

# UMA VISÃO SOBRE OS COLETORES HÍBRIDOS TÉRMICO-FOTOVOLTAICOS

**José Eduardo Ferreira da Fonseca** – ejosefonseca@gmail.com

**Arno Krenzinger** – arno.krenzinger@ufrgs.br

Universidade Federal do Rio Grande do Sul – Programa de Pós Graduação em  
Engenharia de Minas, Metalúrgica e Materiais - PPGE3M

**Resumo.** *Devido à crescente demanda de fontes renováveis de energia, busca-se estudar alternativas que melhor se adaptem à realidade do nosso país. Além das tecnologias limpas implementadas, surge um cenário promissor para a conversão de energia solar dentro dos centros urbanos. Nas grandes cidades, muitas vezes o espaço é fator limitante. Coletores solares híbridos convertem simultaneamente a energia solar em calor e eletricidade, ocupando um espaço reduzido. Essa saída mostra-se interessante quando existem essa limitação e o intuito de aproveitar os potenciais de conversão térmica e elétrica. Deve-se ressaltar que a conversão elétrica dentro dos centros urbanos é uma realidade já competitiva economicamente e a geração distribuída deverá ser incentivada em um curto espaço de tempo. Por outro lado o uso de coletores solares para aquecer água em ambientes domésticos, comerciais e industriais também tem um desenvolvimento crescente. A redução nos preços dos dispositivos de conversão elétrica, resultando na viabilidade da operação em conjunto com o coletor solar, também se apresenta como importante fator que proporciona este tipo de produto no mercado. O presente trabalho busca realizar um apanhado sobre o conhecimento que envolve o atual estado da arte nos coletores híbridos, apresentando uma análise básica desses coletores e das possibilidades de sua utilização no Brasil.*

**Palavras-chave:** *Energia Solar, Coletor Híbrido, Módulo Fotovoltaico.*

## 1. INTRODUÇÃO

A demanda por energia elétrica vem aumentando em todo o mundo consideravelmente nos últimos anos. Dentre os principais motivos desse aumento destacam-se o crescimento populacional e o aumento da atividade industrial. O consumo de energia elétrica é um dos principais indicadores do desenvolvimento econômico de um país e do nível de qualidade de vida de qualquer sociedade.

Em antemão, políticas de controle de emissão de gases de efeito estufa trazem consigo uma quebra de paradigmas em relação ao consumo, principalmente dos combustíveis fósseis. Nesse contexto, os olhos do mundo se voltam para as fontes renováveis de energia, principalmente a energia radiante emitida pelo Sol. O Sol é a principal fonte de energia para a Terra. É responsável por praticamente todas as outras fontes de energia existentes, dessa forma, pode-se afirmar que ele é o responsável pela vida na Terra.

Somente uma pequena fração da energia gerada pelo Sol atinge o planeta Terra, e ainda desta fração apenas uma parte chega à superfície terrestre, porque há perdas devido à reflexão e absorção pela atmosfera. Ainda assim, estima-se que a energia solar incidente na superfície do planeta corresponde a 10 mil vezes o consumo energético mundial CRESEB/CEPEL (2014).

A radiação solar pode ser transformada em outras formas de energia, dentre elas, a energia térmica e a energia elétrica. A energia solar pode ser convertida em energia térmica através dos coletores solares térmicos que, geralmente, são usados para aquecimento de água para uso doméstico, comercial e industrial. Também pode ser convertida em energia elétrica utilizando módulos fotovoltaicos.

O coletor solar híbrido agrega simultaneamente as duas formas de conversão da radiação solar, podendo apresentar potencial para redução da área de coletores necessária para atender as cargas térmicas e elétricas das edificações residenciais e comerciais verticalizadas, muito presentes nos grandes centros urbanos. Esses sistemas apresentam potencial para instalação nos telhados das residências e nas fachadas verticais dos edifícios.

Em adição, regiões rurais não atendidas pelas redes elétricas podem se beneficiar do uso dos coletores solares híbridos, através da implantação de sistemas autônomos para produzir água quente e energia elétrica de forma simultânea visando atender as suas populações. Os sistemas de conversão elétrica podem se mostrar mais viáveis do que investimentos na complementação e extensão de redes elétricas para atendimento de locais remotos do meio rural.

Para os próximos anos existe a expectativa no aumento da utilização da conversão fotovoltaica dentro dos meios urbanos com injeção na rede. A chamada "geração distribuída" está alcançando preços competitivos e deverá proporcionar a redução de investimentos, por parte das concessionárias, na expansão das redes de distribuição de energia elétrica nas cidades.

## 2. MATRIZ ENERGÉTICA BRASILEIRA

A matriz energética brasileira atualmente conta com expressiva participação de fontes consideradas limpas ou renováveis. As tecnologias renováveis são responsáveis por 13,8% da demanda global de energia, no Brasil essa razão é de 39%, para os países desenvolvidos essa média fica em 9,8%. Entre as fontes não renováveis, o petróleo e seus derivados representam 39% da oferta energética no Brasil (Ministério de Minas e Energia, 2015).

O domínio da conversão hidrelétrica é o principal fator que caracteriza o Brasil como um dos países com matriz energética limpa. Somente no último ano, a conversão hídrica foi responsável por 59,8% de toda conversão elétrica, enquanto todas outras fontes renováveis somaram 14,8% (Ministério de Minas e Energia, 2015).

