

GERAÇÃO SOLAR INTERFACIAL DE VAPOR : UMA INTRODUÇÃO

Ana Paula Emily de Sousa Silva¹, Taciano Amaral Sorrentino²

Resumo: Este trabalho de conclusão de curso tem por objetivo uma revisão da tecnologia de Geração Solar Interfacial de Vapor (GSIV). A GSIV, de maneira geral, consiste em reter calor, proveniente da absorção de radiação solar, na região da interface ar-água de um reservatório, diminuindo perdas térmicas e aumentando a eficiência do processo de geração de vapor. O vapor gerado pode ter como finalidade aplicações tais como: a dessalinização, esterilização, destilação, entre outras. Inicialmente para a realização deste trabalho, foram necessárias pesquisas e considerações teóricas para auxiliar na compreensão da temática abordada e seus aspectos agregadores. Posteriormente, foram feitas análises conclusivas de relevância para concepção da mesma. Em seguida é dada ênfase nas condicionantes de suas aplicações, que oferecem embasamento construtivo a obra. Por fim ocorre o desenvolvimento da revisão e as devidas análises para sua composição e concepção, além de mencionar perspectivas futuras para o avanço dessa tecnologia.

Palavras-chave: Geração solar interfacial de vapor, energia solar térmica, energia solar.

1. INTRODUÇÃO

As energias renováveis são de suma importância para um potencial desenvolvimento econômico e sustentável, podendo ser definidas como toda energia obtida através de fontes naturais que se renovam, tendo a capacidade de se regenerar continuamente e espontaneamente, passando por alguns processos até resultar na geração de eletricidade, sendo o caso da energia solar, obtida através do sol, a energia eólica obtida através dos ventos e energia hidráulica obtida através da força das águas. Produzir energia renovável é hoje uma necessidade, que vem sendo tratada como imperativa em diversos países do mundo, pois além de se tratar da produção de energia limpa e inesgotável, é possível a sua instalação em lugares remotos ou de difícil acesso. Somam-se a isso os efeitos deletérios das energias convencionais obtidas por combustíveis fósseis, que contribuem para o efeito estufa, gerando mudanças climáticas e alto impacto ambiental. As energias renováveis também têm um melhor custo de produção e podem ser geradas com relativa facilidade em áreas afastadas e não atendidas pela rede elétrica. A transição para fontes renováveis de energia também é acompanhada da necessidade de inovações na tecnologia e potencializa a geração de diversos empregos, contribuindo assim para a economia [1].

No presente trabalho temos enfoque na energia solar, e para isso é necessário entender o motivo pela qual a radiação solar é utilizada para aplicações térmicas. De acordo com Zhou (2019) apenas 0,1% do recurso solar total seria suficiente para atender a demanda mundial anual de energia, porém mesmo sendo tão promissora, a eficiência da geração de vapor solar ainda é baixa. Devido aos avanços no gerenciamento térmico, materiais e designs estruturais, surgiu a GSIV que traz um novo conceito de conversão solar-térmica. Tendo em vista seu grande potencial e suas vantagens, assim como as outras energias renováveis, a utilização da radiação solar para aplicações térmicas se dá por a mesma ser viável, disponível abundantemente de forma renovável e inesgotável, e pelos diversos meios de realizar sua captação. Disso resulta a geração de energia útil, revertida para diversos dispositivos e tecnologias com diferentes finalidades e funções [1].

A tecnologia de GSIV capta radiação solar e a converte em energia térmica gerando vapor, podendo ser aplicada em diversos dispositivos como, por exemplo, em uma autoclave. As vantagens da GSIV serão aprofundadas mais adiante, mas a priori, a sua eficácia e sua rapidez a torna mais vantajosa se comparada com outras tecnologias de geração de vapor existentes no mercado. A energia solar é a fonte de energia renovável mais abundante disponível na superfície da Terra e a GSIV é uma tecnologia promissora para a qual existem diversas aplicações que melhoram a vida dos seres humanos e forneceram soluções para questões muito relevantes do cotidiano da sociedade. Como a evaporação solar para o tratamento da água sendo cada vez mais utilizada, foi esperado que ao passar dos anos houvesse significativos avanços nesse campo [2].

