



UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE

CENTRO DE ENGENHARIA ELÉTRICA E INFORMÁTICA

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA ELÉTRICA

PROJETO DE ENGENHARIA ELÉTRICA

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO:

**GERAÇÃO TERMO SOLAR CILINDRO – PARABÓLICA:
EVOLUÇÃO E PERSPECTIVAS**

RAFHAEL SILVA GONZAGA

Campina Grande, Paraíba
Abril de 2017

RAFHAEL SILVA GONZAGA

GERAÇÃO TERMO SOLAR CILINDRO – PARABÓLICA:
EVOLUÇÃO E PERSPECTIVAS

*Trabalho de Conclusão de Curso submetido à
Coordenação do curso de Engenharia Elétrica
da Universidade Federal de Campina Grande
como parte dos requisitos necessários para a
obtenção do grau de Bacharel em Ciências no
Domínio da Engenharia Elétrica.*

Orientador:

Professor Ubirajara Rocha Meira, M. Sc.

Campina Grande
Abril de 2017

RAFHAEL SILVA GONZAGA

GERAÇÃO TERMO SOLAR CILINDRO – PARABÓLICA:
EVOLUÇÃO E PERSPECTIVAS

*Trabalho de Conclusão de Curso submetido à
Coordenação do curso de Engenharia Elétrica
da Universidade Federal de Campina Grande
como parte dos requisitos necessários para a
obtenção do grau de Bacharel em Ciências no
Domínio da Engenharia Elétrica.*

Área de Concentração: Energias Renováveis

Aprovado em / /

Professor Avaliador
Universidade Federal de Campina Grande
Avaliador

Professor Ubirajara Rocha Meira, M. Sc.
Universidade Federal de Campina Grande
Orientador, UFCG

AGRADECIMENTOS

Agradeço, primeiramente, a Deus por ter me dado saúde e sabedoria para enfrentar os desafios superados.

Aos meus pais, Verinaldo e Noilma, os quais não mediram esforços para que eu lograsse êxito na minha jornada, bem como meus irmãos Raissa e Matheus que viram de perto toda minha caminhada até o fim deste curso.

Aos meus demais familiares, por todo carinho, incentivo e motivação em horas de desânimo a fim de ajudarem a alcançar meus objetivos.

Aos amigos feitos durante a graduação, que puderam dividir a carga das dificuldades encontradas no percurso bem como os amigos feitos no intercâmbio, dos quais dividi momentos marcantes da minha vida.

Ao meu orientador Ubirajara Meira e o professor Leimar de Oliveira pelo empenho em orientar-me na realização deste trabalho.

Agradeço ao corpo docente, à direção e à administração do DEE nas pessoas de Adail, Tchaikovsky e Damásio por todo trabalho e empenho na formação dos alunos de Engenharia Elétrica.

Finalmente, agradeço a todos que, de alguma forma, passaram pela minha vida e contribuíram para a construção e realização desta conquista.

“A persistência é o caminho do êxito.”

Charles Chaplin.

RESUMO

A energia térmica solar é uma fonte de energia renovável que possibilita o aproveitamento da radiação solar através de processos termodinâmicos. A tecnologia de concentração solar em espelhos parabólicos vem sendo utilizada desde a década de 80, no entanto apesar de madura, por seus altos custos de implementação se comparada com outros tipos de tecnologias que utilizam o sol como fonte primária de “combustível”, como a fotovoltaica, ainda enfrenta dificuldades para alavancar no mundo. O modelo cilindro – parabólico utiliza-se de sistemas que concentram a radiação incidente em um tubo absorvedor, aquecendo sob alta temperatura um fluido que será utilizado em um ciclo termodinâmico convencional - o que se faz analogamente em centrais termoelétricas que são alimentadas por combustíveis fósseis. Com o decorrer dos anos, a tecnologia termo solar tem se desenvolvido bastante, e sido alvo de interesse de muitas nações. Sua evolução e perspectiva de implantação para os próximos anos é bastante animadora, uma vez que depois de comprovada sua eficiência e viabilidade econômica, muitos países com alto potencial solar tem investido neste modelo de central energética.

Palavras-chave: Energia, Termo Solar, Cilindro - Parabólico, Termodinâmico.

ABSTRACT

Solar thermal energy is a renewable energy source that enables the use of energy through thermodynamic processes. The Concentrated Solar Power, specifically parabolic trough have been used since from the 80s. However, despite been mature can become not feasible if compared with other types of technologies that use the sun as primary source of fuel as the photovoltaic technology. The parabolic trough model uses systems that concentrate incident radiation on a turbo absorber, heating a high – temperature a fluid that is used in a conventional thermodynamic cycle - similarly in thermoelectric plants fed by fossil fuels. Over the years, a solar thermo technology has been developed a lot and has attracted many nations. Its evolution and implementation perspective for the coming years is quite encouraging, once after proven its efficiency and economic viability, many countries with high solar potential has invested in this model of power plant.

Keywords: Energy, Solar Thermal, Parabolic Through, Thermodynamic.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Componentes da Radiação Solar.....	15
Figura 2 – Radiação solar normal e seu ângulo de incidência.....	16
Figura 2 – Radiação Solar Mundial em W/m^2	17
Figura 3 – Média anual de insolação diária no Brasil.....	18
Figura 4 - Radiação Solar Global diária – Média anual (MJ/m^2).....	19
Figura 5 – Radiação Solar Global média no Brasil (KWh/m^2).....	20
Figura 6 – Tipos de Sistemas de Energia Solar Térmica.....	21
Figura 7 – Nevada Solar One.....	23
Figura 8 - Solar Energy Generating Systems.....	23
Figura 9 – Esquemático do sistema de concentrador cilindro – parabólico.....	24
Figura 10 – Esquema básico de uma planta cilindro – parabólica.....	25
Figura 11 – Esquema detalhado de uma central solar térmica tipo cilindro – parabólico.....	26
Figura 12 – Refletor cilindro – parabólico.....	27
Figura 13 – Turbo absorvedor.....	28
Figura 14 – Esquemático do tubo coletor ou absorvedor.....	29
Figura 14 – Diagrama TS do ciclo de Rankine com reaquecimento.....	31
Figura 15 – Esquemática do ciclo de Rankine com reaquecimento.....	32
Figura 16 – Central solar térmica baseado no ciclo de Rankine.....	32
Figura 17 – Rastreamento solar de leste à oeste.....	33
Figura 18 – Mecanismo hidráulico do sistema de rastreamento.....	34
Figura 19 – Crescimento da capacidade instalada[MW] no decorrer dos anos.....	40

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Comparativo entre plantas de energia solar térmica	22
Tabela 2 - Evolução da tecnologia cilindro-parabólica	37
Tabela 3 - Maiores complexos termo solares da atualidade	38
Tabela 4 – Centrais termosolares em construção ou finalizadas recentemente.....	40

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

CSP	Energia Térmica Solar Concentrada (Concentrated Solar Power)
DNI	Irradiação Solar Normal (Direct Normal Irradiance)
IEA	Agência Internacional de Energia (International Energy Agency)
LCOE	Custo Nivelado de Energia (Levelized Cost of Energy)
UVAC	Coletor Universal à Vácuo (Universal Vacuum Collector)
SEGS	Sistemas de Geração de Energia Solar (Solar Energy Generating Systems).
HFO	Óleo Combustível Pesado (Heavy Fuel Oil)
EPE	Empresa de Pesquisa Energética
°C	Celsius
MW	Mega Watt
MWh	Mega Watt hora
Km	Kilômetro
m	Metro
m ²	Metro quadrado

SUMÁRIO

1	Introdução.....	11
1.1	Objetivos.....	12
1.2	Motivação.....	12
1.3	Metodologia.....	13
1.4	Estrutura do Trabalho.....	13
2	Energia Solar.....	14
2.1	Introdução.....	14
2.2	Potencial Solar no Mundo.....	16
2.3	Irradiação Solar no Brasil.....	18
3	Energia Solar Térmica.....	21
3.1	A Tecnologia Cilindro – Parabólica.....	22
3.2	Elementos do Sistema Cilindro – Parabólico.....	25
3.2.1	Refletor e Concentrador Cilindro – Parabólico.....	27
3.2.2	Tubo Absorvedor.....	28
3.2.2.1	O Ciclo de Rankine.....	30
3.2.3	Sistema de Rastreamento Solar.....	33
4	Evolução e Perspectiva do Sistema Cilindro – Parabólico.....	35
5	Conclusão.....	42
	Referências.....	44

1 INTRODUÇÃO

A utilização de energias renováveis tem sido debatida ao redor do mundo durante as últimas décadas como uma das grandes saídas para a sociedade moderna frente aos prejuízos associados ao consumo de combustíveis fósseis.

Essa crescente conscientização política das nações para tal questão, nos seus variados aspectos, tem possibilitado a ampliação de horizontes no que diz respeito a tecnologias até então pouco exploradas, resultando com que a comunidade científica internacional destine grandes esforços para o estudo e pesquisa acerca da produção de energias renováveis, já que as principais fontes naturais da terra, como o sol, podem ser consideradas inesgotáveis.

No âmbito da produção energética através do aproveitamento solar, pode-se destacar a energia termo solar e fotovoltaica. Esta última, apesar de um custo relativamente baixo para implementação torna-se inviável para produção e armazenamento de energia em larga escala. Por outro lado, as plantas termo solares – também conhecidas como CSP (Concentrated Solar Power) – possuem um baixo impacto ambiental contrastando com um grande potencial de produção energética. No entanto, torna-se muitas vezes economicamente inviável, já que os investimentos para implantação são elevados.

É importante desatacar que no universo de estudo da energia solar térmica encontramos quatro principais tipos para implementação dos sistemas, no entanto, aqui, iremos focar especificamente na aplicação que se utiliza de coletores cilindro parabólicos.

Desta forma, pretende-se com este trabalho, além de propiciar um estudo teórico, proporcionar em síntese uma avaliação no que se refere a utilização deste modelo energético no cenário mundial até os dias atuais, bem como sua evolução e perspectiva de desenvolvimento futuro.

