



UNIVERSIDADE EDUARDO MONDLANE

FACULDADE DE CIÊNCIAS

DEPARTAMENTO DE FÍSICA

CURSO DE FÍSICA APLICADA

PLANEAMENTO DE ENERGIA E GESTÃO AMBIENTAL

TEMA

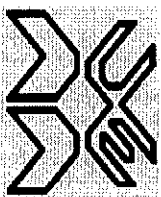
TECNOLOGIAS DE ENERGIA SOLAR TÉRMICA



Docente: Prof.Dr. Boaventura Cuamba

Discente: Claudio Leonel Tingote

Maputo, Dezembro de 2010



UNIVERSIDADE EDUARDO MONDLANE

FACULDADE DE CIÊNCIAS

DEPARTAMENTO DE FÍSICA

CURSO DE FÍSICA APLICADA

PLANEAMENTO DE ENERGIA E GESTÃO AMBIENTAL

Licenciatura em Física Aplicada

Tema:

Tecnologias de energia solar térmica

Docente: Prof.Dr.Boaventura Cuamba

Discente: Claudio Leonel Tingote

Maputo, Dezembro de 2010

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho a minha mãe e irmã

Emelina Samuel e Olga Samuel Tingote
meus irmãos,

à minha esposa *Evidia Arsénia*
e ao meu filho **Mártin** Claudio

AGRADECIMENTOS

- A Deus por estar presente em todos os momentos da minha vida.
- Aos meus queridos pais, a minha esposa, meu filho, a quem tudo devo ao longo da minha vida. Aos meus irmãos ,Olga Delcio, Baltazar, Leocadia, Euleterio, Natasha, Vernatite, e aos meus sobrinho, aos meus amigos Dique, Felix, Mirrasse, Antero, que contribuíram bastante para o meu sucesso dando-me muita força.
- Aos drs, Basílio Zeloso Tamele, Tomas Manuel Nhabetse, Andre Silvestre Cunica pelas críticas e encorajamento mostrado ao longo do acompanhamento do meu trabalho.
- Aos, Professores, funcionários e os meus colegas, em especial aos bibliotecários pelo constante apoio.
- Finalmente a todos aqueles que contribuíram directa ou indirectamente para elaboração deste trabalho.

DECLARAÇÃO DE HONRA

Declaro por minha honra, que este trabalho é fruto de minha pesquisa, e que o mesmo foi realizado para ser submetido apenas como Exame de Estado, para obtenção de grau de Licenciatura no curso de Física Aplicada no departamento de Física na Universidade Eduardo Mondlane (UEM).

Maputo, Dezembro de 2010



Claudio Leonel Tingote

Epígrafe

Não podes ensinar nada a um homem; podes apenas ajudá-lo a encontrar a resposta dentro dele mesmo.

(Galileu Galilei)

RESUMO

Atualmente, os combustíveis fósseis são um bem escasso, na posse de apenas países, que cada vez se vão tornando mais caros. A sua utilização contribui bastante para a alta emissão de gases carbônico para atmosfera juntamente com as queimadas descontroladas das florestas o que contribui na redução da camada de ozono e agravando ainda mais o aquecimento global do planeta. Neste contexto, torna-se necessário encontrar uma forma alternativa para produção de energia que possa vir substituir gradualmente os combustíveis fósseis.

Numa época de grande instabilidade nos preços de energia e uma crescente dependência no abastecimento de combustíveis fósseis a aposta na redução dos consumos é da utilização de energia renováveis, é a mais segura já que apresenta o potencial de ter futuros custos de exploração aceitável.

Este trabalho aborda-se a temática referente a conversão solar térmica, as tecnologias existentes, as aplicações mais importantes, o funcionamento dos sistemas solares térmicos, quais os equipamento que fazem parte deste sistema na natureza, são apresentado ainda os diversos tipos de sistema solares térmicos existentes.

SÍMBOLOS/ABREVIATURAS

cpc - Colector parabólico composto
UEM - Universidade Eduardo Mondlane
Pág - Página
α - absorvidade
τ -transmissividade
p - Reflectividade
η - Rendimento
i - Intensidade da radiação
h - Coeficiente de transferência de calor
k - Condutividade
q - Fluxo de calor
T - Temperatura
T_e - Temperatura do fluido na entrada no colector
T_s - Temperatura do fluido que sai do colector
T_a - Temperatura ambiente
F - Factor de remoção
T_c - Temperatura do colector
C_p - Calor específico do fluido
R_g - Radiação global
R_i - Radiação directa
R_s - Radiação difusa
A_c - Área do colector
m - Fluxo da massa do fluido

LISTAS DE FIGURAS

Figura 1 - Espectro electromagnético da radiação solar no topo da atmosfera	4
Figura 2 - componentes da radiação solar incidente na superfície terrestre	5
Figura 3 - Tipos de sistemas térmicos	7
Figura 4 - Coletor plano Comportamento da radiação solar quando em contacto com a matéria	8
Figura 5 - Mecanismo de transferência de calor	9
Figura 6 - Curva característica da eficiência do coletor solar	13
Figura 7 - Coletor plano sem cobertura, com cobertura e CPC	14
Figura 8 – coletor evacuados ou tubo de vácuo	15
Figura 9 - Princípio de funcionamento de um concentrador	16
Figura 10- tipos de coletores concentradores	17
Figura 11- Isolamento térmicos dos edifícios	19
Figura 12 - Parede de trombe	20

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Tipos de coletores	7
Tabela 2 – Vantagens e desvantagens	21

ÍNDICE	PÁG.
Sumário	i
Dedicatória	ii
Agradecimento	iii
Declaração de Honra	iv
Epigrafo	v
Resumo	vi
Símbolos/abreviaturas	vii
1 INTRODUÇÃO	2
1.1 Importância da energia solar térmica	2
1.2 Motivação	3
1.3 Objectivos	3
1.3.1 Geral	3
1.3.2 Específicos	3
1.4 Alguns Conceitos	3
1.4.1 Energia do sol	3
2 RESUMO TEÓRICO	6
2.1 Sistemas solares térmicos	6
2.2 Sistemas activos	7
2.2.1 Tecnologias solares térmicas	7
2.2.2 Colectores solares planos	8
2.2.2.1 Mecanismo de transferência de calor num colector solar plano	9
2.2.2.2 Balanço de energia para o colector solar plano	10
2.2.2.3 Curva características da eficiência dum colector solar plano	13
2.2.3 Colectores evacuados (ou tubos de vácuo)	15
2.2.4 Colectores solares concentradores	15
2.2.4.1 Tipos de colectores concentradores	16
2.2.5 Tecnologia Passiva	18
2.2.5.1 Isolamento dos edifícios	18
2.2.5.2 Parede de trombe	18
2.3 Aplicações	21
3 MATERIAL E METODOS	23
3.1 Material	23
3.2 Métodos	23
4 CONCLUSÕES	24
5 REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA	25

1 INTRODUÇÃO

A actual dependência dos combustíveis fósseis, esgotáveis e poluentes, e a necessidades do cumprimento das actuais medidas de redução dos gases do efeito estufa, incita ao recurso a energias abundantes e renováveis, que contribuam eficazmente para melhoramento do actual panorama energético em Moçambique. A energia solar uma das fontes de energia renovável gratuita, limpa e inesgotável apresenta-se como uma solução alternativa para o problema.