Diante do que foi apresentado, o objetivo do presente trabalho é fazer uma revisão bibliográfica sobre a GSIV, tratando de aspectos essenciais de sua fundamentação, materiais e designs mais utilizados, além de abordar várias de suas aplicações, demonstrando as suas vantagens e as suas perspectivas para o futuro.

2. DESENVOLVIMENTO

2.1 FUNDAMENTOS DA GSIV

2.1.1 Descrição e fundamentos do processo

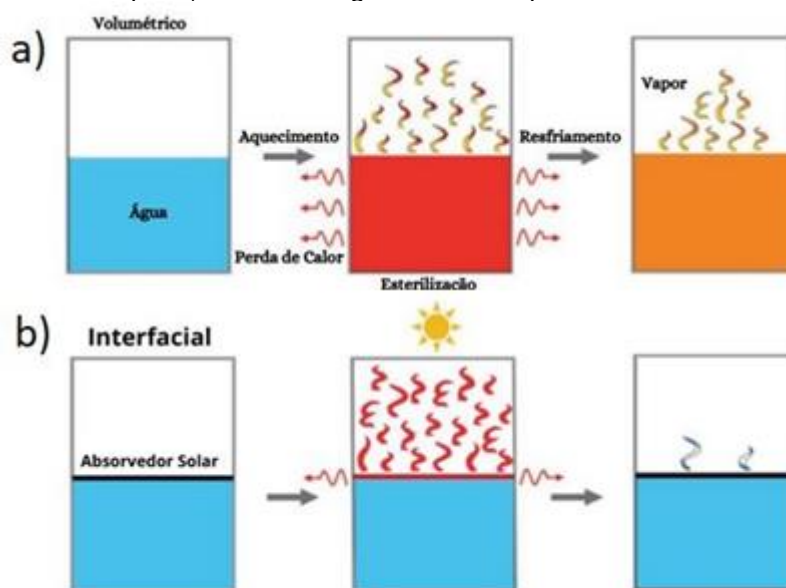
A Geração Solar Interfacial de Vapor se refere, de maneira geral, à retenção de energia térmica, advinda da absorção de radiação solar, nas camadas superiores de água, próximas da interface água-ar, em um reservatório. Essa retenção aumenta a quantidade de energia por unidade de volume de água na região onde de fato o vapor é gerado: a interface líquido-vapor.

Pode-se ter uma melhor ideia do impacto dessa tecnologia a partir de um exemplo concreto, e um exemplo dramático do ganho de eficiência com a aplicação de GSIV e a geração solar de vapor para esterilização. Li *et al.*, no contexto da aplicação da GSIV para geração de vapor úmido para uma autoclave solar, explicam as vantagens da GSIV em relação ao aquecimento volumétrico da água de um recipiente para gerar vapor que serão mencionadas a seguir [3]. Na Figura 1a) mostrada abaixo ocorre o aquecimento volumétrico, onde todo o volume de água do recipiente é aquecido. Numa autoclave comercial, o tempo necessário para aquecer toda a água pode variar entre 30 e 60 min, e um alto consumo de energia por unidade de volume de vapor gerado é necessário para atingir a temperatura de esterilização (110 J ml^{-1} para o vapor a 121°C). Para a fase de exposição, na qual a esterilização de fato acontece, o tempo necessário depende da temperatura de operação da autoclave. Para uma temperatura de 121°C , 15 min são necessários. Para abrir a autoclave após a esterilização e retirar o material esterilizado é necessário esperar a temperatura baixar, para evitar acidentes. Devido à enorme quantidade de energia necessária para operar o sistema, a dissipação dessa energia até se atingir temperaturas seguras pode demorar ainda entre 30 e 50 min em autoclaves comerciais. Com isso, o tempo total de um ciclo de esterilização pode variar de 75 a 115 min, e consumindo uma grande quantidade de energia. Como a maior parte da água aquecida não se torna vapor, a eficiência do processo é intrinsecamente baixa.

Já no aquecimento interfacial, como podemos ver na Figura 1b), temos um absorvedor solar responsável pela captação da energia solar, onde há uma fina camada de água em cima desse absorvedor. O calor fica restrito a essa região da interface, onde o vapor também é gerado, com perdas de calor para o restante do volume de água minimizadas. Por termos uma quantidade menor de água sendo aquecida teremos um tempo de resposta menor além de uma taxa de evaporação maior.

