

MÁRCIO MARTINS DE OLIVEIRA

**ANÁLISE DA EFICIÊNCIA DO COBRE, ALUMÍNIO E PVC COMO CONDUTORES
HIDRAULICOS EM AQUECEDORES SOLARES.**

Guaratinguetá
2011

MÁRCIO MARTINS DE OLIVEIRA

**ANÁLISE DA EFICIÊNCIA DO COBRE, ALUMÍNIO E PVC COMO CONDUTORES
HIDRAULICOS EM AQUECEDORES SOLAR**

Trabalho de Graduação apresentado ao Conselho de Curso de Graduação em Engenharia Mecânica da Faculdade de Engenharia do Campus de Guaratinguetá, Universidade Estadual Paulista, como parte dos requisitos para obtenção do diploma de Graduação em Engenharia Mecânica.

Orientador: Prof. Dr. Teófilo Miguel de Souza

Guaratinguetá
2011

O48a	<p>Oliveira, Marcio Martins de</p> <p>Análise da eficiência do cobre, alumínio e PVC como condutores hidráulicos em aquecedores solares / Marcio Martins de Oliveira. - Guaratinguetá: [s.n.], 2011</p> <p>44 f.: il.</p> <p>Bibliografia: f. 44</p> <p>Trabalho de Graduação em Engenharia Mecânica – Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Engenharia de Guaratinguetá, 2011</p> <p>Orientador: Prof. Dr. Teófilo Miguel de Souza</p> <p>1. Energia solar I. Título</p> <p style="text-align: right;">CDU 620.91</p>
------	---

MÁRCIO MARTINS DE OLIVEIRA

**ANÁLISE DA EFICIÊNCIA DO COBRE, ALUMÍNIO E PVC COMO CONDUTORES
HIDRAULICOS EM AQUECEDORES SOLARES**

**ESTE TRABALHO DE GRADUAÇÃO FOI JULGADO ADEQUADO COMO
PARTE DO REQUISITO PARA A OBTENÇÃO DO DIPLOMA DE
"GRADUADO EM ENGENHARIA MECÂNICA"**


**APROVADO EM SUA FORMA FINAL PELO CONSELHO DE CURSO DE
GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA MECÂNICA**

Prof. Dr. Mauro Hugo Mathias
Coordenador

BANCA EXAMINADORA:


Prof. Dr. TEÓFILO MIGUEL DE SOUZA
Orientador/UNESP-FEG


Prof. Dr. JOSÉ GERALDO TRANI BRANDÃO
Orientador/UNESP-FEG


Eng. JULIO CESAR SANTOS
Membro Externo

Dezembro
2011

Dedico este trabalho aos meus pais Orlando e Maria, a minha irmã Sirlene, sem os quais este trabalho nunca teria sido iniciado. Dedico também a minha sobrinha Maira e minha namorada Daniela, pessoas que são fontes de minha inspiração.

AGRADECIMENTOS

Gostaria de agradecer a Deus por ter iluminado meu caminho e me dado muita força de vontade e garra, para superar todos os obstáculos que encontrei pelo caminho.

Agradeço aos meus pais, pelos valores que me foram passados, pelo apoio constante, por sempre terem me mostrando o caminho correto a ser seguido. E principalmente por sempre terem acreditado em meu potencial. Obrigado por serem exatamente como vocês são.

Agradeço à minha irmã Sirlene pelo apoio incondicional em todos os momentos durante toda minha vida, apoio este que sem dúvida é um dos motivos de eu ter conseguido concluir minha graduação.

Agradeço à minha namorada Daniela por ter sempre estado ao meu lado e ter sido para mim uma fonte inesgotável de incentivo e apoio durante todo este trabalho.

Agradeço aos meus companheiros da República “6 De Paus”, com quem morei durante minha vida acadêmica, pela nossa união, companheirismo, por terem sempre me ajudado quando necessitei, tornando nestes seis anos uma segunda família para mim.

Agradeço a meu orientador, Prof. Dr. Teófilo Miguel de Souza, pelo incentivo dado e pela dedicação em estar sempre pronto a me orientar.

Agradeço meus companheiros de classe que juntos superamos inúmeras dificuldades, sempre trocando conhecimentos e nos ajudando mutuamente durante toda a graduação.

Finalmente agradeço a todas as pessoas que de forma direta ou indiretamente contribuíram para o sucesso deste investimento de vida ou mesmo aqueles que estiveram sempre torcendo por mim.

"Ninguém é tão sábio que nada tenha para aprender, nem tão tolo
que nada tenha para ensinar."

Blaise Pascal

DE OLIVEIRA, M. M. Análise da eficiência do cobre, alumínio e PVC como condutores hidráulicos em aquecedores solar. 2011. 44 f. Trabalho de Graduação (Graduação em Engenharia Mecânica) – Faculdade de Engenharia do Campus de Guaratinguetá, Universidade Estadual Paulista, Guaratinguetá, 2011.

RESUMO

Atualmente entre as maiores preocupações da sociedade se destacam a preservação do meio ambiente e a crescente demanda de energia. Estes dois assuntos se conflitam visto que a maioria da energia utilizada nos dias atuais agride de alguma forma o meio ambiente, seja na geração ou na utilização da mesma. Com isto cada dia mais vem se tornando indispensável o desenvolvimento e aplicação de formas de energias limpas e renováveis. Neste meio a energia solar se destaca por ser uma fonte de energia limpa, renovável, abundante e de fácil acesso. A energia solar pode ser aproveitada através de células fotovoltaicas ou através de coletores solares. O objetivo deste trabalho é analisar a eficiência de um aquecedor solar de baixo custo montado com condutores hidráulicos e garrafas Pets utilizando três diferentes materiais para os condutores hidráulicos, a fim de poder comparar estas eficiências e analisar qual material apresenta o melhor custo benefício neste tipo de aplicação.

Os materiais analisados neste trabalho foram o cobre, o alumínio e o PVC. Para esta análise foram montados três aquecedores solares idênticos cada um utilizando um dos materiais referidos, e foram realizadas varias series de medições de temperatura de saída da água em cada aquecedor para vazões variando entre 10 e 30 litros por hora.

Com posse destes dados conseguimos analisar a eficiência e rendimento do cobre alumínio e PVC nesta aplicação. Com isto concluímos que o alumínio apresenta maior eficiência, seguipo pelo PVC, e ocobre apresentou a menor eficiência. Este comportamento se manteve em todos os valores de vazões analisados.

PALAVRAS-CHAVE: Energia renovável, Energia Solar, Aquecedor Solar, PVC, Alumínio, Cobre, Eficiência Energética.

DE OLIVEIRA, M. M. **Efficiency analysis of copper, aluminum and PVC as hydraulic conductors in solar heaters**. 2011. 44 f. Trabalho de Graduação (Graduação em Engenharia Mecânica) – Faculdade de Engenharia do Campus de Guaratinguetá, Universidade Estadual Paulista, Guaratinguetá, 2011.

ABSTRACT

One of society concerns are preserving the environment and the growing energy demand. These two issues are in conflict since most of the energy used today in some way harms the environment. then is essential to develop and implement ways to clean and renewable energy. In this way, solar energy stands out as a source of clean energy, renewable, abundant and accessible. Solar energy can be harnessed by photovoltaic cells or by solar collectors.

The aim of this article is analyze the yield of the solar heater assembled with hydraulic conductive and plastic bottles using three different materials for hydraulic conductors, in order to compare these efficiencies and analyze material which has the best cost-benefit in this type of application.

The materials analyzed in this study were copper, aluminum and PVC. For this analysis were assembled three alike solar heaters using each one of these materials, and were done several series of measurements of the temperature water output to each heat with flow between 10 and 30 liters per hour. With these data we can analyze the yield and the performance of copper, aluminum and PVC in this application. So we can conclude that aluminum has a higher efficiency, followed by PVC, and o copper had the lowest efficiency. This behavior kept for all values of flow rates examined.

