



## Grupo de Estudo de Geração Eólica, Solar e Armazenamento - GES

### A Plataforma Solar de Petrolina - CRESP

ALCIDES CODECEIRA NETO (1); JOSÉ BIONE DE MELO FILHO (2);  
CHESF – UPE (1); CHESF - IFPE (2)

#### RESUMO

Este artigo técnico tem como objetivo apresentar e descrever os projetos solares de Pesquisa e Desenvolvimento integrantes do Centro de Referência em Energia Solar de Petrolina - CRESP, ressaltando as diferentes tecnologias empregadas. Quando da apresentação de cada tecnologia também serão consideradas a originalidade do projeto, a sua aplicabilidade e a relevância do mesmo. Esses projetos tecnológicos representam uma oportunidade de trazer à Chesf o uso de tecnologias de alto nível em geração de energia solar, fotovoltaica e heliotérmica,

#### PALAVRAS-CHAVE

Energia Solar Fotovoltaica, Energia Heliotérmica, Tecnologias CSP, CRESP.

#### 1.0 - INTRODUÇÃO

A real necessidade da inserção das energias renováveis na composição da matriz elétrica Brasileira, face os diversos problemas ambientais decorrentes do uso crescente de combustíveis fósseis, e a diversificação da matriz energética utilizando combustíveis renováveis com vistas à segurança no abastecimento e redução das emissões atmosféricas, vêm contribuindo para que o setor elétrico promova os leilões de venda de energia elétrica provenientes de fontes não convencionais de energia limpa, primeiramente a biomassa e a eólica, e recentemente a solar fotovoltaica.

Alinhada com a política de sustentabilidade de geração de energia limpa, a Chesf contribui para o combate às emissões de gases do efeito estufa e para a proteção do clima global. A expansão do seu parque gerador está pautada no uso de energias renováveis, com destaque para as energias eólica e solar.

O aproveitamento da energia solar para a produção de energia elétrica pode ser efetuado por meio da transformação da irradiação solar diretamente em energia elétrica, pelo processo fotovoltaico, ou pelo aproveitamento da energia solar térmica proveniente da tecnologia de concentração da irradiação solar direta, produzindo vapor e integrando um ciclo termodinâmico convencional, geralmente um Ciclo Rankine, para produção de eletricidade. Essa tecnologia é denominada *Concentrated Solar Power (CSP)*.

O interesse da Chesf em participar de Projetos de Pesquisa e Desenvolvimento com foco em energia solar, como os Projetos Estratégicos das Chamadas Públicas da ANEEL 013/2011 (Energia Solar Fotovoltaica) e 019/2015 (Energia Heliotérmica), levou a Chesf a implantar o Centro de Referência em Energia Solar - CRESP na região do semiárido nordestino. Essa região do Nordeste Brasileiro é a região do país com os melhores índices de



incidência da irradiação solar direta e é a região onde a Chesf possui uma presença histórica tradicional, o que levou à sua implantação nesse município. O CRESF tem a finalidade de desenvolver e expandir o conhecimento científico e tecnológico em energia solar, no País.

O município de Petrolina, situado no Estado de Pernambuco, encontra-se em uma região com dados meteorológicos históricos, os quais atestam, em valores médios diários anuais, 7,8 horas de insolação, resultando em um alto nível de irradiação, em torno de 5,38 kWh/m<sup>2</sup>, e com temperatura ambiente média em torno de 30 °C.

O Centro de Referência em Energia Solar compreenderá a instalação de quatro projetos de Pesquisa e Desenvolvimento, os quais estão definidos a seguir:

- (i) Planta Fotovoltaica de 3,0 MWp, sendo uma planta fotovoltaica de 2,5 MWp utilizando tecnologia convencional, e uma planta tecnológica de 0,5 MWp, que utiliza várias tecnologias fotovoltaicas inovadoras com módulos de terceira geração (orgânicos e multijunção) e outros já existentes e comercializados;
- (ii) Planta heliotérmica com tecnologia CSP (*Concentrated Solar Power*) do tipo Receptor Central, com potência de 250 kW<sub>el</sub>, armazenamento térmico de sete horas a plena carga, operação do bloco de potência e com tecnologia de receptor volumétrico aberto (*Open Volumetric Receptor*);
- (iii) Planta heliotérmica utilizando a tecnologia CSP de Calha Parabólica, com potência de 1,0 MW<sub>el</sub>. Os coletores são revestidos por um material refletor em formato parabólico. Quando a parábola aponta para o sol, os raios diretos são refletidos pela superfície e concentrados no receptor. A radiação concentrada aquece o fluido que circula internamente no tubo. Os concentradores parabólicos são, atualmente, a tecnologia CSP mais utilizada no mundo para geração de calor, permitindo o aquecimento do fluido de trabalho a temperaturas de até 400 °C. A energia desse fluido poderá ser utilizada tanto para geração de energia elétrica como para calor de processo.
- (iv) Planta solar fotovoltaica em lagos de usinas hidrelétricas, realizado em parceria com a Eletronorte, com vistas à implantação de duas usinas fotovoltaicas flutuantes de 5 MWp, nos reservatórios das Usinas Hidrelétricas de Sobradinho, localizada no Estado da Bahia, e de Balbina, localizada no Estado do Amazonas. A implantação de cada uma das plantas fotovoltaicas está sendo dividida em duas etapas: instalação de 1 MWp em uma primeira etapa e 4Mwp em uma segunda etapa. No caso da planta fotovoltaica flutuante no lago de Sobradinho, a instalação e monitoramento desse projeto são considerados como parte do CRESF, embora, fisicamente, a usina esteja situada remotamente.

O CRESF está localizado em um perímetro destinado a projetos de irrigação, de atuação da Codevasf, denominado de Pontal Sul, Lote nº 1, situado a 46 km do município de Petrolina. O terreno utilizado abrange, aproximadamente, uma área de 45 hectares, sendo 10 hectares para as plantas fotovoltaicas, 13,20 hectares para a planta CSP de receptor central e 9,45 hectares para a planta CSP de calha parabólica.

Além das plantas solares, o CRESF também possui uma edificação para suporte às atividades de pesquisa e desenvolvimento a serem realizadas no local. A Figura 1, a seguir apresenta a área delimitada pelo CRESF, indicando a localização das três plantas solares e do edifício sede.

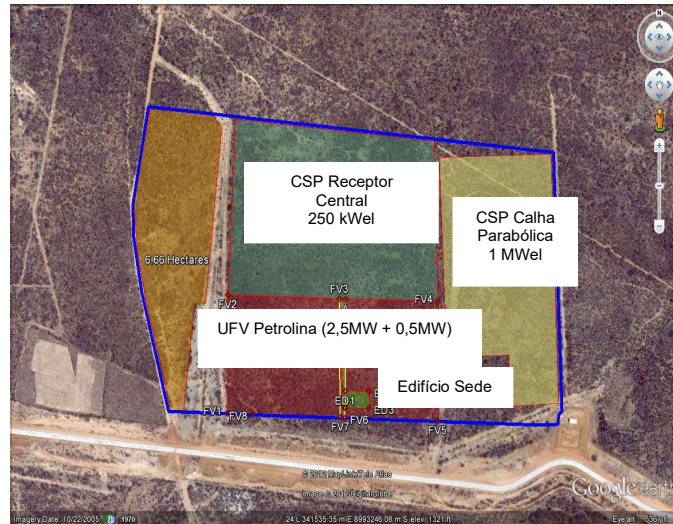


FIGURA 1 – Área delimitada pelo CRESA (Fonte: *Google Earth*)

Este Informe Técnico tem como objetivo apresentar e descrever os projetos solares de pesquisa e desenvolvimento integrantes do CRESA, ressaltando as diferentes tecnologias empregadas.

## 2.0 - PLANTAS SOLARES DO CRESA

A motivação dos projetos de pesquisa e desenvolvimento a serem instalados no CRESA está pautada na criação de um laboratório nacional de energia solar na cidade de Petrolina, estabelecendo as estruturas físicas, científicas e tecnológicas necessárias para fundamentar diferentes linhas de pesquisa nas áreas de energia solar fotovoltaica e heliotérmica, e garantir a continuidade da pesquisa e desenvolvimento dessas tecnologias. São quatro os projetos de P&D que compõem o CRESA: Planta Fotovoltaica de 3,0 MW<sub>p</sub>, Planta CSP de Receptor Central de 250 kW<sub>el</sub>, Planta CSP de Calha Parabólica de 1,0 MW<sub>el</sub>, e Planta Fotovoltaica Flutuante de 5 MW<sub>p</sub>.

