

ESTADO DA ARTE SOBRE CONCENTRADORES SOLARES

Aluizio Assini Fernandes (aassini@hotmail.com)

Geraldo Lúcio Tiago Filho (gltiagofilho@gmail.com)

Márcia Regina Baldissera Rodrigues (mbaldissera@unifei.edu.br)

Resumo: Este artigo tem como finalidade abordar duas das principais formas de conversão de energia solar em energia elétrica, expor as quatro famílias de tecnologias de geração de concentradores, visando contribuir na diversificação das fontes de geração de energia limpa e renovável de forma a contribuir na diversificação das fontes para geração de energia elétrica.

Palavras-chave: Sistemas helotérmicos. Energia solar concentrada. Concentrador solar.

STATE OF ART ON SOLAR CONCENTRATORS

Abstract: This article aims to address two of the main ways of converting solar energy into electricity, exposing the four families of concentrator generation technologies, in order to contribute to the diversification of the sources of clean and renewable energy generation in order to contribute to the diversification of sources for electric power generation.

Keywords: Helper systems. Concentrated solar energy. Solar concentrator.

1. INTRODUÇÃO

A utilização do Sol como fonte de energia é um tema atual de grande importância no mundo todo que merece muita atenção por se tratar de um recurso renovável, abundante na natureza, com enorme potencial energético.

O Sol é o recurso natural mais antigo e mais utilizado pelo homem para sua sobrevivência. Antes da descoberta do fogo este recurso já era utilizado por nossos ancestrais para se orientarem, se aquecerem e conservarem seus alimentos, desidratando-os para consumirem posteriormente.

A necessidade de sobrevivência do homem aliado aos recursos naturais disponíveis na natureza e a busca por uma qualidade de vida melhor fez com que estes sistemas fossem desenvolvidos e aperfeiçoados ao longo do tempo.

Semelhante a outros sistemas de transformação de energia tais como a hídrica, eólica, mecânica, maremotriz e geotérmica, o recurso solar também necessita de equipamentos complexos em seu sistema, porém tem a grande vantagem de ter maior disponibilidade da fonte geradora (SOL) no processo de conversão e isto fez com que os sistemas heliostatos tivessem maior destaque.

De acordo com Ragheb (2011) com a evolução de equipamentos e processos, o desenvolvimento da tecnologia de coletores solares ocorreu nos Estados Unidos durante a década de 70. A ampliação desta tecnologia para a Europa se deu a partir do desenvolvimento de um cilindro parabólico utilizado para um projeto de demonstração de sistemas de geração de energia solar denominado SSPS/DCS (Small Solar Power Systems/DistributedCollector System).

Segundo Nascimento (2017) atualmente com várias tecnologias existentes, os coletores solares concentradores ou não concentradores apresentam diversas formas, tamanhos e aplicações. Os coletores não concentradores estão diretamente ligados nas pequenas unidades consumidoras por causa de sua baixa eficiência enquanto os coletores concentradores podem ser tanto ligados nas unidades consumidoras como podem ser interligados entre si constituindo as chamadas plantas solares, contribuindo cada vez mais com a matriz energética nacional.

De uma forma geral a conversão da energia solar em energia elétrica pode ser feita por meio de duas rotas principais: conversão fotovoltaica (direta) ou conversão térmica (indireta), como ilustra a Figura 4.

A conversão solar direta ocorre por meio de sistemas fotovoltaicos obedecendo ao princípio fotoelétrico, ou seja, a emissão de elétrons por alguns materiais quando expostos a radiações eletromagnéticas, como a luz solar, que é composta por fótons, que são partículas que transportam a energia contida nessa luz.

Segundo Lodi (2011) a conversão solar indireta consiste em converter a energia solar concentrada em energia térmica, onde o calor produzido é utilizado em um ciclo térmico convencional com emprego de turbinas a vapor (ciclo Rankine), turbinas a gás (ciclo Brayton), ou com a utilização de motores Stirling. O esquema básico de conversão da energia solar em energia mecânica e em eletricidade é mostrado na Figura 5.

Dentre os sistemas heliotérmicos existem quatro tecnologias de concentração solar denominadas de tecnologia (CSP) Concentrated Solar Power (CSP) que são as tecnologias Cilíndrico-parabólico, Fresnel, Torre central e Disco parabólico.