1.1 OBJETIVOS

Este trabalho de conclusão de curso tem como objetivos:

- Apresentar estudos e definições da radiação solar, abordando os tipos de tecnologias existentes para centrais que utilizam a energia solar térmica, principalmente a que utiliza o sistema cilindro - parabólico;
- Levantamento e apresentação dos mapas solares, apontando as regiões que mais se destacam potencialmente para o aproveitamento da energia solar no mundo, além da análise e estudo dos dados solares do Brasil.
- O estudo da tecnologia cilindro – parabólica bem como seus processos de funcionamento;
- O estudo e levantamento de dados acerca da evolução e perspectivas da geração solar térmica do tipo cilindro – parabólico, no mundo.

1.2 MOTIVAÇÃO

A necessidade energética global, nos dias de hoje, basicamente é satisfeita tendo por base os chamados combustíveis fósseis. A partir da combustão desses recursos, tem-se então outras formas de energia desejadas, como a elétrica e mecânica. Atrelado a isto, liga-se alguns problemas que preocupam as organizações internacionais, pois além dessas matérias gerarem, através da combustão, compostos tóxicos e poluentes, são recursos finitos e altamente dependentes de um mercado internacional monopolizado.

A energia solar de maneira geral tem sido explorada para usos em larga escala há poucos anos, mas devido ao grande potencial em regiões com alto índice de radiação solar, os esforços para que se construam centrais que utilizem a energia do sol tem crescido.

Finalmente, sabendo da necessidade de ampliar as matrizes energéticas bem como diversificar a produção de energia renovável, a tecnologia cilindro – parabólica para centrais de energia térmica solar, embora ainda seja pouco explorada, pode ser um investimento bastante proveitoso para as nações que decidirem fazer o seu uso.

1.3 METODOLOGIA

Inicialmente, foi feito um levantamento de bibliografias acerca do tema abordado e em seguida iniciou-se o estudo das fontes a fim da construção do conhecimento que viria a ser incluído no trabalho.

Após a absorção da teoria envolvida, deu-se início ao processo de composição do trabalho de conclusão, onde foram feitas todas as ponderações necessárias para abordagem do tema, desde a explicação dos dados solares globais até a especificação dos componentes e processos de uma central termo solar.

1.4 ESTRUTURA DO TRABALHO

Inicialmente, no Capítulo 1 é feita uma introdução do que será tratado no trabalho a fim de fornecer condições ao leitor de possuir uma visão geral sobre o tema.

No Capítulo 2 são introduzidas informações sobre a energia solar e dados solares tanto a nível mundial quanto a nível nacional, além de expor de uma forma objetiva, definições importantes acerca da radiação solar e suas formas de aproveitamento.

Posteriormente, no Capítulo 3, o trabalho começa a tratar sobre o tema de energia termo solar mais especificamente, onde são apresentados os tipos de tecnologias existentes e é feito o aprofundamento em cima da tecnologia cilindro – parabólica.

No Capítulo 4, é dado destaque às perspectivas futuras e também dados sobre a evolução do sistema cilindro – parabólico no mundo.

Por fim, o último Capítulo trata da conclusão. Nesta sessão são elencados os pontos mais importantes vistos durante o trabalho além de fornecer uma visão do autor acerca do tema tratado.

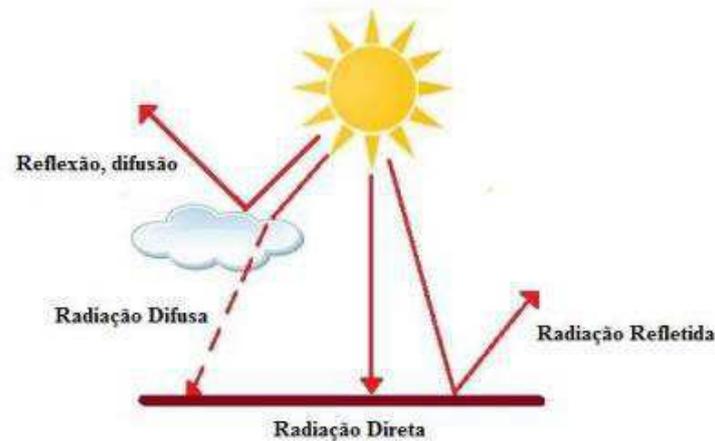
2 ENERGIA SOLAR

2.1 INTRODUÇÃO

O sol é a maior fonte de energia para a Terra. Não apenas indispensável para existência da vida no planeta, a energia do sol apresenta-se como uma das mais limpas para o ambiente. Através de processos de fusão nuclear que ocorrem no centro do sol, irradia-se altas quantidades de energia para o espaço na forma de ondas eletromagnéticas. A este fenômeno dar-se o nome de radiação solar, no qual se caracteriza pela transferência de energia sem a necessidade ou intermédio de contato com o corpo radiante.

Pode-se dividir a radiação global em três componentes: a radiação direta, difusa e refletida. Segundo (Pereira, 2010) a radiação direta constitui-se por raios solares recebidos em linha reta do Sol. Em outras palavras é a radiação que chega à superfície vinda diretamente do disco solar, e corresponde a cerca de 70% do total da irradiação. A radiação difusa é originada pelos raios não diretos e dispersos pela atmosfera. Varia muito com o tempo, pois fundamentalmente é difratada pelas nuvens e corresponde a cerca de 28% do total da radiação. Por fim, tem-se a radiação solar refletida que basicamente é constituída pela parte de radiação que é refletida ao atingir o solo. Ela constitui cerca de 2% do total da radiação.

Figura 1 – Componentes da Radiação Solar



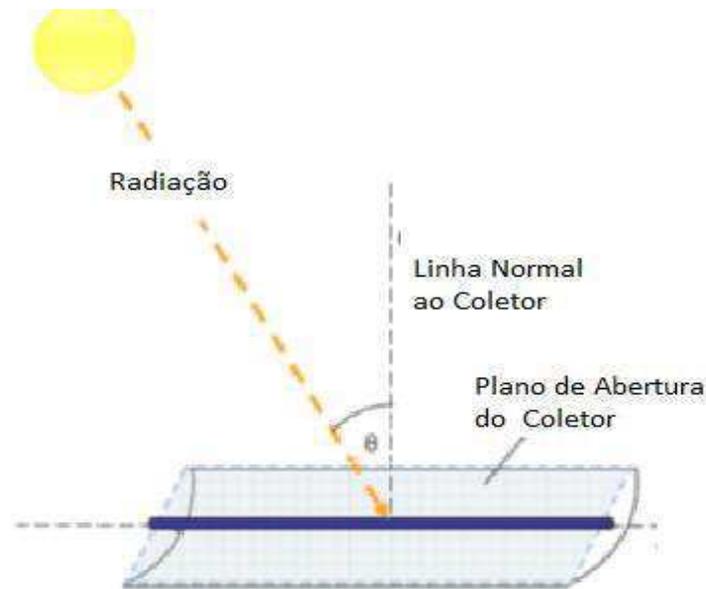
Fonte: Bianchine (2013) – Adaptado

A irradiação solar normal (DNI – Direct Normal Irradiance) é um dado meteorológico de grande importância para estudos de centrais termo solares. É caracterizada como a potência solar incidente numa superfície por unidade de área [W/m²] (SILVA, 2010).

Segundo Patnode (2006), a radiação possui uma componente direta, ou seja, a parcela que não é desviada ou absorvida pela atmosfera, e uma componente difusa, que é dispersa pelo ar, moléculas de água, ou poeira.

Pela definição de Patnode (2006), o ângulo de incidência (θ) representa o ângulo formado entre o raio solar incidente e o plano normal a superfície, conforme mostrado na figura a seguir. A variação do ângulo ao longo do dia influencia diretamente na eficiência dos coletores.

Figura 2 – Radiação solar normal e seu ângulo de incidência



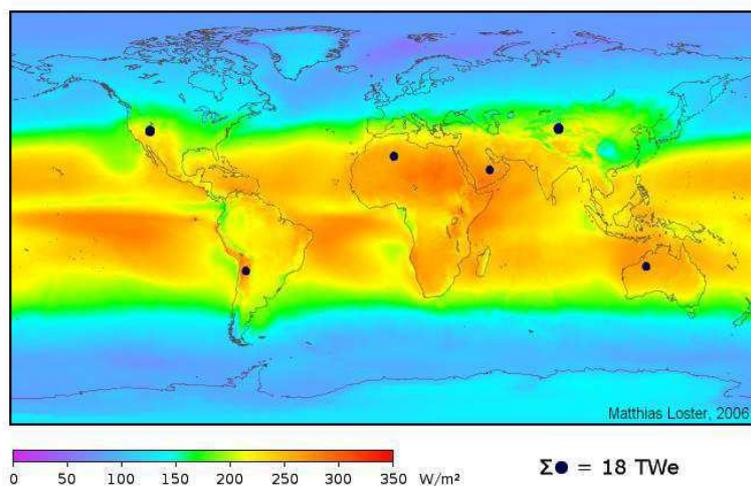
Fonte: PATNODE, 2006

2.2 POTENCIAL SOLAR NO MUNDO

Para fins de aproveitamento do potencial solar em uma determinada região é necessário uma cuidadosa avaliação acerca da incidência deste recurso. Fatores como o clima, estação do ano e a latitude da região são determinantes nesta análise já que a disponibilidade da energia solar é variável devido à rotação e translação da Terra em relação ao Sol, implicando, assim, em diferentes níveis de irradiação solar.

Sabendo disso, torna-se imprescindível o estudo de mapeamento solar para viabilizar a construção de um sistema que se utilize desta fonte. Estudos revelam, que para se ter uma concreta viabilidade econômica, a incidência solar anual deve ser no mínimo de 2000 Wh/m² (Philibert 2005).

No cenário global, os países que estão localizados nas regiões semiáridas de zonas tropicais possuem os melhores potenciais solares do mundo, como pode-se ver na figura 2, a seguir.

Figura 2 – Radiação Solar Mundial Anual em W/m²

Fonte: International Energy Agency (IEA)

Como pode-se inferir através da interpretação da figura acima, as melhores taxas de incidência solar no mundo localizam-se em países onde o poderio econômico é baixo, o que implica em dificuldades para implantação de sistemas termo solares, haja vista que o custo de investimento inicial é bastante elevado. Entretanto, tal fonte de energia renovável poderia gerar inúmeros benefícios para estas nações, inclusive econômicos, dado ao fato que a energia gerada poderia ser vendida para outras países, uma vez que várias nações importam eletricidade por não possuírem condições de produzi-la em larga escala.