### 2.1 UFV Petrolina e Planta Tecnológica

O projeto propõe o estudo e desenvolvimento de produtos e processos, visando ampliar as possibilidades de implantação, no Brasil, de sistemas e plantas fotovoltaicas operando com maior eficiência, menores custos e menores impactos ambientais.

A originalidade do projeto está presente na planta tecnológica, que utiliza soluções inovadoras com o emprego de módulos de terceira geração (orgânicos e multijunção), além de outros módulos já comercializados. O projeto também prevê o desenvolvimento de programas computacionais e de lógica de controle adaptativo para rastreadores, dispositivos inovadores em conversão de corrente contínua em corrente alternada de alto ganho (eficiência) e de baixo custo, e protocolo de identificação de falhas em usinas fotovoltaicas, que poderão gerar propriedade intelectual /patentes.

Além da inovação inerente ao projeto de P&D, processos de aprendizagem poderão incluir a identificação e incorporação da indústria nacional especializada em áreas fins à geração de energia elétrica fotovoltaica, quais sejam: eletrônica de potência, sistemas de controle, e proteção e falhas em sistemas elétricos.

A implantação do projeto em uma região do semiárido do Nordeste Brasileiro poderá torná-la atrativa para a continuidade de investimentos em geração de energia solar, referenciando a importância do CRESA para a região.



A aplicabilidade dos produtos gerados, inerentes à planta fotovoltaica base de 2,5 MWp e à planta tecnológica de 0,5 MWp, se insere no próprio contexto das empresas do setor elétrico nacional, bem como nos pilares das universidades e instituições de pesquisa responsáveis pela execução do projeto de P&D.

A planta tecnológica de 0,5 MWp será composta por módulos de diferentes materiais de terceira geração, tais como módulos orgânicos (OPV), módulos com células de multijunção (MJ) e módulos de alta concentração (HCPV) [3], além das tecnologias CIGS (cobre-índio-gálio-selênio), CdTe (telureto de cádmio), Silício Amorfo, Silício Monocristalino e Silício Policristalino. Também serão instalados e estudados sistemas fotovoltaicos com rastreamento em um e dois eixos, para determinação das vantagens e desvantagens desses sistemas com relação às centrais fotovoltaicas com sistemas fixos.

As tecnologias com módulos orgânicos (OPV) e com módulos de alta concentração (HCPV) foram escolhidas por apresentarem nos últimos anos eficiências com forte crescimento e disponibilidade de aquisição, sendo os módulos orgânicos (OPV) com fabricação nacional. A tecnologia fotovoltaica de alta concentração (HCPV) é a tecnologia fotovoltaica com a possibilidade de atingir as mais altas eficiências, com um recorde de 46% [2].

Mesmo tendo sido instalados sistemas com tecnologias de primeira e segunda geração em outros projetos de pesquisa e desenvolvimento, no âmbito da Chamada ANEEL 013/2011 – Projeto Estratégico: “Arranjos técnicos e Comerciais para Inserção da Geração Solar Fotovoltaica na Matriz Energética Brasileira”, alguns resultados de projetos de pesquisa apresentaram difícil interpretação, como por exemplo, uma comparação entre sistemas de diferentes tecnologias mostrou indicadores de desempenho para sistemas de Silício amorfo - a-Si (93,3%), muito acima de tecnologias consagradas como o Silício monocristalino (83%) e o Silício policristalino (82,2%) [4].

Esses resultados indicam que para garantir um sistema fotovoltaico operando adequadamente, com alta eficiência, deve-se atentar tanto para a escolha das tecnologias dos módulos e inversores, quanto para a aplicação das melhores práticas de interligação dos arranjos. Nesse sentido, propõe-se instalar e monitorar os sistemas fotovoltaicos de diferentes tecnologias, considerando-se as melhores configurações de arranjos. Diferentes arquiteturas de arranjos, partindo de microinversores de 200 VA até inversores de alta potência, serão modeladas, simuladas e colocadas em operação na planta tecnológica de 0,5 MWp, a fim de se avaliar a que apresenta a maior eficiência global, o menor custo e a maior confiabilidade.