A expressiva participação da energia hidráulica e o uso representativo de biomassa e energia eólica proporcionam indicadores de emissões de CO<sub>2</sub> bem menores do que a média mundial. No entanto, a dependência das fontes hídricas nos torna vulneráveis ao regime hidrológico de algumas bacias hidrográficas. Desde 2012 houve uma redução gradativa no nível dos reservatórios das usinas hidrelétricas decorrente da incidência de chuvas abaixo da média do histórico, reduzindo a participação da conversão hidroelétrica.

Por outro lado, em 2002, o governo federal anunciou o *Programa de Incentivo às Fontes Alternativas de Energia Elétrica*, visando ampliar a “geração” descentralizada. Dentre as principais medidas previstas se destacavam a construção de pequenas centrais hidrelétricas, parques eólicos e centrais conversoras de biomassa (Brasil, 2002)

Passado mais de uma década, a energia eólica tornou-se uma surpreendente realidade, responsável 3,5% da matriz elétrica. É importante observar que um dos principais fatores para esse sucesso, são os ventos brasileiros que garantem ótima eficiência aos aerogeradores. Outro importante fator foi a intensiva implementação desses sistemas a partir de 2009, quando passaram a ocorrer leilões para a criação de usinas e a contratação do fornecimento desse tipo de energia (Ministério de Minas e Energia, 2015).

Apesar do planejamento, os esforços se mostraram insuficientes, pois o abastecimento e conversão da energia elétrica foram drasticamente afetados pelos períodos de seca prolongada. O baixo nível dos reservatórios do Sudeste e Centro-Oeste fez o preço da energia elétrica aumentar significativamente no mercado. A diversificação de fontes tornou-se prioridade. Para os próximos anos é esperado grande aumento da participação eólica e biomassa. Dentro dos investimentos citados, é prevista a implementação de pequenas centrais solares ampliando a matriz elétrica brasileira.

Existem modelos de usinas que convertem sinergicamente energia eólica e solar, otimizando o espaço ocupado pelos parques. A conversão dos aerogeradores, em geral, tem um pico noturno. Durante a noite a brisa terrestre oferece força e velocidade do vento compatíveis com a melhor eficiência dos aerogeradores. A energia fotovoltaica só é convertida durante o período diurno, complementando a conversão eólica.

O Brasil apresenta maiores níveis de insolação que os países que obtêm sucesso com a fotovoltaica, como por exemplo, a Alemanha. Além das usinas, a conversão dentro dos centros urbanos também é uma possibilidade que deve ser incentivada. Essa conversão mais próxima dos grandes centros de consumo trazendo como benefício uma economia relativa às linhas de distribuição.

Em suma, observa-se que, considerando as questões ambientais e um cenário atual favorável, é necessário reunir mais esforços acerca do desenvolvimento das renováveis. A energia convertida diretamente do sol ainda é pouco explorada dentro desse contexto. Essas tecnologias devem ser aprimoradas e melhor desenvolvidas no Brasil, objetivando a diversificação das fontes. Devido a tratados globais, projeta-se para os próximos anos, maior demanda de recursos renováveis, podemos afirmar que a energia solar desponta como uma das principais alternativas.

## 3. TECNOLOGIA

O coletor solar é um equipamento que converte diretamente a radiação solar incidente em calor. O calor pode ser aproveitado tanto para o aquecimento de água quanto para o ambiente (ar). As aplicações domésticas, em geral, se mostram as mais atrativas para sua utilização. O aquecimento de água e ar representa parcela significativa do consumo de energia. O coletor solar vai se tornando mais atrativo à medida que esse consumo se intensifica.

Os módulos fotovoltaicos convertem radiação solar em eletricidade. Essa conversão acontece pelo efeito fotovoltaico, um fenômeno quântico que ocorre em alguns materiais submetidos à dopagem eletrônica. Normalmente, o silício é o material utilizado. Além de proporcionar uma conversão confiável, os sistemas fotovoltaicos surgem como uma opção de baixo impacto ambiental, pois a geração de resíduos está associada apenas à sua produção e descarte.

A operação do coletor solar híbrido é resultado da conversão simultânea de radiação solar em eletricidade e calor. Essa tecnologia foi desenvolvida a partir da adição de uma placa de troca de calor na parte posterior de um módulo fotovoltaico, ou inserindo um módulo fotovoltaico na posição do absorvedor de um coletor solar. Na primeira opção é possível coletar a energia térmica promovendo arrefecimento ao módulo fotovoltaico. Essa configuração resulta um melhor comportamento elétrico sobre o sistema fotovoltaico. Na segunda opção, ao colocar o módulo em uma caixa com um vidro de cobertura, perde-se eficiência na conversão para energia elétrica mas temperaturas mais altas podem ser obtidas no aquecimento de água ou ar.

Apesar do desenvolvimento ter iniciado na década de 1970, poucos produtos foram comercializados utilizando essas tecnologias. Uma significativa queda nos preços dos módulos fotovoltaicos e interesse pelos coletores solares térmicos trazem consigo uma expectativa de mercado para os coletores híbridos nos dias atuais.

Se uma área coberta por painéis híbridos produz mais energia térmica e eletricidade do que uma espaço equivalente dividido por coletores térmicos e painéis fotovoltaicos, fica evidente o interesse para lugares onde o espaço é limitado. Nos centros urbanos cada vez mais se cogita utilizar superfícies verticais para escapar da limitação de áreas de telhados em edifícios, e os coletores híbridos poderão participar desta integração de produção de energia na edificação.