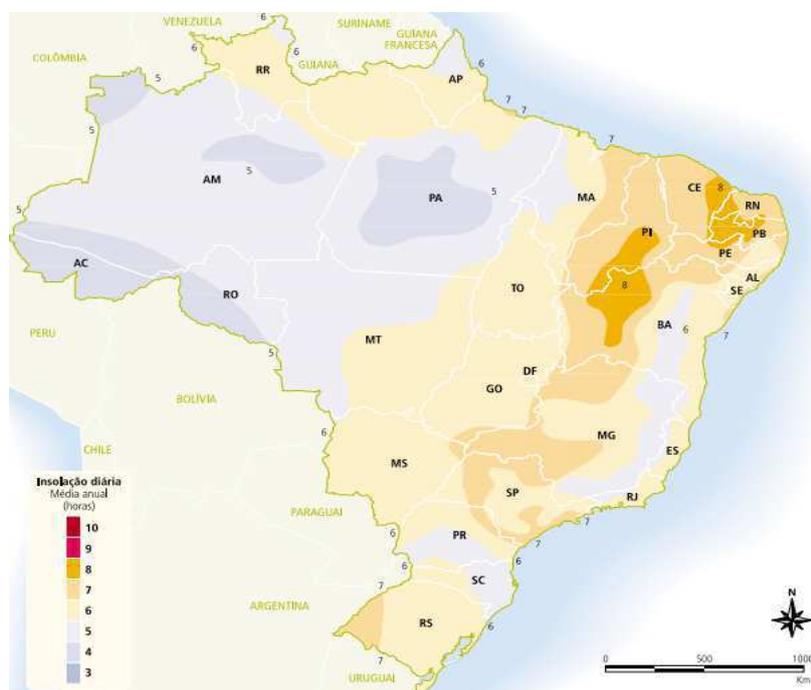
Atualmente, na Europa, dentre os países que possuem programas de incentivo à exploração da energia solar, Portugal e Espanha usufruem das condições mais favoráveis, na União Europeia, chegando a possuir entre 2200 e 3100 horas de Sol por ano (Entidade Reguladora do Setor Elétrico – Lisboa, 2000).

2.3 IRRADIAÇÃO SOLAR NO BRASIL

Como dito anteriormente, fatores ligados às condições climáticas e latitude de uma dada região são características preponderantes na determinação para uma boa disponibilidade de radiação solar. O território brasileiro localiza-se em sua maior parte próximo a Linha do Equador, de forma que os recursos solares poderiam ser aproveitados através de tecnologias já existentes como as usinas solares, com exceção de áreas como a região amazônica e alguns estados adjacentes em virtude dos seus altos índices pluviométricos, o que acarreta numa maior dissipação da radiação solar e consequentemente gera um menor potencial para exploração deste recurso.

Abaixo, na Figura 3, podemos visualizar a representação da média de insolação diária no território brasileiro e na Figura 4 o mapa de radiação solar do Brasil.

Figura 3 – Média anual de insolação diária no Brasil

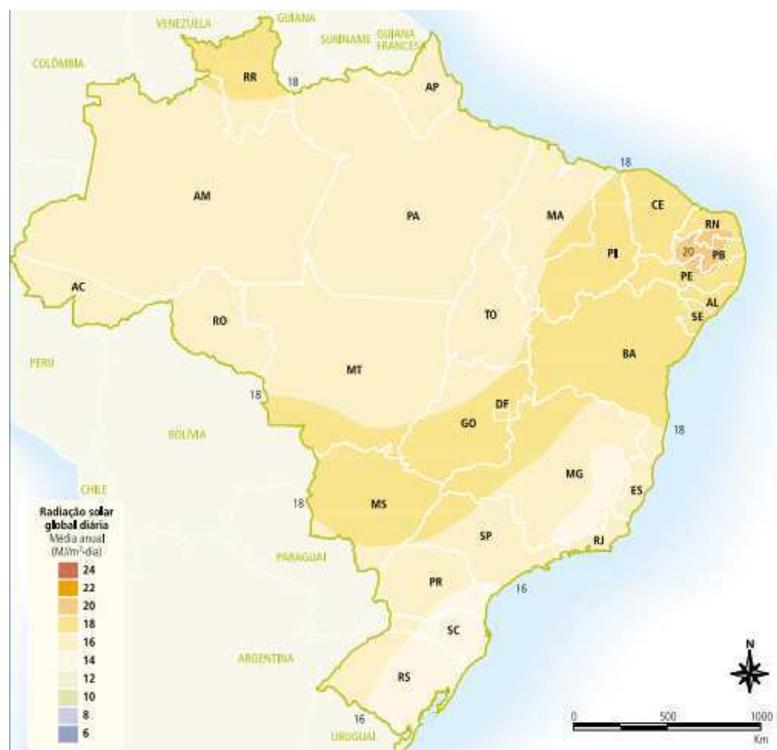


Fonte: ATLAS Solarimétrico do Brasil (Adaptado)

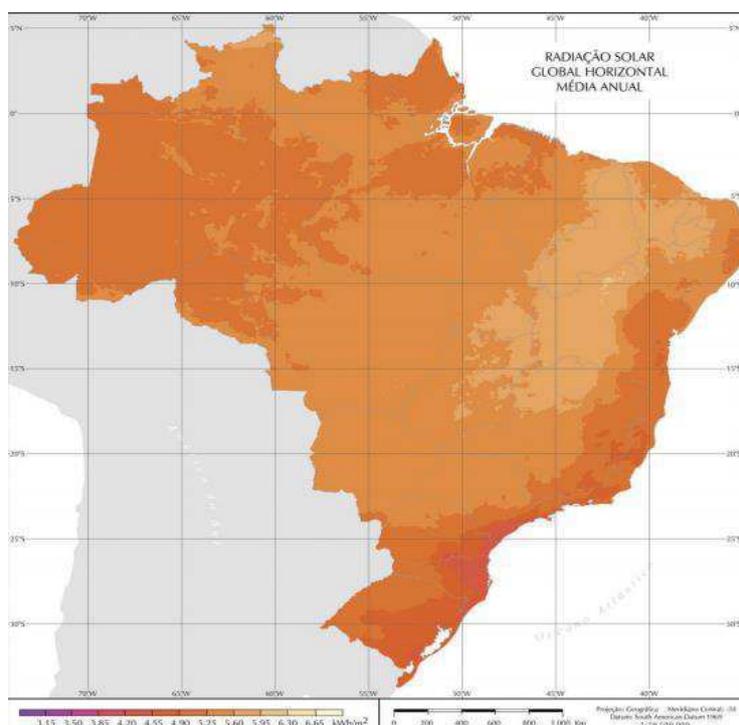
Pode-se inferir pelo gráfico acima que as regiões Nordeste e Centro - Oeste possuem um potencial diferenciado em relação a outras áreas. Essas regiões, apesar de

menores taxas sócio – econômicas, teriam grandes crescimentos caso estes recursos solares fossem aproveitados, já que a construção de campos solares fomentaria a criação de novos postos de trabalho bem como possibilitaria uma maior independência energética local. Entretanto, os elevados custos associados às tecnologias de usinas termo solares são um empecilho para uma possível implementação aliado ao pouco ou nenhum interesse político em investir no setor energético dessas regiões.

Figura 4 - Radiação Solar Global diária – Média anual (MJ/m²)



Fonte: ATLAS Solarimétrico do Brasil (Adaptado)

Figura 5 – Radiação Solar Global média no Brasil (KWh/m²)

Fonte: Pereira et al (2006)

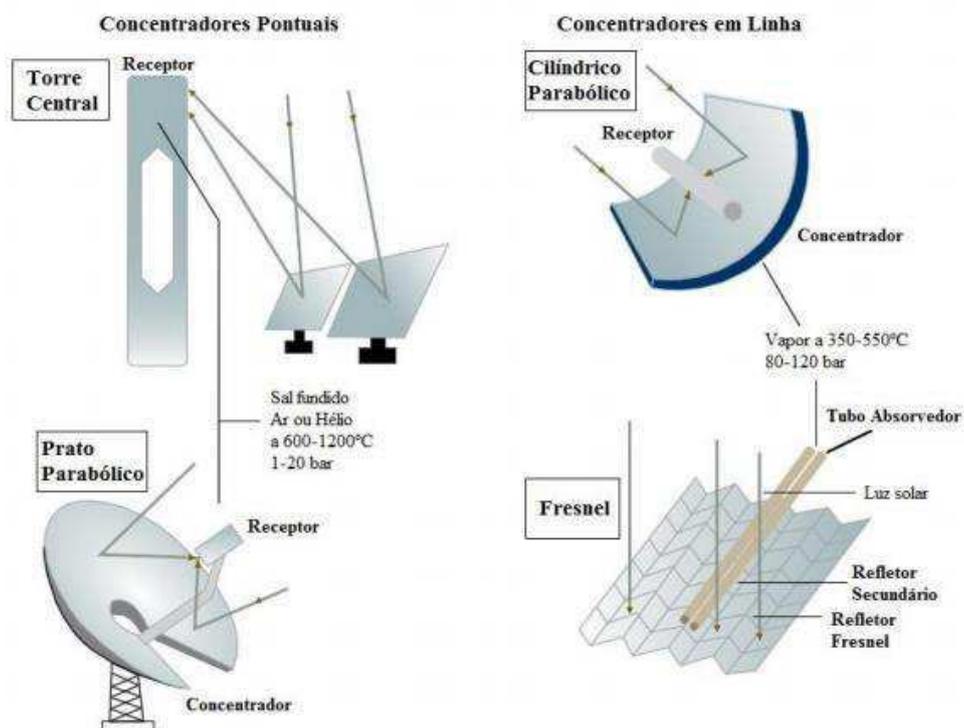
Analisando o gráfico acima da Figura 5, pode-se perceber que existe uma distribuição relativamente equilibrada por todo território nacional de irradiação solar global. Segundo estudos feitos pela Empresa de Pesquisa Energética (EPE, 2012), a irradiação média anual brasileira varia entre 1.200 – 2.400 KWh/m², o que se configura superior à maioria dos países que atualmente exploram com mais propriedade os recursos solares, como Alemanha, França e Espanha que chegam à 900-1250 kWh/m², 900-1650 kWh/m² e 1200- 1850 kWh/m², respectivamente.