A caracterização de todas as tecnologias, tanto dos módulos (ensaios para obtenção dos parâmetros óticos, parâmetros elétricos, comportamento da geração de energia elétrica em diferentes temperaturas, irradiâncias e suas componentes), bem como dos inversores (fator de carga e eficiência, ensaios dos parâmetros elétricos) e a simulação prévia com softwares existentes e programas / modelos desenvolvidos, serão as ferramentas utilizadas para prever a geração de energia elétrica e para comparar as tecnologias e os sistemas. O Silício cristalino (c-Si) é a tecnologia mais difundida e estabelecida no mercado fotovoltaico mundial. Ainda assim, existe uma variedade de módulos produzidos com diferentes processos de fabricação e características.

Faz parte desse projeto de pesquisa e desenvolvimento identificar um conjunto de tecnologias de Silício cristalino (c-Si) avançadas, como módulos de alta eficiência para operação em 1,5 kV, implementar subsistemas com estas tecnologias na planta tecnológica de 0,5 MWp, e avaliar o seu desempenho energético e econômico, bem como a sua adequação às condições da região do semiárido do Nordeste Brasileiro.

Buscando-se atingir um bom desempenho para a planta base de 2,5 MWp, o projeto propõe também a pesquisa e o desenvolvimento de um programa inovador para a operação e manutenção da planta fotovoltaica. Foram realizadas propostas de detecção de falhas em centrais fotovoltaicas utilizando duas abordagens, uma de caráter analítico (modelagem de todo o sistema) e outra de caráter estatístico (estatística não paramétrica). Os procedimentos propostos serão desenvolvidos e validados. A aplicação desses procedimentos permitirá minimizar as perdas de geração da planta fotovoltaica. Ainda com relação à Planta Base, propõe-se desenvolver um algoritmo de seguimento do ponto de máxima potência global (GMPPT) de um arranjo fotovoltaico com sombreamento parcial. A motivação é obter um desempenho dinâmico superior aos existentes no processo de busca pelo ponto de máxima potência global (GMPPT) do arranjo. Tal algoritmo possibilitaria incrementar a energia extraída do sistema fotovoltaico com sombreamento parcial.

Adicionalmente, propõe-se um amplo estudo teórico de modelagem, e experimental, sobre o efeito da sujidade nas perdas de potência dos módulos fotovoltaicos da planta base de 2,5 MWp. A caracterização e avaliação da

sujidade serão realizadas por meio de análises da composição físico-química das partículas e de imagens aéreas da planta. Serão também avaliadas as diferentes tecnologias de limpeza de painéis fotovoltaicos para definição da melhor proposta para esse sistema.

Outras atividades do projeto incluem a realização de ações com os dados de monitoramento da planta base de 2,5 MWp e da planta tecnológica de 0,5 MWp, bem como a realização de campanhas de medição de radiação, com proposta de modelos com base em dados medidos e em imagens de satélite. Um banco de dados dará suporte à organização dessas informações.

O projeto da Planta Tecnológica de Petrolina foi orçado em R\$ 23.959.310,11 e será desenvolvido em 36 meses por três instituições de ensino superior: Universidade Federal de Pernambuco – UFPE, Universidade Federal do Vale do São Francisco – UNIVASF, e Universidade de Pernambuco – UPE; e duas instituições de pesquisa: o Centro de Pesquisa de Energia Elétrica da Eletrobras - Cepel, e a Fundação para Inovações Tecnológicas – FITEC.

A Figura 2, a seguir, mostra o edifício Sede e uma vista aérea da Planta Fotovoltaica Base de 2,5 MWp, que se encontra em operação no CRESP.