O nosso país, dada a sua localização geográfica (entre os paralelos 10° e 26° Sul), possui um enorme potencial de energia solar. Apresenta em média uma radiação solar global de cerca de $5.7 \text{ kWh/m}^2/\text{dia}$ (Cuamba et al, 2006), o que pode ser aproveitado para aplicações térmicas.

Com este trabalho pretende-se discutir a importância de utilização da energia solar como uma fonte alternativa de energia, tendo em conta alguns sistemas solares térmicos, sua composição e modo de funcionamento. Contudo, não será analisado a geração de electricidade.

1.1 Importância da energia solar térmica

No país actualmente usa-se o carvão, lenha, gás e energia convencional para o aquecimento da água e preparação de alimentos, o que cria problemas de desflorestamento e emissão de poluentes para o meio ambiente. Com a integração do uso da energia solar que é uma fonte energética renovável e limpa vai minimizar os problemas já enumerados.

Para regiões recônditas sem acesso a rede eléctrica e outras fontes energéticas convencionais, a energia solar pode ser uma solução imediata para a geração da electricidade (iluminação, bombeamento de água), preparação de alimentos, aquecimento de água, secagem de produtos. Para as regiões urbanas a combinação de energia solar com outras fontes convencionais pode contribuir para redução do custo de energia, melhoria de qualidade de energia, avançamento de energia bem como a melhoria de qualidade de vida. Como resultado haverá um desenvolvimento sócio-económico sustentável das comunidades em particular, e do país em geral.

1.2 Motivação

A energia é um elemento indispensável nas actividades da sociedade humana, sendo mais comum para o uso doméstico para iluminação, preparação de alimentos, secagem de produtos, aquecimento de água, aquecimento de ambiente interno, etc. A implementação de tecnologias solares de pequenas escalas, simples e de baixo custo podem incentivar o uso de energia solar de uma forma mais abrangente. Deste modo haverá redução das assimetrias entre as zonas rurais e urbanas, poluição do meio ambiente, das mudanças climáticas e consequentemente do aquecimento global.

Ora somente um estudo apropriado sobre as tecnologias solares existentes, sua composição e modo de funcionamento poderia ajudar na construção de dispositivos eficientes e sua disseminação..

1.3 Objectivos

1.3.1 Geral

- Identificar os diferentes tipos de tecnologias de energia solar térmica seu modo funcionamento e aplicabilidade.

1.3.2 Específicos

- Identificar as diferentes tecnologias de captação e conversão térmica da energia solar;
- Analisar as diferentes tecnologias de energia solar térmica;

1.4 Alguns Conceitos

1.4.1 Energia do sol

O sol é uma fonte de radiação aproximadamente esférica que tem 1.39×10^9 m de diâmetro e está localizado a sensivelmente 1.5×10^{11} m do planeta terra. É a estrela central do nosso sistema solar com uma massa de 1.2×10^3 Kg e estima-se que a sua temperatura à superfície seja de 5775 K. O processo de radiação (energia radiante emitida pelo sol) ocorre sob a forma de ondas electromagnéticas, cujos os comprimentos de onda (λ) vão de centenas de metros até inferior a 10^{-10} m. A radiação electromagnética tem características ondulatórias e propaga-se no vácuo à velocidade (c), igual a

$2,998 \times 10^8$ m/s (arruda,2004). Uma vez que se desloca com a velocidade da luz, então é válida a relação dada pela expressão:

$$C = \lambda \nu \quad \text{eq.1}$$

onde: C é a velocidade da luz, λ é o comprimento de onda, ν é a frequência .

As ondas possuem uma gama continua de comprimentos de ondas (λ), e a totalidade de todos os possíveis comprimento chama-se espectro electromagnético. O espectro electromagnético da radiação solar se decompõe em três regiões que são designados de acordo com os comprimentos de onda e da frequência. De acordo com comprimento de onda entre ~ 0.4 e $\sim 0.73 \mu\text{m}$ a radiação é denominada visível e representa a pequena faixa do espectro quando comparadas com as outras, a radiação do comprimento de onda inferior a $0.4 \mu\text{m}$ é chamada radiação ultravioleta e a radiação com comprimento de onda superior a $0.73 \mu\text{m}$ é chamada de radiação infravermelho. É usual caracterizar a radiação solar pelos seus comprimento de onda do que pela frequências. Ultravioleta quer dizer no domínio das frequência “acima do violeta”, infravermelho “abaixo do vermelho” e visível é a região onde se consegue detectar a luz solar através do olho humano e localiza-se entre o violeta e vermelho. A fig.1 ilustra o espectro da radiação solar incidente no topo da atmosfera.

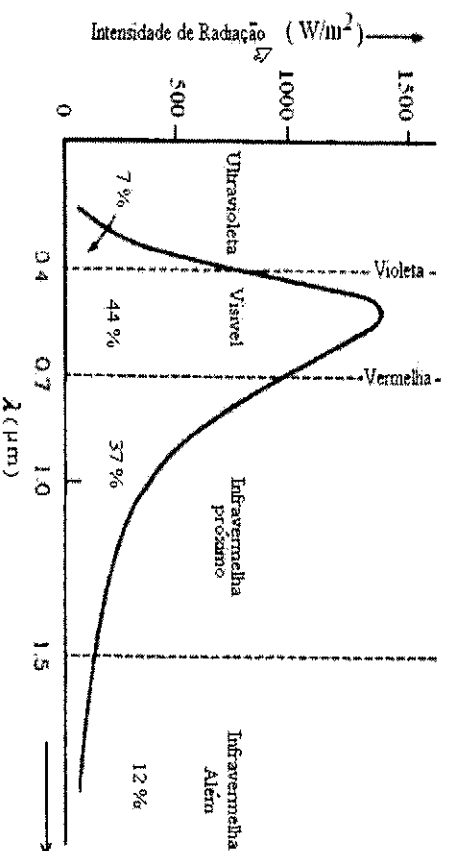


Figura 1 : Espectro electromagnético da radiação solar no topo da atmosfera

A Terra comporta-se como um corpo negro, absorvendo toda radiação solar nela incidente, e emite-na em todas as direcções e em longos comprimentos de onda, fazendo com que se mantenha o equilíbrio

térmico. Esta emissão é representada pela lei de Stefan – Boltzmann (corpo emite radiação à quarta potencia da sua temperatura) e é dado pela expressão:

$$q = \epsilon \sigma T^4 \quad \text{eq. 2}$$

onde: q é a radiação térmica emitida (W/m^2), ϵ emissividade, σ é a constante de Stefan-Boltzmann ($5,6696 \times 10^{-8} \text{ W}/\text{m}^2\text{K}^4$), e T temperatura absoluta (K).

A terra recebe uma energia radiante do Sol de cerca de $173 \times 10^{15} \text{ W}^{(*)}$. Dessa energia aproximadamente 30% da radiação que entra são reflectidos de volta ao espaço, 19% são absorvidos pela atmosfera (nuvens e seus constituintes) e os restantes 51% são absorvidos pela superfície terrestre. Os 19% de energia absorvida penetrante servem de força motriz para correntes marítimas, ondas, força motriz do vento e dos 51% uma pequena percentagem radiactiva, penetra nos sistemas biológicos, pela fotossíntese, nas plantas e noutros organismos de total existência. A fig.2 é uma ilustração da forma como a radiação solar atinge a superfície da terra.



