

COMPARAÇÃO ENTRE SISTEMAS DE ARMAZENAMENTO DE PLANTAS HELIOTÉRMICAS UTILIZANDO SAL FUNDIDO E MATERIAL CERÂMICO

Alair Henrique Fernandes – alair.fernandes@uol.com.br

Vanessa Barroso Mayrink – vanessa.mayrink@gmail.com

José Henrique Martins Neto – henrique@des.cefetmg.br

Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais – CEFET-MG

Resumo. O armazenamento térmico aplicado em Usinas CSP (Concentrating Solar Power) tem ganhado cada vez mais espaço, gerenciando a operação de acordo com a necessidade, aumentando assim a confiabilidade da planta e se tornando uma grande vantagem para tecnologia. No intuito de uma maior compreensão desse sistema, o presente artigo apresenta um estudo comparativo econômico simplificado de duas tecnologias de armazenamento de energia sensível, sendo a primeira, mais aplicada e consolidada, denominada "armazenamento de sal fundido", e a segunda "armazenamento em material cerâmico", que possui grande potencial para expansão. Posteriormente, em cima das evidências levantadas, são apresentadas vantagens e desvantagens das duas tecnologias, em relação ao seu custo e benefício, onde pode-se destacar que embora o custo total do armazenamento em material cerâmico é 67% maior e a autonomia em horas é 5 vezes menor que em sal fundido, a autonomia em MWh chega a ser superior a 2 vezes.

Palavras-chave: Armazenamento de energia, CSP, sal fundido, material cerâmico.

1. INTRODUÇÃO

O atual cenário energético mundial e a crescente preocupação com o meio ambiente acarretam na busca por novas fontes de energia que possam atender o acelerado crescimento da demanda de forma não poluente e sustentável.

Com isso o uso das energias renováveis vem se desenvolvendo e crescendo em todo o mundo e uma delas é a energia solar, onde destaca-se a Energia Heliotérmica, também conhecida como *Concentrating Solar Power* (CSP), tecnologia que segundo Balagopal et al. (2010), pode se tornar disruptiva e quebrar paradigmas, graças a possibilidade do armazenamento térmico, dada a robustez na operação da planta, podendo-se gerar energia de acordo com a demanda. Segundo, Schilipf et al. (2014), o uso do armazenamento térmico em plantas CSP foi iniciado nos primeiros anos do século XX no Egito com a utilização de calhas parabólicas e tanques para armazenar água. O armazenamento térmico nas plantas solares segundo ONUDI (2013), é utilizado para, através da *Amortização*, suavizar a interrupção e/ou atenuação momentânea da radiação direta devido a passagem de nuvens sobre os coletores. Também é utilizado para o *Deslocamento* do momento de fornecimento energético em um dia, para a *Extensão* do período de fornecimento energético e para otimização da produção anual durante o período *Sazonal*.

O sistema com *Amortização* realiza um armazenamento equivalente a uma hora de produção, enquanto o sistema com *Deslocamento* provoca a transferência da carga em parte ou total para um período de 3 a 6 horas do pico. O sistema com *Extensão* tem uma capacidade maior que pode variar de 6 a 24 horas de autonomia. O sistema *Sazonal* visa atender ao período das estações em que a carga é pequena e/ou o nível de radiação é mais elevado. Assim, com o armazenamento térmico é possível gerar energia elétrica mesmo quando não há sol, em dias nublados ou durante a noite. Outra vantagem do armazenamento é a possibilidade de utilizar a tecnologia CSP em conjunto com outros combustíveis, como a biomassa, o gás natural ou o carvão, para garantir a produção a qualquer momento. (BARBOSE, et al., 2012). Embora seu conceito seja relativamente simples, há a necessidade de uma quantidade de coletores que ofereçam carga térmica superior à capacidade nominal da turbina de geração. O excesso de calor é desviado para um meio de armazenamento, como por exemplo, sais fundidos e, quando necessário, o calor armazenado é liberado para o ciclo de vapor e a planta continua a produzir eletricidade.