KEYWORDS: Renewable Energy, Solar Energy, Solar Heater, Cooper, Aluminium, PVC, Energy Efficiency.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Mapa do potencial de geração de energia solar no Brasil.	17
Figura 2 – Painel solar com células fotovoltaicas.	21
Figura 3 – Painel solar com células fotovoltaicas.	22
Figura 4 – Centro de Energia Renováveis da UNESP Guaratinguetá, S.P.....	26
Figura 5 – Esquema básico de funcionamento de um aquecedor solar.....	27
Figura 6 - Esquema de montagem dos conjuntos de aquecedores	28
Figura 7 - Conjuntos de aquecedores	29
Figura 8 - Aquecedor com condutor de alumínio	29
Figura 9 - Aquecedor com condutor de PVC	29
Figura 10 - Aquecedor com condutor de cobre.	30
Figura 11 - Béquer	32
Figura 12 - Cronômetro	32
Figura 13 - Termômetro digital bimetálico.....	32
Figura 14 - Medidor de intensidade solar.	33
Figura 15 – Vazão de 30 l/h.....	34
Figura 16 – Vazão de 25 l/h	35
Figura 17 – Vazão de 20 l/h	36
Figura 18 - Vazão de 15 l/h	37
Figura 19 - Vazão de 10 l/h	38

LISTA DE TABELA

Tabela 1 – Vazão de 30 l/h	34
Tabela 2 – Vazão de 25 l/h	35
Tabela 3 – Vazão de 20 l/h	36
Tabela 4 – Vazão de 15 l/h	37
Tabela 5 – Vazão de 10 l/h	38
Tabela 6 - Aumento real de temperatura	39
Tabela 7 - Rendimento	40

SUMARIO

1- INTRODUÇÃO	14
2 - FUNDAMENTAÇÃO TÉORICA	16
2.1 – Energia Solar	16
2.2 - Célula fotovoltaica e coletor solar	19
2.3 - Energia solar e meio ambiente	23
2.3 Materiais utilizados no experimento.....	24
3 – PARTE EXPERIMENTAL	26
3.1-Centro de Energias Renováveis	26
3.2 Princípio de funcionamento do coletor solar	27
3.3 Montagem do experimento	28
3.4 Materiais utilizados:	30
3.5 Medições	31
3.5.1 Seqüência de medição.....	31
3.5.2 Métodos e equipamentos	31
4 - RESULTADOS.....	34
4.1 Aumento real de Temperatura	39
4.2 Rendimento do Aquecedor Solar	39
5 - CONCLUSÃO	42
6 – REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	44

1- INTRODUÇÃO

Atualmente dois temas estão entre os mais discutidos em âmbito mundial que são: a questão energética e a preservação do meio ambiente. Entretanto estes pontos se conflitam, pois enquanto a preocupação com o meio ambiente aumenta, enquanto que o consumo de energia no mundo vem aumentando em taxa cada dia maior, e a maioria das fontes de geração energia agride de alguma fonte o meio ambiente.

O que se nota é que o investimento em fontes de energia que degradam o meio ambiente e que não se renova, ou seja, fontes que hora vão se esgotar e muito provavelmente contribuir o desequilíbrio do ecossistema.

Devido a estes fatos um dos maiores desafios do século é desenvolvimento de alternativas de formas de geração de energia limpa e economicamente viável. E o sol é uma fonte de energia limpa e inesgotável, bastando, portanto investir em desenvolvimento de formas eficientes e economicamente viável de aproveitamento desta energia. De maneira geral investir em energia solar custa menos do que investir em qualquer outra fonte de geração de energia, além de não nociva ao meio ambiente.

O aquecimento solar pode ser utilizado para aquecimento doméstico, diversos autores acreditam que esse tipo de aquecimento é ideal para utilização doméstica, isso devido ao baixo investimento financeiro e a grande economia em longo prazo e também pelo ganho ambiental.

O homem sempre dependeu de alguma fonte de energia para sua sobrevivência. A energia se encontra presente em todos os setores da sociedade: economia, trabalho, relações internacionais, e também no dia-dia, nas casas, no lazer, na saúde, na alimentação, no transporte, nos estudos, etc. Com o passar do tempo a humanidade passa a depender cada vez mais de energia, os avanços tecnológicos aumentam a necessidade e dependência de fontes de energia, atualmente nos países industrializados menos de 1% do trabalho realizado utiliza o esforço muscular como fonte de energia.

Surge então, a necessidade, de investimento em fontes de energia renovável, que possa tanto suprir a demanda humana, quanto a demanda ambiental. Nesse contexto apresenta-se o aquecimento solar, que surge como fonte de energia alternativa as fontes mais comumente usadas. Porém é preciso que se conheçam mais as características dessa fonte de energia, para medir seu potencial e poder direcionar os investimentos.

Um tipo de projeto de aquecedor solar que se enquadra perfeitamente dentro das características procuradas na atualidade, é o aquecedor solar de baixo custo montado a partir

de garrafas PETs. Este aquecedor é economicamente viável, pois requer um baixo investimento, e o mesmo contribui muito com o meio ambiente, porque além de utilizar uma forma de energia limpa e renovável, ele utiliza em sua confecção um produto reciclável, que são as garrafas PETs.

A eficiência do aquecedor descrito acima já foi comprovada através de experimentos anteriores. O objetivo deste trabalho é comparar a eficiência destes aquecedores solar utilizando diferentes materiais como condutores hidráulicos. Os materiais escolhidos para esta análise são o cobre, o alumínio e o PVC.

Esta monografia é constituída de seis capítulos, sendo estes, introdução, fundamentação teórica, parte experimental, resultados, conclusões e referencias bibliográficas.

2 - FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 – Energia Solar

De acordo com Aldabó (2002) a energia é considerada insumo fundamental para o desenvolvimento econômico e social, por isso é necessário que avanços tecnológicos afim de se encontrar fontes de energia baratas e que consomem poucos recursos naturais. É preciso que haja consumo consciente e renovação dos recursos utilizados como fonte geradora de energia.

A energia permeia nossas vidas. Precisamos de energia para aquecer, refrescar, iluminar nossas casas, bem como cozinhar e conservar nossa comida. A energia abastece nossos carros, caminhões e outros meios de transporte. A energia faz com que funcionem nossas indústrias, escritórios e outros locais de trabalho (GELLER, 2003, p. 15).

A importância da energia na vida humana é demonstrada na citação de Geller (2003) e Palz (1981) reforça que essa é a única necessidade humana imprescindível, seja para funções vitais, seja para funções transporte ou aquecimento busca-se algum tipo de energia.

Aldabó (2002) citou que a energia é essencial para o desenvolvimento humano, porém conforme há avanços nas tecnologias é preciso que se identifiquem e utilizem fontes de energia não poluentes, que não comprometam recursos naturais e que causem menores impactos ambientais, a energia solar é uma dessas alternativas.

Palz (1981) coloca que essa fonte de energia tem como matéria-prima a radiação solar, ou seja, é gerada a partir dos raios de radiação solar que podem ser captados por equipamentos adequados e podem se transformar em energia útil para o desenvolvimento humano. E corresponde a todas as expectativas atuais em relação energia: é renovável, não poluente e de baixo impacto ambiental.

Com a crescente preocupação com o meio ambiente e a escassez de recursos naturais, aumentou-se a busca por fontes de energias renováveis. A energia solar por ser teoricamente inesgotável e não poluir o ar atmosférico tem sido o foco de diversos projetos (SANTOS, 2009, p.19).

Sendo assim pode-se dizer que investir em energia solar é investir em uma fonte de energia que irá contribuir de maneira promissora para o desenvolvimento humano. De acordo com Palz (1981) é preciso que sejam medidas as médias de radiação solar anual em determinado local, onde se pretende utilizar a energia solar, essas médias irão direcionar para o tipo de coletor de radiação que deve ser utilizada, porém o autor ressalta que se pode fazer o uso dessa energia em qualquer local do planeta, pois todos têm incidência de radiação solar. O

Brasil, especificamente possui 280 dias de sol, o que facilita a utilização desse tipo de energia e viabiliza o investimento em estudos sobre o tema.