#### 4. REVISÃO DA LITERATURA

Um fato importante a ser considerado é que a eficiência de módulos fotovoltaicos é reduzida com o aumento da temperatura nas células. Esse fenômeno pode ser parcialmente evitado com extração de calor por fluxo de ar ou água se o coletor híbrido não envolver uma cobertura extra (por cima do vidro do próprio módulo fotovoltaico). Por outro lado, em países onde o clima envolve invernos rigorosos, pode ser essencial utilizar uma ou mais coberturas para o aquecimento em coletores solares. A maior parte dos estudos apresentados na literatura contempla a necessidade de sobrepor coberturas de vidro para garantir bom desempenho térmico, mas os modelos apresentados também contemplam coletores híbridos sem cobertura extra. Estes últimos podem ter muita aplicação em países de clima tropical, como se apresentará na seção 5 deste trabalho.

##### 4.1 Classificação dos coletores híbridos

Os sistemas híbridos promovem a conversão térmica produzindo ar e/ou água aquecidos. Tripanagnostopoulos et al. (2001) realizaram sucessivos testes em sistemas híbridos utilizando células fotovoltaicas de silício policristalino e amorfo. Os autores descobriram que a utilização de água como fluido de trabalho apresenta melhores resultados do que a utilização de ar, porém aplicações dos sistemas híbridos que trabalham com ar são descritos como viáveis para sistemas de calefação.

Pesquisas realizadas por Florschuetz (1979) apresentam um modelo computacional para simulação de um coletor híbrido utilizando água como fluido de trabalho. O modelo é similar ao modelo de Hottel-Whillier (1976), publicado por Duffie e Beckman (2013), para coletores planos. Neste modelo é analisada a combinação do coletor plano de água quente tradicional com o painel fotovoltaico de forma a minimizar o uso de área de coletores. A simulação revelou que a combinação dos dois sistemas com a mesma área de coletor produz mais energia por unidade de área de superfície do que em um sistema separado, ou seja, fotovoltaico e térmico.

**Ar como fluido de trabalho.** Sopian (2000) projetou e testou um sistema híbrido de aquecimento de ar utilizando dois passes. Neste sistema, o ar entra primeiro no canal de fluxo formado pela tampa de vidro e o painel fotovoltaico. Em seguida, faz o sentido contrário de entrada no canal de fluxo formado pelo painel fotovoltaico. Devido à turbulência presente, o coeficiente de transferência de calor aumenta, melhorando a eficiência térmica e elétrica.

O fluxo de ar pode ser promovido por circulação forçada através de bomba ou naturalmente. Nos estudos de Ebrahim (2009) foi observado que maiores vazões de ar apresentam melhores resultados sobre a eficiência destes coletores híbridos.

Hegazy (2000) estudou a eficiência dos quatro modelos mais populares: com o fluxo de ar acima da placa de absorção (modelo I); sob a placa de absorção (Modelo II); em ambos os lados do elemento absorvedor em uma única passagem (Modelo III); ou de uma forma dupla passagem (Modelo IV) em ambos lados do elemento absorvedor. Esses sistemas são apresentados na Fig. 1. Verificou-se que a concepção de duplo passe oferece o melhor desempenho, em comparação com outros modelos.

**Água como fluido de trabalho.** Os primeiros registros de trabalhos técnicos sobre o assunto são atribuídos a Wolf (1976). Analisando o desempenho deste sistema para aplicação residencial, combinando o aquecimento de água e a geração de energia elétrica, concluiu que era tecnicamente viável.

Bergene e Lovvik (1995) realizaram um estudo teórico de um coletor absorvedor solar de placas integrado com células solares baseados no modelo de Hottel-Whillier. Os autores desenvolveram uma série de algoritmos para determinar a eficiência térmica e elétrica do sistema híbrido, concluindo que tais sistemas podem ser mais úteis para aquecimento de água utilizada para aplicação doméstica.

Agarwal e Garg (1993) avaliaram um sistema híbrido com circulação natural e concentração da radiação solar nas células com refletores parabólicos. A partir de seus experimentos, afirmaram a hipótese de considerar a temperatura das células a mesma da placa de absorção medida no fundo da placa devido à dificuldade de acesso às células fotovoltaicas encapsuladas. Os autores demonstraram que a combinação dos painéis em paralelo produz mais energia elétrica do que a combinação em série. No mesmo trabalho observaram que a quantidade de água no tanque de armazenamento afeta significativamente a eficiência elétrica do sistema.

Em um estudo, Kemmoku et al. (2003) calcularam a energia de entrada, insolação solar direta, perdas do sistema e a diferença entre as temperaturas de módulo fotovoltaico e ambiente. Verificou-se que tanto para dias limpos quanto para dias nublados, a temperatura do módulo sobe rapidamente com o aumento da radiação solar direta. Os picos diários de temperaturas no módulo apresentavam o mesmo comportamento dos picos de temperatura ambiente devido à influência

das condições meteorológicas e velocidade do vento. Foi observado que a eficiência do sistema aumentou com maiores níveis radiação solar, comprovando-se também que a eficiência elétrica diminui com o aumento da temperatura. Cerca de 0,3% da eficiência elétrica do sistema se perde quando a temperatura do módulo aumenta em 1° C. A partir dessas observações é possível afirmar que existe uma influência direta da eficiência com a temperatura do módulo.