Para Mendes et al. (s.d.) os processos de armazenamento de energia para sistemas solares são basicamente dois: *Térmico* e o *Termoquímico*. No primeiro processo a energia térmica é armazenada na forma de calor sensível (i.e., com variação da temperatura do meio) ou latente (i.e., com mudança de fase, sendo utilizados os PCHs - Phase Change Materials). No segundo processo existe mudança no estado físico do material devido a ocorrência de reações químicas endotérmicas e exotérmicas reversíveis, ou seja, o calor é armazenado a partir da energia absorvida e/ou liberada devido à quebra e formação de ligações moleculares numa reação química reversível. Nos sistemas de armazenamento por calor sensível, os meios de armazenamento líquidos mais utilizados são água (até 100 °C), óleos naturais ou sintéticos (até 300 °C) e sais fundidos (até 560 °C). Os meios de armazenamento sólidos são areia, rocha, concreto, ferro e matérias cerâmicas, sendo que este último é utilizado apenas na Usina Solar denominada Jülich Solar Tower, construída na Alemanha em 2008. Nos sistemas de armazenamento por calor latente, os meios de armazenamento são fluidos orgânicos (e.g., parafinas, ésteres, ácidos gordos, álcoois, glicóis entre outros) inorgânicos (e.g., sais hidratados) e eutéticos (orgânicos ou inorgânicos). No armazenamento termoquímico os materiais utilizados são sulfato de magnésio hepta-

hidratado ($\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$), carbonato de ferro II (FeCO_3), Sulfato de Cálcio di-hidratado ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) e o hidróxido ferroso ($\text{Fe}(\text{OH})_2$).

Nesse contexto, o presente trabalho apresenta uma comparação econômica simplificada entre os custos dos sistemas de armazenamento de energia utilizando meio líquido *sal fundido* e meio sólido, *material cerâmico*.

2. METODOLOGIA

A metodologia adotada parte da identificação dos sistemas de armazenamento em *sal fundido* e em *material cerâmico*, evidenciando o princípio de funcionamento e as principais características de cada um. Posteriormente são identificadas e selecionadas as usinas CSPs que possuem características semelhantes e que utilizam as duas tecnologias. Em seguida são analisados e comparados os custos de cada sistema em função da autonomia desejada e do tipo de armazenamento proposto.

2.1 Sistemas de armazenamento

Os sistemas de armazenamento em estudo podem operar com temperaturas entre 200 °C e 1000 °C dependendo da tecnologia empregada. O armazenamento com *sal fundido*, pode ser do tipo direto (i.e., com o *sal fundido* circulando pelos coletores solares) ou do tipo indireto (i.e., com o *sal fundido* circulando apenas no circuito dos tanques de armazenagem). O Sistema de armazenamento com *material cerâmico* utiliza o *ar* como fluido de trabalho.

Sal fundido

Segundo Schilipf et al. (2014), o sistema de armazenamento para CSP mais conhecido é o chamado de *sal fundido*, sendo que neste sistema, o meio de armazenamento é uma mistura eutética composta por 60% de nitrato de sódio e 40% de nitrato de potássio (VOGEL & KALB, 2010), sendo a temperatura do ponto de fusão da mistura 220 °C e a temperatura máxima de operação é limitada a 570 °C para assegurar a estabilidade química do *sal fundido*.

Por ser a tecnologia preferida para as aplicações comerciais nos atuais projetos das usinas solares o *sal fundido* já é considerado relativamente uma tecnologia madura, apresentando melhores características para acumulação de energia térmica e permitindo aumentar o rendimento termodinâmico do ciclo de vapor por operar em temperatura mais elevada, e conseqüentemente, promove a redução do custo da energia gerada (IRENA, 2012).

