

Reservatório térmico alternativo para uso em sistemas solares de aquecimento de água

Prof. Dr. Luiz Guilherme Meira de Souza

Departamento de Engenharia Mecânica, UFRN, 59072-970, Natal-RN, Brasil,

lguilherme@dem.ufrn.br

Prof. Dr. José Ubiragi de Lima Mendes

Departamento de Engenharia Mecânica, UFRN, 59072-970, Natal-RN, Brasil,

Reginaldo Dias dos Santos

Aluno de Graduação em Engenharia Mecânica, UFRN, 59072-970, Natal-RN, Brasil

Hermínio Jácome de Lima

Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica, UFRN, 59072-970, Natal-RN, Brasil

Aroldo Vieira de melo

Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica, UFRN, 59072-970, Natal-RN, Brasil

Nataneyfle Randemberg

Aluno de Graduação em Engenharia Mecânica, UFRN, 59072-970, Natal-RN, Brasil

Resumo. *Apresenta-se um reservatório térmico alternativo para uso em sistemas solares para aquecimento de água para substituir os reservatórios convencionais constituídos por cilindros duplos de aço inoxidável ou cobre, isolados através de espumas de poliuretano ou lã de vidro. Tais reservatórios são de boa eficiência térmica, mas têm alto custo, o que representa um empecilho para a massificação da utilização desses sistemas solares de aquecimento. O tanque proposto é obtido a partir de um tambor de polietileno de 200 litros, revestido por um cilindro confeccionado em fibra de vidro, tendo entre os dois cilindros um isolante térmico, EPS triturado. O fundo e a parte superior do reservatório são confeccionados em material compósito a base de gesso e EPS triturado e água. A perda de temperatura do reservatório proposto é um pouco superior a dos reservatórios convencionais, em torno de 5°C para*

a temperatura da água no tambor equivalente a 45°C, porém sua baixa relação custo benefício representa um fator bastante positivo para a viabilidade de tal tanque armazenador. Seu custo de fabricação fica em torno de R\$ 250,00 enquanto que os tambores térmicos convencionalmente utilizados custam em torno de R\$1.000,00 para o volume de 200 litros.

1.INTRODUÇÃO

A utilização da energia solar para a produção de água quente para fins residenciais e industriais representa uma das aplicações mais viáveis dessa fonte limpa de energia e massificada nos países desenvolvidos¹.

Porém um dos problemas que impedem a utilização massiva dessa fonte térmica, aliviando a matriz energética tão dependente do petróleo, gás, termoelétricas e hidrelétricas, é o alto custo de tais sistemas. Um sistema para suprir uma família de quatro pessoas tem custo superior a R\$ 4.000,00, que representa um custo proibitivo para a maioria da população de nosso país².

Buscando alternativas para a diminuição dos custos de sistemas solares de aquecimento o Laboratório de Máquinas Hidráulicas e Energia Solar vem há mais de vinte anos estudando coletores e sistemas alternativos, que apresentem viabilidades térmica, econômica e de materiais.

Já foram desenvolvidos, construídos e estudados vários tipos de coletores e sistemas de aquecimento que apresentam as características de baixo custo, boa eficiência, utilização de materiais reciclados, emprego de fibras naturais³. Tais sistemas utilizam o tubo de PVC como elemento absorvedor e condutor de calor e boiler de materiais poliméricos.

O presente trabalho apresenta um novo tipo de reservatório térmico para armazenamento de água quente obtida por coletores planos alternativos construídos em material compósito e fibra de vidro, tendo como elemento base um tambor de polietileno de 200 litros.

2. OS RESERVATÓRIOS TÉRMICOS

2.1. CONVENCIONAIS

Os reservatórios térmicos convencionalmente utilizados em sistemas solares de aquecimento, chamados boiler, são geralmente fabricados em aço inoxidável, cobre ou aço carbono, para volumes de até 15 mil litros. Podem ser

horizontais ou verticais, sendo constituídos por duas superfícies cilíndricas, uma interna e outra externa, tendo entre as mesmas, um isolamento térmico, geralmente a lã de vidro⁴. A Figura 1 mostra reservatórios térmicos convencionais, com detalhes construtivos.

Podem ser de **Baixa pressão** e Alta Pressão. Os de baixa pressão são mais econômicos e são indicados para instalações nos projetos em que a caixa de água fria esteja logo acima do boiler, sendo que o seu nível de água deverá estar no máximo com 2 m.c.a para os modelos em cobre e 5m.c.a para os modelos em inox⁵.