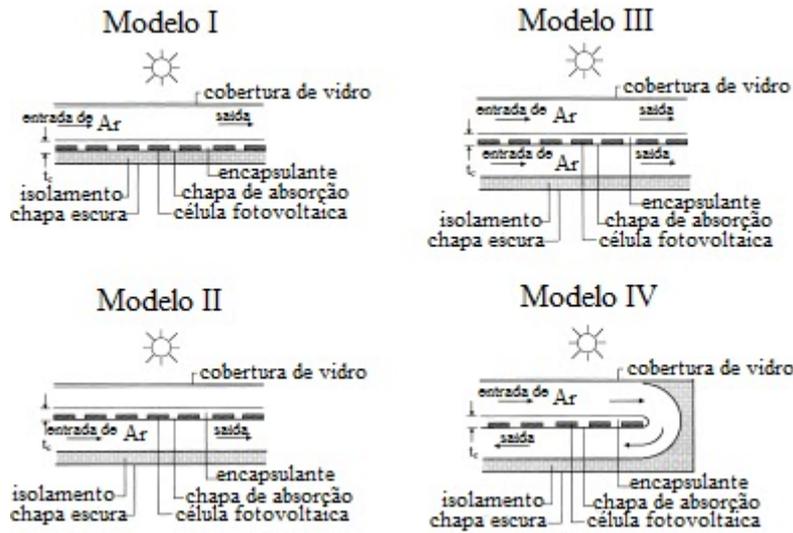


Figura 1 - Modelos de coletores híbridos com ar analisados por Hegazy.

Zondag (2003) desenvolveu nove tipos de coletores solares de diferentes geometrias, desde um coletor solar térmico de placa plana, um coletor solar fotovoltaico além de diferentes modelos de coletores híbridos. Segundo os autores, o coletor solar com dois absorvedores, sendo um superior transparente primário sobre o sistema fotovoltaico, e um inferior secundário (d) apresentou alto desempenho térmico, porém o seu desempenho elétrico foi baixo. Os coletores híbridos foram distribuídos neste trabalho em quatro grupos conforme ilustrado na Fig. 2. Foi acrescentado na figura, pelos autores deste trabalho, o caso (e), como uma proposta similar ao caso (a), porém sem a cobertura de vidro.

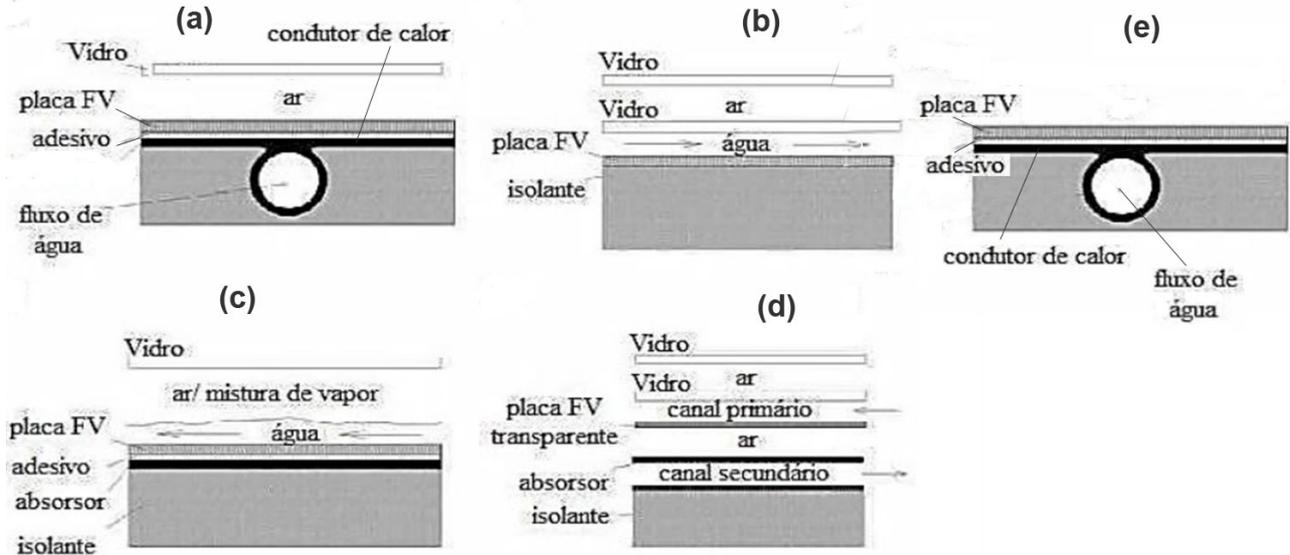


Figura 2 - Classificação dos módulos híbridos segundo Zondag (2003), adaptado.

No estudo conduzido por Ibrahim (2008) foi descrito o efeito de diferentes formas da serpentina de fluxo de água no coletor híbrido. Por métodos numéricos, foi indicado que o fluxo numa distribuição espiral específica promove um melhor rendimento. A eficiência térmica se mostra maior, com valores de 50,12 %. A eficiência da célula fotovoltaica neste caso foi de 14,98%.

O estudo conduzido por Pathak (2013) concluiu, realizando análise energética por meios de simulação numérica, que a energia solar é melhor aproveitada em sistemas coletores híbridos. Essa análise comparou sistemas separados com áreas idênticas, utilizando dados de cidades estadunidenses. No trabalho são descritos os modelos utilizados para cálculos. É destacado o ganho de aproveitamento elétrico, aumentando até 8,5%.