3 ENERGIA SOLAR TÉRMICA

A energia solar térmica é uma fonte de energia limpa e renovável que possibilita o aproveitamento da energia do sol, basicamente, através do aquecimento de algum fluido resultando em energia devido aos processos termodinâmicos envolvidos. Esta tecnologia, também conhecida como CSP (Concentrated Solar Power), caracteriza-se pela utilização de concentradores para focar a radiação solar em um receptor, que por sua vez deverá aquecer um fluido para produzir vapor, onde será utilizado para gerar eletricidade.

Atualmente, existem quatro modelos de sistemas confiáveis de tecnologia Solar Térmica: cilindro – parabólico, linear Fresnel, torre de receptor central e prato ou disco parabólico. Embora não seja o foco de estudo deste trabalho, abaixo na figura 6, mostramos um comparativo entre estas tecnologias e logo em seguida uma tabela apresentando dados técnicos relevantes sobre cada um dos modelos citados.

Figura 6 – Tipos de Sistemas de Energia Solar Térmica



Fonte: Miller e Lumby (2012)

Tabela 1 – Comparativo entre plantas de energia solar térmica

Características	Cilíndrico-parabólico	Torre	Prato parabólico	Fresnel
Experiência comercial	Cerca de 30 anos	Cerca de 8 anos	-	-
Risco Tecnológico	Baixo	Médio	Alto	Médio
Escala ótima de capacidade de geração	50 MW até > 100 MW	50 MW até > 100 MW	100 kW até > 100 MW	50 MW até > 100 MW
Requerimento de construção	Exigente	Exigente	Moderado	Simple para Moderado
Temperatura de operação	300°C-550°C	260°C-570+°C	750°C	270°C
Eficiência	14-16%	15-22%	24-31%	9-11%
Armazenamento	Sim	Sim	Não	Sim
Custo de energia nivelado (\$/kWh)	Atual: 0.30-0.75 Futuro: 0.06-0.08	Atual: 0.20-0.9 Futuro: 0.06-0.08	Futuro: 0.05-0.08	Futuro: 0.06-0.08
Uso de água	Alto	Alto	Baixo	Médio
Requerimento de terra	Alto	Alto	Variável / flexível	Variável

Fonte: Miller e Lumby (2012) (Adaptado)

Mesmo sendo tecnologias diferentes, todas elas se utilizam do mesmo princípio no qual consiste da utilização da radiação solar incidente para o aquecimento de um fluido que em seguida, através do vapor gerado, produzirá energia ao atingir as turbinas. Os modelos de CSP são semelhantes aos sistemas térmicos convencionais, onde são comumente conhecidos pela utilização de turbinas a vapor para conversão da energia mecânica em eletricidade.

3.1 A TECNOLOGIA CILINDRO – PARABÓLICA

Atualmente, dentre os modelos de tecnologia usada para implementação de plantas termos solares, o sistema cilindro - parabólico é a mais utilizada e comprovadamente testada em relação a custos e benefícios se comparada com os demais tipos de concentradores solares. Isto se deve às primeiras grandes unidades construídas,

como a Solar Energy Generating Systems e a Nevada Solar One, localizadas nos Estados Unidos.

Figura 7 – Nevada Solar One



Fonte: www.acciona.us

Figura 8 - Solar Energy Generating Systems



Fonte: <https://www.blm.gov/ca/st/en/prog/energy.1>

O sistema cilindro-parabólico é considerado uma tecnologia não - poluente, madura e com um vasto histórico de implantação, demonstrando assim estar preparada para instalações em proporções maiores. Desde os primeiros testes e implementações, a tecnologia vem sofrendo importantes melhorias tanto no que se refere ao rendimento como aos custos.

O sistema de concentradores cilindro – parabólicos, ou também chamados calhas parabólicas, é composto por grandes fileiras paralelas de espelhos côncavos conectados. Devido ao formato parabólico dos espelhos, o calor é focalizado e refletido para o tubo absorvedor de calor. Em seguida, passa um fluido de alta capacidade térmica pelo tubo, podendo ser óleo, sal fundido, ou alguma outra substância que consiga reter eficientemente o calor. A Figura abaixo mostra o diagrama esquemático do sistema de concentrador cilindro – parabólico.

Figura 9 – Esquemático do sistema de concentrador cilindro – parabólico

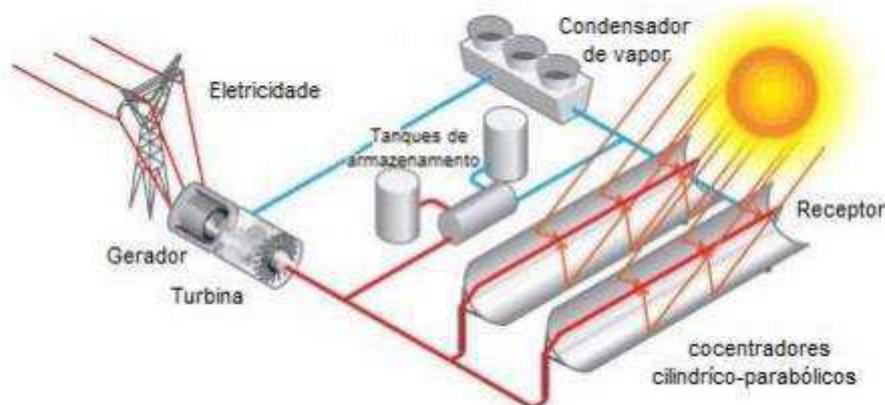


Fonte: www.nrel.gov (adaptado)

O que acontece basicamente é que o fluido superaquecido aquece a água dentro do trocador de calor transformando assim a água em vapor. Em seguida, o vapor é conduzido para a turbina, gerando eletricidade através da energia mecânica da rotação das turbinas. Por fim, após a transferência do calor do fluido ele passa a ser “reciclado” e

utilizado novamente. O vapor também é esfriado, condensado e “reciclado”. Na Figura a seguir podemos visualizar o diagrama esquemático básico de uma planta cilindro – parabólica.

Figura 10 – Esquema básico de uma planta cilindro – parabólica.



Fonte: www.eere.energy.gov (adaptado)

3.2 ELEMENTOS DO SISTEMA CILINDRO – PARABÓLICO

O sistema cilindro – parabólico é formado primeiramente pelo sistema de captação solar, que é composto pelos coletores de concentração e absorvedores. Como em qualquer outro tipo de coletor, a única radiação solar que pode ser aproveitada é a direta, o que justifica a necessidade de modificar a posição dos mesmos durante o dia, para estar alinhado com o melhor ângulo a fim de receber tal radiação.

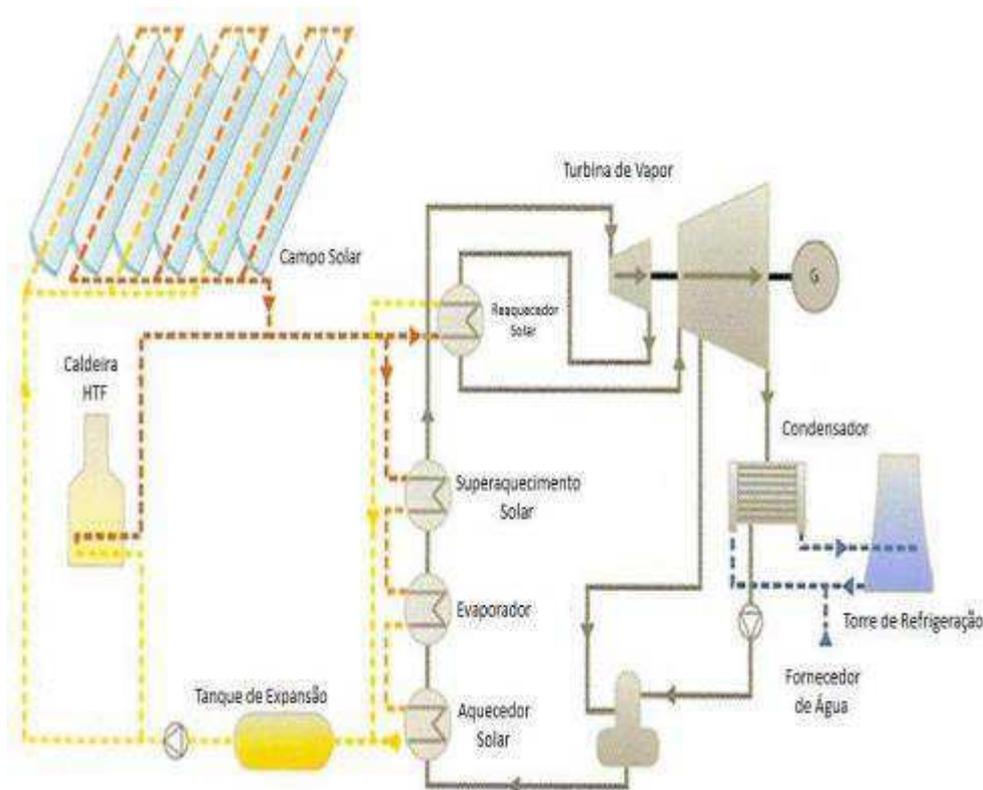
O absorvedor é um tubo composto basicamente de vidro com revestimento escuro que possui um alto grau de absorção de radiação e baixa reflexão. Internamente o absorvedor comporta um fluido utilizado para transferência de calor. Este fluido depois de aquecido é conduzido para o conjunto de trocadores de calor através de um sistema de bombas de transferência, onde, sob alta pressão, é produzido vapor.

Em processos de caráter termodinâmico é comum se falar em ciclos de trabalho. Nos sistemas termo solares, o Ciclo de Rankine é bastante utilizado, principalmente pela sua característica de reversibilidade. Na tecnologia Cilindro – Parabólica é usado este modelo termodinâmico, para fins de produção de energia elétrica. Na sessão seguinte, iremos discorrer mais detalhadamente sobre este modelo.