FIGURA 2 – CRESP - Fachada do Edifício Sede e Planta Fotovoltaica Base de 2,5 MWp

## 2.2 Planta CSP de Receptor Central

O Projeto de pesquisa e desenvolvimento da Planta CSP de Receptor Central, tecnologia esta também conhecida por Torre Central, foi denominado de “Chesf Torre Central 1”, tendo sido originado quando do lançamento da Chamada ANEEL 019/2015 – Projeto Estratégico: “Desenvolvimento de Tecnologia Nacional de Geração Heliotérmica de Energia Elétrica”, a fim de estudar as energias heliotérmicas, internacionalmente conhecidas como CSP (*Concentrated Solar Power*), que se encontram em processo de expansão no âmbito mundial. Esta tecnologia tem como principais vantagens a opção de armazenar o calor, e assim gerar eletricidade e/ou calor de processo, mesmo quando da ausência da irradiação solar. Essa associação da tecnologia heliotérmica com armazenamento térmico contribui para uma maior estabilidade de curto prazo na geração de energia, aumentando o fator de capacidade e despachabilidade da planta heliotérmica.

Considerando que o Nordeste Brasileiro é a região do país com os melhores índices de incidência de irradiação solar direta no país, e diante do fato da Chesf possuir uma presença histórica tradicional nessa região, tais afirmações constituem mais um fator motivador para a empresa contribuir no desenvolvimento dessa tecnologia, que poderá vir a ser mais uma fonte na diversificação do parque de geração de eletricidade. Na ocasião do lançamento da Chamada ANEEL 019/2015, foram dadas sinalizações por parte dos agentes de planejamento e regulação, da inclusão dessa tecnologia heliotérmica em leilões de energia específicos, em um futuro próximo.

A ideia de promover a diversificação da matriz energética nacional e a possibilidade de contribuir para alavancar o desenvolvimento de uma cadeia produtiva da indústria nacional na área da energia heliotérmica também motivou a Chesf a participar dessa Chamada de P&D Estratégico da ANEEL.



Ao definir a Chamada Pública para selecionar propostas de projetos a serem submetidos à ANEEL em atendimento à chamada 019/2015, procurou-se referenciar a algum empreendimento já existente no mundo e realizar estudos comparativos às inovações que estão sendo obtidas.

Quando da escolha da proposta de projeto intitulada "Chesf Torre Central 1", definiu-se pela construção de um protótipo com as seguintes características:

- Tecnologia de Torre Central, com dois receptores, sendo um para geração de energia elétrica, e outro para testes de materiais sob condições de altas temperaturas (cerca de 1.000° C) com potência instalada de até 5 MWe, e com comercialização da energia gerada;
- Análises das características dos componentes e equipamentos a serem utilizados, para as condições climáticas locais;
- Análise de tecnologias de armazenamento térmico disponíveis, e construção de um protótipo, com cinco horas equivalentes a plena carga;
- Campanha de medição de irradiação solar direta em estações terrestres, com tratamento estatístico dos dados obtidos, conforme procedimentos e guias de boas práticas internacionalmente conhecidas.
- Desenvolvimento de modelo analítico de radiação considerando dados de estações terrestres e de dados de radiação de satélite, com vistas à Implantação de um sistema de banco de dados para aquisição e monitoramento, análise e controle das informações indispensáveis à avaliação do desempenho técnico e econômico do projeto;
- Análise dos impactos do empreendimento na rede elétrica, na operação e manutenção, e no planejamento, e análise dos limites de conexão na estrutura atual;
- Análise da legislação pertinente do setor elétrico incluindo geração, conexão e uso da rede elétrica, comercialização da energia, compatibilização com a legislação ambiental local, bem como análise das implicações socioeconômicas, de forma a constituir estudo dos aspectos regulatórios referentes a essa tecnologia, bem como possíveis sugestões a mudanças no marco regulatório, visando a uma melhor adequação das características dessa tecnologia para o Sistema Interligado Nacional;
- Elaboração de estudos de simulação do projeto com as tecnologias CSP (calha parabólica, torre central e Fresnel Linear) para o CRESF, bem como comparações com resultados reais a partir de softwares desenvolvidos para modelagem de CSP, em particular o Thermoflow.