Segundo a revista Renováveis (2018) a principal vantagem das plantas solares com tecnologia CSP em relação às outras fontes renováveis intermitentes como a solar fotovoltaica e eólica está em fornecer à planta a capacidade de produzir energia elétrica sempre que houver demanda e de forma contínua. Esta tecnologia também permite a integração com sistemas denominados (TES) Thermal Energy Storage, utilizados em períodos de baixa insolação ou até mesmo durante a noite. O TES pode ser integrado em cada uma das tecnologias comercialmente disponíveis em larga escala.

Ainda segundo a revista Renováveis (2018) existem atualmente 94 sistemas de concentração solar em operação no mundo totalizando uma potência instalada de 5.206 MW. A Espanha e os Estados Unidos respondem por 77,8% desse total com capacidades de 2.304 MW (44,26%) e 1.745 MW (33,52%), respectivamente, liderando o ranking mundial de plantas em operação. Isto se deve ao fato de que ambos os países estabeleceram políticas de incentivo que impulsionaram a aplicação da tecnologia CSP.

Os Emirados Árabes Unidos inaugurou em 2016 a maior usina de Energia Solar Concentrada (CSP) do mundo. A usina Shams 1 está localizada em Abu Dhabi, com

capacidade instalada de 100 Megawatts, utiliza a tecnologia solar cilindro-parabólica mais inovadora, conta com 258 mil espelhos montados em 768 coletores cilindro-parabólicos, fornecendo energia para 20 mil residências (VEJA, 2016).

Segundo a BBC Brasil (2017) em 2018 foi construída em Israel a usina de Ashalim com a mais alta torre de concentração de energia solar. Com 250 metros de altura, possui 50.600 espelhos (heliostatos) controlados remotamente, distribuídos em uma área quadrada de 3 Km², que até 2020 irá produzir 121 Megawatts de energia, suficientes para iluminar 125 mil casas.

Diante do exposto acima podemos destacar que o estudo sobre concentradores solares é um tema de grande importância no que se refere a utilização de energia solar.

O objetivo deste trabalho se concentra em mostrar as diferentes tecnologias CSP em energia heliotérmica e apresentar o desenvolvimento de um protótipo utilizando uma dessas tecnologias.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

Para o desenvolvimento deste trabalho foram utilizados vários trabalhos acadêmicos e científicos como base de consultas sobre os principais sistemas que utilizam concentradores solares.

A partir das pesquisas iniciais foram realizados estudos mais aprimorados sobre as tecnologias atuais existentes sobre concentradores solares, contudo, serão exemplificadas quatro tecnologias de concentradores utilizados para geração de energia elétrica.

2.1. Tipos de concentradores

De acordo com Philibert (2010) atualmente existem quatro famílias de tecnologias de geração solar concentrada chamada de família (CSP) Concentrated Solar Power, que são: cilíndrico-parabólico, Fresnel, torre solar e disco parabólico. Essas tecnologias são categorizadas de acordo com o modo como é realizado o foco da radiação solar e o tipo de receptor, conforme apresentado no Quadro 1.

2.1.1. Tecnologia Fresnel

Segundo Kalogirou (2009, apud LOI, 2011) o formato do refletor linear de Fresnel se aproxima da forma do sistema cilíndrico-parabólico na qual se utiliza espelhos planos ou levemente curvados, quando estão alinhados e segmentados, refletem a radiação solar em um receptor fixo e linear com a face voltada para baixo. Este tipo de refletor linear Fresnel pode ter diferentes arranjos podendo atingir até 250 °C de temperatura. Os espelhos podem ser alinhados como uma parábola, conforme mostra a Figura 6.

Uma disposição diferente são tiras de espelhos devidamente posicionadas em terreno plano e a luz sendo concentrada em um receptor linear montado em uma torre, conforme mostra a Figura 7.

2.1.2. Tecnologia cilíndrico-parabólico

Segundo Kalogirou (2009, apud MALAGUETA, 2012) os coletores cilíndricos parabólicos são revestidos basicamente por um material refletor. Ao longo da linha de foco do refletor parabólico é colocado um tubo metálico preto por onde percorre o fluido coberto por um tubo de vidro para evitar perdas de calor denominado receptor. Quando a parábola é apontada para o Sol os raios solares são refletidos pela superfície e concentrados no receptor. A radiação concentrada aquece o fluido que circula internamente no tubo, conforme mostra a Figura 8.