## 4.2 Eficiência em coletores híbridos com água

Como foi descrito anteriormente, o aproveitamento do calor gerado pelas células fotovoltaicas pode aumentar a eficiência elétrica. Em um estudo promovido por Zondag (2008), o coletor híbrido com cobertura ofereceu menor rendimento elétrico do que o híbrido sem cobertura. Esse fenômeno é observado na Fig. 3(b), onde se comparam as curvas de eficiência elétrica do coletor híbrido da Fig. 2(a) com o da Fig. 2(e). Isto ocorre porque a radiação solar é refletida na cobertura do coletor da Fig. 2(a), diminuindo o fluxo radiante em aproximadamente 8%. Como se observa na Fig. 3(a), a eficiência térmica de qualquer dos coletores híbridos representados é inferior à do coletor solar térmico convencional, tendo em vista que a absorvância solar das células é inferior à do absorvedor do coletor convencional. No caso do coletor híbrido sem cobertura, contam também significativamente as perdas térmicas para o ambiente, fazendo com que as duas curvas dos coletores híbrido se separem com o aumento da temperatura.

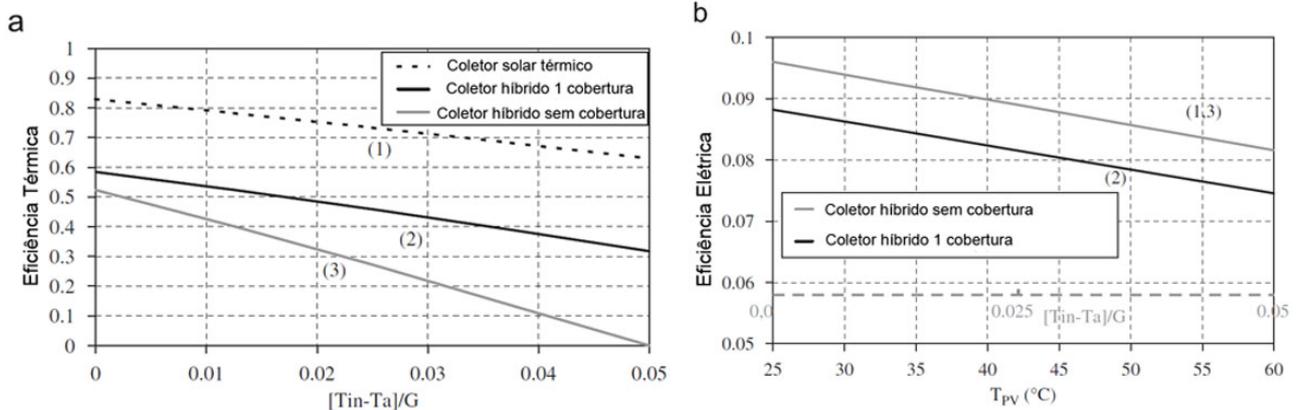


Figura 3 - Eficiência térmica do coletor solar convencional, do coletor híbrido com 1 cobertura e do coletor híbrido sem cobertura (a) e eficiência elétrica do coletor híbrido com e sem cobertura (b) segundo (Zondag, 2008).

O eixo horizontal tracejado na Fig. 3(b) representa a diferença de temperatura de entrada da água no coletor e a temperatura ambiente dividida pela radiação incidente, para poder associar os dois gráficos. Na elaboração deste estudo a irradiância utilizada foi de  $800\text{W/m}^2$ , Zondag, 2008.

Esta diferença de eficiência térmica foi explicada segundo os fatores:

- O coeficiente de absorção do módulo fotovoltaico utilizado era menor do que o mesmo coeficiente de um coletor térmico, somando-se ainda várias perdas por reflexão quando há uma cobertura extra. Para os coletores convencionais o coeficiente de absorção é superior a 95%, para os híbridos estudados, situa-se entre 75 a 85%. A célula fotovoltaica só absorverá radiação solar se a energia do fóton for superior à energia da banda de condução. Assim, as radiações com comprimentos de onda longos, com uma energia de fóton menor que a da banda de condução, não serão absorvidas. As perdas por reflexão podem ocorrer na cobertura do híbrido (se existir), no vidro de proteção das células e nas próprias células fotovoltaicas;

- A resistência térmica, entre a superfície de absorção e o fluido do coletor (neste caso água), aumenta devido a adição de sucessivas camadas de material (células fotovoltaicas, material de encapsulamento (EVA ou silicone), lâmina de proteção das células, vidro e a placa absorvedora convencional). Isto implica em um coeficiente de transferência de calor menor, tendo um efeito depreciativo tanto na eficiência térmica como na elétrica;

- A radiação solar que é convertida em eletricidade, não é aproveitada para fins térmicos.

## 5. USO DO COLETOR HÍBRIDO SEM COBERTURA NO BRASIL

Levando em consideração o fato de que módulos fotovoltaicos comerciais vem aumentando sua eficiência, as perdas ópticas devido à cobertura nos coletores híbridos representam maiores prejuízos energéticos do que o que foi apresentado na Fig. 3. Para priorizar a produção de eletricidade e considerando que em muitas localidades do Brasil há temperaturas ambientes amenas, a utilização de coletores híbridos sem cobertura pode ser uma aposta adequada. Este tipo de coletor tem apresentado forte crescimento no mercado internacional (ex. Solimpeks, Northburnsolar, Viridiansolar etc...).

Silveira e Krenzinger (2007) apresentaram um modelo de simples construção para um coletor híbrido nesta linha. Foi adaptada uma serpentina de tubo de cobre de com uma chapa de cobre na face posterior, conforme apresenta a Fig. 4. A análise realizada no coletor verificou que o comportamento da temperatura deste trocador corresponde às relações apresentadas por Duffie e Beckman (2013). A Fig. 5 apresenta a termografia, onde cada cor representa uma temperatura ao longo da serpentina do trocador, para uma condição de análise com uma vazão específica. No trabalho foram determinados o fator de remoção de calor e o coeficiente global de perdas. O fator de remoção de calor representa a capacidade do coletor em transferir calor da chapa de cobre para a água. O valor encontrado foi  $F_R = 0,5$ . O coeficiente global de perdas indica como o coletor transfere calor para o ambiente e seu valor foi de  $U_L = 14,3\text{ W/m}^2\text{°C}$ .