Tendo em vista que a quantidade de água que está sendo aquecida é muito menor, notamos que, ao comparar o aquecimento volumétrico com o aquecimento interfacial seu aquecimento e seu resfriamento levam um tempo muito menor. As perdas térmicas também são muito reduzidas no aquecimento interfacial e, junto com um alto coeficiente de transferência de calor do absorvedor para o vapor, torna-se possível uma maior temperatura de estado estacionário para o vapor para a mesma quantidade de energia que entra no sistema. Por fim, como a maior parte da energia é usada diretamente para gerar vapor, a energia necessária por unidade de volume de vapor gerado é significativamente reduzida [3].

Figura 1 – Comparação das vantagens entre o aquecimento volumétrico e o interfacial

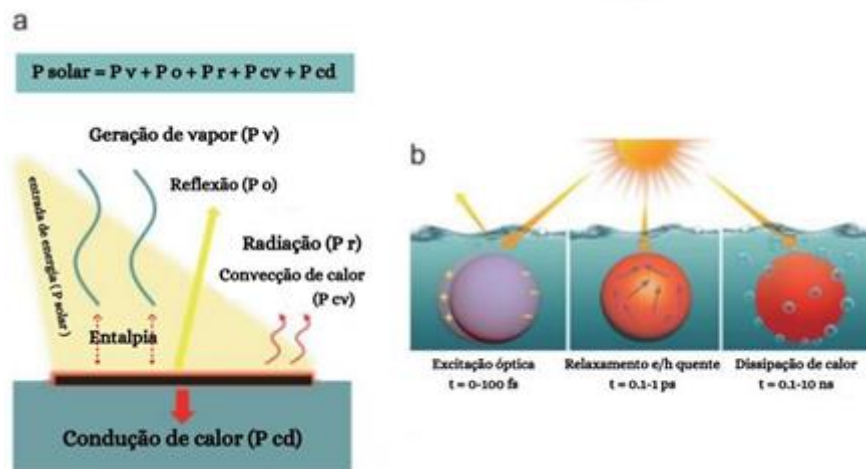


Fonte: Adaptada de Jinlei Li et al. Advanced Materials (2018)

Vamos detalhar um pouco mais os processos físicos envolvidos na GSIV com a ajuda da Figura 2 [2]. Na figura 2a) temos a representação macroscópica da GSIV, onde observamos a incidência dos raios solares sobre o absorvedor, representada por (P_{solar}). A potência P_{solar} , é utilizada para gerar vapor (com a fração P_v), e todas as outras transferências são perdas: por reflexão (P_o), por irradiação (P_r), por convecção (P_{cv}) e por condução (P_{cd}).

Na GSIV geralmente se usa o que se chama de nanofluido, que consiste em nanopartículas suspensas num fluido de interesse, com o objetivo de incrementar certas propriedades do fluido. No caso específico da GSIV, as nanopartículas aumentam a absorção de luz solar e diminuem a resistência térmica da água onde estão suspensas. Para isso, podem ser usadas nanopartículas contendo metais, semicondutores e materiais à base de carbono. Na Figura 2b) vemos a representação de uma nanopartícula, cujo comportamento no processo de GSIV pode ser dividido em três subprocessos, representados nas três subfiguras superiores, com cada uma das três subfiguras inferiores representando a respectiva dinâmica típica das populações de portadores de carga, tanto em metais como em semicondutores. O primeiro dos três subprocessos é a excitação óptica de portadores quentes. Quando a luz solar incide sobre as nanopartículas, excitações ópticas e transições eletrônicas são induzidas, e essas nanopartículas efetivamente absorvem essa energia numa escala de tempo inferior a 100 fs (100×10^{-15}). Depois, a energia solar absorvida é convertida em energia cinética por vários processos, numa escala de tempo entre 0,1 e 1 ps, levando à relaxação de portadores de carga quentes dentro da nanopartícula na forma de vibrações da rede. Por fim, a energia é dissipada para as moléculas de água, processo no qual o acoplamento vibracional entre redes de partículas e as moléculas de água (principalmente na forma de fônons acústicos de baixa frequência) contribui para a transferência de energia para a vaporização da água. Nesse último subprocesso a escala temporal pode variar bastante a depender do material usado, de 100 ps a 10 ns ou mais [2]. Em condições em que as nanopartículas estejam acumuladas em volumes muito pequenos de água, a GSIV permite geração de vapor com tempos de resposta muito menores que o aquecimento volumétrico, devido à reduzida massa térmica.