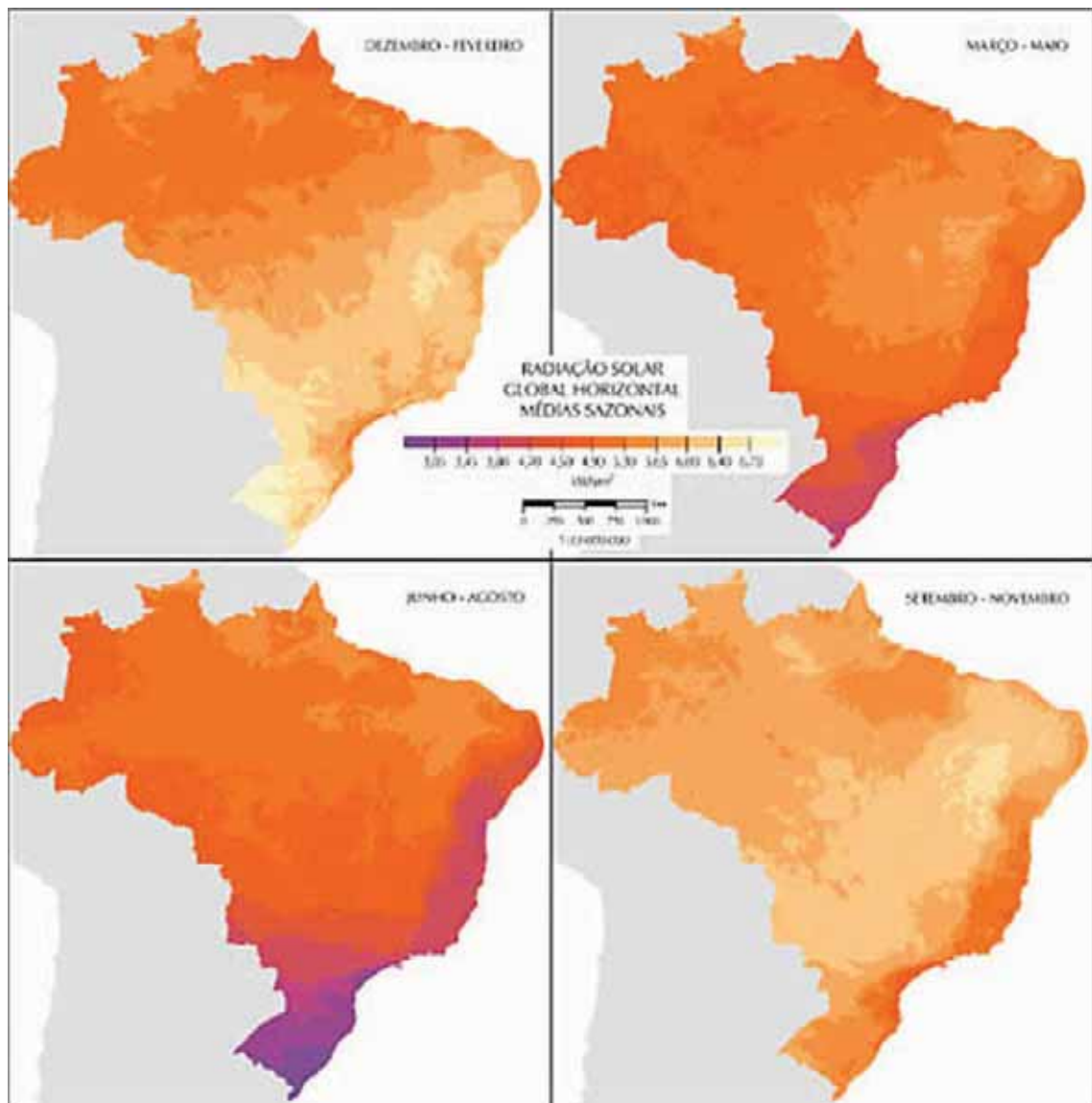


Figura 1 – Mapa do potencial de geração de energia solar no Brasil. (Fonte: <http://www.revistaambientelegal.com.br>)

A energia solar é uma excelente fonte de eletricidade para telecomunicações, iluminação, televisores, microondas, ferramentas, computadores, rádios, ventiladores, bombas, telefones e eletrônicos. A radiação solar total pode ser medida por meio de diversos instrumentos, tal como o pirânometro. Esse instrumento tem sensor localizado no plano horizontal, recebendo a radiação em todas as direções (ALDABÓ, 2002, p. 18).

Esse tipo de energia é de fácil utilização e não precisa de grandes investimentos, em uma casa, por exemplo, o investimento é feito uma vez, instalando as placas que irão coletar os raios de radiação, não há necessidade de construção de usinas ou centros de distribuição, o

que possibilita a geração de energia descentralizada e em pequena escala, contribuindo de maneira considerável para a proteção do clima global (SILVA, 2008).

Algumas considerações importantes sobre energia solar na visão de Aldabó (2002):

- A energia solar incidente sobre a Terra a cada dia é equivalente a toda energia consumida no mundo por 27 anos;
- A quantidade de radiação solar incidente sobre a Terra a cada período de três dias é equivalente a toda energia armazenada em todas as fontes conhecidas de energia fóssil (petróleo, gás natural, carvão);
- A transmissão de energia solar para a Terra se dá por meio da radiação eletromagnética, sendo que 97% da radiação solar está contida entre comprimentos de onda que variam de 0,3 a 3,0 mm, caracterizando uma radiação de ondas curtas;
- As unidades de medição mais frequentes em termos de energia solar são: Wh/m², Langley (Ly/dia) e cal/cm². $1\text{Ly}/\text{dia} = 11.63 \text{ Wh}/\text{m}^2 = 0,4846 \text{ W}/\text{m}^2$.
- Em condições de céu aberto e ausência de nuvens. A radiação máxima observada ao meio-dia num local situado ao nível do mar é de 1Kw/m². A 1.000 metros de altura, a radiação é de 1,05 kW/m²;
- O Brasil apresenta um ótimo índice de radiação solar, principalmente no Nordeste, onde possui valores típicos de entre 1.752 kW/m² a 2.190 kW/m² por ano. Para comparação, a França recebe radiação solar entre 1.000 kW/m² e 1.500 hW/m² por ano. O deserto do Saara recebe em torno de 2.600 kW/m² por ano.

O Brasil tem condições favoráveis para o desenvolvimento da energia solar e esse potencial deve ser aproveitado e estimulado. Em relação ao meio ambiente, a produção e o uso da energia solar não constituem na queima de combustíveis fósseis, ou seja, não geram nenhum tipo de agressividade ao meio ambiente. Quando se fala em aquecimento global, é seguro afirmar que esse tipo de energia não contribuiu para esse fenômeno, é uma energia chamada de limpa (GELLER, 2003).

Palz (1981) defende que a energia solar possui capacidade para suprir toda necessidade energética mundial e não apenas necessidades residenciais, ou seja, pode-se utilizar energia solar em transportes, indústrias, meio diversos de produção e não apenas no aquecimento da água de casa e utilização de equipamentos domésticos.

Geller (2003) defende que a sociedade está vivendo aquilo que se chama de Revolução Energética, que pode ser definida como o período onde a sociedade como um todo está repensando os meios de produção de energia. É essencial que meios que não se renovam e

consomem recursos naturais em grande escala sejam gradativamente deixados de lado, dando espaço para a energia limpa.

Um futuro com energia sustentável é possível por meio de uma eficiência energética muito maior além de uma dependência igualmente maior de fontes renováveis de energia em comparação com os padrões e tendências atuais. Uma maior eficiência energética reduziria o crescimento do consumo de energia, diminuiria a demanda de investimento e melhoraria os serviços de energia para as famílias e nações mais pobres. A substituição de combustíveis fósseis por fontes renováveis de energia, nas próximas décadas, abrangeeria todos os problemas associados a um futuro *bussines-as-usual* (GELLER, 2003, p.31).

O futuro citado por Geller (2003) terá menos emissão de gás carbônico e maior eficiência energética. As fontes renováveis de energia serão responsáveis por 40% do fornecimento de energia total até 2050 e 80% até o final do século XXI, essa é a idéia de um futuro sustentável.

É necessário que se invista em energia solar para que a sociedade consiga se desenvolver conforme esperado, é fundamental que novas tecnologias sejam estimuladas para que a luz solar consiga ser coletada e transformada em energia, para tal é necessário conhecimento da célula fotovoltaica e do coletor solar.

2.2 - Célula fotovoltaica e coletor solar

Em 1830 um físico descobriu que a luz solar poderia ser transformada em energia para uso do ser humano, isso foi possível através da descoberta do efeito fotovoltaico, que pode ser definido como a capacidade de uma célula solar transformar a energia luminosa em energia elétrica. Em outras palavras ele descobriu que a radiação solar poderia ser transformada em energia, a luz emitida pelo sol poderia ser útil para a humanidade (ALDABÓ, 2002).

Palz (1981) salienta que as células fotovoltaicas são construídas para que a energia luminosa seja transformada em energia útil. Vários materiais podem ser utilizados para produção dessas células, atualmente o silício é o mais utilizado.

Aldabó (2002) explica que é preciso também da presença de um painel solar, que pode ser definido como um conjunto de células fotovoltaicas, dispostos de maneira adequada em uma estrutura de sustentação, sendo que as células devem estar interligadas, possibilitando coleta e acúmulo de radiação solar e sua transformação em energia útil.