Na configuração denominada *direta*, conforme mostrado na Fig.1, existem dois tanques de armazenamento diretamente interligados. No tanque quente o sal é armazenado a aproximadamente a 550 °C e no tanque frio fica armazenado aproximadamente a 290 °C. Durante o funcionamento normal (i.e., período diurno com disponibilidade de radiação solar), uma vazão mássica constante de sal fundido sai do tanque quente, circula pelo trocador de calor gerando vapor sendo direcionado para o tanque frio. Durante este mesmo período, o sal frio sai do tanque frio e circula pelos coletores sendo direcionado para o tanque quente. No período noturno o sal armazenado no tanque quente circula apenas pelo trocador de calor do circuito de vapor e, em seguida, é direcionado para o tanque frio. Este processo continua até se extinguir o sal quente do tanque quente. Um sistema de aquecimento auxiliar é mantido para assegurar que o sal não atinja temperaturas inferiores a 220 °C, ou seja, se mantendo sempre na fase líquida e não se solidificando.

Segundo dados divulgados na Plataforma Online de Energia Heliotérmica do Instituto Brasileiro de Informação em Ciência e Tecnologia (IBICT), esta configuração apresenta custos mais baixos e maior eficiência global, pois não existe fluido primário e, conseqüentemente, troca de calor entre eles, obtendo-se temperatura maiores do vapor no ciclo de potência além de se eliminar esse trocador de calor intermediário. Por outro lado a massa de *sal fundido* aumenta consideravelmente, pois a mesma necessita preencher todos os coletores solares do campo solar, aumentando proporcionalmente o custo da instalação.

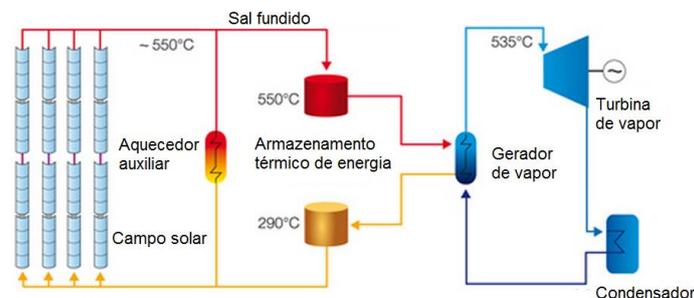


Figura 1 - Sistema de armazenamento de sal fundido direto.

Fonte: Adaptado de (Archimede, s.d.)

No sistema de armazenamento indireto, conforme mostrado na Fig. 2, o *sal fundido* não está diretamente integrado ao campo solar (i.e., sistema de coletores solares). Este sistema consiste de dois tanques de armazenamento, sendo um

quente e um frio, interligados por meio de uma bomba e um trocador de calor. Um fluido primário (e.g., óleo térmico) é utilizado no campo solar. Durante o período normal (i.e., período diurno com disponibilidade de radiação solar), o óleo térmico transfere o calor ganho no sistema solar para o trocador de calor do bloco de potência para gerar vapor. Concomitantemente, este mesmo óleo térmico transfere parte do calor ganho para o *sal fundido* utilizando um trocador de calor intermediário e promovendo o armazenamento do *sal fundido* no tanque quente. Em períodos de instabilidade de radiação solar o *sal fundido* é utilizado para complementar a energia da fonte quente no ciclo de potência, mantendo a potência elétrica gerada constante. Durante o período noturno, o *sal fundido* quente circula pelo trocador calor intermediário aquecendo o óleo térmico que é direcionado para o trocador de calor do bloco de potência, gerando vapor. O *sal fundido* é resfriado a aproximadamente 290 °C sendo transferido do tanque quente para o tanque frio até a sua extinção completa.