Em seguida, o vapor de exaustão das turbinas passa por um processo de condensação e é devolvido aos trocadores de calor afim de que possa ser novamente transformado em vapor. Após o aquecimento do fluido é feita, então, a recirculação através do sistema de captação solar.

Abaixo, na Figura – 9, podemos visualizar a configuração detalhada de um sistema termo solar que utiliza a tecnologia do tipo cilindro – parabólica.

Figura 11 – Esquema detalhado de uma central solar térmica tipo cilindro – parabólico.



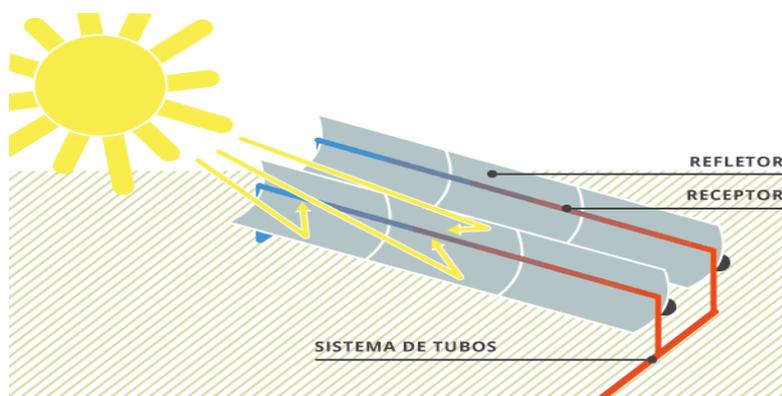
Fonte: MARTINEZ 2009 (Adaptado)

3.2.1 REFLETOR E CONCENTRADOR CILINDRO – PARABÓLICO

Naturalmente, o campo solar é construído de forma modular, sendo constituído por diversas linhas paralelas de coletores alinhados por um eixo horizontal Norte-Sul. Desta forma, possibilita que o sistema tenha um aproveitamento maior para captação da radiação solar já que esta configuração permite que os refletores sigam o sol de Leste para Oeste durante o dia, garantindo assim maiores níveis de absorção.

Dentre os principais componentes existentes em um campo termo solar do tipo cilindro – parabólico encontram-se o refletor e concentrador. A função do refletor cilindro - parabólico é refletir e concentrar, sobre o tubo absorvedor, a radiação solar direta que incide sobre a superfície do coletor.

Figura 12 – Refletor cilindro – parabólico.



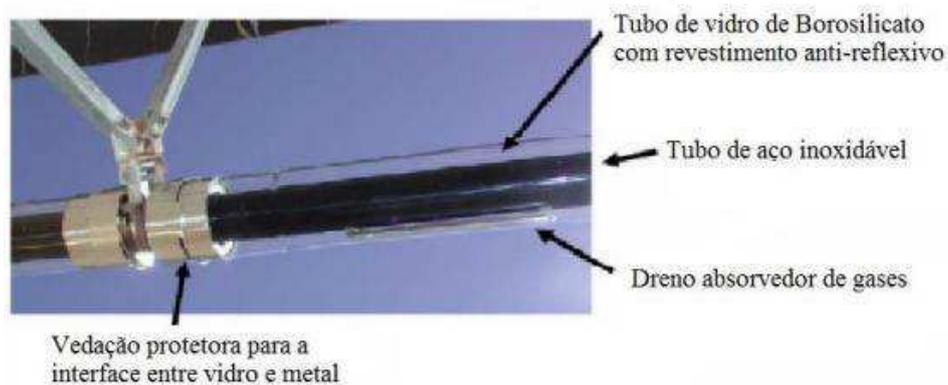
Fonte: <http://energiaheliotermica.gov.br/pt-br/energia-heliotermica/como-funciona>

No sistema cilindro – parabólico os espelhos utilizados são côncavos, onde irão focalizar a radiação solar em um ponto. Devido a isto, eles devem possuir grandes taxas de reflexibilidade, para que sejam evitadas perdas. Além disso, é necessário que sejam resistentes, pois os ambientes em que são construídas plantas solares costumam ter condições adversas, como nos desertos por exemplo.

3.2.2 TUBO ABSORVEDOR

O tubo absorvedor é um tubo de vidro que retém um fluido de transferência de calor. Eles estão montados e dispostos nos concentradores de forma que fiquem centralizados no ponto focal dos espelhos parabólicos e são utilizados para encaminhar o fluido absorvedor de calor e encaminhá-lo para os trocadores de calor.

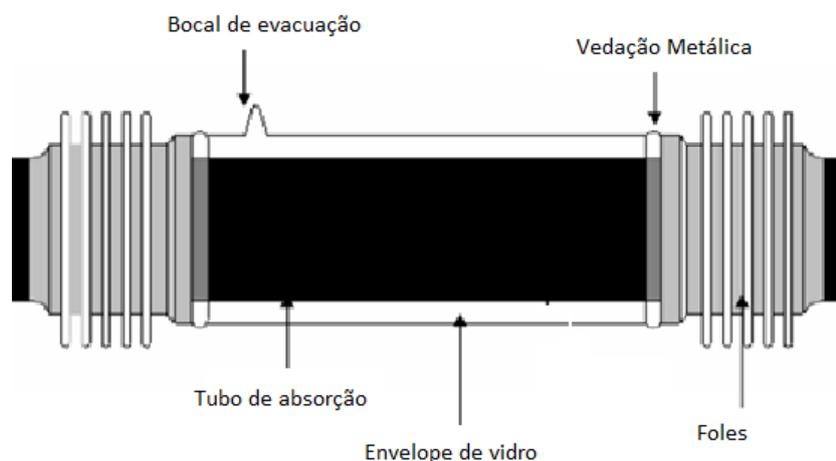
Figura 13 – Turbo absorvedor



Fonte: Bianchini, 2013 (Adaptado)

Em geral, possuem entre 65 – 75 mm de diâmetro, mas podem variar dependendo do tamanho das calhas parabólicas utilizadas no projeto. Os tubos absorvedores são construídos em aço inoxidável e envoltos por um tubo de vidro, geralmente negro, para impedir o reflexo da radiação absorvida, diminuindo assim as perdas de calor para o meio externo. Além disso, como medida de reduzir ainda mais tais perdas, utiliza-se uma isolamento a vácuo entre o tubo receptor e o vidro.

Figura 14 – Esquemático do tubo coletor ou absorvedor



Fonte: BIALOBRZESKI, 2007.

Um dos componentes mais importantes que está atrelado aos tubos absorvedores é o fluido de transferência de calor. Também chamados de HTF (Heat Transfer Fluid), estes fluidos possuem uma alta capacidade térmica, podendo atingir elevadas temperaturas de operação sem comprometer as características do material, otimizando assim os níveis de eficiência da conversão de energia térmica para elétrica.

Dos fluidos de transferência de calor existentes para utilização em plantas termo solares destacam-se o óleo mineral e o óleo sintético. Tanto o tipo Caloria (óleo mineral) quanto o Therminol(óleo sintético) são bastante utilizados, aonde chegam a suportar temperaturas de funcionamento de 300°C e 400°C, respectivamente. Em termos de eficiência, o Therminol cumpre melhor o seu papel devido a suas propriedades, as quais permitem satisfazer os requisitos requeridos na etapa de vaporização do fluido, garantindo taxas de transferência caloríficas maiores. Em todo processo termodinâmico, as trocas de calor são pontos de extrema importância, e os ciclos de trabalho envolvidos em todo o sistema influenciam diretamente no desempenho final energético da planta. Como dito anteriormente, a maioria das usinas cilindro parabólicas baseiam-se no Ciclo de Rankine, já que utilizam vapor para geração de energia. Dessa forma, torna-se necessário e útil apresentar os conceitos fundamentais associados a este ciclo.

3.2.2.1 O CICLO DE RANKINE

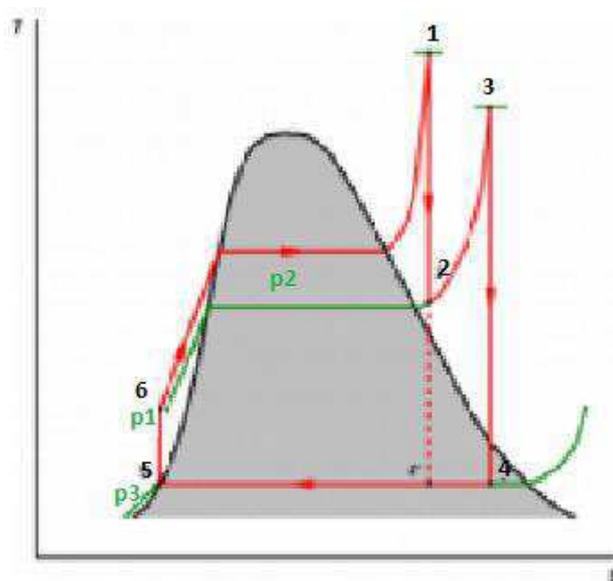
Segundo Stine e Geyer, (apud BARONI PADRÃO, 2012, p. 20) o ciclo de Rankine é o ciclo mais utilizado em sistemas de geração heliotérmica, e combina aquecimento a pressão constante e o processo de rejeição com compressão e expansão adiabática reversível.

De maneira geral o ciclo de Rankine é composto por três principais elementos: gerador de vapor, expansor e condensador. Inicialmente o processo começa quando o líquido entra no gerador de vapor (Caldeira), onde através do recebimento de uma grande quantidade de energia térmica sobreaquece e entra em evaporação. Em seguida, o vapor que foi produzido é encaminhado para as turbinas (Expansor), onde sofre expansão fornecendo, assim, energia mecânica que por sua vez será utilizada para mover geradores elétricos que produzirão energia elétrica. Após isto, a temperatura do vapor é reduzida ao atingir o condensador, que tem a função de extrair o calor residual do vapor, transformando-o novamente em líquido. Por fim, o fluido é reconduzido à caldeira onde tem sua pressão elevada por bombeamento. Dessa forma, “recicla-se” o vapor e se inicia novamente o ciclo.