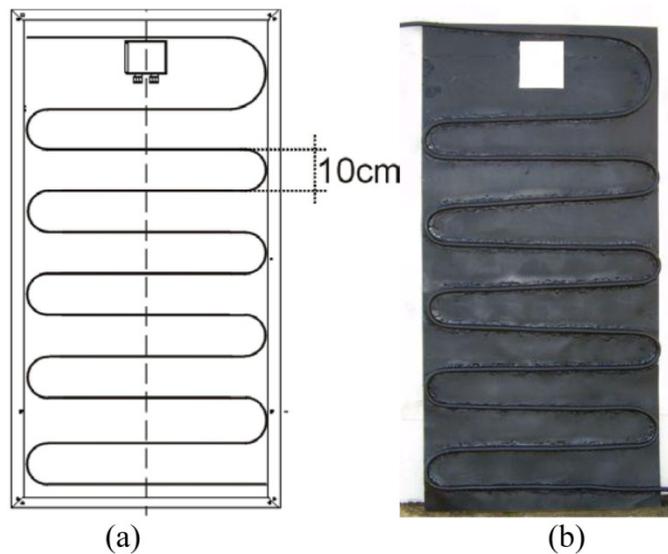


Figura 4- (a) Esquema de montagem do trocador de calor por onde passa o fluido, que foi acoplado na parte posterior do módulo fotovoltaico. (b) Trocador de calor construído. Silveira e Krenzinger (2007)

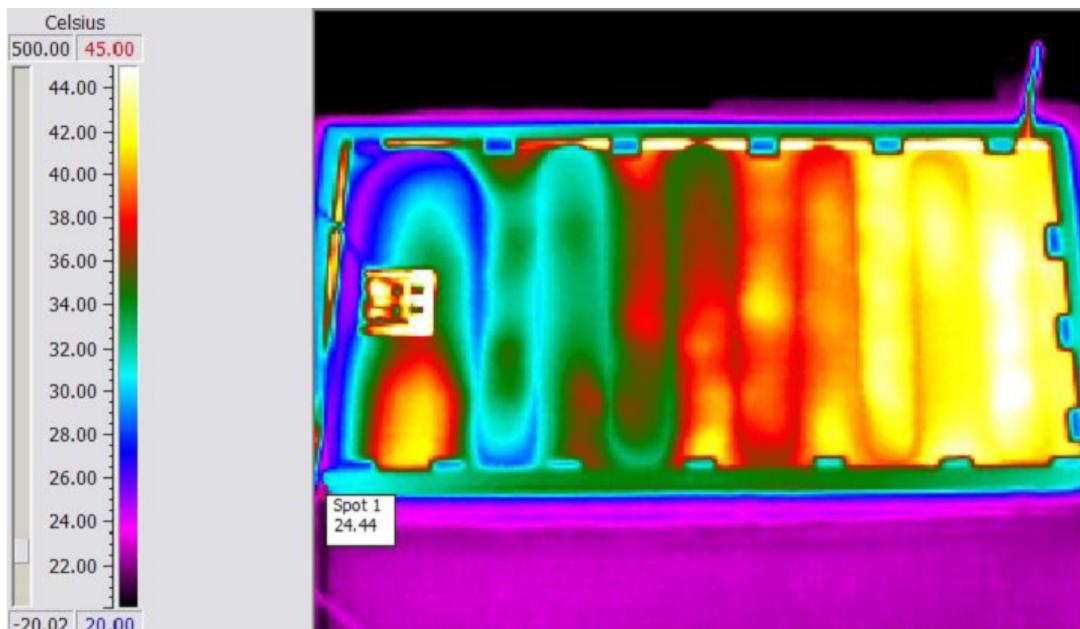


Figura 5 - Termografia realizada por Silveira e Krenzinger (2007)

Em sua dissertação, Costa (2002) analisou as limitações no uso de coletores solares se cobertura para sistemas de aquecimento de água no Brasil. Levantou curvas experimentais de eficiência de coletores poliméricos, normalmente utilizados para aquecimento de água de piscinas e comparou com coletores convencionais. O coletor polimérico testado por Costa tem eficiências máximas maiores do que a que aparece na Fig. 3(a) por tratar-se de um coletor com ótimo fator de remoção de calor e boa absorvância solar, o que no caso de um módulo fotovoltaico seria impossível, mas o que importa nesta comparação é que em ambos os casos (híbrido e polimérico) os coletores apresentam eficiências razoáveis (da ordem de 30%) para valores de  $(T_{in} - T_a)/G$  entre 0,01 e 0,03. Isto permite supor que as simulações realizadas por Costa também tem significado para os coletores híbridos sem cobertura.