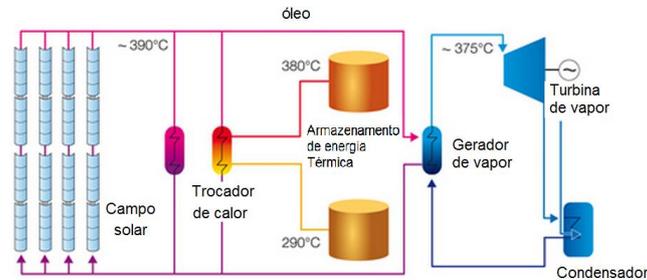


Figura 2 - Sistema de armazenamento de sal fundido indireto.
Fonte: Adaptado de (Archimede, s.d.)

Materiais Cerâmicos

O armazenamento em materiais cerâmicos é feito a partir da transferência de calor de um fluido gasoso (normalmente o ar) para um meio de armazenamento sólido como, por exemplo, a alumina (Al_2O_3), estando os dois fluidos em contato direto. Além da alumina, que possui resistência a alta temperatura de 1900 °C, o carboneto de silício (SiC) e a zircônia (ZrO_2) também podem ser utilizados. Estes últimos possuem resistência a alta temperatura de 1600 °C e 2300 °C respectivamente. (LUO et al., 2014). Este sistema de armazenamento opera com temperaturas de 120 °C na saída fria e até 670 °C na saída quente, embora, estudos de Pagkoura, et al. (2014) apontem para temperaturas de até 1000 °C, o que é uma vantagem sobre os outros meios, pois aumenta temperatura do vapor e, conseqüentemente, o rendimento global do sistema solar.

Como a grande dificuldade desse sistema é o baixo coeficiente de transferência de calor entre o fluido gasoso e o material sólido, é necessário o aumento da superfície de troca de calor com estruturas modulares justapostas que lembram uma matriz alveolar ou, mais comumente falando, favos de mel. Por este motivo são também chamados de *honeycomb*. O ar quente entra pelo topo do material cerâmico e atravessando o mesmo. Segundo Luo et al. (2014), esta configuração permite uma distribuição uniforme do fluxo de ar através do meio sólido. A descarga do sistema ocorre quando se inverte o fluxo de ar. As paredes internas são revestidas com uma camada de manta de fibra de cerâmica de 0,25m de espessura para reduzir as perdas térmicas (SCHILIPF et al., 2014).

Para dar flexibilidade, o sistema possui válvulas de controle na saída fria, o que possibilita o fechamento de algumas câmaras conforme a necessidade de controle de pressão. O controle das válvulas possibilita ainda a redução das perdas diárias em até 6%.

Para Williams (2010), uma outra característica vantajosa deste sistema é que a energia é armazenada diretamente na forma de calor, sem necessidade de fluidos intermediários presentes em outros sistemas. A Fig. 3 apresenta de forma esquemática este tipo de armazenamento.

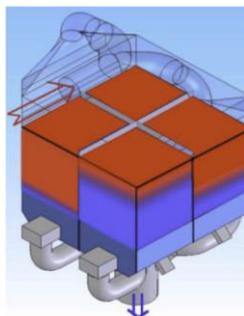


Figura 3 - Sistema de armazenamento honeycomb cerâmicos.
Fonte: Adaptado de Schilipf et al. (2014)

Atualmente a única planta que utiliza este sistema é a Jülich Solar Tower, construída na Alemanha em 2008. Embora esteja em funcionamento desde 2010 e possa gerar até 1,5MWe, é uma planta experimental de modo que seus custos efetivos são estimados, pois os valores reais não foram disponibilizados para maiores estudos.

2.2 Seleção das Usinas

O National Renewable Energy Laboratory (NREL) é um laboratório nacional do Departamento de Energia dos Estados Unidos e disponibiliza em seu sítio na Internet a relação das principais centrais CSP em operação, em construção e em desenvolvimento, com o que mostra a Tab. 1. Para a análise proposta foi realizada a seleção das usinas cujos meios de armazenamento são *sal fundido* e *material cerâmico* com características semelhantes de tecnologia, tipo de projeto, potência elétrica e autonomia do sistema de armazenamento (número de horas diárias que o sistema de armazenamento consegue suprir a demanda), culminando nas usinas de Greenway CSP Mersin Tower Plant na Turquia e Jülich Solar Tower na Alemanha.