Para este tipo de coletor cilíndrico-parabólico é construído um sistema de rastreamento do Sol com a inserção de um motor de passo acoplado ao eixo do concentrador cujo giro pode ser orientado no sentido leste-oeste, ou norte-sul de forma acompanhar o Sol em toda sua trajetória.

2.1.3. Tecnologia disco parabólico

Segundo Malaguetta (2012, apud CRESESB, 2012) neste tipo de concentrador o disco rastreia o Sol em dois eixos por um sistema de rastreamento controlado remotamente capaz de apontar o disco para o Sol. Por possuir uma concentração pontual e sistema de rastreamento em dois eixos, os discos possuem maiores taxas de concentração e por esta razão o coletor é mais eficiente, podendo atingir temperaturas mais altas (de 100°C a 1500°C). O disco pode operar de forma independente ou como parte de uma planta composta por vários discos, conforme mostra a Figura 9.

2.1.4. Tecnologia torre de concentração

Segundo a revista Renováveis (2018) a tecnologia de torre de concentração é composta por um arranjo contendo vários espelhos (heliostatos) planos ou levemente côncavos posicionados ao redor da torre central. Estes heliostatos possuem um sistema de rastreamento capaz de rastrear o Sol remotamente em dois eixos de forma a refletir os raios solares na direção de um receptor instalado no alto da torre central. O calor concentrado absorvido no receptor é transferido para um fluido térmico que pode ser armazenado e ou utilizado em um ciclo Rankine para produzir trabalho, conforme mostra a Figura 10.

Segundo Kalogirou (2009, apud CRESESB, 2012) a tecnologia torre de concentração possui a vantagem de ter uma planta com vários concentradores do tipo disco parabólico em volta da torre central, permitindo receber taxas maiores de concentração dos raios solares e podem atingir temperaturas de até 1500 °C, conforme mostra a Figura 11.

3. RESULTADO DO EXPERIMENTO REALIZADO NA UNFEI

3.1 Fórmulas utilizadas para o dimensionamento do Concentrador Solar

A primeira etapa deste projeto foi desenvolver um modelo do concentrador solar cilíndrico-parabólico a partir de cálculos de dimensionamento do ângulo de borda, distância focal e abertura do coletor.

Partindo da equação para determinação de uma parábola tem se que:

$$Y = a \cdot X^2 + b \cdot X + c \quad (1)$$

Considerando que a parábola segue uma equação do tipo “ $y=px^2$ ”, e após algumas relações trigonométricas entre as linhas de radiação incidentes e a curva da parábola, pode-se demonstrar que:

$$y = \left(\frac{1}{4f}\right) x^2 \quad (2)$$

Onde “ f ” é a distância focal (distância do vértice ao foco da parábola). A distância focal está mostrada na Figura 12.

O ângulo de borda é formado entre o segmento de reta que une o vértice ao foco e une o foco à extremidade da “costela”. Esse ângulo é representado na Figura 13.

A abertura do coletor é a distância entre as duas bordas da seção transversal do coletor, conforme mostra a Figura 14.

As três variáveis referentes a seção transversal do coletor podem ser correlacionadas de maneira a descrever completamente a seção transversal da superfície refletora. Essa relação é dada pela equação:

$$\text{Tang } \psi = \frac{(a/f)}{(1/8)(a/f)^2} \quad (3)$$

onde:

ψ = ângulo de borda

a = comprimento da área do coletor

f = distância focal

Colocando tudo em função do ângulo de borda, a equação fica da seguinte forma:

$$a/f = -\frac{4}{\text{tang}\psi} + \sqrt{\frac{16}{\text{tang}^2\psi} + 16} \quad (4)$$

A equação está representada no Gráfico 1.

Na Figura 15, é possível notar que para uma mesma abertura do coletor, a distância focal varia em função do ângulo de borda.

3.2 Cálculos utilizados para o dimensionamento do Concentrador Solar

Ângulos de borda pequenos ou grandes causam influências na energia térmica coletada, pois há uma relação direta com área de abertura do coletor, uma vez que o raio solar percorre uma grande distância até atingir o ponto focal, havendo assim um maior espalhamento. Ângulos entre 75° e 90° possibilitam bons desempenhos.