Os sistemas de aquecimento, com aproveitamento dos raios solares (transformando a luz em calor) se dá através da absorção de superfícies escuras. Os mais conhecidos são os que utilizam painéis solares fotovoltaicos. Esse sistema é constituído por tipos de caixas térmicas em forma geométrica retangular (PEREIRA, 2009, p. 91).

Os custos e a eficiência do painel solar dependem de sua área, que também vai determinar a eficiência com que a radiação solar coletada é transformada em energia. Um dos maiores problemas enfrentados pela energia solar e o que, muitas vezes, impossibilita sua disseminação em massa, é a instabilidade de sua eficiência (PALZ, 1981).

Porém Aldabó (2002) coloca algumas alternativas para diminuir essa instabilidade ou limitação da eficiência do painel solar composto das células fotovoltaicas, o autor lista cinco alternativas:

- A luz que é refletida, ou perdida, pela superfície da célula pode ser minimizada por meio de tratamento da superfície;
- A perda da luz que é refletida por contatos elétricos na parte frontal da célula pode ser minimizada com a utilização de contatos elétricos transparentes;
- A quantidade de luz que passa através do material semicondutor sem coincidir com algum ponto de transformação pode ser limitada com a seleção de materiais com alto índice de absorção. Alguns tipos de filmes possuem espessura superior a 1 micrão, absorvendo 90% da luz solar. O silício, que é o material mais utilizado, possui de 50 a 150 microns, o que possibilita absorção efetiva;
- Lacunas criadas pelos fótons podem se recombinar antes de alcançar a junção e formar corrente elétrica. Ligas de hidrogênio são usadas para prevenir que essa recombinação resulte em material que não possa ser utilizado;
- A resistência elétrica no interior do semicondutor pode ser minimizada durante o projeto do painel solar baseada nas células fotovoltaicas.

De maneira geral a vida útil de um sistema fotovoltaico é de 20 anos, após esse período o sistema precisa de reparos e pode continuar operando normalmente. Os avanços tecnológicos possibilitam o uso desses sistemas com total segurança e sem perda de matéria-prima, o que significa grandes avanços em relação a outros tipos de energia.



Figura 2 – Painel solar com células fotovoltaicas.

Outra opção quando se fala em energia solar é o coletor solar, que difere do sistema fotovoltaico por não gerar eletricidade diretamente, mas sim por aquecer um fluido que irá gerar a energia, conforme Aldabó (2002).

Nos painéis solares a radiação incide e aquece uma placa térmica de cor negra, que aquece uma tubulação interna (tipo serpentina). Estes conjuntos ou não de coletores pode elevar a temperatura da água até 80°C (região nordeste do Brasil). No sul se obtém temperatura no máximo a 55°C, ainda acima da temperatura ideal para o banho que é de 35°C a 40° C (PEREIRA, 2009, p. 91).

E eficiência da energia solar em relação ao aquecimento já não é mais contestada, para uso doméstico ela supre todas as necessidades, para uso industrial ela alcança índices superiores a 80% em eficiência, o que diminui a necessidade de uso de outros tipos de energia diminuindo, também, impactos ambientais (PALZ, 1981).

Aldabó (2002) ressalta que o coletor solar é responsável pela absorção e transferência da radiação solar para o fluido que irá proporcionar a geração de energia. Esse tipo de coletor solar normalmente tem aparência de uma caixa retangular rasa e dentro está uma serpentina, geralmente de cobre devido à condutividade térmica, por onde o fluido escoar, o calor absorvido pela caixa é transferido a serpentina e o fluido ao passar pelos canos se aquece. O coletor deve ser colocado em uma posição que aproveite por mais tempo a incidência de luz solar.



Figura 3 – Coletor solar para aquecimento de água.

Esses tipos de sistema são os que conseguem coletar e transformar raios solares em energia são os que conseguem aproveitar a luz solar como energia. São sistemas não poluentes e que mesmo utilizando recursos naturais contribuem para sustentabilidade.

Palz (1981) salienta que o que incentiva o uso as energia solar é que essa é uma energia que já existe, os raios solares estão a disposição para uso, o que diminuiu investimentos de tempo em dinheiro em sua transformação de energia útil.

Deve-se buscar a energia não onde ela é cara, em tempo e trabalho, mas sim onde ela é mais abundante. O sol nos fornece esta energia, sob várias formas: o vento, a água, as plantas, o calor e a luz. Trata-se de imensas quantidades de energia, que não notamos muito diretamente, por estarem muito difusas por todo planeta, não só pela área total do planeta, mas também pela diversidade das formas pelas quais se manifesta (PALZ, 1981, p.8).

A idéia de Palz (1981) é a de que se deve utilizar o que nos é fornecido pelo meio ambiente, sem degradá-lo. Os raios solares podem ser utilizados sendo retirado da natureza sem causar nenhum impacto ambiental, seu uso não prejudica o meio ambiente, promove práticas sustentáveis e vale ressaltar que supre necessidades domésticas, de transporte e industriais.

Hoje quando se fala de fontes alternativas de energia, está realmente preservando as fontes naturais e cuidando melhor do meio ambiente, que tem sido muito degradado diante de tecnologias voltadas para a extração das riquezas naturais, pois o desenvolvimento acelerado nas cidades, nas últimas décadas, fez com que aumentasse muito o consumo de energia elétrica (SILVA, 2008, p. 16).

É necessário que se pense em formas de desenvolvimento que não agridam o meio ambiente, em relação à energia não é diferente, a energia solar pode ser de auxílio para o alcance de energia limpas.

2.3 - Energia solar e meio ambiente

A demanda energética tem crescido consideravelmente nos últimos anos, Aladabó (2002) coloca que o homem tem ido em busca da natureza a fim de conseguir suprir essa demanda. Porém o que se vê, na maioria dos casos, são investimentos em fontes geradores de energia não renováveis, de alto custo e com grande impacto ambiental. O autor defende que se pretende alcançar altos índices de desenvolvimento humano é preciso investir em fontes geradoras de energia renováveis, de baixo custo e pequeno impacto ambiental, como a energia solar.

Segundo Geller (2003) é preciso que haja investimento em fontes de energia sustentáveis, no Brasil há carência do uso de energia solar, porém como já descrito nesse trabalho, o país é promissor para o desenvolvimento desse tipo de energia. Ao mesmo tempo que oferece grande oportunidade de desenvolvimento desse tipo de geração de energia, visto que é pouco explorada.

O pensamento ambiental tem muito a ver com aquela responsabilidade social: o objetivo mais propagado é a sobrevivência da humanidade, dependente da natureza a qual pertence. Conservar o meio ambiente é uma forma de valorizar o homem em todos os aspectos, desenvolvendo condições para qualidade de vida (ALDABÓ, 2002, p.67).

Os ganhos ambientais impulsionam a utilização da energia solar, o momento atual é de poupar os recursos naturais, de maneira geral o meio ambiente já foi explorado em demasia, fazendo com que o homem repensasse o consumo de bens naturais. Palz (1981) defende que a utilização dos raios solares na geração de energia tem impacto zero, visto que o sol irradia esses raios, assim como a radiação, na terra, esses são recursos naturais não aproveitados pelo homem, mas com potencial para tal. Por isso deve-se investir nesse tipo de energia, pois utiliza recursos que até então, não teriam outra utilidade, a não ser serem transformados em energia solar.

Pereira (2009) salienta que há a necessidade do desenvolvimento sustentável, onde os recursos naturais não são explorados inconscientemente, onde o homem entende a necessidade de preservação dos recursos naturais e da utilização de recursos naturais renováveis. É nesse pensamento que surge o conceito de energia limpa onde todas as fases de

produção de energia devem ser não poluentes, assim como a matéria-prima deve ser renovável.

Aldabó (2002) coloca que são premissas da energia limpa:

- Aperfeiçoamento do processo produtivo para torná-lo mais eficiente;
- Revisão dos projetos dos produtos para facilitar a sua produção e melhorar o seu desempenho;
- Utilização de matéria-prima com maior grau de pureza;
- Eliminação de materiais perigosos;
- Eliminação das águas utilizadas no processo;
- Recuperação das águas utilizadas no processo;
- Manutenção preventiva na linha de processo;
- Procedimentos para conservação de energia;
- Programas de redução de perdas em manuseio e estocagem;
- Realização de auditorias sistemáticas;
- Treinamento e conscientização de todas as pessoas que se envolvem com o produto, até o nível de usuário;
- Reciclagem de material.