Figura 2 – Imagens macroscópica e microscópicas do processo de conversão solar para a geração de vapor solar



Fonte: Adaptada de Lin Zhou et al. Review (2019).

2.1.2 Parâmetros de avaliação para sistemas de GSIV

Em 2020, Zhou *et al.* recomendaram o uso de quatro “figuras de mérito” para avaliar a performance de sistemas que usam GSIV [2]. São eles: a taxa de evaporação, a temperatura do vapor, a eficiência de transferência de energia e o tempo de resposta. Esses parâmetros que caracterizam a performance de geração de vapor solar podem ser afetados por parâmetros extrínsecos, tais como os estados iniciais (como a temperatura inicial da água) e/ou condições de contorno (como a temperatura ambiente).

Taxa de vaporização

A taxa de produção de vapor solar é um dos mais importantes parâmetros para a GSIV, especialmente para as aplicações que necessitam de grandes volumes de vapor, como a dessalinização da água do mar. Podemos definir a taxa de vaporização como a taxa de evaporação em estado estacionário causada pela energia solar por unidade de área (m^2/A). De modo geral, uma maior intensidade da luz incidente leva a uma maior taxa de vaporização, mas esse parâmetro também depende de fatores extrínsecos como umidade, temperatura ambiente, condições de

isolamento térmico, velocidade do vento, etc [2].

Temperatura do vapor

O vapor pode transportar energia à medida que flui. Na termodinâmica, a qualidade do vapor está relacionada a sua pressão e temperatura. Para a evaporação solar, a temperatura do vapor determina suas potenciais aplicações. Por exemplo, vapor solar com uma alta temperatura (>500 °C) é vantajoso para a geração de eletricidade, enquanto o vapor solar em uma temperatura entre 120 °C e 150 °C é ideal para esterilização de equipamento médico em locais sem acesso à rede elétrica. E mesmo para o vapor solar com $T < 100$ °C, o vapor ainda pode ter diversas aplicações diferentes [2].

Eficiência na Transferência de Energia

Para quantificar a capacidade de conversão de energia, podemos dividir o processos de transferência de energia de uma GSIV em duas partes, uma seria a captação e termalização de energia solar e a outra seria a transferência da energia termalizada para a mudança de fase, a vaporização. Supondo que toda a energia solar absorvida possa ser completamente termalizada através do processo de decaimento não radiativo, as eficiências intrínseca e o extrínseca da GSIV podem ser definida como mostrado na equação (1).

$$\eta^{ex} = \frac{A P_{abs}}{A P_{solar}}, \eta^{in} = \frac{\dot{m} h_{LV}}{A P_{abs}} \quad (1)$$

Na equação (1) a eficiência extrínseca η^{ex} representa a eficiência de conversão da potência solar P_{solar} em calor, determinada pela absorptância solar α_{eff} . Já a eficiência intrínseca η^{in} visa mostrar até que ponto a energia solar absorvida AP_{abs} pode ser transferida direcionalmente para a entalpia de mudança de fase da água. $\dot{m}$ se refere à taxa de evaporação em massa e por fim a h_{LV} é a entalpia de mudança de fase de água, incluindo o calor sensível e latente durante a geração de vapor solar em estado estacionário. A combinação das expressões mencionada acima, dá origem à definição de eficiência de transferência de energia da radiação solar para o vapor [2]:

$$\eta_{solar-vapor} = \frac{\dot{m} h_{LV}(T)}{A P_{solar}}. \quad (2)$$

Tempo de Resposta

O tempo de resposta é definido como tempo de subida ou descida de um sistema de GSIV, para o estabelecimento do estado estacionário termodinâmico. Devido à retenção de calor na região da interface, o tempo de resposta da GSIV é mais rápido do que sistemas de aquecimento volumétrico. O tempo de resposta também depende da massa térmica de materiais isolantes, vizinhanças e interfaces. Devido à muito maior densidade de elétrons livres e estados acima da energia de Fermi, bem como maior condutividade térmica, materiais metálicos podem responder mais rápido do que semicondutores nos três processos detalhados da Figura 2b).