Adotando-se uma abertura do concentrador (a) de 1,12m e o ângulo de borda de 75° , calculou-se a altura do vértice até a borda da parábola utilizando o teorema de Pitágoras para determinar a geometria do concentrador solar.

$$\text{Tang } \beta = \frac{c}{b} \rightarrow \text{Tang } 75^\circ = \frac{0,56}{b} \rightarrow 3,732 = \frac{0,56}{b} \rightarrow b = \underline{0,15\text{m}}.$$

$$y = \left(\frac{1}{4f}\right)x^2 \rightarrow Y^2 = 4fx \rightarrow y = \sqrt{\frac{1}{4}}x \rightarrow y = \underline{0,53m.}$$

Na Figura 16 é possível ver a geometria da parábola do concentrador solar a partir dos cálculos realizados. Nas Figuras 17 e 18 é possível ver como ficou o concentrador solar.

3.3. Construção e testes iniciais com o concentrador solar parabólico

A partir dos cálculos foi possível realizar a modelagem das “costelas” feita por uma calandra, dando assim, forma ao sistema concentrador heliotermoeletrico de efeito Seebeck proposto. Após o término da montagem do concentrador solar, ajustado a altura do ponto focal, foram realizadas medições de temperaturas dos raios concentrados.

Nesta etapa foram realizadas várias medidas de temperatura na linha focal do concentrador solar devidamente posicionado com a face voltada para o norte geográfico. Entre os dias 10 e 20/01/2009 foram realizadas medidas de temperaturas que variaram de 78⁰C a 140⁰C no período da manhã e 160⁰C a 185⁰C no período da tarde, com variação de velocidade do vento entre 1,6 a 4,8 Km/h.

Embora preliminares, os resultados obtidos mostram-se promissores e poderão servir de base para o andamento da pesquisa, cujo objetivo é utilizar o sistema concentrador heliotermoeletrico de efeito Seebeck para gerar energia elétrica a partir dos raios solares concentrados.

4. REFERÊNCIAS

AMBIENTE ENERGIA. O que é e como funciona a energia heliotérmica. Disponível em: < <https://www.ambienteenergia.com.br/index.php/2014/02/o-que-e-e-como-funciona-energia-heliotermica/23874> >. Acesso em Outubro de 2018.

BBC BRASIL. Maior torre de energia solar do mundo é construída em deserto de Israel. Disponível em: < <https://www.bbc.com/portuguese/geral-41118402> >. Acesso em Maio de 2019.

CRESESB. Centro de Referência para as Energias Solar e Eólico Sérgio de s. Brito. Coletores Solares. Disponível em:

<http://www.cresesb.cepel.br/index.php?section=com_content&lang=pt&cid=561>.

Acesso em Novembro de 2018.

DGS. Deutsche Gesellschaft für Sonnenenergie. Planning and installing solar thermal systems: a guide for installers, architects, and engineers. (German Solar Energy Society), James & James Ltd, UK and USA. Disponível em: <http://www.cresesb.cepel.br/index.php?section=com_content&lang=pt&catid=161>. Acesso em Maio de 2018.

FERNANDES, A.E.F. Conversão de Energia com Células de Peltier. Universidade de Nova de Lisboa. Licenciatura em Engenharia Electrotécnica – Sistemas de Potência. Disponível em: <https://run.unl.pt/bitstream/10362/8084/1/Fernandes_2012.pdf>. Acesso em Novembro de 2018.

GÜNTHER, M.; JOEMANN, M.; CSAMBOR, S. Parabolic Trough Technology. In: ENERMENA (Jordânia). Advanced CSP Teaching Materials. Amman: Enermena, 2011. p. 245-317. Disponível em: <http://www.4shared.com/office/ZU40pNM-/chapter_05_parabolic_trough_te.html>. Acesso em Novembro de 2018.

KALOGIROU, S. A., 2009. Solar energy engineering: processes and systems. 1ª edição, Academic Press, Elsevier, EUA.

LARA, F. Metodología para el Dimensionamiento y Optimización de un Concentrador Lineal Fresnel. Inf. tecnol. vol.24 no.1 La Serena 2013. Disponível em: <https://scielo.conicyt.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0718-07642013000100013>. Acesso em Janeiro de 2019.