A energia solar preenche todos os requisitos necessários para produção de energia limpa, além de possuir baixo custo, baixa manutenção e resultados satisfatórios.

Na política do desenvolvimento sustentável, a proteção do ambiente é parte integrante do processo de desenvolvimento. Uma empresa não deve se preocupar com o ambiente apenas para atender os requisitos legais, mas também para alcançar objetivos econômicos compatíveis com padrões sustentáveis de desenvolvimento. Em termos de tecnologia significa ganhos de produtividade através da prevenção da poluição (ALDABÓ, 2002, p.71).

Diminuir a poluição e proporcionar índices de desenvolvimento deve ser essencial a fonte geradora de energia que será escolhida para o futuro, a energia solar consegue suprir essas necessidades.

2.3 Materiais utilizados no experimento

Para que o experimento pudesse foram escolhidos alguns materiais que melhor trabalham em contato com a radiação solar, para que se possa comparar a eficiência dos mesmos. De maneira geral esses materiais são utilizados na maioria dos experimentos com energia solar, tendo sua eficiência comprovada. Os materiais escolhidos foram:

Cobre: utilizado por não necessitar de manutenção por muitos anos, além de ter condutibilidade térmica de 2 a 8 vezes maior que de qualquer outro material que possa ser usado como coletor solar (ALDABÓ, 2002);

Alumínio: utilizado por ser um dos materiais mais indicados na produção de caixas coletoras, pouco corrosivo e durável (ALDABÓ, 2002);

PVC: material com alto valor energético, oferece energia, calor e resistência. É reciclável e resistente a luz, baixa permeabilidade de gás carbônico e oxigênio (GELLER, 2003).

3 – PARTE EXPERIMENTAL

3.1-Centro de Energias Renováveis

Os aquecedores utilizados neste experimento foram montados no Centro de Energias Renováveis no campus da UNESP, Guaratinguetá, SP.

O Centro de Energias Renováveis da UNESP Guaratinguetá foi fundado em fevereiro de 2001 com objetivo de Projetar, desenvolver, aperfeiçoar, divulgar e implantar dispositivos para suprir o meio rural de energia elétrica, bombeamento de água e aquecimento e o meio urbano de aquecimento solar de água. Também prestar assistência em projetos elétricos de iluminação eficiente, instalações elétricas, aterramento elétrico, pára-raios e eficiência energética.

De fevereiro de 2001 até atualmente foram desenvolvidas várias pesquisas e desenvolvidos software em relação a fontes alternativas de energia.



Figura 4 – Centro de energia renovável da UNESP Guaratinguetá.

Segundo o site de Faculdade de Engenharia de Guaratinguetá (FEG) (<http://www.feg.unesp.br/energiasrenovaveis/>), o Centro de Energias Renováveis conta atualmente com os seguintes equipamentos:

- Cata-vento
- Painel fotovoltaico
- Gerador eólico
- Aquecedor solar parabólico
- Aquecedor solar cilíndrico
- Aquecedor solar convencional
- Aquecedor solar popular
- Micro-usina hidrelétrica
- Carneiro hidráulico
- Roda d'água

3.2 Princípio de funcionamento do coletor solar

O princípio de funcionamento deste aquecedor solar é bem simples. O mesmo é montado de forma a ficar exposto à radiação solar. Quando esta incide sobre o aquecedor, é transferida a água na forma de calor aquecendo então a água que circula pelo aquecedor. Esta circulação da água é forçada pelo princípio de diferença de peso, visto que a água quente possui uma densidade menor que a densidade da água fria.

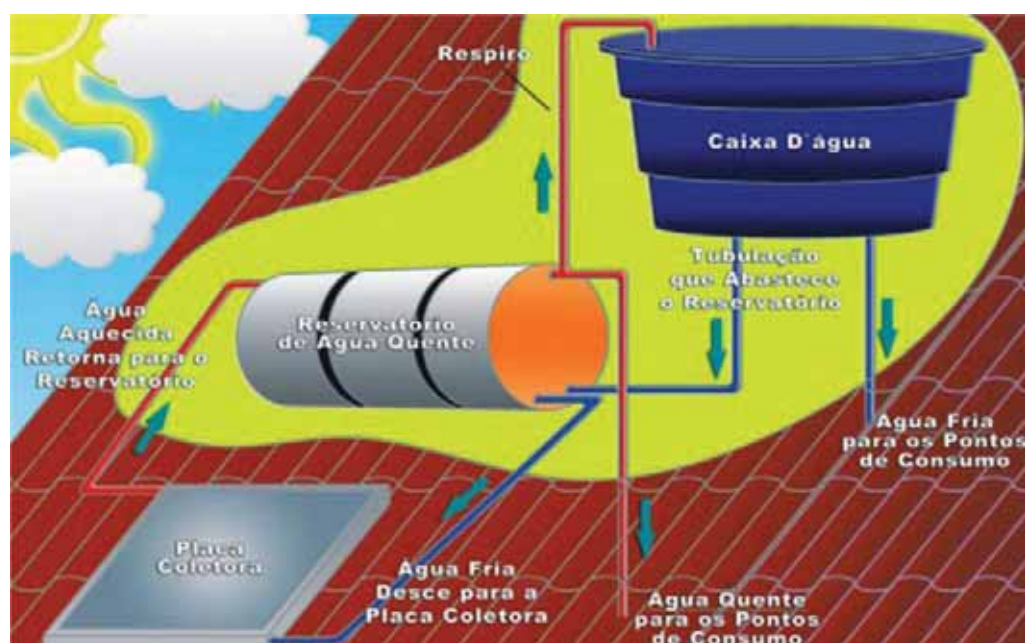


Figura 5 – Esquema básico de funcionamento de um aquecedor solar.

A função das garrafas PETs neste aquecedor é gerar um efeito estufa retendo parte da radiação infravermelha. Isto causa um aquecimento bem maior no interior da garrafa e

conseqüentemente aumenta a transferência de calor para a água, aumentando assim rendimento do aquecedor.

3.3 Montagem do experimento

Foram montados três conjuntos de aquecedores solares utilizando em cada conjunto condutores hidráulicos de diferentes materiais, que foram os seguintes: cobre, alumínio e PVC. Cada conjunto foi montado com dimensões, diâmetros, inclinação idênticas a fim de obter os mesmos parâmetros e obter uma comparação com o mínimo possível de influências de fatores que não seja relacionada às características do material utilizado.

Cada aquecedor montado tem 2 m^2 de área montada, sendo composto por 5 barras de condutores com 2 metros de comprimento com espaçamento de 20 cm entre as mesma

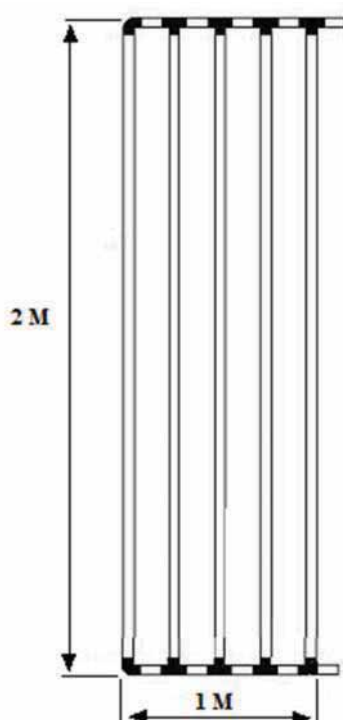


Figura 6 – Esquema de montagem dos conjuntos de aquecedores

Em cada duto foram fixadas 10 garrafas PET's de 500 ml, totalizando 50 garrafas em cada aquecedor. Todas as garrafas utilizadas possuíam o mesmo formato, sendo garrafas descartáveis de água mineral.