Figura 2: componentes da radiação solar incidente na superfície terrestre (Kratzemberg et al; 2003)

De toda a radiação solar que chega as camadas superiores da atmosfera, apenas uma fracção atinge a superfície terrestre, devido a reflexão e absorção dos raios solares pela atmosfera. Esta fracção que atinge o solo é constituído por uma componente directa (ou feixe) e por uma componente difusa. A

(*)

área da terra projectada ($6,3 \times 10^9$)² x 3,14 = $124 \times 10^{12} \text{ m}^2$; constante solar = $1395 (\text{W}/\text{m}^2)$

Energia dechebida = $124 \times 10^{12} \times 1395 = 173 \times 10^{15}$ Watts

radiação solar directa, é definida como aquela vem directamente desde o disco solar e a *radiação solar difusa* (inclui também a radiação reflectida pela superfície) : como proveniente de todo o céu excepto do disco solar, das nuvens, gotas de água etc. O somatório destas denomina-se *radiação global* definida como a quantidade da de energia solar que num dado instante e local atinge a superfície da terrestre e é dada pela expressão:

$$R_g = R_d + R_s$$

eq. 3

onde: R_g é a radiação global, R_d é a radiação directa e R_s é a radiação difusa.

Na natureza a captação e conversão directa da energia solar é feita de forma química, eléctrica e térmica. A forma *química* diz respeito a fotossíntese ($6\text{H}_2\text{O} + 6\text{CO}_2 \rightarrow 6\text{O}_2 + \text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6$), na qual os organismos biológicos absorvem a energia solar, sintetizando carboidratos a partir da H_2O e do CO_2 . Tal energia é então dissipada através de uma cadeia alimentar e em última instância parte desta energia é armazenada nos restos de plantas e animais que pode ser usada para a geração de electricidade. Na forma *eléctrica* a radiação solar é convertida directamente em electricidade através de células solares baseando-se no efeito fotovoltaico, na forma *térmica*, a radiação é absorvida e convertida em calor usando colectores solares térmicos. O calor pode ser usado para vários fins.

2 RESUMO TEÓRICO

2.1 Sistemas solares térmicos

Quando se fala de energia, uma das primeiras manifestação que nos ocorre é o calor ou seja, energia térmica. Esta manifesta-se sempre que existe uma diferença de temperatura entre dois corpos. Os sistemas solares térmicos são as tecnologias que nos permitem conversão de energia solar em energia térmica e são constituído por uma unidade de captação e convecção de radiação solar (colector), uma unidade de armazenamento do calor (acumuladores) e uma unidade de distribuição e utilização do calor (sistemas de circulação) (greenpro,2004).

Os sistemas solares térmicos podem ser passivos ou activos. Os sistemas **passivos** são aqueles em que o transporte de calor é feito de forma autónoma, isto é, sem ajuda de nenhum dispositivo externo e por conseguinte sem qualquer fonte externa de energia. Os sistemas **activos** exigem um dispositivo auxiliar

para o transporte de calor (ou circulação do fluido) e como consequência precisam duma fonte externa de energia. O diagrama da fig.3, mostra as duas formas de conversão da radiação solar para o uso humano, e os tipos de sistemas solares térmicos.

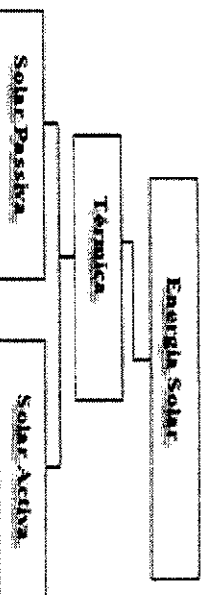


Figura 3: Tipos de sistemas solares térmico

2.2 Sistemas Térmicos activos

2.2.1 Tecnologias solares térmicas

As tecnologias solares térmicas permitem-nos a captar e converter a radiação solar em calor. Elas diferem-se umas das outras de acordo com o modo de captação e convecção, condições ambientais de funcionamento e principalmente pela temperatura que se pode atingir. Assim existem dois grandes grupos distintos de tecnologias (ou colectores) solares térmicos: *Colectores solares planos* não ultrapassam a temperatura 100°C e são usados nas aplicações de baixa temperaturas e os *Colectores solares concentradores* que o seu modo de funcionamento baseia-se nos métodos de concentração óptica, são capazes de elevar a temperatura de fluido a mais de 100°C e são aplicados na energia solar térmica de média e alta temperatura. A tabela 1 apresenta os diferentes tipos de colectores solares em função das temperaturas atingidas.

Tabela 1 : Tipos de colectores utilizados para diferentes temperaturas(fonte: greemprio,2004)

<i>Temperaturas</i>	<i>Processo(tecnologia)</i>	
< 40 ^o C	Colectores planos	sem cobertura
40 ^o - 90 ^o C		Com cobertura
90 ^o C - 120 ^o C	Colectores de tubo de vácuo	
>120 ^o C	Colectores concentradores	

2.2.2 Colectores solares planos

Os colectores solares é um dispositivo que servem para converter a maior quantidade de radiação solar disponível em calor e transferir este calor com o mínimo de perdas para o resto do sistemas. Os de placa plana são classificados como colectores de baixa concentração devido ao nível de temperatura obtido por eles e apresenta-se como a tecnologia mais difundida e destina-se normalmente para a produção de água quente a temperaturas inferiores a 60 °C. De um modo geral os colectores plano são constituídos por cobertura (transparente), uma placa absorvedora, uma caixa de protecção, um isolamento para evitar perdas de calor e tubos por onde circula o fluido.

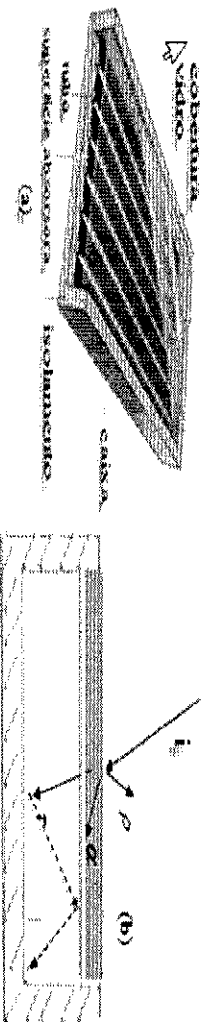


Figura 4 : (a) Colector plano ;(b) Comportamento da radiação solar quando em contacto com a matéria. i - radiação solar incidente numa superfície plana; ρ -parte da radiação reflectida; α - parte da radiação absorvida; τ - parte da radiação transmitida pela superfície.

Quando a radiação de ondas-curtas ($0.3 \mu\text{m} < \lambda < 3.0\mu\text{m}$) atinge um colector (figura 4.b) é reflectida, absorvida ou transmitida (ver fig.2). O somatório destas é igual a unidade segundo a Lei de Kirchoffs, dada pela eq.4,

$$\rho + \alpha + \tau = 1 \quad \text{eq. 4}$$

onde: 1 é a energia da radiação incidente, ρ é a energia da radiação reflectida, α é a energia da radiação absorvida e τ é a energia da radiação transmitida.