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

MALAGUETA, D. Geração heliotérmica princípios e tecnologias. CRESESB/CEPEL. Disponível em: <http://www.cresesb.cepel.br/download/tutorial/tutorial_heliotermica_2012.pdf>. Acesso em Março de 2019.

MATOS, R.M. Desenvolvimento de um concentrador parabólico. Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto. Mestrado Integrado em Engenharia Mecânica. Disponível em: <

repositório-aberto.up.pt/bitstream/10216/60359/1/000134848.pdf >. Acesso em Novembro de 2018.

NASCIMENTO, R. Energia solar no brasil: situação e perspectivas. Disponível em: < bd.camara.gov.br/bd/bitstream/handle/bdcamara/32259/energia_solar_limp.pdf? >. Acesso em Maio de 2019.

RAGHEB, M. Historical Perspective. University of Illinois at Urbana-champaign, Estados Unidos, 2011. Disponível em: <<https://netfiles.uniuc.edu/mragheb/www/NPE%20498ES%20storage%20Systems/Historical%20Perspective.pdf>>.

RENOVÁVEIS. Energias complementares. Disponível em: <https://www.osestoreletrico.com.br/wp-content/uploads/documentos/fasciculos/Edicao150-fasc%C3%ADculo-renovaveis.pdf> >. Ano 2. Edição 25. Acesso em Maio de 2019.

VEJA. Abu Dhabi inaugura maior usina de energia solar concentrada do mundo. Disponível em : < <https://veja.abril.com.br/ciencia/abu-dhabi-inaugura-maior-usina-de-energia-solar-concentrada-do-mundo/> >. Acesso em Maio de 2019.

PHILIBERT, C., FRANKL, P., DOBROTKOVA, Z. Technology roadmap: Concentrating Solar Power. International Energy Agency (IEA), 2010. Disponível em: < https://www.iea.org/publications/freepublications/publication/csp_roadmap.pdf >. Acesso em Março de 2019.

ANEXOS

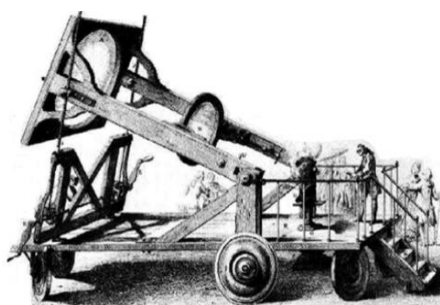


Figura 1- Lavoisier Solar Furnace
Fonte: Cresesb(2018)

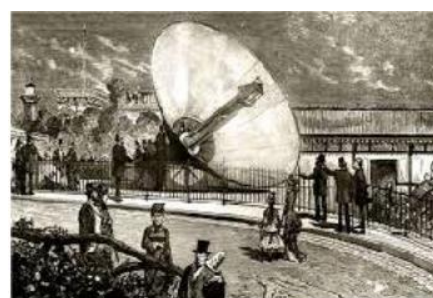


Figura 2 - Auguste Mouchout Solar Collector
Fonte: Kalogirou (2009)

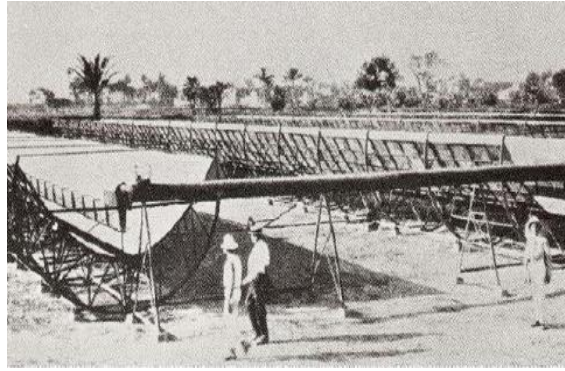


Figura 3 - Solar Plant for Water Pumping

Fonte: Ragheb (2011)

