	1,8115	28,2629
68,5150	65,2650	28415,8979	24587,3594	1,8171	34,8268
72,7100	67,4750	34114,4627	27138,1408	2,2042	47,7920
62,4900	59,0700	21681,2518	18514,1431	1,7469	26,3197
48,2000	44,0054	10960,5313	8867,5084	1,6747	13,5963
44,7900	40,6400	9229,9599	7450,4576	1,6350	11,4064
63,7000	58,2850	22909,4489	17846,8808	2,0429	31,0741
70,5100	65,4650	31013,6037	24809,2939	2,1306	42,6303
70,3000	70,1000	30730,8088	30463,5603	0,7394	16,0757
51,3825	48,5450	12825,3355	11150,4952	1,5074	14,4762
37,7250	36,1900	6387,9492	5883,9330	1,1377	6,0776
34,3900	33,2950	5337,7442	5027,7761	1,0020	4,6150
57,4571	53,5388	20133,9886	16408,0370	1,7080	25,5542

Tabela JI 10 - Incerteza da produtividade tipo B

Tw	Tg	Pw	Pg	hc	he
54,235	49,803	15077,552	12182,858	1,746	18,754
L	$(\partial m / \partial h_e)^2$	$(\partial m / \partial T_w)^2$	$(\partial m / \partial L)^2$	$(\partial m / \partial T_g)^2$	$(\delta T_w)^2$
2373548,837	0,005	0,000	0,001	0,001	0,250
$(\delta T_g)^2$	$(\delta L)^2$	$(\delta h_e)^2$	Incerteza (%)	Intervalo (E)	Intervalo(D)
0,250	0,250	0,250	9,105	3,02(kg/m ² h)	3,62(kg/m ² h)