A cobertura do colector solar é de um material transparente (geralmente vidro ou plástico), quando a radiação solar de ondas curtas (viável) incide atravessa sem dificuldade alguma até atingir a placa absorvedora. Este, por sua vez, absorve e emite a radiação em forma de comprimento de onda longo. O

vidro é opaco a radiação infravermelha, logo a energia emitida pela placa absorvedora não se escapará facilmente do coletor para o ambiente circunvizinhas, contribuindo deste modo para o aquecimento mais rápido do fluido que circula nos tubos acoplados na placa absorvedora. Este fenómeno é conhecido como efeito estufa (ver fig.4b). De um modo geral o coletor opera a uma temperatura constante. O gradiente térmico entre os espaços internos do coletor e o ambiente circunvizinhos deve ser o menor possível contribuindo para menores perdas de calor, isto é, se a temperatura do ambiente circunvizinho não é muito inferior a do interior do coletor, contribui para maior eficiência.

2.2.2.1 Mecanismo de transferência de calor num coletor solar plano

Define-se a transferência de calor como sendo a energia térmica em transito devido a uma diferença de temperatura (j.p.Holman,1968). De um modo geral ela ocorre de um ponto (ou meio) de maior temperatura para o de menor, no coletor solar podem existir, três tipos de processos de transferência de calor, por condução, convecção e radiação, os quais estão representado na figura 5.

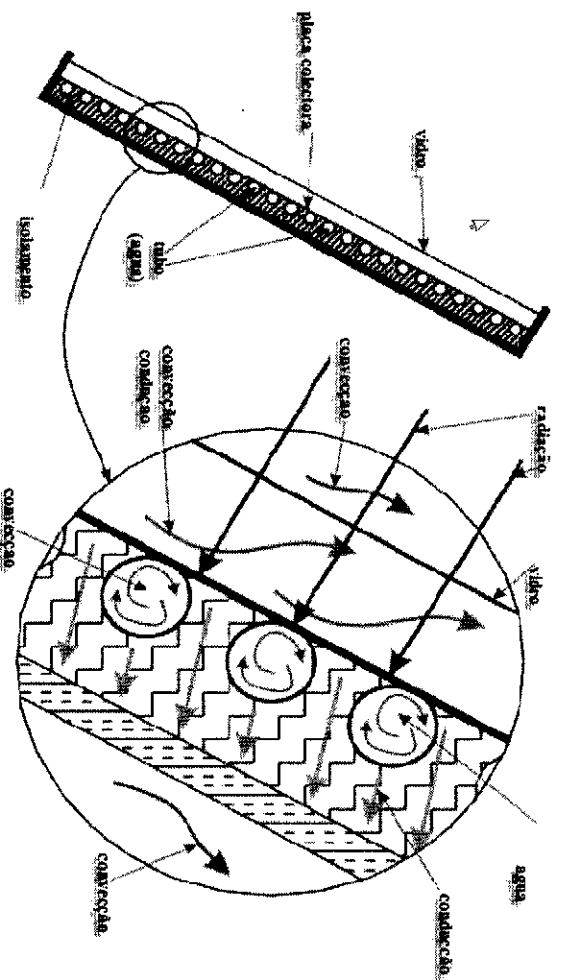


Figura 5 : Mecanismo de transferência de calor num coletor solar

Transferência de calor por condução, é a transferência de energia (ou calor) através de contacto directo entre dois corpos com diferença de temperatura. A expressão que expressa é dada pela lei de Fourier e representa a perda de calor por condução,

$$q = -k \frac{dt}{dx}$$

eq. 5

onde: q é o fluxo de calor, k é a condutividade térmica ($W/m^0 C$) e $\frac{dt}{dx}$ é o gradiente de temperatura.

Transferência de calor por convecção, consiste na transferência de calor dentro de um fluido através de movimento do próprio fluido (líquidos e gases). E este fenómeno é modelado pela lei de Lei de Newton

$$q = h\Delta T$$

eq. 6

onde : q é o fluxo de calor, h é o coeficiente de transferência de calor($W/m^2 ^0C$) e ΔT é o gradiente de temperatura.

Transferência de calor por radiação, consiste na troca de calor através de ondas electromagnéticas. Esta ocorre no vácuo, isto é, espaço desprovido de matéria. E é dada pela lei de Stefan Boltzman

$$q = \epsilon\sigma T^4$$

eq. 7

onde : q é o fluxo de calor, ϵ é a emissividade, σ constante de boltzman ($5.6703.10^{-8} W/m^2 T^4$), T temperatura superficial.

Num colector plano o elemento preponderante na transferência de calor por condução é a disposição dos tubos relativamente a placa absorvora. Os tubos são dispostos em posição equidistantes e mais próximos possível de modo a permitir o maior aproveitamento de calor absorvido pela placa e pelos tubos que contem o fluido. No interior de um colector as perdas de calor mais pronunciadas são sob forma de condução e convecção, pelo que as perdas por radiação são desprezíveis.

2.2.2.2 Balanço de energia para o colector solar plano

Um colector ideal seria aquele que possibilitasse que toda a radiação solar que o atinge fosse totalmente convertida em calor. Na prática, a quantidade de calor disponível é sempre inferior a que se teria idealmente para a mesma radiação solar incidente. Existem diversos factores que contribuem para tal facto e uma análise mais detalhada das características térmicas do colector seria muito complexa. Para determinar a quantidade de calor útil num colector, por unidade de área, utiliza-se a famosa equação

básica dos cálculos solares denominada equação de hottel whillier. Esta expressa a radiação total incidente na placa absorvora e a diferença de temperatura entre esta placa e o ambiente externo. hottel whillier conseguiu chegar a esta equação partindo da equação do balanço de calor (eq.8) no colector, assumindo que o sistema opera a uma temperatura constante,

$$Q = Q_a - Q_l \quad \text{eq. 8}$$

onde Q é a calor útil removido pelo líquido a ser aquecido, Q_a é o Calor absorvido pelo colector, Q_l é o calor perdido para o ambiente externo. Por sua vez Q_a e Q_l podem ser determinados por:

$$Q_a = \tau \alpha_i A_c \quad \text{e} \quad Q_l = h_l A_c (T_c - T_a) \quad \text{eq. 9}$$

onde τ é a transmissibilidade do cobertura vidro [decimal], α é a absorvidade da superfície negra [decimal], i é o intensidade da radiação [W/m^2], A_c área do colector [m^2], h_l é o coeficiente global de perdas de calor da placa colectora [$\text{W}/\text{m}^2\text{°C}$], T_c temperatura de colector [$^{\circ}\text{C}$], T_a é a temperatura ambiente externa [$^{\circ}\text{C}$].