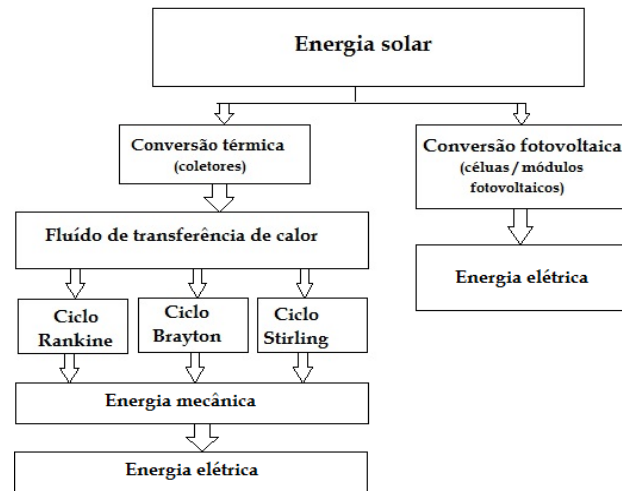


Figura 4 – Scheme of the routes of conversion of solar energy into electricity

Fonte: Adaptado de Lodi (2011)

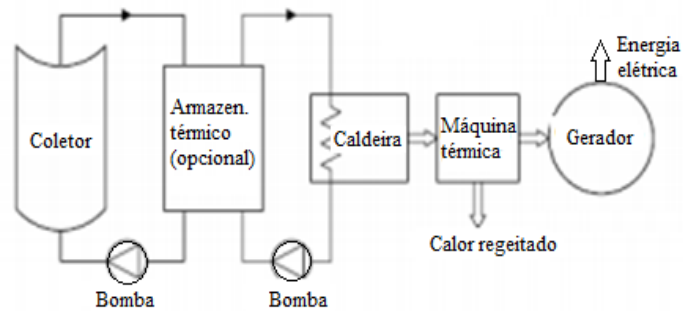


Figura 5 - Typical scheme of solar thermal conversion system

Fonte: Adaptado de Kalogirou (2009)

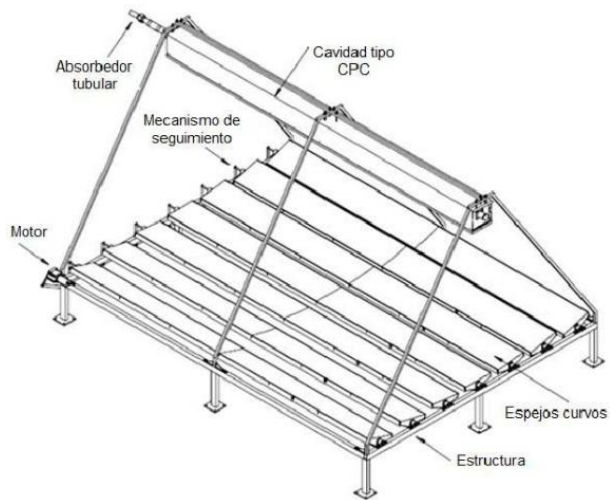


Figura 6 – Parábola type
Fonte: Lara et al (2013)

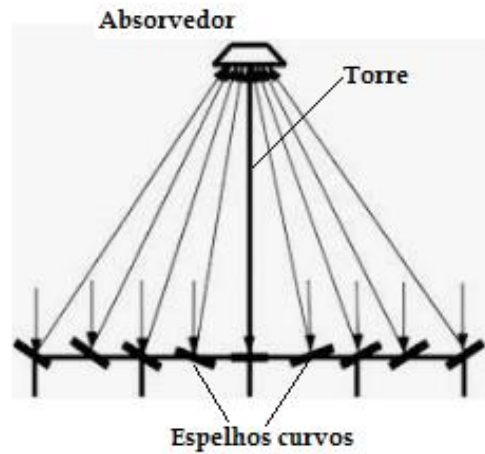


Figura 7 – Tower type
Fonte: Lara et al (2013)

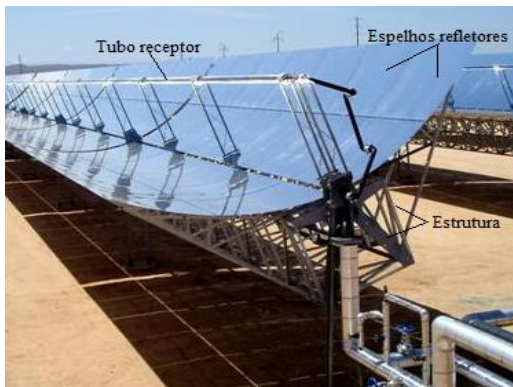


Figura 8 - Cylindrical solar parabolic concentrator
Fonte: Adaptado de Cresesb (2018)