Os modelos de baixa pressão não podem ser pressurizados ou alimentados com água da rede pública. Os de **Alta pressão** são recomendados para sistemas pressurizados e instalações onde a caixa de água fria está muito elevada, no máximo 40 mca⁵.

BOILER VERTICAL DE NÍVEL



Modelo AVN

Os Boilers Vertical de Nível são indicados para instalações em que a caixa de água fria venha a trabalhar ao lado do boiler solar.

Tambor Interno em cobre ou aço inoxidável				Bitolas Hidrául.			
CAPACID.	DIÂM.	ALT	VOLTS	WATTS	ENTR.	SADA	SOLAR
AVN 200	800	610	220	3000	3/4"	1"	3/4"
AVN 300	870	750	220	3000	3/4"	1"	3/4"
AVN 400	970	750	220	3000	3/4"	1"	3/4"
AVN 500	1080	750	220	3000	3/4"	1"	3/4"
AVN 600	1080	910	220	3000	3/4"	1"	3/4"

BOILER HORIZONTAL



Modelo BH

São fabricados boilers em aço inoxidável, 304, 306, cobre e aço carbono com pintura anticorrosiva em epoxi, a partir de 50 até 15.000 litros.

Medidas em mm										
Litros	100	200	300	400	500	600	700	800	1000	2000
Comprim	1000	1200	1200	1600	1900	2300	2700	3000	3600	3800
Altura	500	500	700	700	700	700	700	700	700	900
Watts	3000w / 220volts / monofásico								6000w / 220volts	
Bitola Hid	1" Polegada								1.1 / 2"	

Pressão máxima de trabalho
Baixa pressão: Cobre (2mca); Inox (5mca)/ Alta pressão: 40mca

Figura 1 – Boilers convencionais disponíveis no mercado, fonte:www.astrosol.com.br.

2.2. ALTERNATIVOS

Os reservatórios térmicos alternativos estão muito pouco presentes na literatura, sendo geralmente confeccionados em plástico rígido ou em fibra de vidro. Por ser o elemento constituinte de um sistema de aquecimento solar de água de maior custo (alcançando valores em torno de R\$1.000,00 para um

volume de 200 litros, que é o mais utilizado nas instalações residenciais de pequeno porte) são imprescindíveis as pesquisas que utilizem materiais alternativos para a diminuição do seu custo.

Tais materiais, porém têm que dotar o tambor térmico de baixa condutividade térmica, característica de um bom isolante térmico, imprescindível para a diminuição da perda térmica na água aquecida, principalmente para uso durante a noite e início da manhã, períodos críticos pela ausência ou baixo nível de radiação solar global.

Souza (2003) construiu e estudou um reservatório térmico alternativo para um sistema de aquecimento solar de água com as características de bom desempenho térmico, baixo custo, boa estética e peso reduzido⁶. Os materiais utilizados para sua fabricação foram: duas folhas de eucatex formando os cilindros interno e externo; madeirite de 15mm para o fundo e tampa; mantas de fibra de vidro-E para recobrimento das superfícies interna e externa, como também do fundo e da tampa; isopor como isolante térmico colocado entre as superfícies interna e externa do tanque.

O compósito foi obtido através do processo de laminação manual, utilizando resina de poliéster. Seu volume corresponde a 250 litros. O armazenador construído encontra-se mostrado na Figura 2.



Figura 2 – Armazenador térmico alternativo construído em fibra de vidro.

Os resultados dos testes térmicos realizados mostraram a viabilidade de utilização do reservatório, alternativo, de custo muito inferior aos reservatórios convencionais disponíveis no mercado de cobre ou inox, com custo em volta de R\$ 400,00, o que representa menos da metade dos valores cobrados por tais tanques convencionais.

O nível de perda térmica esteve muito próximo do parâmetro limite da literatura, cerca de 5°C de perda para um tempo de 24 horas, a um nível de temperatura de 45°C⁷.

Souza (2004) construiu e testou um outro reservatório alternativo que consistia de material compósito envolvendo um tambor de polietileno de 200 litros, com espessura de isolamento era de 50 mm. A eficiência térmica do tambor alternativo era próxima do apresentado anteriormente, porém apresentava um peso excessivo, fissuras no compósito.

3. MATERIAIS E MÉTODOS

O tambor térmico alternativo proposto foi confeccionado a partir de um elemento base, um tambor de polietileno de 200 litros. O reservatório foi aberto em sua tampa superior e envolvendo o mesmo foi colocado um cilindro externo confeccionado em fibra de vidro com espessura em torno de 2 mm.