Ao combinar as equações 8 e 9, obtêm-se :

$$Q = \tau \alpha_i A_c - h_l A_c (T_c - T_a) \quad \text{eq. 10}$$

Define-se irradiância (q) como sendo a energia total útil do colector (Q) por unidade de calor (A_c) e é representado pela eq.11.

$$q = \frac{Q}{A_c} \quad \text{eq. 11}$$

Combinando as expressões 10 e 11 obtêm-se a equação de hottel whillier (eq.12), que expressa o desempenho térmico de um colector solar em regime permanente (Duffie e Beckman, 1991).

$$q = \tau \alpha i - h_r (T_e - T_a) \quad \text{eq. 1}$$

Sabe também que a calor útil ou disponível no coletor pode ser determinado pela diferencial de temperatura do fluido entre a entrada e saída (T_o) conforme mostra a equação 2.

$$q = \dot{m} c_p (T_s - T_e) \quad [\text{W}] \quad \text{eq. 2}$$

Onde, \dot{m} é o fluxo de massa do fluido [kg/s], C_p é o calor específico do fluido [$\text{Kj/K}_q^\circ\text{C}$], T_e é a temperatura do fluido que entra no coletor [$^\circ\text{C}$] e T_s é a temperatura do fluido que sai do coletor [$^\circ\text{C}$]. O factor de remoção de calor F relaciona o ganho real de energia útil pela placa colectora com o ganho útil de calor se a placa inteira estivesse à temperatura do fluido que entra. Sua expressão algébrica fica [Duffie e Beckman, 1991].

$$F = \frac{\dot{m} C_p (T_s - T_e)}{\tau \alpha i A_c - h_r A_c (T_e - T_a)} \quad \text{eq. 3}$$

Define-se a eficiência(η) de um coletor como a razão entre o ganho do calor útil pelo fluido e a radiação solar incidente sobre a superfície do calor, em um dado intervalo de tempo.

$$\eta = \frac{q}{iA} \quad \text{eq. 15}$$

Onde, η é o rendimento térmico o que resulta ao combinarmos as eq. 13 e 12

$$\eta = \frac{\dot{m} c_p (T_o - T_i)}{iA} \quad \text{eq. 4}$$

e finalmente:

$$\eta = F \left[\tau\alpha - h_f \left(\frac{T_e - T_a}{I} \right) \right]$$

eq. 17

2.2.2.3 Curva característica da eficiência dum colector solar plano

A curva característica dum colector plano é determinada por meio de ensaios ou provas sob condições fixas da radiação, temperatura do fluido à entrada e temperatura ambiente. Os resultados obtidos apresentam-se como eficiência (η) considerando o ($\tau\alpha$) e h_f como constantes na expressão (17). Assim equação resultante assemelha-se com maior exactidão a uma recta, como ilustra a fig.6.

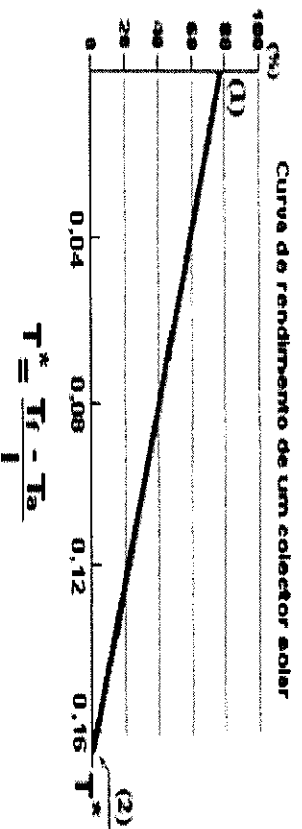


Figura 6 : Curva característica da eficiência do colector solar.

Da figura 6 observa-se que o rendimento diminui a medida que a temperatura média do fluido (T_o) sobe. Quando T^* é nulo isto é a temperatura do fluido é igual a temperatura do ambiente o rendimento designa-se *rendimento óptico* (1). Quando a temperatura de saída for igual a temperatura de entrada o rendimento é nulo e o colector atinge a temperatura de estagnação (2).

Os colectores solares de placa plana são classificados como colectores de baixa concentração devido ao nível de temperatura obtidas por eles. Estes podem ser sem cobertura(não vidrado) e com a cobertura(vidrados) e composto parabólicos. A fig.7 apresenta a estrutura de um colector solar sem a cobertura (a), colector com cobertura (b) e colector composto(c).

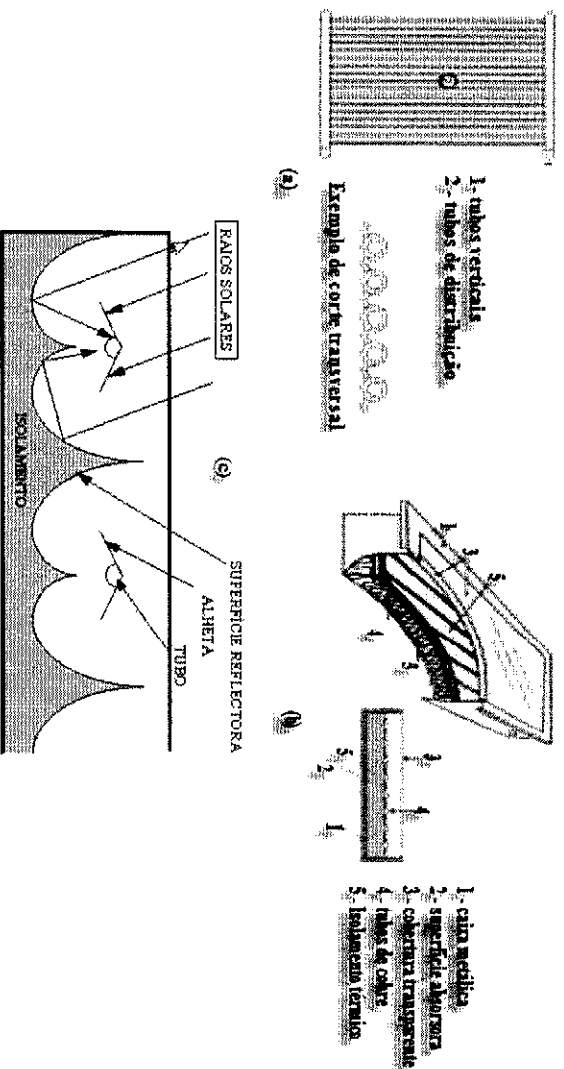


Figura 7 : (a) Coletor plano sem cobertura ; (b) Coletor plano com cobertura de vidro (c) Coletor composto parabólico.

De um modo geral estes três tipos de tecnologias planas, nomeadamente colectores sem cobertura, colectores com cobertura e colectores parabólicos compostos. são composto por três elementos principais idênticos e um que diferencia um do outro. por exemplo os elementos que são idênticos temos a *placa colectora (absorvora)* que geralmente pode ser de material como alumínio, aço inox, e cobre, com cor escura, e tem a função de converter a energia radiante em calor e transferi-la para as tubulações e, em seguida, para o fluido, o *isolante térmico* matérias como fibra de vidro ou de rocha situa-se entre a caixa e o absorsor para reduzir as perdas de calor por condução, e uma *cargaça (caixa)* que é encarregado de proteger do vento, da chuva, da poeira, suportar os diversos elementos que constituem o coletor solar.

A cobertura de vidro (transparente) constitui um elemento que diferencia o dois primeiros colectores, geralmente feita de vidro comum reduz as perdas radiactivas e convectivas da placa absorvora, sendo responsável pelo efeito estufa ao reflectir de volta a radiação infravermelha para a

Enquanto que o coletor composto parabólico [fig.7 (c)] a construção é similar a do dois primeiros coletor mais a diferença reside na redução da área superfície de absorção (geometria) em comparação com a área de captação da radiação solar . Estes utilizam a concentração da radiação solar na placa

absorvedora através dum sistema de dupla absorção da superfície reflectora e alhetas para distribuição de calor nas em superfície do tubo.