Figura 7 - Conjuntos de aquecedores



Figura 8 - Aquecedor com condutor de alumínio



Figura 9 - Aquecedor com condutor de PVC

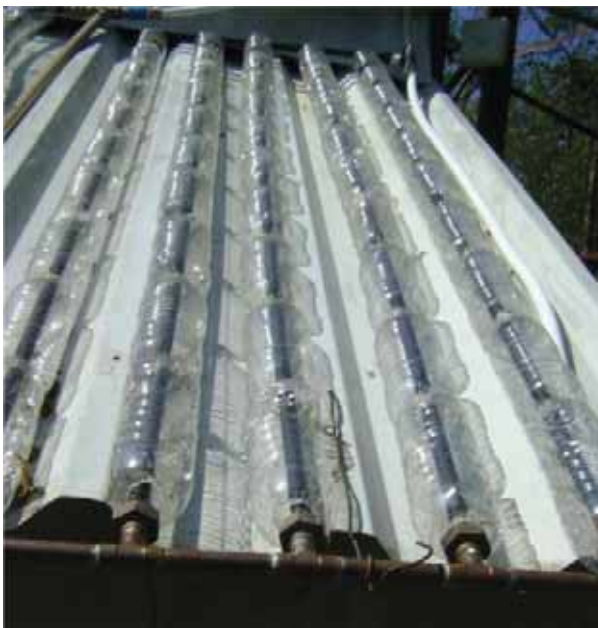


Figura 10 - Aquecedor com condutor de cobre.

3.4 Materiais utilizados:

Para a montagem de todo o experimento foram utilizados os seguintes materiais:

- 12 m de tubulação de cobre de ½”.
- 12 m de tubulação de alumínio de ½”.
- 12 m de tubulação de PVC de ½”.
- 9 conexões de cobre em T de ½”
- 9 conexões de alumínio em T de ½”
- 9 conexões de PVC em T de ½”.
- 1 curva 90° de cobre de ½”
- 1 curva 90° de alumínio de ½”
- 1 curva 90° de PVC de ½”
- 1 conexão reta de cobre de ½”
- 1 conexão reta de alumínio de ½”
- 1 conexão reta de PVC de ½”
- 3 torneira de alumínio de ½”
- 150 garrafas PET de 500 ml

3.5 Medições

O experimento foi realizado utilizando o aquecedor solra em cinco condições de vazão, sendo estas: 10 l/h, 15 l/h, 20 l/h, 25/h, 30 l/h.

As medições dos parâmetros experimentais foram realizadas no dia 29 de outubro de 2011 no intervalo de horário entre as 09:45 às 13:00.

No momento da realização do experimento o dia estava ensolarado praticamente sem nuvens, a temperatura em torno de 31 °C e velocidade do vento desprezível. Essas condições climáticas são consideradas ideais para a realização deste tipo de experimento.

3.5.1 Seqüência de medição

As medições foram realizadas para cada vazão seguindo os seguintes procedimentos:

1. Primeiramente ajustava-se a vazão desejada igualmente nos três conjuntos de aquecedores.
2. Depois eram medidas as temperaturas da água em cada um dos conjuntos de aquecedores.
3. Em seguida era medida a temperatura ambiente.
4. Após isto era realizada a medição de incidência de radiação solar.
5. Os itens 2, 3 e 4 foram repetidos 10 vezes para cada valor de vazão.

3.5.2 Métodos e equipamentos

Segue a os métodos e equipamentos utilizados para a medição de cada parâmetro no experimento

• **Vazão:** para medir a vazão foi utilizado um béquer e cronometrado o tempo para enchimento do mesmo, calculando valor em l/h. Por exemplo, no experimento para vazão de 30 l/h, a vazão da torneira foi regulada para que enchesse o béquer (100 ml) em 12 s.



Figura 11 - Béquer (100 ml)



Figura 12 - Cronômetro

• **Temperaturas da água:** Após ajustadas a vazão eram realizadas 10 medições da temperatura de saída da água em cada aquecedor, estas medições foram realizadas utilizando o termômetro digital com termopar tipo K.



Figura 13 - Termômetro digital com termopar tipo K.

- **Temperatura ambiente.** Após cada medição das temperaturas de saída da água, media-se a temperatura ambiente, utilizando um termômetro digital.
- **Incidência de radiação solar.** Também após cada medição das temperaturas de saída da água media-se a o índice de radiação solar. O aparelho utilizado para esta medição foi o medidor de intensidade solar, e a unidade de medição é o W/m^2 .



Figura 14 - Medidor de densidade de potencia solar.

4 - RESULTADOS

O experimento foi realizado para cinco diferentes valores de vazão: 30, 25, 20, 15 e 10 litros por hora.

A seguir teremos as tabelas com os valores medidos para cada vazão.

➤ Vazão de 30 l/h

Experimento realizado dia 29/10/11 das 09:45 as 10:15.

Tabela 1 – Vazão de 30 l/h

Vazão: 30 l/h					
Medidas	W/m ²	T _a	T _(Cu)	T _(Al)	T _(PVC)
1	829	31,8	39,9	40,4	40,5
2	819	31,6	39,5	40,0	39,7
3	837	31,0	39,9	40,9	40,5
4	832	31,2	39,8	40,6	40,2
5	840	31,0	39,2	40,4	40,1
6	841	30,6	39,5	40,3	39,9
7	851	30,8	39,3	40,7	40,6
8	847	30,6	39,8	41,2	41,2
9	844	30,3	39,9	40,9	41,0
10	854	30,1	39,7	41,2	41,1
Total	839	30,9	39,7	40,7	40,5
Desvio Padrão	10,62	0,54	0,26	0,39	0,51

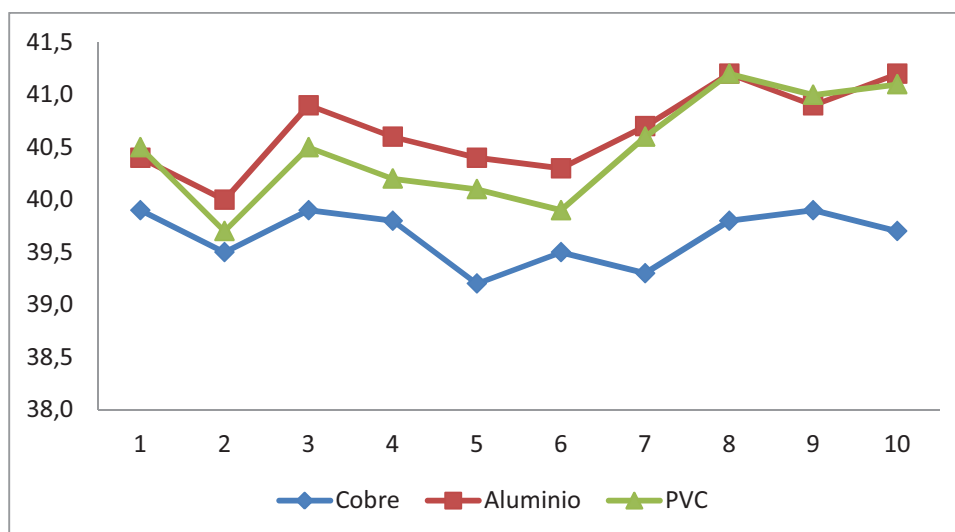


Figura 15 – Vazão em relação aos materiais utilizados

➤ Vazão de 25 l/h

Experimento realizado dia 29/10/11 das 10:15 as 10:45.

Tabela 2 – Vazão de 25 l/h

Vazão: 25 l/h					
Medidas	W/m ²	T _a	T _(Cu)	T _(Al)	T _(PVC)
1	925	33,3	43,1	44,3	44,0
2	931	32,9	42,7	45,0	44,1
3	933	33,4	42,8	44,8	44,2
4	941	33,2	42,7	44,6	44,2
5	940	33,0	43,0	44,8	44,5
6	928	32,8	43,1	44,9	44,0
7	942	32,8	43,0	44,7	44,2
8	931	32,9	43,2	45,0	44,2
9	935	33,1	43,4	45,1	44,4
10	942	33,0	43,1	45,2	44,5
Total	935	33,0	43,0	44,8	44,2
Desvio Padrão	6,18	0,21	0,22	0,26	0,18

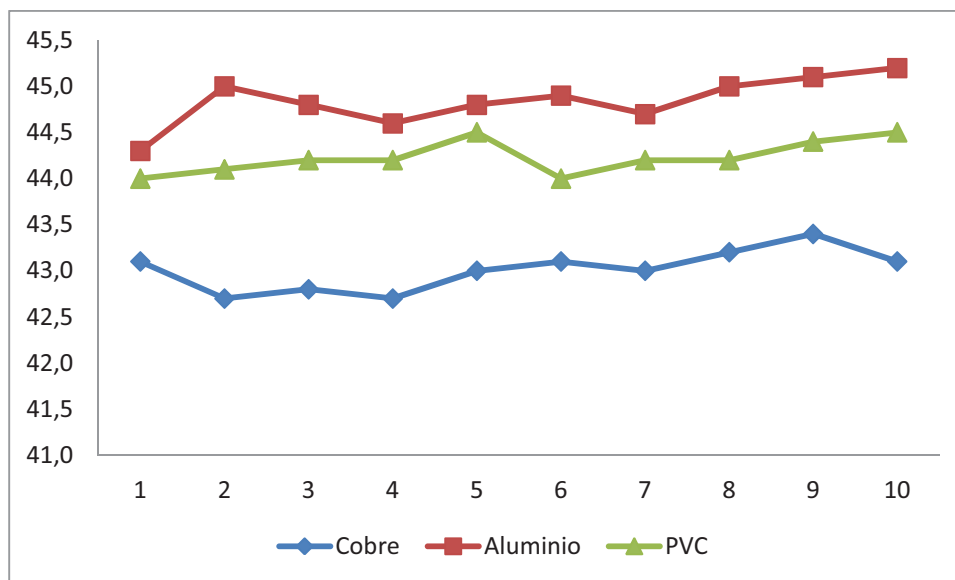


Figura 16 – Vazão de 25 l/h em relação aos materiais utilizados

➤ Vazão de 20 l/h

Experimento realizado dia 29/10/11 das 10:15 as 10:45.