Flores (2014, p. 101) estima que a autonomia em horas da usina de Greenway seja de 3 horas.

Tabela 1 - Usinas CSP

Usina	Status	País	Custo total aproximado [€ x1000]	Fluido	Temperatura de entrada [°C]	Temperatura de saída [°C]	Turbina [MW]	Tipo de armazenamento	Capacidade de armazenamento [MWh]	Autonomia (h)	Meio de armazenamento
Atacama-1	Em construção	Chile		Sal Fundido	300	550	110	2 tanques diretos		17,5	Sal Fundido
Crescent Dunes Solar Energy Project	Em construção	EUA		Sal Fundido	288	565	110	2 tanques diretos		10	Sal Fundido
Dahan Power Plant	Operação	China	4.566,59	Água/Vapor	104	400	1	Outro		1	Vapor Saturado / Óleo
Gemasolar Thermal Plant	Operação	Espanha	230.000	Sal Fundido	290	565	19,9	2 tanques diretos	800	15	Sal Fundido
Greenway CSP Mersin Tower Plant	Operação	Turquia		Água	300	550	1	Outro	4	3	Sal Fundido
Jülich Solar Tower	Operação	Alemanha		Ar	120	680	1,5	Outro	9	1,5	Dissipador de calor de cerâmica
Khi Solar One	Em construção	África do Sul		Água/Vapor			50	Outro		2	Vapor Saturado
Lake Cargelligo	Operação	Austrália		Água/Vapor	200	500	3	Outro			Núcleo de Grafite
NOOR III	Em construção	Marrocos		Sal Fundido			150	2 tanques diretos		8	Sal Fundido
Qinghai Delingha Solar Thermal Generation Project	Em desenvolvimento	China		Água/Vapor			270	2 Tanques indiretos		3,5	Sal Fundido
Redstone Solar Thermal Power Plant	Em desenvolvimento	África do Sul		Sal Fundido	288	566	100	2 tanques diretos		12	Sal Fundido
Supcon Solar Project	Em construção	China	107.030	Sal Fundido			50	2 tanques diretos		2,5	Sal Fundido

Fonte: Adaptado de NREL, 2015, Schilipf et al. (2014), e FLORES, 2014, p.101.

A Tab. 2 mostra os custos dos dois sistemas de armazenamento obtidos a partir de fontes públicas disponíveis e adaptados para permitir a comparabilidade.

Tabela 2 - Custos do sistema de armazenamento

Sistemas de Armazenamento	Tempo de armazenamento [h]	Tamanho do sistema [MWe]	Capacidade de armazenamento diário [MWhth]	Custo estimado do sistema de armazenamento [€/kWhth]
Materiais cerâmicos	-	-	2	60
Sal Fundido Direto	6	100	1560	36
Sal Fundido Indireto	14	100	3800	42-45

Fonte: Adaptado de Schilpf et al. (2014)

3 RESULTADOS E ANÁLISES

Para garantir que a análise seja coerente, foram realizadas as seguintes considerações:

- Foram escolhidas usinas com as mesmas características referentes aos seguintes itens:
 - Tecnologia: A torre Central foi adotada porque é a tecnologia que atende aos dois tipos de sistemas de armazenamento (i.e., sal fundido e material cerâmico).
 - Tipo de projeto: Pelo fato de existir apenas uma usina com armazenamento cerâmico e esta ser de caráter experimental, a usina solar Greenway CSP Mersin Tower também atende esta característica.
 - Potência das turbinas: As duas usinas selecionadas utilizando *sal fundido* e *material cerâmico* possuem potências iguais.
 - Autonomia: Embora as usinas solares selecionadas tenham autonomias diferentes, foi possível realizar simulações para o mesmo tempo.
- Foi considerado apenas o custo do sistema de armazenamento de modo a se conhecer os valores absolutos de cada um e compará-los entre si.
- A influência dos demais sistemas foi desconsiderada, embora se saiba que estes podem interferir diretamente e indiretamente nos dimensionamentos e decisões do projeto. Entretanto, como as usinas em análise são de caráter experimental, nem todas as informações sobre custos estão disponíveis para consulta.