Figura 9 – Solar concentrator parabolic disk
Fonte: Eco harmonia (2018)

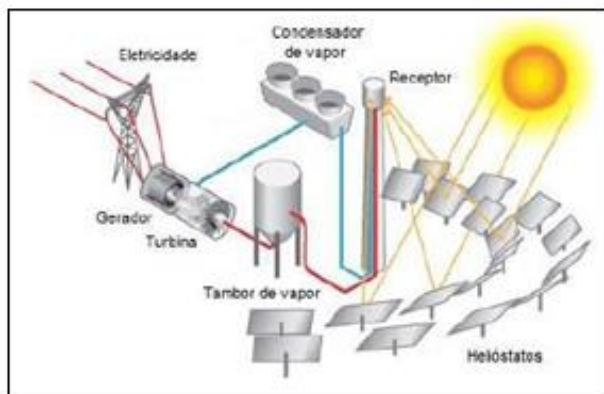


Figura 10–Sketch of a concentration tower
Fonte: DGS (2005)



Figura 11 – Concentration towers in Spain
Fonte: Cresesb (2018)

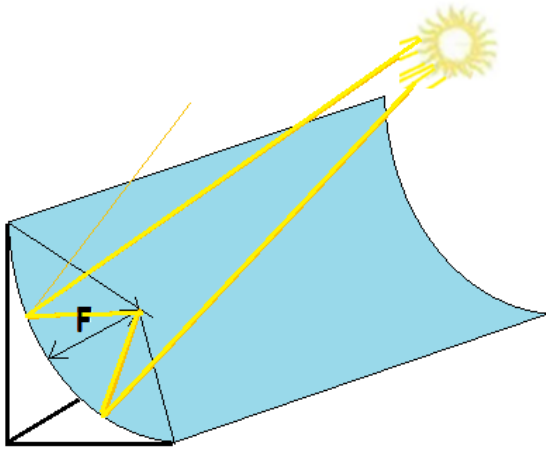


Figura 12 – distance from the focal point
Fonte: Própria autoria (2019)

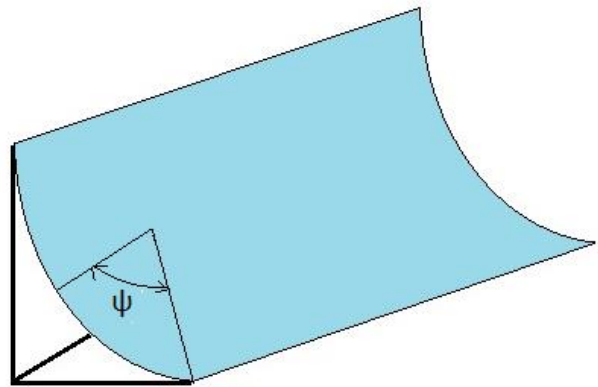


Figura 13 – Collector edge angle
Fonte: Própria autoria (2019)

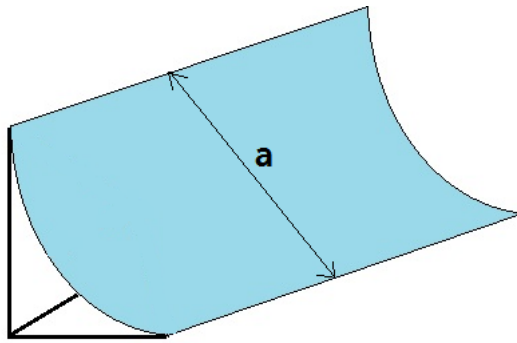


Figura 14 – collector opening distance
Fonte: Própria autoria (2019)

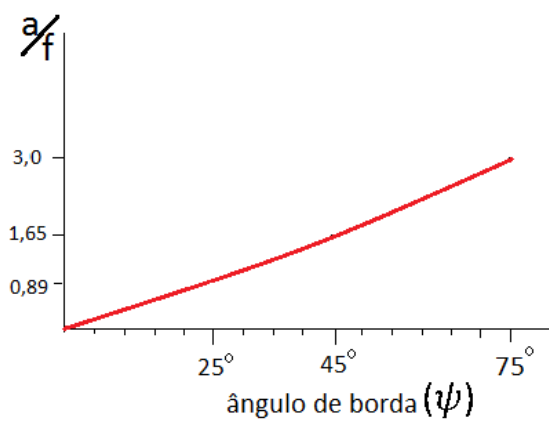


Gráfico 1 – Relationship between the edge angle and the ratio
Fonte: Própria autoria (2019)