2.2.3 Colectores evacuados (tubos de vácuo)

Consiste de um tubo constituído por dois tubos de vidros concêntricos. Um transparente que permite a livre passagem da luz com o mínimo de reflexão, e outro interno que possui uma película selectiva. A parte superior do tubo é fundida ficando os dois tubos unidos entre si, ainda a altas temperaturas o ar entre eles é retirado criando o vácuo entre os tubos concêntricos o que elimina perdas de calor por condução que melhora a eficiência. Estes além de absorver a radiação directa, também absorvem o calor do meio ambiente e a radiação solar difusa (céu nublado). A figura 8 é um exemplo de colector de tubo de vácuo e o seu corte transversal.

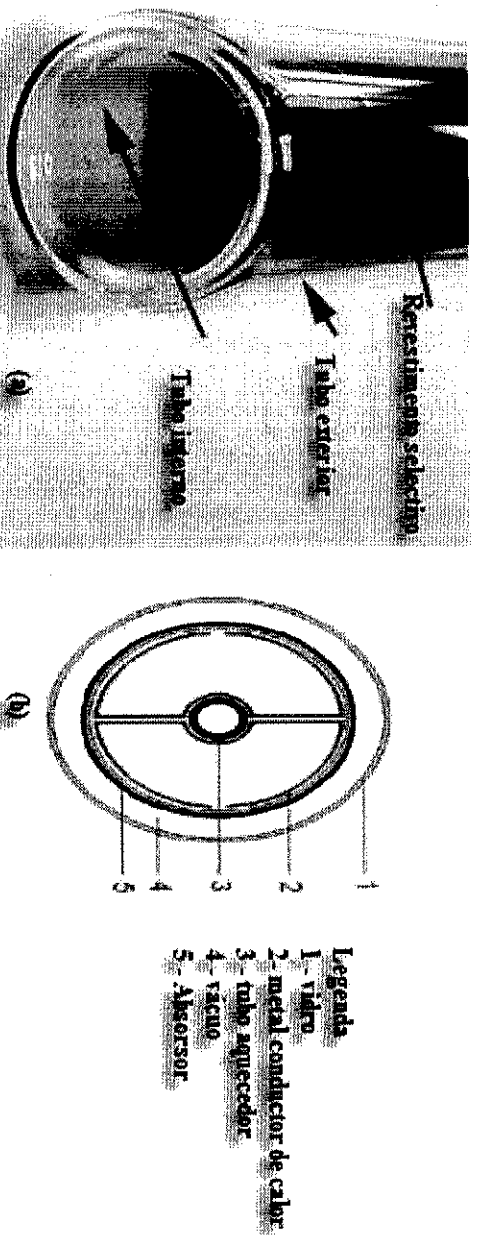


Figura 8 : (a) Colector de tubo de vácuo ; corte transversal do colector tubo de vácuo ilustrando as diferentes partes constituintes.

2.2.4 Colectores solares concentradores

O aproveitamento da energia solar aplicado a sistemas que requerem temperaturas mais elevadas ocorre por meio de concentradores solares, cuja finalidade é captar a energia solar incidente (radiação directa) numa área relativamente grande e concentrá-la em uma área muito menor, de modo que a temperatura desta última aumente substancialmente. A superfície reflectora dos concentradores tem formas planas, parabólicas ou esféricas, de modo que os raios solares que nela incidem sejam paralelos ao eixo central

e devem ser reflectidos para uma superfície bem menor denominada foco (ver fig.9), onde se localiza-se o receptor que tem como função absorver e converter esta radiação em forma de calor, que é posteriormente extraído através de um fluido conveniente até ao ponto de utilização (Duffie e Beckman, 1991).

Basicamente um concentrador é constituído por uma *superfície espelhada* que tem a função de encaminhar os raios solares para o *receptor* (que pode ser em forma de tubo cilíndrico ou disco). É no receptor onde ocorre a absorção da radiação solar em calor e de seguida é transferida através de um fluido que circula num *tubo* ate ao ponto de utilização. Estes sistemas diferem-se dos não concentradores porque exigem um mecanismo que permite acompanhar o movimento aparente do sol permitindo com que a radiação incida quase sempre num ângulo de 90° . Como resultado esses sistemas apresentam maior eficiência térmica.

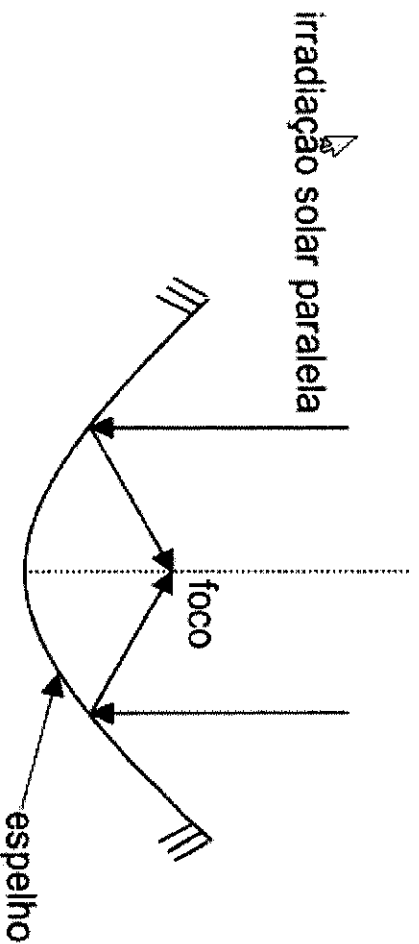


Figura 9: Princípio de funcionamento de um concentrador

2.2.4.1 Tipos de colectores concentradores

Existem 3 tipos básicos de tecnologias concentradoras que são: o *disco solar*, o *concentrador parabólico* e o *concentrador de torre*, estes em geral tem o mesmo princípio básico de funcionamento. O *concentrador cilíndrico* utilizam espelhos encurvados na forma parabólica para concentrar os raios solares em tubos receptores termicamente eficientes que contêm um fluido de transferência de calor, e possui um eixos de rotação para seguir o movimento aparente do sol, o *concentrador de torre* utilizam uma série de espelhos planos designados heliostatos (grandes espelhos que se movimentam

individualmente conforme movimentação do sol) dispostos em círculos, para concentrar os raios solares em um receptor central, localizado no topo de uma torre central. E o *concentrador de disco* solar utilizam espelhos na forma esférica para concentrar a radiação solar em um ponto focal razão pela qual a concentração é muito elevada e possuem um eficiência elevada, são conhecidos por possuírem dois eixo de rotação para seguirem o movimento aparente do sol.

As Figuras 10 (a), (b) e (c) que se seguem representam os principais tipos de concentradores solares existentes.