Tabela 3 – Vazão de 20 l/h

Vazão: 20 l/h					
Medidas	W/m ²	Ta	T(cu)	T(al)	T(pvc)
1	843	30,8	42,0	43,9	43,9
2	830	30,7	42,1	44,0	43,8
3	827	30,5	41,9	43,5	43,5
4	839	30,1	42,2	43,6	43,4
5	847	30,1	42,0	43,4	43,3
6	852	30,2	42,2	43,6	43,4
7	829	30,1	42,8	44,0	43,9
8	838	30,4	42,4	43,8	43,5
9	851	29,7	42,5	44,2	43,9
10	846	30,0	42,6	44,3	43,7
Total	840	30,3	42,3	43,8	43,6
Desvio Padrão	9,15	0,34	0,29	0,30	0,24

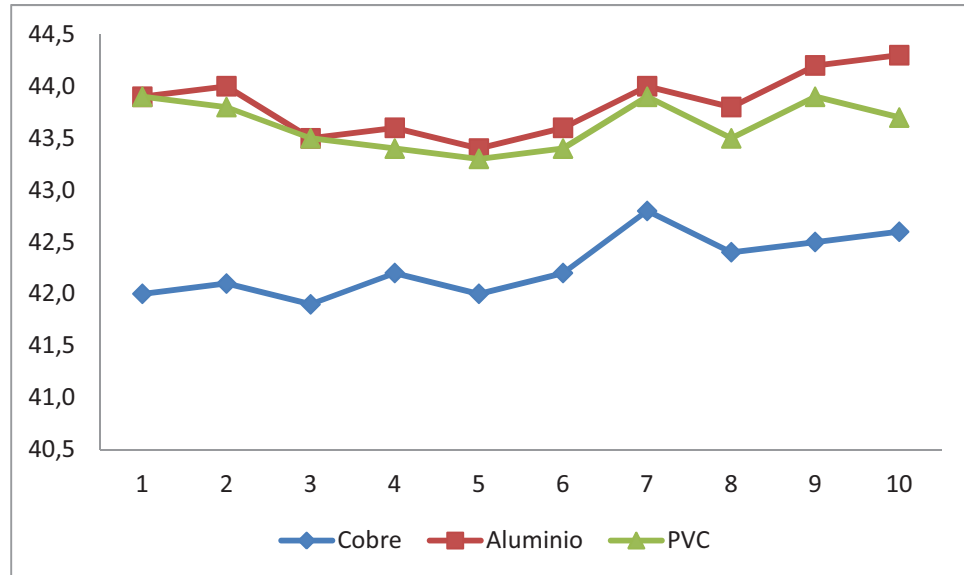


Figura 17 – Vazão de 20 l/h em relação aos materiais utilizados

➤ Vazão de 15 l/h

Experimento realizado dia 29/10/11 das 11:45 as 12:15

Tabela 4 – Vazão de 15 l/h

Vazão: 15 l/h					
Medidas	W/m ²	T _a	T _(Cu)	T _(Al)	T _(PVC)
1	902	31,5	45,2	48,8	47,5
2	897	32,3	45,3	48,9	47,8
3	911	32,2	45,3	48,0	47,7
4	912	31,9	45,0	48,8	47,9
5	904	31,7	44,8	48,5	47,5
6	917	31,6	44,9	48,3	47,4
7	922	31,8	44,7	48,5	47,5
8	921	31,5	45,3	48,4	47,7
9	905	31,6	45,3	48,6	47,9
10	913	32,0	45,7	48,8	48,2
Total	910	31,8	45,2	48,6	47,7
Desvio Padrão	8,30	0,28	0,30	0,28	0,25

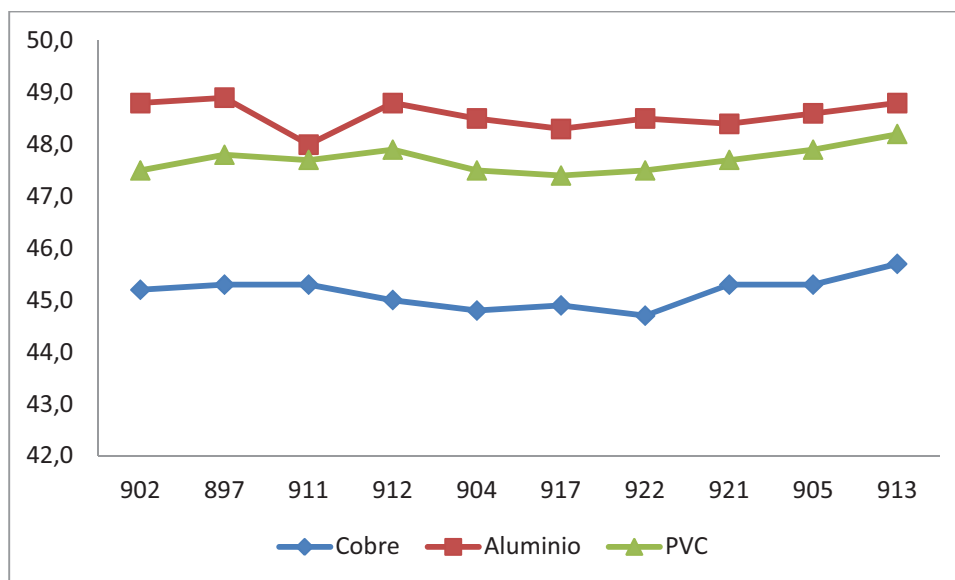


Figura 18 - Vazão de 15 l/h em relação aos materiais utilizados

➤ Vazão de 10 l/h

Experimento realizado dia 29/10/11 das 10:45 as 11:15.

Tabela 5 – Vazão de 10 l/h

Vazão: 10 l/h					
Medidas	W/m ²	T _a	T _(Cu)	T _(Al)	T _(PVC)
1	880	30,6	49,0	51,2	50,6
2	878	30,7	49,1	51,0	50,7
3	897	30,9	49,0	51,5	50,7
4	889	31,5	48,5	51,6	50,4
5	878	31,8	48,8	52,1	51,5
6	893	32,0	49,5	52,5	52,5
7	891	32,3	48,9	52,5	52,5
8	918	32,5	49,6	51,8	52,8
9	921	32,2	49,1	51,7	52,5
10	932	32,3	49,5	51,9	52,7
Total	898	31,7	49,1	51,8	51,7
Desvio Padrão	19,33	0,71	0,35	0,50	1,00