A Fig. 4 mostra os custos dos sistemas de armazenamento para as usinas de Jülich Solar Tower e Greenway CSP Mersin Tower a partir do produto da capacidade de armazenamento, dada na Tab.1 e do custo de cada sistema, dado na Tab. 2, sendo calculados pela Eq. 1.

$$C = C_M \times C_e \quad (1)$$

Onde:

C é o custo do sistema de armazenamento, em Euro [€]

C_M é a capacidade de armazenamento, em [MWh]

C_e é o custo específico estimado, em [€/kWh_t]

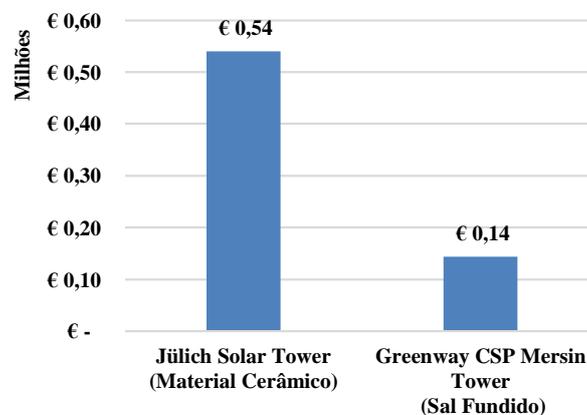


Figura 4 – Custo do sistema de armazenamento

A Fig. 5 mostra o custo de armazenamento da usina de Greenway, considerando o sistema com *sal fundido* e *material cerâmico* para a mesma capacidade de 4MW. O custo total do armazenamento em *material cerâmico* é 67% maior que em sal fundido.

Autonomia em horas da usina de Greenway para armazenamento cerâmico é calculada pela da Eq. 2.

$$A_{G,c} = \frac{C_G}{C_J} \times A_J \quad (2)$$

Onde:

$A_{G,c}$ é a autonomia em Greenway com armazenamento cerâmico, em horas [h]

C_G é a capacidade de armazenamento em Greenway, em [MWh]

C_J é a capacidade de armazenamento em Jülich, em [MWh]

A_J é a autonomia em Jülich, em horas [h]

A Fig. 6 mostra a comparação da autonomia em horas estimada para Greenway com armazenamento em *sal fundido* e calculada em *material cerâmico*, sendo que a segunda é aproximadamente 5 vezes menor.