É importante ressaltar que mesmo que os quatro parâmetros sejam cruciais para o sistema da GSIV, é bastante difícil maximizar todos os parâmetros em simultâneo, tendo em vista que são inter-correlacionados. Logo, para diferentes aplicações as figuras de mérito podem ser definidas de forma diferente.

2.3 MATERIAIS E DESIGN PARA GSIV.

Conforme os anos se passaram a evolução da GSIV trouxe consigo alguns desings, como a absorção óptica, a dissipação de transferência térmica, transferência de massa, além de água em bombeamento e escape de vapor, sendo eles processos gerados através de três componentes principais que serão mencionados a seguir [2]:

2.3.1 Manipulação fotônica da absorção óptica de evaporadores

A GSIV é um processo de fotofísica, onde a absorção da luz eficiente é de suma importância para otimizar e maximizar a eficiência quântica externa η^{ex} , e uma condição necessária para qualquer sistema que vise converter energia solar em térmica [2]. Uma propriedade óptica elementar dos materiais é a absorção de luz, que é uma assinatura das interações radiação-matéria, ou interações entre fótons irradiados pelo sol e elétrons e/ou fônons em absorvedores solares. Duas grandezas que são de suma importância para a GSIV são a largura de banda da absorção e a eficiência da absorção. Para absorvedores solares fracamente dispersivos, há a possibilidade de empregar uma eficiência média com a finalidade de avaliar qualitativamente o desempenho dessa absorção [2]. Para avaliar quantitativamente a performance da absorção de vários absorvedores solares, a absorptância solar pode ser empregada, definida como:

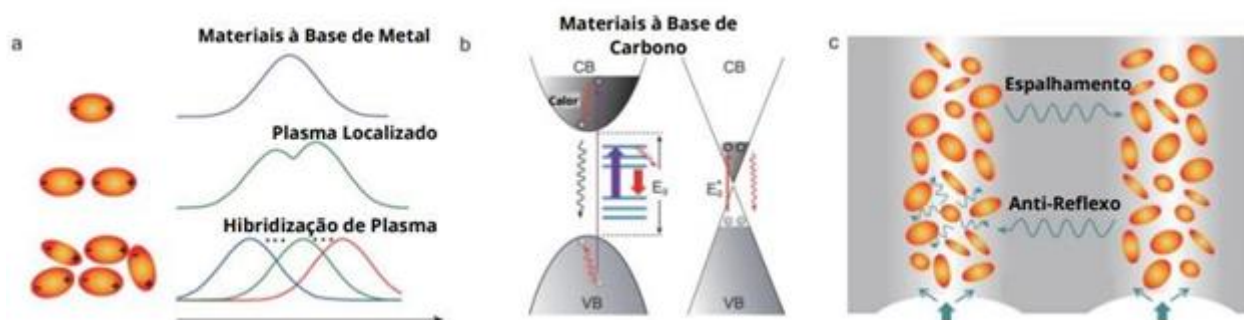
$$\alpha_{eff} = \frac{\int A(\lambda) I_{solar}(\lambda) d\lambda}{\int I_{solar}(\lambda) d\lambda}, \quad (3)$$

onde I_{solar} é a irradiância espectral do sol (potência por unidade de área por unidade de comprimento de onda), 99% da qual está entre 280 e 2500 nm, e $A(\lambda)$ é a eficiência de absorção. Por conta das características da irradiação solar e das condições de operação da GSIV, são desejáveis absorvedores com largas bandas de absorção, alta tolerância angular, insensibilidade à polarização, alta humidade e estabilidade química. Escolhas minuciosas de materiais fototérmicos e projeto cuidadoso de absorvedores micro/nanoestruturados podem tornar possível alta absorção solar com mínimas perdas ópticas.