No cilindro de fibra foi rebitada uma estrutura confeccionada com tubos de PVC de ½” consistindo de dois anéis interligados por tubos retos, para conceder-lhe resistência. O fundo do reservatório foi construído em material compósito formado de gesso, EPS triturado e água e sua tampa foi construída em fibra de vidro. No espaço entre os dois elementos básicos, cilindro de fibra e tambor de polietileno, foi colocada uma camada de EPS triturado. A Figura 3 mostra o tambor alternativo proposto e o coletor solar utilizado para o aquecimento da água.

O processo de fabricação do tambor alternativo proposto compreendeu as seguintes etapas:

1. Corte da tampa superior do tambor de polietileno de 200 litros, utilizado como elemento base, através do uso de formão e martelo;
2. Colocação no fundo do tambor de tubulação para daída de água para os coletores;
3. Confeção do cilindro de fibra de vidro que envolve a bambona de polietileno, utilizando molde de eucatex, através do processo hand-lay-up;
4. Confeção da estrutura do cilindro de fibra de vidro, usando tubos de PVC;
5. Confeção da tampa do reservatório utilizando molde de compensado.

O processo de montagem do tambor térmico alternativo proposto compreendeu as seguintes etapas:

1. Fixação da estrutura obtida no cilindro de fibra de vidro pelo uso de arrebites;

2. Confeção do fundo do tambor através da colocação do material compósito;
3. Abertura do furo para a passagem da tubulação do tambor de polietileno;
4. Colocação do tambor de polietileno no cilindro de fibra de vidro;
5. Colocação do EPS triturado no espaço entre os dois cilindros;
6. Colocação de material compósito no espaço entre os dois cilindros na parte superior dos mesmos;
7. Colocação da tampa do reservatório térmico alternativo.

Retirada de água quente do tambor



Figura 3 – Sistema de aquecimento composto pelo coletor e reservatório térmico.

Para testar a eficiência térmica do encheu-se o reservatório térmico alternativo e o interligou-se a um coletor solar plano alternativo com superfície absorvedora formada por tubos de PVC e caixa de material compósito. Após um dia de funcionamento do sistema de aquecimento, às 16:00 horas, mediu-se a temperatura da água contida no reservatório, correspondente a 45°C e cortou-se a comunicação do mesmo com o coletor para evitar a troca térmica entre o reservatório e o coletor durante a noite.

Colocou-se um termopar de cromel-alumel no interior do tambor para medir a temperatura da água, outro na superfície externa do mesmo para a

medir sua temperatura e outro para medir a temperatura ambiente. O teste consistiu em medir essas temperaturas, a cada hora, durante toda a noite para quantificar a queda de temperatura na massa de água contida no reservatório. As temperaturas foram medidas utilizando um termômetro digital.

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

A Tabela 1 mostra os dados de temperatura medidos no ensaio realizado para avaliar a eficiência térmica do reservatório térmico alternativo proposto⁴.

Tabela 1 – Dados de temperatura do ensaio.

HORA	T _{água}	T _{ambiente}	T _{reservatório}
16:00	45,0	27,0	29,0
17:00	44,0	26,0	27,5
18:00	43,5	26,0	27,0
19:00	43,0	26,0	26,5
20:00	42,5	25,5	26,0
21:00	41,5	25,5	26,0
22:00	41,0	25,0	26,0
23:00	40,5	25,0	26,0
00:00	40,0	24,5	25,5
01:00	39,5	24,5	25,5
02:00	39,0	25,0	25,5
03:00	39,0	25,0	26,0
04:00	38,5	25,0	26,0
05:00	38,5	25,5	26,5
06:00	38,0	27,0	31,0
07:00	37,5	28,0	35,0
08:00	37,0	29,0	37,5
09:00	37,0	29,0	37,5
10:00	37,0	30,0	38,0
11:00	37,0	30,0	38,5
12:00	37,0	30,0	38,5
13:00	37,0	30,0	38,5
14:00	37,0	30,0	37,0
15:00	37,0	28,0	35,0
16:00	36,5	27,0	32,0

Os dados mostrados demonstram a boa eficiência térmica do tambor térmico alternativo proposto. Houve uma queda de temperatura, durante 15 horas, do final da tarde e toda a noite, correspondente a $7,5^{\circ}\text{C}$ e durante 24 horas igual a $8,5^{\circ}\text{C}$. Essa queda de temperatura está um pouco acima da apontada pela literatura para reservatórios térmicos convencionais, de cobre ou inox, que apresentam valores em torno de 5°C para o nível de temperatura testado.