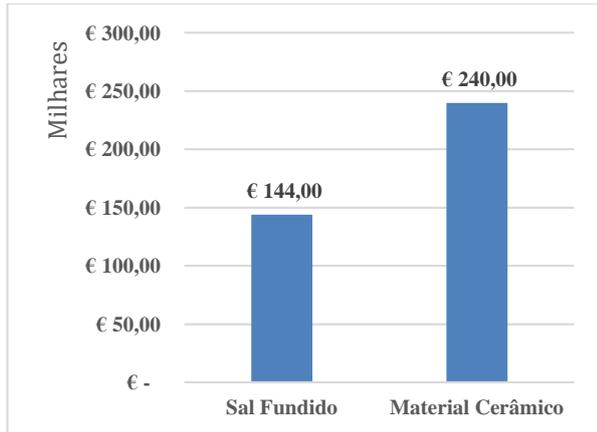


Figura 5 – Comparação dos custos dos sistemas de armazenamento em Greenway

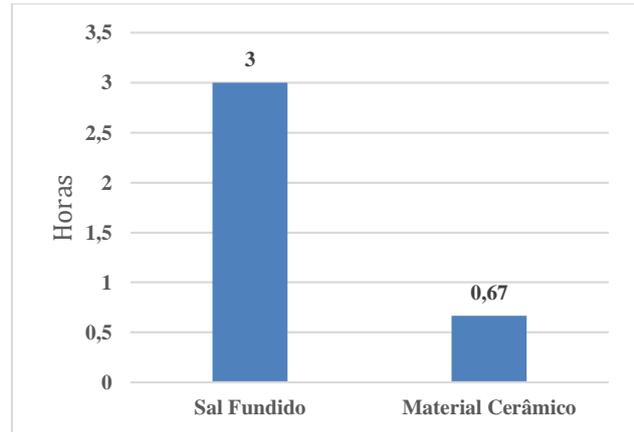


Figura 6 – Comparação da autonomia em horas dos sistemas de armazenamento em Greenway

A diferença de temperatura entre a entrada e a saída dos tanques armazenamento de *sal fundido* em Greenway é de 250 °C e em Jülich, que possui armazenamento em *material cerâmico* é de 560 °C. Esse valor representa uma diferença de 224% entre os dois sistemas. Como a capacidade de armazenamento é diretamente proporcional à diferença de temperatura, observa-se que para a condição da usina de Greenway instalada com *material cerâmico*, sua capacidade de armazenamento será aumentada para 9MWh.

7. CONCLUSÃO

A comparação de uma usina semelhante a Jülich com capacidade igual a de Greenway, mostra que a discrepância entre os custos dos sistemas de armazenamento em *sal fundido* e em *material cerâmico* explicam o fato de, até o momento, nenhuma outra usina utilizando *material cerâmico* tenha sido construída.

Os diversos tipos de usinas apresentados na Tab. 1 mostram que estudos para outros materiais líquidos e sólidos, como grafite, por exemplo, estão em andamento.

Embora o sistema de armazenamento utilizando *materiais cerâmicos* tenha a desvantagem do custo e da autonomia em horas, apresenta grande potencial para utilização futura, considerando que tem como vantagens o aumento da capacidade de armazenamento em MWh, bem como o fato de que a energia é armazenada diretamente na forma de calor, sem a necessidade de convertê-la e as perdas diárias de calor podem ser reduzidas até 6%. Sob uma ótica de conservação ambiental, como o fluido de transferência é o ar, não há risco de contaminação. O sistema utilizando como fluido de transferência de calor o ar, ao contrário do *sal fundido*, que necessita estar aquecido a no mínimo 290 °C, não necessita de pré-aquecimento. Estudos recentes mostram que as temperaturas na saída podem atingir valores superiores, da ordem de 1000 °C, o que também não é possível com o *sal fundido* devido à instabilidade do mesmo acima dessa temperatura. Ainda pode ser destacado que o sistema *honeycomb* possibilita uma melhor e menor ocupação da área da usina, o que pode representar cifras significativas no levantamento do custo total da usina.

O fato de existir apenas uma usina em atividade que utiliza a tecnologia de *honeycomb* e a dificuldade de obtenção dos valores de seus custos, compromete uma análise financeira mais detalhada.

Análises futuras devem ser feitas considerando a relação entre as áreas de armazenamento e áreas totais das usinas.