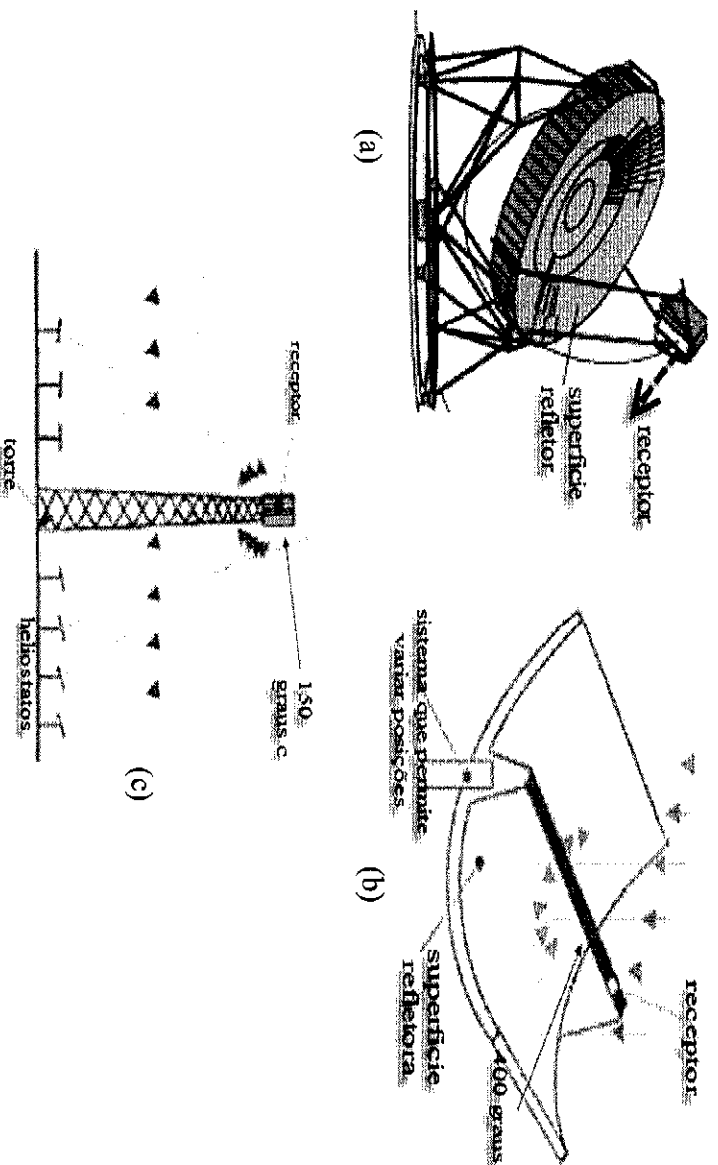


Figura 10 (a) Concentrador esférico (disco); (b) Coletor concentrador cilíndrico (parabólicos); (c) Concentrador de placas planas (torres)

Estes diferem-se dos colectores solares planos porque a radiação solar incidente a superfície é concentrada e reflectida para o foco antes da sua conversão em calor. E também apresentam boa eficiência para temperaturas acima dos 100°C enquanto que os colectores solares planos acima dos 100°C a eficiência diminui bastante.

2.2.5 Tecnologia Passiva

Existem vários tipos de materiais e técnicas de isolamento. A escolha depende evidentemente do nível de exigências que as condições climáticas locais colocam e do nível de qualidade térmica pretendida. O sistema de isolamento das paredes exteriores é o mais eficaz e consiste na aplicação de placas de material isolante ou aplicação contínua de uma espuma nas paredes exteriores e em cobrir esses materiais com um revestimento, reforço ou reboco adequado, que pode ser pintado ou revestido de outros materiais, obtendo-se assim uma aparência tradicional.

As coberturas são as superfícies envolvente que mais contribuem para as perdas de calor num edifício.

O isolamento térmico de uma cobertura é considerada uma intervenção de eficiência energética prioritária, face aos benefícios imediatos em termos da diminuição das necessidades energéticas, e também por se tratar de uma das medidas mais simples e menos dispendiosa.

Esta forma de isolar as paredes exteriores proporciona vantagens significativas em termos de capacidade de aquecimento do edifício.

2.2.5.1 Isolamento térmico dos edifícios

O isolamento térmico consiste na utilização de materiais na construção de edifícios, nomeadamente na constituição de paredes, coberturas e pavimentos, que, pelas suas características, permitem aumentar a sua resistência às trocas de calor com o exterior. Para tal constrói-se paredes duplas com isolamento intermediário (poliestireno ou esferovite é um material derivado do petróleo usado como um isolante térmico e eléctrico e na fabricação de objectos plásticos), de baixa condutibilidade e janelas de vidros duplos. Quando a radiação solar de ondas curtas incide sobre o vidro atravessa sem dificuldade alguma para o ambiente interior onde é absorvido e transformada em calor. Esta por sua vez passa a emitir a radiação com um comprimento de onda longa que quer o vidro, como a parede que contem o isolamento térmico, não permitem que o calor se escape para o exterior do edifício tornando o ambiente quente.

O isolamento térmico permite:

- Realização de economias de energia, ao diminuir as perdas de calor / frio.

- Protecção do edifício, reduzindo os riscos de condensação (humidades) em alguns casos e melhorando as suas qualidades térmicas noutros.
- Aumento do conforto, ao reduzir o "efeito de parede fria" (troca de calor por radiação entre as paredes e os ocupantes da habitação), que ocorre geralmente nas paredes exteriores, obtendo um menor custo na manutenção do edifício e aumentando a vida útil da estrutura.

O uso de uma ou mais vidros reduz drasticamente as perdas de calor para o exterior. Este fenómeno, que resulta do facto de a transmitância das coberturas usadas serem nulas para comprimentos de ondas da radiação elevadas. Estes também constituem uma solução para diminuição bastante da carga térmica tanto aquecimento como arrefecimento. Na figura 11 ilustra uma das formas de aplicar o isolamento térmico nos edifícios.

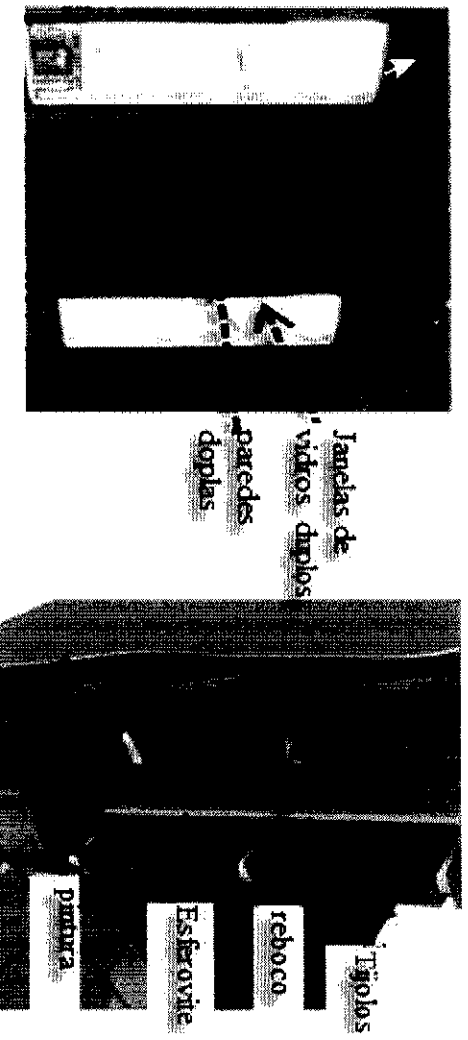


Figura 11: Isolamento térmico dos edifícios

2.2.5.2 Paredes Trombe

É basicamente constituída por um vidro colocado no exterior junto a parede de edifícios, uma caixa-de-ar e uma parede de grande inércia térmica (normalmente em betão, pedra, ou tijolo maciço). A função deste conjunto é captar e acumular a energia da irradiação solar, isto é gerar calor quando a parede é atingida pela radiação solar.

A radiação solar de onda curta atravessa o vidro e aquece a parede, produzindo-se o chamado "efeito de estufa". Quando a radiação de onda larga emitida pelo parede não pode voltar a atravessar o vidro, aquece o ar que há na caixa-de-ar e assim a parede vai acumulando calor que, sem outra alternativa, liberta-o para o interior da habitação (ver fig. 12).