Quando trata-se das turbinas de vapor, um dado de extrema importância é o fato de que não podem funcionar com vapor saturado, já que as partículas de água ao se acumularem nas pás do rotor o danificam e levam à erosão das turbinas. A fim de solucionar esta problemática, realiza-se um processo de sobreaquecimento do vapor, que nada mais é que um processo no qual eleva-se a temperatura além da dos níveis de vapor saturado, gerando assim, vapor sobreaquecido sem quaisquer resíduo líquido no sistema.

Na figura a seguir pode-se visualizar um diagrama T-S (Temperatura x Entropia) do ciclo de Rankine.

Figura 14 – Diagrama TS do ciclo de Rankine com reaquecimento



Fonte: Pedro Baptista, 2008 (Adaptado)

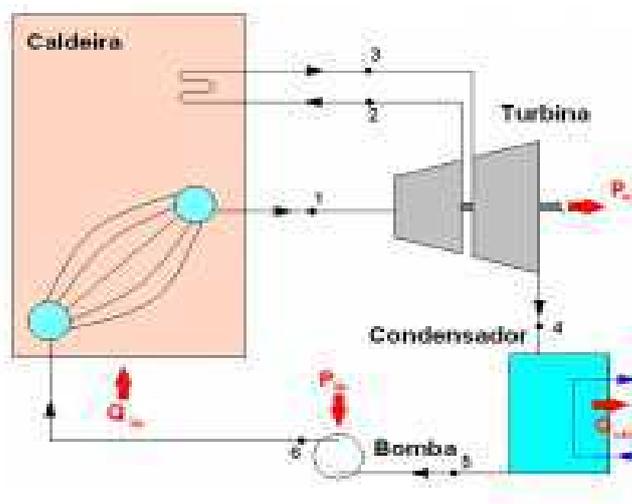
Sobre o diagrama de Rankine acima, Pedro Baptista descreve o seu ciclo:

No ponto 1, o vapor sobreaquecido entra na turbina onde se expande. Como se pode observar, há uma queda de pressão de $p1$ para $p2$. A sua entropia permanece idealmente constante. Caso não houvesse um reaquecimento, o vapor expandir-se-ia de $p1$ para $p3$, do ponto 1 para o ponto 4'. Contudo, com o reaquecimento, o vapor é encaminhado para a caldeira, novamente sobreaquecido, do ponto 2 para o ponto 3, mas a uma pressão $p2$ menor que a pressão inicial $p1$, encaminhado de volta para um andar de pressão inferior ao andar precedente e expande-se finalmente de $p2$ para $p3$, do ponto 3 para o ponto 4. Podemos ver que a soma das duas expansões é superior a uma única expansão. Para se obter a mesma expansão sem reaquecimento, ter-se-ia que sobreaquecer o vapor até muito perto ou mesmo além dos limites metalúrgicos tanto da turbina como da própria caldeira. Depois, o vapor é condensado do ponto 4 até ao ponto 5 e daí é comprimido por uma bomba até 6, da pressão $p2$ para a pressão $p1$. Do ponto 6 ao ponto 1, a pressão constante, o vapor é sobreaquecido pela caldeira. (BATISTA, 2008. < http://www.transportesxxi.net/tmaritimo/investigacao/casadaquina/turbina_vapor/superheat > Acesso em: 09 de março 2017.)

Estes dois processos - sobreaquecimento e reaquecimento - aumentam consideravelmente o rendimento de uma turbina, pois permitem um maior aproveitamento da energia do vapor comparado com um ciclo simples de Rankine simples, em que o vapor é simplesmente aquecido e expandido uma só vez.

Uma forma útil de explicar os acontecimentos envolvidos no processo é através do esquemático do ciclo de Rankine demonstrado abaixo.

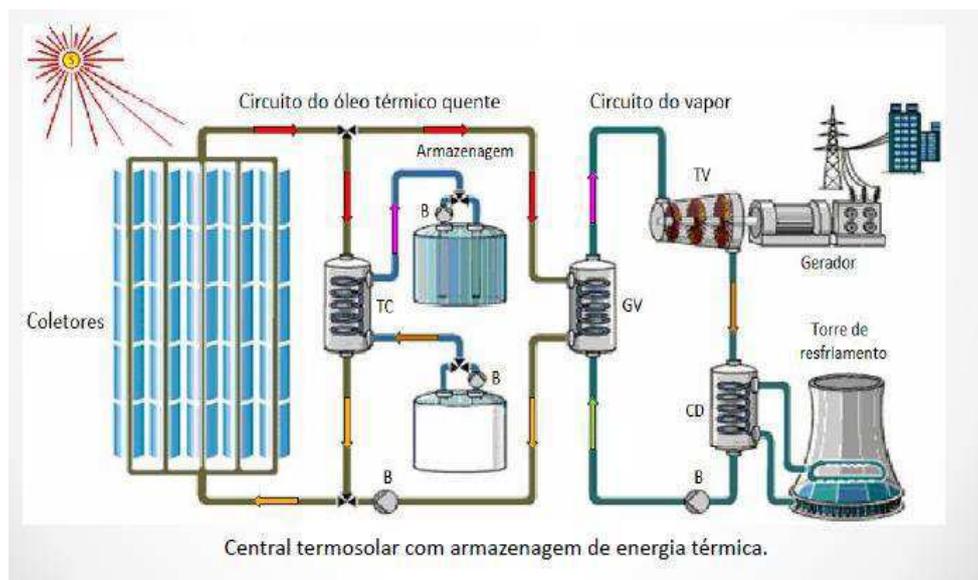
Figura 15 – Esquemática do ciclo de Rankine com reaquecimento



Fonte: Pedro Baptista, 2008

Abaixo, pode-se visualizar, uma planta de usina solar térmica que utiliza de modelo termodinâmico, o ciclo de Rankine.

Figura 16 – Central solar térmica baseado no ciclo de Rankine



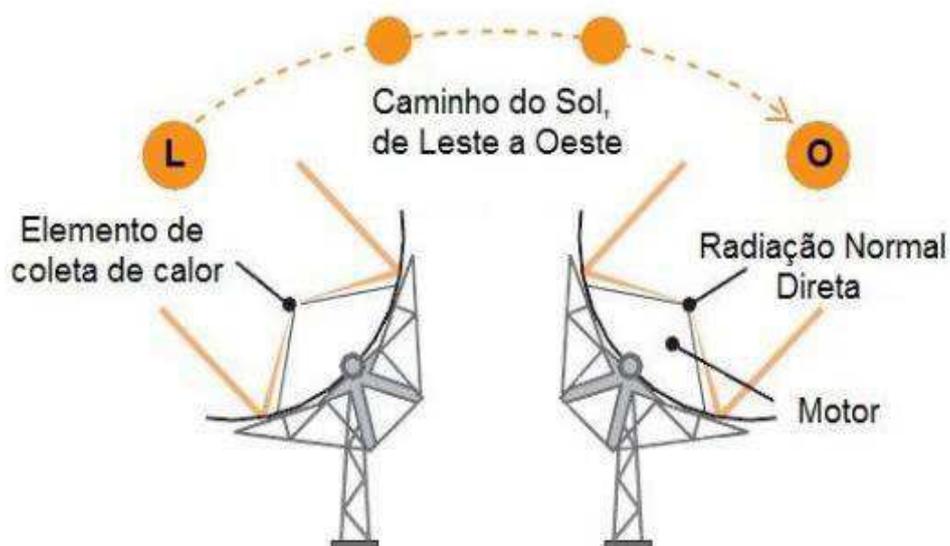
Fonte: CRUZ, 2014.

3.2.3 SISTEMA DE RASTREAMENTO SOLAR

Os concentradores solares cilindro – parabólicos só podem aproveitar a radiação solar direta, e por isso é necessário que os mesmos possuam mecanismos de rastreamento solar para acompanharem o movimento do sol durante o dia.

O sistema de seguimento do sol mais comum consiste em um dispositivo que gira os refletores cilindro - parabólicos do coletor em torno de um eixo. Os concentradores do sistema normalmente rastreiam o sol, durante o dia, movidos por motores elétricos conduzidos através de caixas de velocidade, ou diretamente por unidades hidráulicas. O mecanismo de rastreamento mais utilizado, atualmente, é feito por um sistema hidráulico, que fornece energia mecânica para mover o coletor.

Figura 17 – Rastreamento solar de leste à oeste



Fonte: BIANCHINI, 2013. (Adaptado)

Como demonstrando na figura anterior, o modelo que mais é empregado nos sistemas de rastreamento solar é baseado na orientação Leste-Oeste. As principais vantagens devem-se ao fato da pouca necessidade de se movimentar a estrutura ao decorrer do dia além de sempre está alinhado diretamente ao sol do meio – dia, permitindo

assim altos níveis de absorção pelos coletores. Por outro lado, devido aos ângulos de incidência dos raios solares serem maiores sobre a superfície coletora no início do dia e fim da tarde, observa-se uma redução na eficiência do sistema.

Na orientação no sentido norte-sul os coletores acompanham a azimute do sol no dia, apontando mais diretamente para o sol ao amanhecer e no final da tarde, maximizando a produção anual. Porém, apresenta maiores perdas de calor ao meio-dia, devido aos maiores ângulos de incidência nesse horário (Kalogirou, 2009).

As estruturas metálicas dos coletores solares tem por finalidade dar rigidez e sustentação ao conjunto de elementos que os compõem. Conforme se pode visualizar na figura 18, as estruturas metálicas dos coletores geralmente consistem em armações de aço galvanizado.

Figura 18 – Mecanismo hidráulico do sistema de rastreamento



Fonte: ROLIM, 2007

4 EVOLUÇÃO E PERSPECTIVA DO SISTEMA

CILINDRO – PARABÓLICO

A tecnologia cilindro – parabólica, como já dito anteriormente, tem um vasto histórico de utilização e, portanto é comprovadamente um sistema consolidado. No entanto, para fins de análise técnica e científica, desde a implementação das primeiras usinas no mundo, ainda não foi constatado o estágio final da curva de aprendizagem – que gira em torno dos 30 anos ou mais.