REFERÊNCIAS

- Balagopal, B.; Paranikas, P; Rose, J., 2010. What's Next for Alternative Energy? The Boston Consulting Group (BCG). Disponível em: http://www.bcg.pt/expertise_impact/Industries/Energia/PublicationDetails.aspx?id=tcm:84-65669 Acessado em set/2015.
- Barbose, G.; Bolinger, M.; Brinkman, G.; Coggeshall, C.; Cory, K.; Denholm, P.; Zuboy, J., 2012. Sunshot vision study. U. S. Department of Energy, Washington.
- Flores B., Análisis de un Sistema Energético a Concentración Solar Integrado con Calderas s Biomasa, 2014. Universidad Central de Venezuela, Caracas. p.101
- IBICT, Instituto Brasileiro de Informação em Ciência e Tecnologia, 2015. Plataforma Online de Energia Heliotérmica, Disponível em: <https://energiaheliotermica.gov.br/pt-br/energia-heliotermica/armazenamento>. Acessado em out/2015.
- IRENA, 2012. Renewable Energy Technologies: Cost analysis Series, Volume 1 – Power Sector. Versão 2/5. International Renewable Energy Agency.
- Luo, Z.; Wang, C.; Xiao, G.; Ni, M.; Cen, K., 2014. Simulation and Experimental Study on Honeycomb-ceramic Thermal Energy Storage for Solar Thermal Systems.
- Mendes, L.; Joice, A.; Giestas, M.; Horta, P.; Brites, M., s.d. LNEG, Laboratório Nacional de Energia e Geologia. Armazenamento de Energia Solar Térmica.
- NREL, National Renewable Energy Laboratory, Concentrating Solar Power Projects. Disponível em: <http://www.nrel.gov/csp/solarpaces/>. Acessado em out/2015.
- ONUDI, 2013. Observatório de Energias Renováveis para a América Latina e Caribe, Programa de Capacitação em Energias Renováveis, Rojas, E., Energia Solar Térmica. Disponível em: <https://pt.scribd.com/doc/276824462/51/Materiais-de-armazenamento-sensivel#page=54>. Acessado em: out/2015.
- Pagkoura, C.; Karagiannakis, G.; Zygogianni, A.; Lorentzou, A.; Konstandopoulos, G., 2014. International Conference on Concentrating Solar Power and Chemical Energy Systems, Solar PACES 2014, Cobalt Oxide Based Honeycombs as Reactors/Heat Exchangers for Redox Thermochemical Heat Storage in Future CSP plants.
- Schilipf, D.; Stenglein, M.; Schneider, G., 2014. Thermal Storage CSP Technology: State of the art and market overview. Projeto Energia Heliotérmica., Brasília. p. 1-55.
- Archimede Solarenergy. Molten Salt versus oil. Disponível em: http://archimedesolarenergy.it/molten_salt_vs_oil.htm. Acessado em out/2015.
- Vogel, W.; Kalb, H., 2010. Large-Scale Solar Thermal Power: Technologies, Costs and Development. Alemanha, Wiley-VHC.
- Williams A., 2010. CSP TODAY BUSINESS INTELIGENCE. Down to earth: Ceramic-based solar thermal storage, 2010. Disponível em: <http://social.csptoday.com/technology/down-earth-ceramic-based-solar-thermal-storage>. Acessado em: out/2015.

COMPARATIVE STUDY OF HELIOTERMIC PLANTS STORAGE TECHNOLOGIES USING MOLTEN SALT DIRECT SYSTEM AND CERAMIC HONEYCOMB STORAGE

Abstract. *Thermal storage applied to CSP Plants (Concentrating Solar Power) has been gaining increasing importance because it manages its operation according to the needs thus improving plant reliability and, ultimately, representing a great technological advance. Aiming a wider understanding of this system, this paper develops economic and comparative studies for two storage technologies of sensitive energy. The first technology is denominated "molten salt direct system" and is more largely applied. The second one is called "ceramic honeycomb storage" and presents excellent potential for expansion. Regarding cost effectiveness, advantages and disadvantages of the two technologies are discussed, where can noted that total coast of ceramic honeycomb storage is 67% better and the autonomy in hour is 5 times lesser that in molten salt, the autonomy in MWh can to be greater 2 times.*

Keywords: *energy storage, CSP, molten salt direct system, ceramic honeycomb storage.*