2.3.2 Manipulações fotônicas para absorvedores a base de metais

Os metais possuem grandes números de elétrons livres e a absorção de luz em metais está ligada a absorção desses elétrons livres na banda de condução por processos diversos. Graças a sua altíssima concentração de carga, os coeficientes de absorção em metais podem atingir até 10^{-6} cm^{-1} no espectro solar, e consequentemente metais se tornam bons candidatos para materiais fototérmicos. Entretanto, a resposta dielétrica negativa única dos metais faz com que ocorra uma inadequação para a propagação da luz em um metal sólido (alta refletividade), sendo assim eles apenas suportam modos de plásmons de superfície. Esses modos são modos ópticos acoplados de oscilações coletivas de elétrons livres próximos de superfícies metálicas, originados pela interação coulombiana de longo alcance e pela inércia dos elétrons livres na superfície. Superfícies metálicas periódicas de um sólido metálico podem suportar modos chamados de plásmons polaritons de superfície (PPS), enquanto nanopartículas metálicas com superfícies curvas podem suportar os chamados plásmons localizados de superfície (PLS). Os PLS têm o efeito de reforçar campos elétricos próximos da superfície da partícula, e a absorção óptica da partícula tem um máximo na frequência de ressonância de plásmon. Mas a frequência de ressonância de plásmon de superfície pode ser sintonizada com base no formato da partícula, e, para alguns metais, a frequência de ressonância de plásmon ocorre em comprimentos de onda no visível, o que faz nanopartículas metálicas muito interessantes para GSIV.

Figura 3 – Propriedades ópticas e desenhos nanofotônicos para absorvedores solares de ISVG .



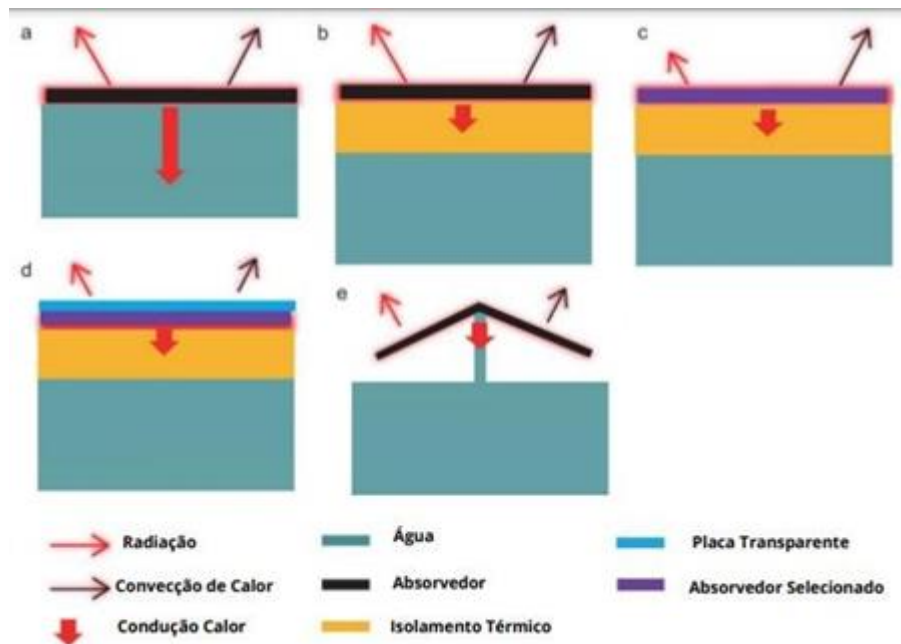
Fonte: Adaptada de Lin Zhou et al. Review (2019).

Na Figura 3 temos imagens e a representação de desenhos nanofotônicos para absorvedores solares da GSIV, na imagem (a) e (b). Temos absorvedores em banda larga sendo eles absorvedores solares em metal que seria a imagem (a), absorvedores semicondutores e baseados em carbono que seria a imagem (b), além de um design nanofotônico, que seria ideal para absorvedor solar em banda larga e altamente eficiente para a Geração Solar Interfacial de Vapor (c), e por fim temos o desempenho medido de absorção de luz de vários absorvedores solares representativo da GSIV. Temos que um absorvedor óptico ideal de GSIV (c) deve ter estruturas altamente porosas, materiais altamente absorventes e ter múltiplos meta-átomos para uma alta densidade de modos ópticos.

2.3.3 Manipulações fotônicas para absorvedores solares baseados em semicondutores.

Em comparação com os mecanismos de absorção de metais, os absorvedores baseados em semicondutores são mais complicados. A uma baixa temperatura há uma pequena concentração de elétrons livres e a absorção de luz é determinada por elétrons ligados, que pode ser alcançada com uma transição de elétrons entre as bandas de valência e condução, possível com a foto-excitação acima da bandgap.