Embora, hoje, o sistema cilindro – parabólico possua um considerável nível de maturidade tecnológica, é importante conhecer o seu histórico e entender como surgiu e evoluiu até aqui.

Foi entre os anos 1860 e 1921 que houveram as maiores contribuições para geração termo solar no mundo. Dentre as grandes descobertas e pesquisas para impulsionamento da tecnologia heliotérmica, destaca-se o estudo de Albert Einstein, o qual ficou conhecido como efeito fotoelétrico. Algumas décadas depois, outro cientista – William Grylls, descobriu que era possível produzir eletricidade quando o selênio era iluminado, pois ao fazer isto, provocava emissão de elétrons no mesmo. Tais descobertas foram imprescindíveis para a futura criação de células solares.

Logo após esse período, com a grande ascensão do uso dos combustíveis fósseis, como o petróleo e carvão, pouco desenvolvimento se deu aos estudos sobre geração solar. Após este período, ela teve pouco desenvolvimento devido aos baixíssimos custos dos combustíveis fósseis. Porém, durante os anos 70, o mundo experimentou uma crise energética que se deu por grandes aumentos do preço do petróleo por parte das nações que detinham as maiores reservas da terra. Neste cenário, aliado ao crescimento de organizações ambientalistas, algumas nações passaram a investir em fontes de geração alternativa de energia, que pudessem ser eficientes e renováveis. Desta feita, entrou em destaque novamente a geração de energia através do aproveitamento do sol.

Pode-se dizer que relacionado a plantas CSP, os Estados Unidos foram pioneiros na construção e utilização desse sistema de geração de energia elétrica. Na década de 80, foi construída a primeira unidade termo solar – SEGS I - com a tecnologia cilindro –

parabólica, no estado da Califórnia e com capacidade para gerar 14MW. A empresa *Luz International Company*, deu seguimento a outras nove unidades semelhantes a primeira, totalizando assim em média 350MW de potência instalada.

Em 2016, vinte e um países, possuíam plantas CSP, sendo noventa e seis em operação, dezoito em construção, onze em desenvolvimento, totalizando cento e vinte e cinco projetos, e mais três instalações não operacionais ou descomissionadas (NREL, 2016). Dados da CSPWorld mostram que, em 2016 havia 160 empreendimentos no total, onde 121 seriam do tipo cilindro – parabólico.

Segundo Lodi (2011), o custo nivelado de energia (levelized cost of energy, LCOE) típico atual, para plantas grandes utilizando concentradores cilindro – parabólicos, tem ficado na faixa de 200 a 295 USD/MWh, dependendo da disponibilidade do recurso solar e dos incentivos considerados. Mas esses custos tendem a cair no futuro com o maior desenvolvimento da tecnologia.

Atualmente, diversos estudos, principalmente na Europa e nos Estados Unidos estão alavancando as perspectivas de investimento para a referida tecnologia. Através desse desenvolvimento, será permitida a melhoria da precisão ótica dos espelhos e coletores, reduzindo o peso e o custo dos materiais. O melhoramento nos absorvedores da próxima geração irão permitir que as perdas térmicas sejam diminuídas, aumentando assim a eficiência e confiabilidade do sistema.

Segundo Kennedy (2005), os tubos absorvedores são um dos grandes responsáveis pelos níveis de eficiência do CSP. Em plantas cilindro - parabólicas, o recobrimento metalo - cerâmico do tubo, deve possuir uma taxa de absorção maior ou igual a 96%, e uma emissividade abaixo de 7%, à temperaturas de 400°C. Um dos tipos de receptores utilizados nas instalações de CSP são os UVAC (Universal Vacuum Collector), desenvolvidos pela empresa Solel. Este tipo possui uma camada de Alumina (Al₂O₃), depositada sob o tubo de aço inoxidável, que garante uma taxa de absorção de 96% e uma emissividade de 10% a 400°C, bem como uma estabilidade quando exposto ao ar e umidade.

Existem estudos e testes sendo feitos com óleos minerais que podem suportar temperaturas acima dos 500°C. Tais melhorias no processo de transferência de calor irão permitir o aumento da temperatura de operação e do rendimento dos materiais. As centrais da tecnologia cilindro - parabólica podem ter em médio prazo uma dimensão superior a 300 MW.

Na Tabela a seguir encontra-se apresentada a evolução prevista dos parâmetros técnicos da tecnologia cilindro - parabólica para os próximos anos. Como já visto, esta é uma tecnologia reconhecida e madura e por isso é preferida nos projetos atuais de centrais para ligação à rede na Europa e no Sudoeste dos EUA.

Tabela 2 - Evolução da tecnologia cilindro-parabólica

Ano de entrada em Serviço	1989	2004	2010	2020
Potência (MW)	30	100	150	400
Fator de Carga (%)	22	54	56	57
Sistema de Captação Solar (km ²)	0,188	1,120	1,477	3,910
Temperatura de Operação do Campo Solar (°C)	391	391	500	500
Armazenamento Térmico (horas)	0	12	12	12
Área do Terreno (Km ²)	0,635	3,780	4,980	13,189
Eficiência Ótica do Campo Solar (%)	53,3	56,7	57,0	57,0
Eficiência do Absorvedor (%)	72,9	81,0	82,8	84,3
Eficiência da Armazenagem Térmica (%)	-	99,1	99,6	99,6
Eficiência do Sistema de Geração (%)	35,0	37,0	40,0	40,0
Disponibilidade Anual (%)	98,0	94,0	94,0	94,0
Eficiência Anual Solar-Eletricidade (%)	10,6	14,0	15,4	15,5

Fonte: Salgado, 2008. (Adaptado)

Nas condições atuais de operação que temos ao redor do mundo, os maiores sistemas de CSP do tipo cilindro - parabólico conseguem gerar cerca de cerca de 100MW, a exemplo da planta Shams 1, que situa-se nos Emirados Árabes e que começou a operar em 2013. Além desta, os Estados Unidos possuem várias unidades de uma linha de usinas chamadas SEGS (Solar Energy Generating Systems). As SEGS VIII e IX localizadas no

sudoeste norte-americano geram 80 MW de eletricidade cada e estão em operação desde 1990.

Abaixo, na Tabela seguinte, pode-se visualizar sete das maiores complexos de usinas solares ao redor do mundo que mais geram eletricidade atualmente.

Tabela 3 - Maiores complexos termo solares da atualidade

Capacidade (MW)	Nome	País	Dados de Operação
359	Solar Energy Generating Systems (SEGS)	EUA	Conjunto de 9 usinas que operam desde 1984
280	Mojave Solar Project	EUA	Finalizada em 2014
280	Solana Generating Station	EUA	Finalizada em 2013
250	Genesis Solar Energy Project	EUA	Finalizada em 2014
200	Solaben Solar Power Station	Espanha	Finalizadas em 2012
160	Noor I	Marrocos	Finalizada em 2013
150	Solnova Solar Power Station	Espanha	Finalizadas em 2010

Fonte: <http://cspworld.org> (Adaptado)

Na América latina, pouquíssimo ou quase nenhum investimento é feito para este tipo de tecnologia. O Chile é um dos poucos países que possuem um programa de investimento para implantação de sistemas termo solares, como a exemplo da usina Pedro de Valdivia, que está em desenvolvimento e tem previsão para operar com sua capacidade total em 2017, embora opere com ressalvas, apenas com fins de testes, desde 2015. A capacidade final de geração desta usina poderá chegar na casa dos 300MW.

O Brasil possui um grande potencial para fins de utilização da energia solar térmica, pois apresenta níveis elevados de radiação incidente, porém não existe nenhuma

perspectiva de projetos na área o que é de se lamentar haja vista a alta capacidade que se encontra em disponibilidade em determinadas regiões durante todo o ano.

Segundo Bianchini (2013), o território nacional possui um dos maiores níveis de DNI do continente americano, estando assim apto para exploração e utilização dos sistemas termo solares, porém o alto custo e a falta de fomento por parte do governo é uma das causas principais para o não aproveitamento desta tecnologia.

A maior quantidade de DNI incidente no território nacional se encontra no estado da Bahia, sendo este, o melhor local para a instalação de uma usina CSP no país. A instalação de uma usina CSP no Brasil ainda não é viável devido ao seu alto custo. É necessário que o Governo desenvolva mais políticas de incentivos fiscais para o uso da energia solar no país, para deixar a tecnologia mais competitiva e atrair a presença de investidores, como é o caso de outros países onde a tecnologia já existe, como nos EUA e em alguns países europeus. (BIANCHINI, 2013, p. 58)

Em termos comparativos, segundo Bianchini (2013), a planta mais barata para instalação no Brasil, seria a híbrida (Plantas que utilizam o auxílio de combustível fóssil para sua operação), que apresenta um custo nivelado de energia de 217,7 USD/MWh. O preço médio de venda da geração eólica no Leilão de Energia A-5/2012 (EPE, 2012b) foi de 87,84 R\$/MWh, que é muito mais baixo que os preços encontrados nas simulações para a geração heliotérmica se fizermos a conversão de dólar para o real.

Na Tabela 4, encontra-se uma lista das usinas termo solares de alta capacidade instalada do tipo cilindro – parabólico que estão atualmente em construção ou foram finalizadas recentemente.