Para o nível mais crítico que acontece durante a noite, a perda foi de $7,5^{\circ}\text{C}$, 50% maior que a obtida com os reservatórios convencionais, porém não inviabiliza o uso desse tipo de reservatório térmico proposto, uma vez que apesar desse aumento significativo, a perda foi baixa, exigindo apenas uma temperatura na água pelos coletores um pouco acima para a obtenção de um nível maior no interior do tambor térmico. Ressalte-se, ainda, o preço do tambor alternativo proposto, muito menor que os reservatórios convencionais mostrados pela literatura.

Percebe-se que a temperatura da superfície externa do tambor esteve bem próxima da temperatura ambiente durante toda a noite refletindo uma baixa perda térmica pela lateral do reservatório. A temperatura do tambor só alcançou valores bem acima da temperatura ambiente para o período em que a o tambor passou a ser aquecido pela radiação solar global absorvida pelo mesmo, uma vez que foi pintado com tinta preto fosco. Portanto, a perda mais significativa ocorreu pelo fundo e/ou tampa do reservatório.

No que diz respeito a resistência mecânica do reservatório alternativo proposto não se verificou danos à sua estrutura, demonstrando suportar o peso correspondente ao volume de água contido no tambor. Não houve também ocorrência de vazamentos, o que atesta sua boa vedação, obtida através de resina ortoftálica.

Os gráficos das Figuras 4 e 5 a seguir mostram o comportamento assumido pelos valores de temperatura medidos quando da realização do ensaio.

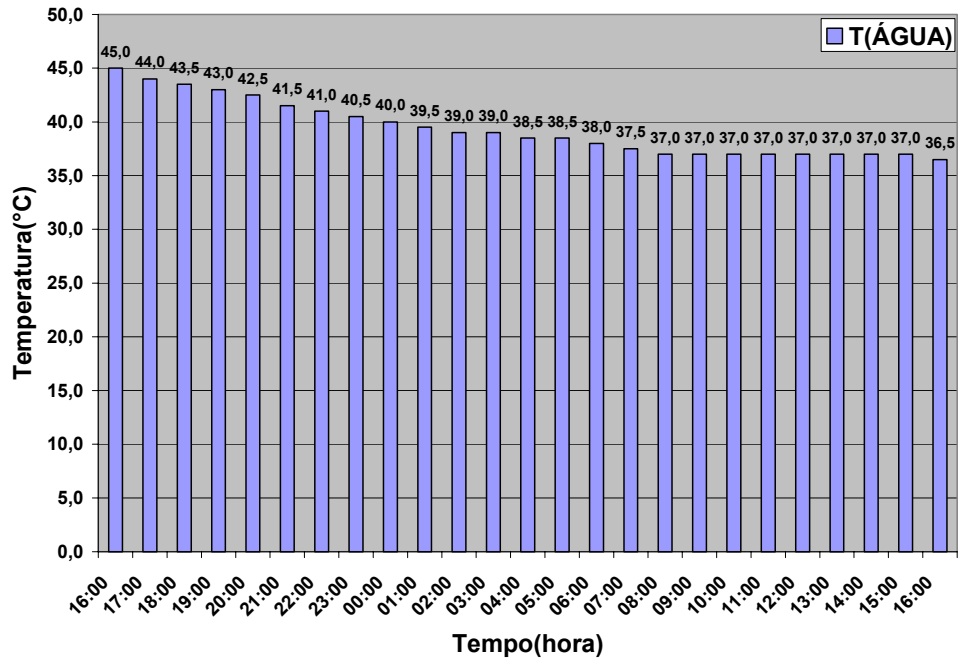


Figura 4 – Queda de temperatura na água contida no reservatório proposto para avaliar sua perda térmica.