Figura 4 – Gerenciamento térmico para GSIV



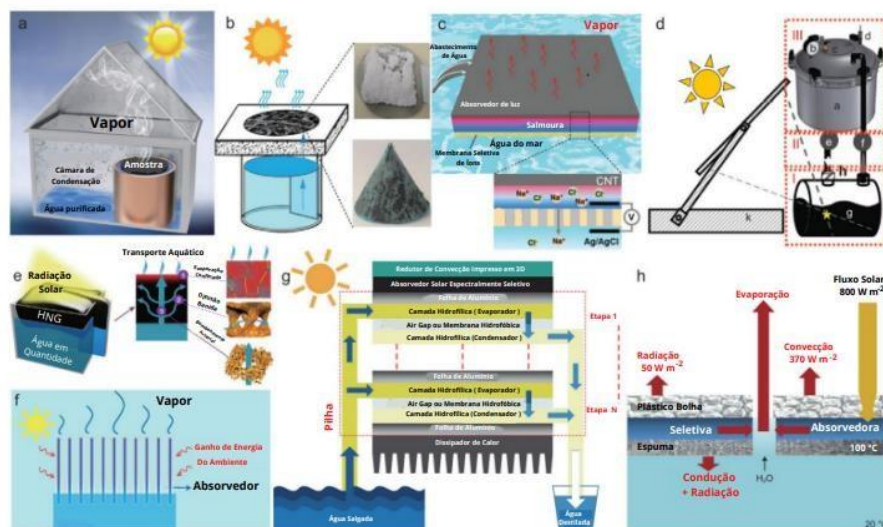
Fonte: Adaptada de Lin Zhou et al. Review (2019).

Na Figura 4 temos o gerenciamento térmico para a GSIV. Na imagem a) temos os tipos de perda de calor da Geração Intertefacial de Vapor, na (b) temos o esquema da Supressão de perda de condução da GSIV, na imagem (c) temos a supressão de perda de condução e também perda de radiação, na (d) temos uma perda de condução, perda de convecção e perda de radiação, na (e) temos perda de condução, perda de convecção e perda de radiação através da redução de temperatura de evaporação. Na (f) temos uma comparação da perda de calor e diferentes sistemas de evaporação interfacial.

2.3 APLICAÇÕES DA GSIV.

Através da Geração Solar Interfacial de Vapor temos algumas aplicações conceituais habilitadas, que serão mostradas a seguir:

Figura 5 – Aplicações da GSIV, A) Dessalinização solar através da Geração Solar interfacial de vapor. B) Tratamento de águas residuais ou sal da baía C) Geração de eletricidade e vapor D) Esterilização doméstica E) Géis nanoestruturados hierarquicamente F) GSIV reforçado com energia ambiental G) Destilação solar com recuperação de calor latente, H) GSIV para vapor sob um sol via concentração térmica.



Fonte: Adaptada de Lin Zhou et al. Review (2019).

As Figuras a,b,c e d são quatro aplicações conceituais habilitadas que recorrem ao uso da taxa de evaporação aprimorada e utilizam as vantagens da dessalinização térmica, dessalinização solar térmica. Na figura a), onde é mostrado as tecnologias descentralizadas para a purificação da água. Já na figura b) temos que o tratamento da água possibilita a evaporação solar, caracterizado pela descarga de líquido zero, que seria a direção emergente para salmoura de alta concentração tratamento, já que a GSIV é um candidato alternativo para o tratamento de águas residuais. Na imagem c) temos uma combinação da Geração Solar Interfacial de Vapor com um sistema de geração de energia. Na figura d) temos a geração de alta temperatura em um tempo de resposta reduzido, podendo lançar luz sobre as aplicações avançadas de esterilização solar para a desinfecção médica, temos como exemplo as autoclaves. Já na figura e) temos luz solar com o gel nanoestruturado, que se compara à destilação de membrana convencional. Na f) temos a energia ambiental que difere em temperatura investida e gera uma evaporação. A figura g) vemos a destilação avançada de membrana solar combinada com reciclagem de entalpia, onde há a produção de água purificada.