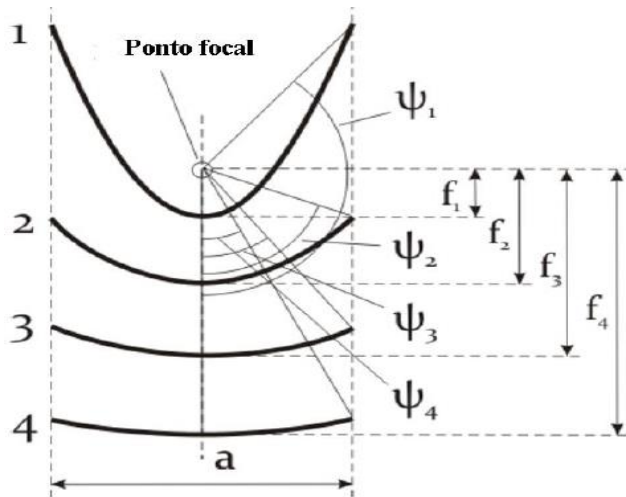


Figura 15 – Ratio between focal length and edge angle
Fonte: Günther et al (2011)

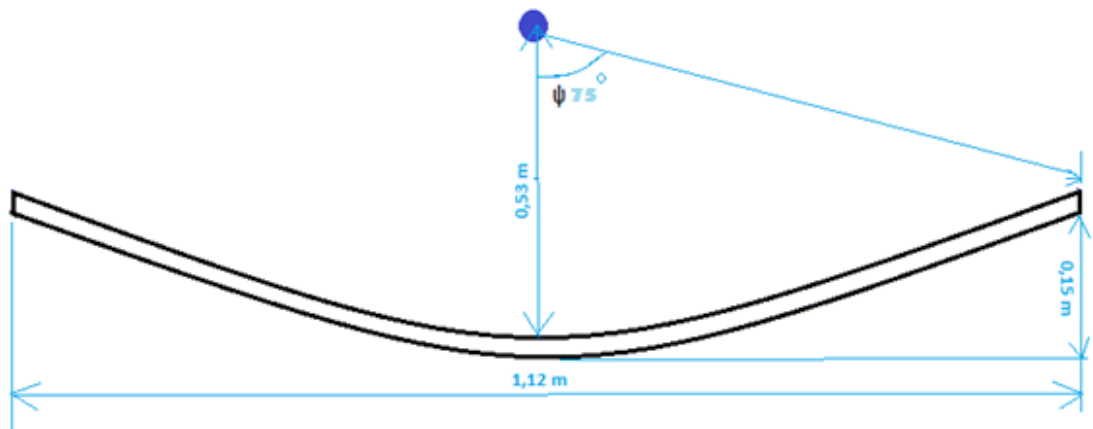


Figura 16 – Geometry of the solar concentrator
Fonte: Própria autoria (2019)



Figura 17 – Solar concentrator in test phase

Fonte: Própria autoria (2019)



Figura 18 – Solar concentrador in test phase

Fonte: Própria autoria (2019)

Quadro 1 –CSP Family

Tipo de receptor		Tipo de foco	
		Foco linear	Foco pontual
F i x o	Receptores fixos são dispositivos estacionários independentes do dispositivo de foco. Isto facilita o transporte do calor coletado para o bloco de geração.	Os coletores restringem o Sol ao longo de 1 eixo e focam a radiação em um receptor linear. O rastreamento é mais simples. Refletor linear tipo Fresnel	Os coletores rastreiam o Sol ao longo de 2 eixos e focam a radiação em um receptor pontual. Isto permite alcançar altas temperaturas. Torre solar
M ó v e l	Receptores móveis se movimentam junto com dispositivo de foco. Receptores móveis coletam mais energia.	Cilindro-parabólico	Disco parabólico

Fonte: Adaptado de Philibert et al (2010).