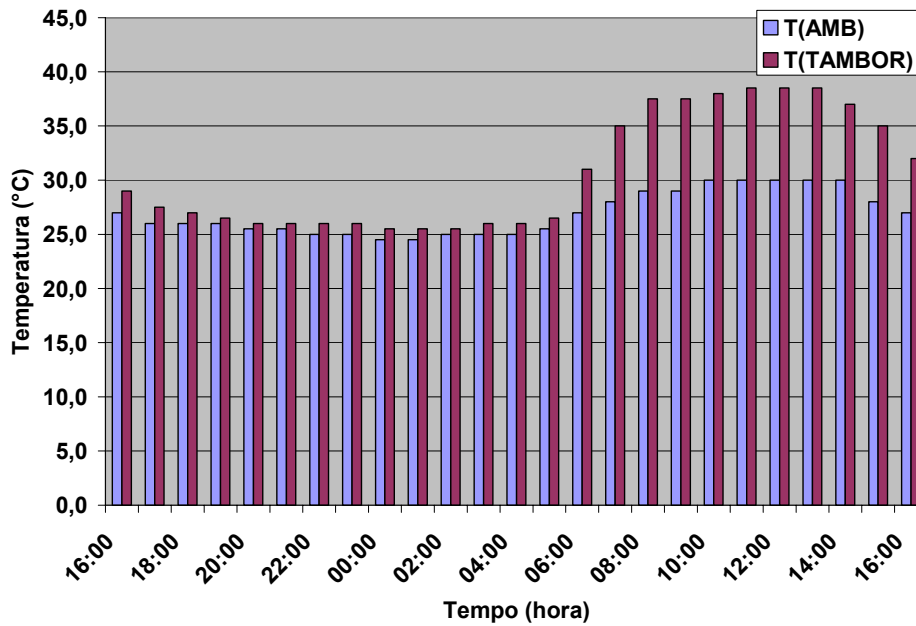


Figura 5 – Temperaturas da superfície externa do reservatório e ambiente para avaliar perda térmica.

5. CONCLUSÕES E SUGESTÕES

Em consonância com o objetivo principal do trabalho, qual seja o de apresentar uma alternativa mais barata, tecnologicamente viável e eficiente

termicamente para os boilers convencionalmente utilizados em, apresenta-se as seguintes conclusões e sugestões para futuros trabalhos.

1. O tambor térmico alternativo proposto é viável para ser utilizados como reservatório térmico em sistemas de aquecimento solar de água;
2. Apesar de apresentar perda térmica maior que os reservatórios térmicos convencionais, seu baixo custo e sua performance térmica conduzem-no a apresentar uma boa relação custo benefício;
3. O custo do reservatório térmico apresentado corresponde a cerca de 25% do relativo aos tambores convencionais para o mesmo volume;
4. É preciso diagnosticar a perda térmica pelo fundo e tampa do tambor térmico, uma vez que a perda pela superfície lateral foi insignificante;
5. A tampa do tambor confeccionada em fibra de vidro precisar de um isolante térmico, que pode ser uma camada de EPS, em sanduíche;
6. Os processos de fabricação e montagem do reservatório térmico alternativo proposto são simples, podendo ser repassados tecnologicamente para pessoas de quaisquer níveis;
7. É preciso estudar para um período bem maior de dias a eficiência do tambor proposto e sua resistência às intempéries;
8. É imprescindível um detalhamento maior da perda térmica utilizando um campo de temperaturas nas superfícies do tambor para um diagnóstico mais apurado da perda térmica medida.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- 1.CENSOLAR, Avances en energía solar, PROGENSA, Sevilla, 2001.
- 2.Souza, L.G.M., 2006, Sistema de aquecimento solar de agua para aplicações residenciais utilizando materiais alternativos, IV CONEM, Recife, 2006.
- 3.SOUZA, L.G.M., Análise comparativa entre coletor solar plano convencional e coletor solar alternativo composto por múltiplos tubos de PVC , IV CONEM – Congresso Nacional de Engenharia Mecânica, Belém- PA,2004

4.Souza, L.G.M., Gomes, U.U., 2002, Viabilidades térmica, econômica e de materiais da utilização de tubos de PVC como elementos absorvedores em coletores de um sistema de aquecimento de água por energia solar, Tese de Doutorado do Programa de Doutorado em Ciência e Engenharia de Materiais, UFRN.

5. www.astrosol.com.br, acesso em setembro de 2006.

6.Souza, L.G.M., Gomes, U.U., 2003, Viability of use of PVC tubes in solar collectors: an analysis of materials, Materials Research, v. 6, p. 233-238, 2003.

7.Censolar, LaEnergía Solar: Alicaciones Prácticas, Sevilla, Espanha, 1999.

8. www.censolar.com, acesso em setembro de 2006.

ABSTRACT

An alternative thermal reservoir for use in water heating solar systems is presented to substitute the conventional reservoirs consisting by double stainless steel cylinders or copper, isolated through foam of polyurethane or glass wool. Such reservoirs present good thermal efficiency, but they have high cost, what it represents a problem for the bigger use for one number of people of these solar systems of heating. The considered tank is gotten from a polyethylene drum of 200 liters, coated for a cylinder confectioned in fiber glass, having between the two cylinders a thermal insulator, perforated EPS. Deep and the superior part of the reservoir are confectioned in composite material the base of triturated plaster and EPS and water. The loss of temperature of the considered reservoir is superior of the conventional reservoirs, around 5°C for the temperature of the water in the drum equivalent 45°C, however its low relation cost benefit represents a sufficiently positive factor for the viability of such storing tank. Its cost of manufacture is around R\$ 250,00 whereas the conventionally thermal reservoir used cost around R\$1.000, 00 for the volume of 200 liters.