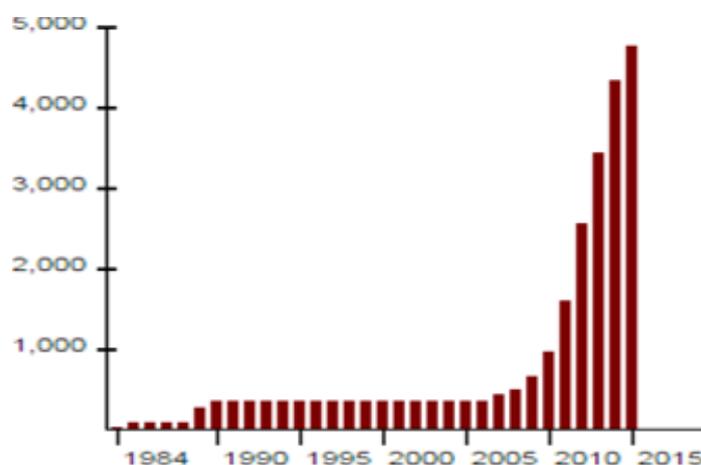
Tabela 4 – Centrais termo solares em construção ou finalizadas recentemente

Capacidade (MW)	Nome	País	Dados de Operação
280	Al-Abdaliya	Kuwait	Sem previsão para finalização
200	Noor II	Marrocos	Previsão para 2018
100	Xina Solar One	África do Sul	Previsão para 2017/2018
100	Kathu Solar Park	África do Sul	Previsão para 2017/2018
100	El Reboso 2+3	Espanha	Finalizada em 2015
100	Diwakar	Índia	Finalizada em 2014
100	CGNSEED power plant	China	Finalizada em 2016

Fonte: <http://cspworld.org> (Adaptado)

Se analisado a partir da década de 80, quando as primeiras usinas foram criadas e postas em utilização e comparado com os últimos anos, será visto que houve um avanço significativo quanto a investimentos e implementações do modelo de CSP cilindro – parabólico. A Figura a seguir – Capacidade instalada [MW] x Tempo [anos] - demonstra este crescimento.

Figura 19 – Crescimento da capacidade instalada[MW] no decorrer dos anos



Fonte: <http://cspworld.org> (Adaptado)

Nas duas últimas décadas, houve um crescimento quase que exponencial, analisando a partir do entendimento da Figura 19. Pode-se afirmar que os grandes responsáveis por isso são o desenvolvimento da tecnologia bem como incentivos por determinados países à geração heliotérmica.

Dentre as nações que se utilizam da geração a partir de plantas CSP, pode-se destacar nessa curva de crescimento como líderes em produção termo solar, principalmente os Estados Unidos, a Espanha e a China. Mas nesta expansão, também estão presentes países como Argélia, Austrália, Egito, Emirados Árabes Unidos, França, Marrocos dentre outros (CSPWorld, 2017), o que tem contribuído de forma significativa para o fomento desta tecnologia, estimulando questionamentos relacionados ao papel que as centrais termo solares podem vir a exercer mundialmente no setor energético.

5 CONCLUSÃO

O esgotamento dos combustíveis fósseis é inevitável, mesmo que isto não aconteça em curto prazo. A grande variação do preço do petróleo mediante o mercado mundial bem como a necessidade urgente de energias mais limpas, exige das nações um investimento na diversificação de novas fontes de energia renovável.

O potencial solar mundial é pouquíssimo aproveitado, embora países da Europa como Portugal e Espanha e do continente americano, como Estados Unidos e Chile, venham dando uma importância maior a esta forma de produção de energia. Neste cenário, surge como opção a tecnologia solar térmica, que tanto do ponto de vista ambiental quanto sócio - econômico mostra-se viável. Em nível ambiental justifica-se pelo fato de utilizar pouco ou nenhum combustível fóssil, podendo assim contribuir para o alcance de metas internacionais no combate a emissão de gases poluentes. Pelo lado econômico, ajuda a reduzir a necessidade de importação de derivados de petróleo bem como a melhorar regiões desfavorecidas, uma vez que coincidentemente, boa parte das localidades de maior potencial solar do mundo encontram-se nessas áreas, e como sabe-se e estudos comprovam, em consequência do aumento da produção de energia elétrica, benefícios são gerados já que se criam novas necessidades e demandas para população, pois a construção de uma central solar térmica originaria aumento de emprego devido às necessidades de serviços associados à construção da usina, os quais serão abarcados por empresas locais originando novos postos de trabalho.

Isto posto, fica fácil visualizar a grande vantagem de investimento nas centrais termo solares, pois trata-se de um tipo de tecnologia que pode produzir energia limpa em larga escala, contribuindo assim de maneira significativa para o reforço do sistema elétrico, aumentando a confiabilidade do mesmo e diminuindo ainda mais o risco de falhas de abastecimento de energia. Aliado a este benefício, a implementação das CSP's do tipo cilindro – parabólico possuem impactos nulos ou mínimos no meio ambiente, sobre os recursos hídricos e sobre a qualidade local do ar, uma vez que não emite CO₂ ou outros gases poluentes.

Dentre as diferentes tecnologias CSP, o sistema cilindro – parabólico até o momento possui um maior amadurecimento em relação aos outros, o que permite dizer que está preparada para usos em grandes proporções. Estas centrais termo solares são

formadas essencialmente por coletores cilindro – parabólicos que, por conseguinte são constituídos por uma superfície de espelhos. Estes espelhos tem a função de conduzir e concentrar os raios solares nos tubos absorvedores. Por ter esta forma encurvada de forma parabólica, estes sistemas maximizam a razão de concentração dos coletores, pois aumentam a focagem nos tubos de absorção o que eleva os níveis de eficiência do sistema.

Apesar de se obter um maior aproveitamento solar devido ao formato parabólico dos espelhos, os coletores captam apenas a radiação solar direta e por isso necessitam da implantação de sistemas de seguimento ou rastreio do sol, para que os níveis de captação solar durante o dia sejam maximizados. A conversão térmica para obtenção de eletricidade é realizada a partir de duas etapas onde se utilizam o vapor de exaustão das turbinas na primeira fase, para alimentação das turbinas seguintes, possibilitando assim uma eficiência maior em níveis absolutos.

As centrais termo solares possuem perspectivas extraordinárias se levado em consideração o seu alto rendimento e o baixo custo de produção de energia elétrica a longo prazo depois que o investimento tiver sido pago (Hoje em dia, estima-se em média 13 anos, a taxa de payback para tais usinas). Comparado com centrais termoelétricas, que utilizam em geral queima de combustível fóssil como o HFO (Heavy Fuel Oil), a rentabilidade das usinas termo solares torna-se bem superior, uma vez que depois do retorno do investimento ter sido alcançado, as taxas de lucro serão bem maiores, uma vez que o combustível de funcionamento é a radiação solar.

Desta forma, levando em consideração a alta rentabilidade a longo prazo bem como estudos econômicos realizados acerca desta tecnologia, pode-se concluir que comparada a outros modelos de aproveitamento de recursos naturais não poluentes, ou até mesmo face aos outros tipos existentes de tecnologia termo solar, constata-se que o sistema solar térmico cilindro – parabólico possui viabilidade, podendo então as empresas que apostarem em investir neste segmento obterem lucros elevados, uma vez que é de interesse político internacional que sejam fomentadas políticas de incentivos para disseminação de tecnologias para energias renováveis, como a solar térmica.

REFERÊNCIAS

CHIGUERU, T., FRAIDENRAICH, N. MOSZKOWICZ, et al. Atlas Solarimétrico do Brasil: Banco de Dados Terrestres. Recife: Ed. Universitária da UFPE, 2000.

ANEEL, Atlas de Energia Elétrica do Brasil, 2ª ed. Brasília: Agência Nacional de Energia Elétrica, 2005.

GREENPRO. Energia SolarTérmica: manual sobre tecnologias, projeto e instalação. 2004b. Disponível em: < <http://www.greenpro.de/po/solartermico.pdf>>. Acesso em: 26 de abril, 2017.

KALOGIROU, S. Solar energy engineering: processes and systems. USA: Elsevier, 2009.

LODI, C. Perspectivas para a Geração de Energia Elétrica no Brasil utilizando a Tecnologia Solar Térmica Concentrada. Dissertação de M.Sc., COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro, RJ, Brasil, 2011.

MILLER, A., LUMBY, B. Utility Scale Solar Power Plants: A Guide For Developers and Investors. International Finance Corporation, 2012. Disponível em: <<http://www1.ifc.org/wps/wcm/connect/04b38b804a178f13b377ffdd29332b51/SOLAR%2BGUIDE%2BBOOK.pdf?MOD=AJPERES>>. Acesso em: 19 fevereiro 2017.

SALGADO, José M^o Fernández; Guía Completa De La Energía Solar Térmica y Termoeléctrica; A. Madrid Vicente; 2008.

KENNEDY, C. E. Progress in Development of High Temperature Solar Selective Coating, National Renewable Energy Laboratory 2005.

PATNODE, A. M. Simulation and Performance Evaluation of Parabolic Trough Solar Power Plants. Master of Science. 271 p. Mechanical Engineering. University of Wisconsin. Madison, Estados Unidos. 2006.

BIANCHINI, H. M., Avaliação comparativa de sistemas de energia solar térmica. 2013 (Mestrado em Engenharia Elétrica) – Departamento de Engenharia Elétrica, Universidade Federal de Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2013.

PHILIBERT, Cédric. The Present and Future Use of Solar Thermal Energy as a Primary Source of Energy. Artigo, The InterAcademy Council, Paris, França: Internacional Energy Agency, 2005

ERSE. Estudo Sobre Sector Eléctrico e Ambiente 1o Relatório Impactos Ambientais do Sector Eléctrico; Lisboa; 2000.

EPE. Empresa de Pesquisa Energética. Análise da Inserção da Geração Solar na Matriz Elétrica Brasileira, Rio de Janeiro, 2012.

NREL. TroughNet-Parabolic Trough Solar Power Network. Disponível em: < <http://www.nrel.gov/csp/troughnet/> >. Acesso em: 26 de março, 2017.

EERE. Linear Concentrator System Basics for Concentrating Solar Power Disponível em: < <https://energy.gov/eere/energybasics/articles/linear-concentrator-system-basics-concentrating-solar-power> >. Acesso em: 26 de março, 2017

MARTINEZ, Alberto. Tecnología térmica solar: cilindro parabólica. Disponível em: < <http://desenchufados.net/tecnologia-termica-solar-cilindro-parabolica/> >. Acesso em 26 de março, 2017

(BATISTA, _____ 2008. < <http://www.transportesxxi.net/tmaritimo/investigacao/casadamaquina/turbinavapor/superheat> > Acesso em: 09 de março 2017.)

CRUZ, Ricardo. Disponível em: < <https://pt.slideshare.net/bowmanguimaraes/1-ciclo-rankine-1-36534773> >. Acesso em 26 de abril, 2017

CSPWorld, 2016. CSP World Map. Disponível em: < <http://www.cspworld.org/cspworldmap> >. Acesso em 25 de abril, 2017.