Fora as aplicações já mencionadas temos que a GSIV visa a produção de energia solar de alta temperatura a vapor, comuns e muito conhecidas como a esterilização solar, cozimento solar, motores de vapor solar, dentre outros. Inclusive já ocorre o fornecimento em uma nova estratégia de concentração astérmica que gera vapor d'água com uma temperatura de vapor maior em relação à área de absorção solar. Para possíveis futuras aplicações da GSIV, temos que a tecnologia caminha para se tornar uma das mais importantes fontes de energia renováveis e através de pesquisas e estudos teremos novas conquistas nesse âmbito. Como a dinâmica de evaporação de água em espaço confinado microestruturado, a compreensão da resistência interfacial e manipulação de hidrofiliade relacionados ao transporte térmico da GSIV, taxas de evaporação mais altas combinadas com água comparável as estratégias de condensação são urgentes, além de gerar vapor de alta temperatura e com uma maior eficiência com concentrações ópticas mais fracas. Somado a isso, por conta da grande escala de aplicações seria necessário desenvolver uma estabilidade a longo prazo, da energia solar e seu materiais térmicos e por fim seria ideal uma atenção maior para outras fontes de água especializadas como águas residuais contendo compostos microbianos para assim termos uma água limpa [2].

3. CONCLUSÕES

A partir das considerações feitas, fica evidente, portanto, que o projeto faz uma breve revisão sobre a geração solar interfacial de vapor, que utiliza o sol como fonte principal de alimentação para esse sistema. Tendo em vista os aspectos apresentados, é observado que a tecnologia apresentada nesse trabalho, tem como diferencial, a sua eficiência em comparação a outras já existentes. Através de diversas pesquisas realizadas, foram feitos estudos com diferentes alternativas para a construção de uma inovação que suprisse as necessidades energéticas de forma superior, tendo como resultado uma energia eficaz e satisfatória para a proposta exigida, atendendo as características descritas e cumprindo com sua finalidade. O desenvolvimento da revisão possibilitou uma análise sobre as aplicações já existentes da GSIV, e futuras possíveis aplicações. A concepção da revisão elaborada neste trabalho de conclusão de curso, da Geração Solar Interfacial de Vapor, foi realizado por meio de pesquisas, estudos e definições, cada item abordado sendo relevante para alcançar conhecimento e agregar embasamento para a conclusão do mesmo. Acerca do que foi abordado, esses conhecimentos direcionam o caminho mais eficaz de realizar a concepção de uma GSIV, as referências utilizadas trazem uma visão ampla do universo de estudo e assim a visualização de sua aplicação e possibilidades, os condicionantes oferecem uma base teórica e diretrizes específicas que promovem uma tecnologia eficaz e rápida, como resultado, a busca pela possibilidade de trazer um olhar voltado a geração de vapor solar e suas particularidades, aplicado a um modelo mais recente de produção, que necessita de mais pesquisas nesse seguimento. Desse modo, a revisão tem o propósito de conceber novos dispositivos com novas tecnologias pensada para atender as necessidades da temática, com apelo a funcionalidade, segurança, aplicabilidade, bem como a sua eficiência.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] QUANTAGERAÇÃO2. **Energia renovável: por que é tão importante?** Disponível em: <https://quantageracao.com.br/energia-renovavel-por-que-e-tao-importante/>. Acesso em: 20 maio 2022.
- [2] ZHOU, Lin; LI, Xiuqiang; NI, George W.; ZHU, Shining; ZHU, Jia. The revival of thermal utilization from the Sun: interfacial solar vapor generation. **Review: MATERIALS SCIENCE**, Eua, v. 6,n. 3, p. 562-576, 04 mar. 2019.
- [3] LI, Jinlei; DU, Meihang; LV, Guangxin; ZHOU, Lin; LI, Xiuqiang; BERTOLUZZI, Luca; LIU, Changhong; ZHU, Shining; ZHU, Jia. Interfacial Solar Steam Generation Enables FastResponsive, Energy-Efficient,. **Advanced Materials**, Universidade de Nanquim, v. 7, n. 2, p. 1805159-1805165, 2008.
- [4] PANG, Yunsong; ZHANG, Jiajia; MA, Ruimin; QU, Zhiguo; LEE, Eungkyu; LUO, Tengfei. Solar–Thermal Water Evaporation: A Review. **Acs Energy Letters**, Washington, v. 2, n. 5, p. 437-456, 07 jan. 2020.