A Fig. 5 apresenta resultados das simulações de Costa (2002) mostrando as comparações de produção de calor mensal para aquecimento de água entre sistemas com 5 m<sup>2</sup> de coletores solares com cobertura e sem cobertura. Os gráficos também mostram a simulação para sistema com 10 m<sup>2</sup> sem cobertura. É importante registrar que nas simulações simplificadas realizadas por Costa, a análise mensal foi feita com base de um dia típico para cada mês e não uma sequência de dados meteorológicos horários ao longo de cada mês, desta forma os resultados são apenas valores médios. Na Fig. 6 (a) a simulação foi realizada para Recife e mostra o menor desempenho dos coletores sem cobertura, que mesmo aumentando a área não chegam à produção energética dos coletores com cobertura. Nesta simulação houve um excedente de energia térmica produzida pelo sistema convencional. Certamente um dimensionamento indicaria uma menor área de coletores para atender à demanda. Observa-se que há produção de energia térmica durante todo o ano e

duplicando a área de captação em coletores sem cobertura o sistema atende à demanda. Na Fig. 6 (b) a simulação foi realizada para Porto Alegre e os resultados mostram que apenas nos meses de verão os coletores solares sem cobertura atendem parcialmente as necessidades de aquecimento de água. Durante 5 meses de inverno os coletores sem cobertura são ineficazes para o aquecimento.

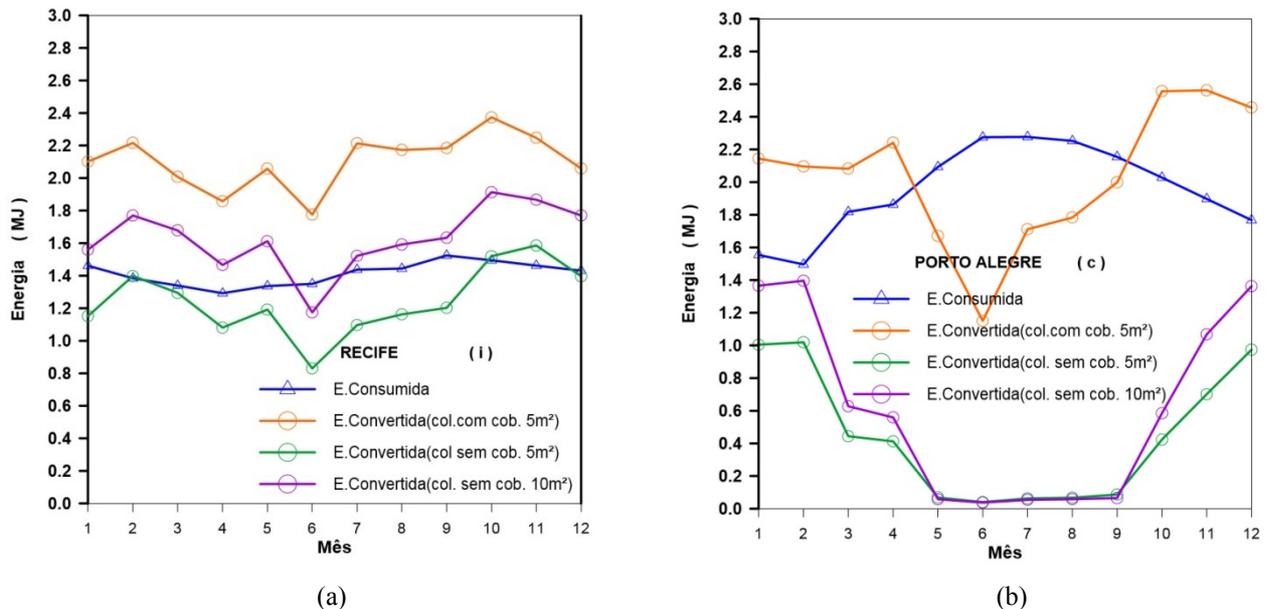


Figura 6 – Energia térmica consumida no aquecimento de água de uma residência e energia térmica produzida por um sistema com coletores solares convencionais de 5 m<sup>2</sup>, comparada com a energia térmica produzida por sistemas com 5 m<sup>2</sup> e 10 m<sup>2</sup> de coletores sem cobertura, para os 12 meses do ano em (a) Recife e (b) Porto Alegre, segundo simulações realizadas por Costa(2002).

As diferenças observadas por Costa são altamente relevantes para a aplicação dos coletores híbridos. Propõe-se estudar com mais análises especificamente para módulos fotovoltaicos híbridos e simulações com sequências de dados meteorológicos para refinar as conclusões. Também a análise do aproveitamento dos coletores híbridos para o pré-aquecimento deverá ser considerado no futuro.

## 5. CONCLUSÕES

Em virtude da intensificação de políticas públicas mundiais de controle de emissão de poluentes e conscientização, o mercado atual vem se desenvolvendo em ritmo acelerado, tanto para conversão de energia solar térmica quanto para fotovoltaica.

Coletores híbridos cobrem ampla demanda de aplicações, oriundas de diferentes setores do mercado. Essa tecnologia é mais atrativa quando o espaço é um limitante. Esses coletores combinam simultaneamente aquecimento de água (ou ar) com conversão de energia elétrica. Além da utilização doméstica, pode ser indicada para escalas mais amplas, como condomínios, escolas, centros de recreação e esportes, piscinas de uso coletivo, campings, hospitais e hotéis.

O desenvolvimento de vários modelos de coletores híbridos, segundo a literatura, foi feito para países de clima frio, onde a qualidade do isolamento térmico dos coletores é mais importante. Uma cobertura de vidro extra, sobre o módulo fotovoltaico, ajuda a manter um bom isolamento térmico, mas prejudica significativamente o desempenho de conversão para eletricidade. Coletores sem cobertura são mais indicados para sistemas de pré-aquecimento, ou aquecimento de água para lugares com clima ameno, podendo ser utilizados durante boa parte do ano em diversas regiões do Brasil, mas não em todas. A comparação de desempenho na conversão térmica com coletores solares sem cobertura leva a concluir que seu uso nas cidades com clima mais frio no inverno, como Porto Alegre, não é recomendável. Para as cidades com temperatura ambiente menos variável ao longo dos anos, como Recife, há muito mais viabilidade.