Este efeito directo da parede coincide com os momentos de incidência da radiação solar, e acaba no momento em que a radiação deixa de aquecer o ar da dita caixa-de-ar. Razão pela qual a importância da necessidade da inércia térmica da parede.



Figura 12: parede de trombe

2.3 Aplicações

Tabela 2 : Comparação dos diferentes tipos de colectores solares térmicos, mostrando as temperaturas geradas, aplicações, bem como as vantagens e desvantagens.

Tipo de Colector	Temp. de Op. (°C)	Aplicações	Vantagens	Desvantagens
Sem cobertura	20 a 30	✓ Aquecimento em piscinas.	✓ Mais barato do mercado ✓ usam a radiação directa e difusa.	✓ Apresentam maior perdas devido a falta de cobertura
Com cobertura	70 a 90	✓ Aquecimento de ambiente interior. ✓ -purificação de água.	✓ Mais barato que colector de vácuo e parabólico composto. ✓ oferecem múltiplas opções de montagem. ✓ Permite montagens simples (kits de construção). ✓ usam a radiação directa e difusa.	✓ Tem uma boa eficiência em relação ao colector sem cobertura ✓ Exige mais espaço que o colector de vácuo na montagem. ✓ apresenta menor eficiência que os de vácuo e parabólicos
Composto parabólico	60 a 120	✓ aquecimento de água	✓ Tem elevada eficiência mesmo com elevada diferenças de temperaturas entre o absorsor e o meio envolvente(verão). ✓ Tem elevada eficiência com baixa radiação (inverno). ✓ usam a radiação directa e difusa. ✓ suporta aplicações de calor com mais eficiência do que os colectores sem cobertura e com cobertura	✓ Mais caro que colector sem cobertura e colector com cobertura

Concentradores	Tubo de Vácuo	90 a 120	✓ aquecimento de água.	<ul style="list-style-type: none"> ✓ para além do que os planos vazem este suportam cargas térmicas com mais eficiência do que os planos. ✓ facilmente transportado para qualquer local. ✓ usa a radiação directa e difusa. ✓ Possui melhor isolamento térmico 	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Mais caro de que um colector plano ✓ Não pode ser utilizado numa instalação no telhado. ✓ Não pode ser usado para instalações horizontais requer no mínimo uma inclinação de 25°
	disco	150 a 400	<ul style="list-style-type: none"> ✓ produção de electricidade (pequenos sistemas). ✓ usa-se para cozinha. 	<ul style="list-style-type: none"> ✓ tem uma elevada eficiência em termo de temperaturas. ✓ funciona com elevas temperaturas. ✓ ocupam uma pequena área de utilização. ✓ colectores concentradores apresentam menor perdas de calor quando comparados com os colectores plano. 	<ul style="list-style-type: none"> ✓ necessita de um mecanismo de controle para fazer o colector seguir a trajetória do sol.
	cilíndrico		<ul style="list-style-type: none"> ✓ aquecimento de água para processos industriais; ✓ geração de energia 	<ul style="list-style-type: none"> ✓ tem uma elevada eficiência em termo de temperaturas. ✓ funciona com elevas temperaturas. ✓ ocupam uma pequena área de utilização. ✓ colectores concentradores apresentam menor perdas de calor quando comparados com os colectores plano. 	<ul style="list-style-type: none"> ✓ necessita de um mecanismo de controle para fazer o colector seguir a trajetória do sol.
	torre	1500 a 2500	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Produção de energia eléctrica 	<ul style="list-style-type: none"> ✓ tem uma elevada eficiência em termo de temperaturas. ✓ funciona com elevas temperaturas. ✓ ocupam uma pequena área de utilização. ✓ colectores concentradores apresentam menor perdas de calor quando comparados com os colectores plano. 	<ul style="list-style-type: none"> ✓ necessita de um mecanismo de controle para fazer o colector seguir a trajetória do sol.

3 MATERIAL E METODOS

3.1 Material

Para a realização do presente trabalho, foi usado um laptop, computador de mesa e uma câmara fotográfica digital. Foram também usados os softwares.

Serão usados os seguintes software de Microsoft Office 2007 (Word) para edição do texto e Microsoft PowerPoint, para produção de *slides*.

Foram usados livros e artigos científicos relacionado com o tema obtidos no laboratório de energias da UEM e na internet, respectivamente.

3.2 Métodos

O trabalho foi baseado na revisão teórica, não tendo havido dados numéricos ou experiências .

Para tal foram realizadas consultas à bibliografia existente relacionada com a tecnologias térmica solares (Livros, revistas, Internet, artigos, etc.). Foram também feitas consultas em pessoas especializadas na área de energias renováveis da universidade Eduardo Mondlane. Em adição foram tiradas algumas fotografias do concentrador solar parabólico existente no departamento de física da UEM.

Esta última técnica será realizada como um ponto-chave na recolha de informação.

4 CONCLUSÕES

O Sol ocupou as mais diferentes posições na história da humanidade pois a sua energia é um infindável fonte de energia e de grande importância, atentos para mais uma de suas iminentes posições: é de fonte alternativa de energia para nosso futuro. Sabemos que nossas reservas de combustíveis fósseis se esgotarão e devemos nos preparar para isso, aprendendo a manusear a energia que o Sol lança gratuitamente em nosso planeta.

Os métodos de captação e conversão de energia solar, actualmente, apresentam um rendimento muito aquém do teoricamente possível. Mais para a substituição de um sistema convencional de obtenção de energia por um sistema que transforme a energia radiante proveniente do Sol ainda tomam, na maioria dos casos, esta opção inviável ou desinteressante. com este trabalho pretende se reverter esta realidade, desenvolvendo a tecnologia deste sector, a fim de alcançar o máximo rendimento possível em seus equipamentos, tornando o seu uso viável.

Cada vez mais a necessidade de se pensar em novas fontes de energia solar e essa necessidade nos faz pensar na energia solar que colocando em questão se torna uma ótima opção de utilização, visto que se tem muitas vantagens e algumas mas não muitas desvantagens e o nosso progresso exige que mudemos e com base nos argumentos anteriormente mencionados pode-se concluir que é uma fonte de energia que se deve ser estudada e pesquisada para que no futuro a energia não possa ser desculpas guerra, mais sim passa-se a ser u um motivo de paz.

5 REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

- [1] duffie, J.A. ; Beckman, W. A, Engineering of thermal processes, 2nd edition, Jonh Wiley and son, Inc. New York, 1991
- [2] portal de energias renováveis(2010). solar: tecnologias colectores solares térmicos <http://www.energiasrenovaveis.com/images/upload/piscinas.pdf> [consultado a 1 de Novembro de 2010]
- [3] greenpro(2004). Energia térmica Manual sobre tecnologias, tecnologias, projecto e instalações. Disponível em: <http://www.greenpro.de/no/solartermico.pdf>[consultado a 20 de outubro de 2010]
- [4] Cuamba, B.C (2006). A solar energy resources assessment in Mozambique, Journal of Energy in Southern Africa; vol 17 N^o 4
- [5] U.E.M. (1994). *Regulamento do Trabalho de Licenciatura para os cursos da Faculdade de Ciências*. Maputo.
- [6] Jack Philip, Heat Transfer, sixth edition, Mac Graw- Hill Book Co. Singapore, 1986