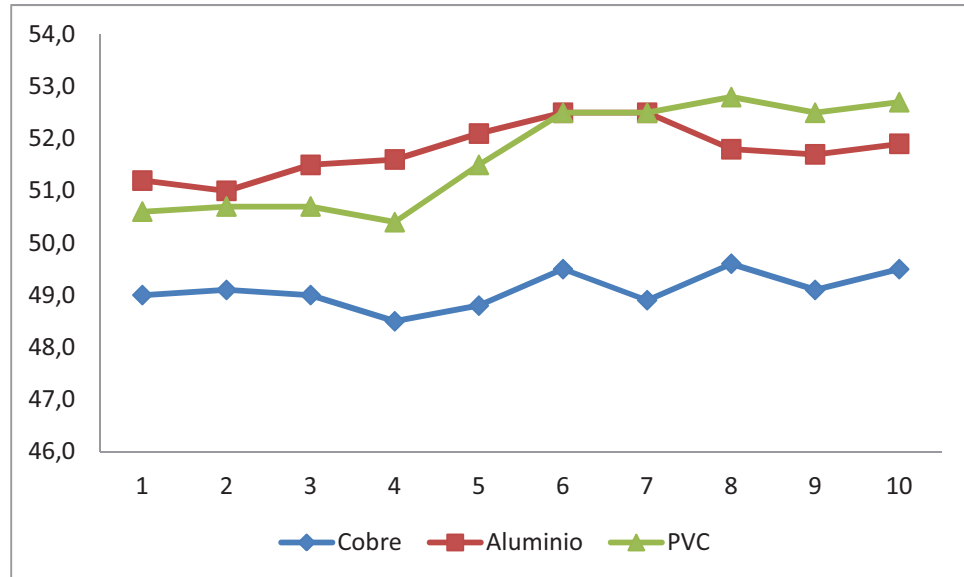


Figura 19 - Vazão de 10 l/h em relação aos materiais utilizados

4.1 Aumento real de Temperatura

O dado mais significativo para analisarmos a eficiência de um aquecedor não é a temperatura final da água, mas sim a diferença entre esta temperatura e a temperatura ambiente, ou segue o aumento real de temperatura.

A seguir temos uma tabela do aumento da temperatura em cada aquecedor em função da vazão e do índice de radiação solar.

Tabela 6 – Aumento real de temperatura

		Aumento de temperatura (°C)		
Vazão (l/h)	Radiação (W/m ²)	Cobre	Aluminio	PVC
30	839	8,8	9,8	9,6
25	935	10,0	11,8	11,2
20	840	12,0	13,6	13,4
15	910	13,3	16,8	15,9
10	898	17,4	20,1	20,0

4.2 Rendimento do Aquecedor Solar

Podemos determinar o rendimento do aquecedor solar relacionando através da seguinte equação (CREDER, 1991):

$$\eta = \frac{Q}{S.I}$$

Sendo:

η : rendimento.

Q: quantidade de calor necessária para aquecer a água de T_i a T_f (kJ);

S: área de troca de calor (m²);

I: índice de radiação solar (kcal/m². h);

A área de troca de calor pode calculada através da equação seguinte:

$$S = n. 2. \pi. r. h$$

Sendo:

S: Área de troca de calor

n: número de tubos utilizados no aquecedor;

r: raio do tubo;

h: altura dos tubos

A quantidade de calor necessária para aquecer a água de T_i a T_f é determinada através da expressão:

$$Q = m \cdot c \cdot (t_f - t_i)$$

Sendo:

m= Massa de água aquecida (kg);

c = Calor específico da água $\left(\frac{kJ}{kg \cdot ^\circ C}\right)$

t_f = Temperatura de saída de água ($^\circ C$);

t_i = Temperatura de entrada da água ($^\circ C$).

Como o índice de índice de radiação solar medido em W/m^2 , este será convertido para $kJ/h.m^2$.

De posse destes dados foi calculado os rendimentos para cada material e em cada vazão utilizada no experimento, este valores estão na tabela a seguir:

Tabela 7 – Rendimento

Vazão (l/m)	Calor (kJ/h.m ²)	Rendimento		
		Cobre	Alumínio	PVC
30	3022	75,9%	84,7%	83,2%
25	3365	64,8%	76,6%	72,7%
20	3025	69,4%	78,5%	77,3%
15	3277	53,4%	67,0%	63,6%
10	3232	47,1%	54,4%	54,1%
Rendimento Médio		62,1%	72,2%	70,2%

Podemos observar através da tabela anterior que há uma grande variação do rendimento em relação às vazões. E este rendimento é maior para vazões maiores. Isto acontece porque a água sai do aquecedor com temperaturas mais altas quando as vazões são menores, e quanto

maior a temperatura da água, mais difícil fica a absorção de calor desprezando portanto parte do calor fornecido pela radiação solar. Exemplo, com vazão de 30 l/h a água entra no aquecedor de alumínio a 30,9 °C e sai a 40,7 °C, e este apresenta um rendimento de 84,7%. No mesmo aquecedor com vazão de 10 l/h, a água entra a 31,7 °C e sai a 51,8 °C, e este apresenta um rendimento de 54,4%.

Este é o motivo dos altos valores rendimento encontrados para as vazões de rendimentos encontrados para as vazões mais altas do experimento. Em um aquecedor doméstico a água circula varias vezes pelos condutores e chega a temperaturas entre 50° C e 70° C normalmente, assim o rendimento dos mesmos fica em torno de 50% a 60%.

5 - CONCLUSÃO

Este trabalho consistiu na montagem de aquecedores solares de baixo custo utilizando materiais recicláveis, cuja eficiência já foi comprovada em experimentos anteriores, a fim de compararmos as eficiências de três diferentes materiais que foram utilizados como condutores hidráulicos nestes aquecedores solar. Os materiais escolhidos para o estudo foram os seguintes: alumínio, cobre e PVC.

Através das medições de temperatura de saída da água medidas com varias vazões diferentes, podemos constatar que o alumínio apresentou a maior eficiência para esta aplicação, seguido pelo PVC, e o cobre apresentou a menor eficiência entre os materiais analisados neste trabalho.

Através da análise de rendimento dos aquecedores solares relacionando a quantidade de calor emita em sua superfície com a quantidade de calor absorvida pela água, o aquecedor com condutor de alumínio apresentou um rendimento médio de 72,2 %, enquanto o rendimento do aquecedor que utilizando o PVC foi de 70,2% e o aquecedor com condutor de cobre foi de 62,1%.

Através do aumento real de temperatura de cada aquecedor em cada vazão analisada confirmamos que o alumínio é o condutor mais eficiente, apresentado uma eficiência de aproximadamente 17% superior ao condutor de cobre e 3% superior ao condutor de PVC. O condutor de PVC apresentou uma eficiência aproximadamente 13% superior ao condutor do cobre.

A análise de rendimento apresentou uma grande variação para diferentes vazões, sendo maior o rendimento em maiores vazões. Esta variação se justifica devido a menores vazões apresentarem temperaturas de saída da água mais alta, e quanto mais alta a temperatura da água menor o índice de absorção de calor da água e menor a retenção do mesmo pelo ar, apresentando assim um rendimento mais baixo.

Finalmente pode-se concluir que as melhores opções de condutores para este tipo de aquecedor solar são o alumínio e o PVC. Como os dois materiais tiverem desempenho muito próximo, se torna viável que seja feita uma análise de preço para se determinar com qual material terá o melhor custo beneficio no aquecedor. O cobre é inviável para esta finalidade, pois alem de apresentar uma eficiência bem inferior em relação ao cobre e ao alumínio, o seu custo é mais alto em relação ao alumínio e o PVC.

Uma sugestão para trabalhos futuros é a análise dos materiais para se determinar o motivo das diferenças de desempenho entre os materiais estudados.

6 – REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

CENTRO DE ENERGIAS RENOVAVEIS Disponível em: <http://www.feg.unesp.br/sbd/index_sbd.php>. Acesso em: 14 out. 2011.

BRASIL POTENCIA EM ENERGIA SOLAR: Mapa do potencial de geração de energia solar no Brasil. Disponível em: <<http://www.revistaambientelegal.com.br/>>. Acesso em: 15 out. 2011.

ALDABÓ, Ricardo. **Energia solar**. São Paulo: Artliber, 2002. 155p.

GELLER, Howard Steven. **Revolução energética: políticas para um futuro sustentável**. Rio de Janeiro: Delume Dumará, 2003. 299 p.

PALZ, Wolfgang. **Energia solar e fontes alternativas**. São Paulo: Hemus, 1981. 358p.

PEREIRA, Mário Jorge. **Energia: eficiência e alternativas**. Rio de Janeiro: Ciência Moderna, 2009. 197p.

CREDER, Hélio. Instalações hidráulicas e sanitárias. 5.ed. Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos, 1991. 465p.

SANTOS, Ana Paula Pereira dos. **Eficiência térmica de aquecedores solares confeccionados com garrafa PET incolores para uma família de quatro pessoas**. Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Engenharia de Guaratinguetá, Guaratinguetá, 2009.

SILVA, Diovana de Moura. **Eficiência de Aquecedores Solares Confeccionados com Garrafas PET de Diversas Cores**. Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Engenharia de Guaratinguetá, Guaratinguetá, 2008.