A tecnologia dos coletores híbridos pode ser aperfeiçoada com projetos que aliem uma melhor eficiência e uma ótima operação em conjunto da conversão térmica e fotovoltaica, sem descuidar de manter o custo em níveis que possam garantir o mercado. Também os métodos de simulação considerando as características específicas destes coletores devem ser aprimorados para dar confiabilidade nas decisões de instalação em cada localidade.

## Agradecimentos

Os autores agradecem o suporte financeiro concedido por CNPq para a realização deste trabalho. O Laboratório de Energia Solar da UFRGS é um laboratório associado ao Instituto Nacional de Ciência e Tecnologia de Energias Renováveis e Eficiência Energética da Amazônia.

## REFERÊNCIAS

- Agarwal, R. K.; Garg, H. P.; 1994. Study of a Photovoltaic Thermal System - Thermosyphonic Solar Water Heater Combined with Solar Cells. Energy Conversion & Management.
- Bergene, T.; Lovvik, O. M.; 1993. Model Calculations on a flat-plate Solar Heat Collector with Integrated Solar Cells. Solar Energy.
- BRASIL, 2002. Lei nº 10.438, de 26 de abril de 2002.
- Costa, E. R.; 2002. Limitações no Uso de Coletores Solares sem Cobertura para Sistemas Domésticos de Aquecimento de Água. Dissertação de Mestrado, PROMEC/UFRGS, Porto Alegre RS.
- CRESESB/CEPEL, 2014. Manual de Engenharia Para Sistemas Fotovoltaicos
- Duffie, J. A.; Beckman, W. A., 2013. Solar Engineering of Thermal Processes, John Wiley & Sons.
- Ebrahim M.; Alfegi, A.; Sopian, K.; Othman, M. Y. H.; Yatim B. B.; 2009. The Effect of Flow Rates on the Performance of Finned Single Pass, Double Duct Photovoltaic Thermal Solar Air Heaters, European Journal of Scientific Research.
- Florschuetz, L. W.; 1979 Extension of the Hottel-Whillier Model to the Analysis of Combined Photovoltaic/Thermal Flat Plate Collectors. Solar Energy.
- Hegazy A. A.; 2000. Comparative study of the performances of four photovoltaic/thermal solar air collectors. Energy Conservation Management.
- Ibrahim, A.; Sopian, K.; Othman, M. Y.; AlGhoul, M. A.; Zaharim, A.; 2008. Simulation of Different Configuration of Hybrid Photovoltaic Thermal Solar Collector (PVTs) Designs, Marathon Beach, Attica, Greece.
- Kemmoku, Y.; Egami, T.; Hiramatsu, M.; Miyazaki, Y.; Araki, K.; 2003. Modeling of Module Temperature of a Concentrator PV System.
- Ministerio de Minas e Energia, 2015. Resenha Energética Brasileira, Exercício de 2014, Edição junho de 2015.
- Pathak, M.J.M.; Sanders, P.G.; Pearce J.M.; 2013. Optimizing Limited Solar Roof Access by Exergy Analysis of Solar Thermal, Photovoltaic, and Hybrid Photovoltaic Thermal Systems. Applied Energy
- Silveira, H.; Krenzinger, A.; 2007. Desenvolvimento de um Coletor Híbrido Térmico/Fotovoltaico. Anais do I Congresso Brasileiro de Energia Solar. Recife: ABENS.
- Sopian, K.; Liub H. T.; Kakach S.; Veziroglu T. N.; 2000. Performance of a Double Pass Photovoltaic Thermal Solar Collector Suitable for Solar Drying Systems, Energy Conservation & Management.
- Tripanagnostopoloust, Y.; Nousia, T.; Souliotis, M.; 2001. Test Results of Air Cooled Modified PV Modules. 17th European Photovoltaic Solar Energy Conference, Munich
- Wolf, M.; 1976. Performance Analyses of Combined Heating and Photovoltaic Power Systems for Residences. Energy Conversion.
- Zondag, H. A.; 2008. Flat-plate PV-Thermal collectors and systems. A review, Renewable and Sustainable Energy Reviews, V12 (4) pp 891-959.
- Zondag, H. A.; de Vries, D.W.; Van Helden, W. G. J.; Van Zolingen, R. J. C.; Van Stenhoven, A. A.; 2003. The yield of different combined PV-thermal collector designs. Solar Energy, 74, pp 253-269

## A VIEW ON PHOTOVOLTAIC THERMAL HYBRID COLLECTORS

**Abstract.** *Due to the growing demand for renewable energy sources, it seeks to explore alternatives that best adapt to the reality of our country. In addition to the implemented cleaner technologies, there is a promising scenario for the conversion of solar energy within the urban centers. In large cities, often the space is a limiting factor. Hybrid solar collectors simultaneously convert solar energy into heat and electricity, occupying a small space. This way can be of interest when there are this limitation and the decision of using the potential of thermal and electrical conversion. It should be noted that the photovoltaic conversion within urban centers is already economically competitive and the distributed generation should be encouraged in a short time. On the other hand the use of solar collectors to heat water for domestic, commercial and industrial applications also has a growing development. The reduction in the prices of electrical conversion devices, resulting in the feasibility of operation in conjunction with the solar collector, also appears as an important factor that provides this type of product on the market. This study aims to carry out an overview of the knowledge surrounding the current state of the art in hybrid collectors, presenting a basic analysis of collectors and the possibilities for its use in Brazil.*

**Key words:** Solar Energy, PVT Systems