#### 2.2.1. A Tecnologia CSP de Torre Central com Receptor Volumétrico Aberto (OVR)

A tecnologia CSP de Torre Central com Receptor Volumétrico Aberto (*Open Volumetric Receptor* - OVR) já é utilizada com segurança para geração de energia elétrica, possuindo um baixo impacto ambiental. O preço da energia gerada com o uso dessa tecnologia pode ficar entre 0,41 e 0,62 R\$/kWh, podendo haver uma redução de custos para um valor entre 0,12 a 0,21 R\$/kWh, com o avanço do uso e da transferência dessa tecnologia no país, contribuindo para a sua nacionalização e desenvolvimento.

A tecnologia CSP de Receptor Volumétrico Aberto (OVR) é inovadora a nível internacional e está em fase de desenvolvimento e demonstração, com possibilidade de produção em escala comercial. Atualmente, não existe um projeto que utilize essa tecnologia no Brasil, não havendo uma possibilidade de análise técnica comparativa. Essa tecnologia é especialmente adequada para as condições meteorológicas do Nordeste Brasileiro, se considerando como base as conhecidas nuvens "pipoca", que podem causar elevados gradientes térmicos na superfície do receptor volumétrico aberto, devido às frequentes mudanças na radiação solar. Em contraste com os receptores de tubos de aço, fechados e pressurizados, que são usados pelas demais tecnologias de torre solar, o receptor volumétrico aberto é construído com material cerâmico, não é pressurizado e pode ser operado de modo dinâmico.

Para a concepção do receptor volumétrico aberto a ser utilizado no projeto, espera-se que a partida da planta, no período da manhã, seja inferior a 15 minutos, e após um período mais longo de cobertura de nuvem, seja inferior a 5 minutos. A partida do receptor volumétrico aberto é muito mais rápida quando comparada com a partida utilizando receptores de tubos de aço, o que proporciona para esse tipo de planta CSP de torre central uma geração de energia elétrica mais elevada, especialmente perante as condições meteorológicas do Nordeste Brasileiro.

A tecnologia de receptor volumétrico aberto é aplicável em qualquer condição de carga, adaptando-o ao tamanho do campo de heliostatos e do sistema de armazenamento de energia térmica. Em combinação com a tecnologia solar já existente no CRESF, incluindo o laboratório multiusuário a ser instalado no local, tem-se então as condições ideais para a implantação dos projetos de P&D com utilização da energia solar fotovoltaica e heliotérmica de alta qualidade. Em um contexto geral, diante do conhecimento a ser adquirido com a implantação desses projetos, a CHESF estará habilitada para fortalecer e acelerar a sua estratégia nessa área tecnológica.

A Figura 3 apresenta a configuração da planta CSP do projeto de P&D “Chesf Torre Solar 1”, ressaltando o campo solar e o bloco de potência, esse último um Ciclo Rankine Orgânico (ORC). Durante a operação da usina, a potência de alimentação do receptor depende da radiação concentrada do campo de energia solar; durante a passagem de nuvens, o receptor pode lidar com as flutuações no fluxo solar de forma eficiente, e sem qualquer risco operacional. Dessa forma, o sistema de armazenamento térmico pode fornecer energia térmica para o bloco de potência de forma suave e sem interrupção.

As características técnicas da planta CSP de torre central do Projeto “Chesf Torre Solar 1” estão apresentadas na Tabela 1.

A planta piloto de 250 kW<sub>el</sub> com tecnologia CSP de torre central a ser instalada no CRESF não tem como alcançar custos comercialmente competitivos, face à sua potência instalada reduzida. O objetivo geral do projeto de P&D é, principalmente, gerar dados operacionais, provar a viabilidade de tecnologias no no semiárido do Nordeste Brasileiro e criar uma cadeia de fornecimento local.

TABELA 1 – Características Técnicas da Planta CSP do Projeto “Chesf Torre Solar 1”

Potência Térmica	1,0 MW <sub>th</sub>
Potência Elétrica	250 kW <sub>el</sub>
Armazenamento Térmico a Plena Carga	7 horas
Fluido de trabalho utilizado no Armazenamento	Ar
Área aproximada da superfície de um heliostato	14,27 m <sup>2</sup>
Número de Heliostatos	1600
Área Total do Campo de Heliostatos	22.832 m <sup>2</sup>



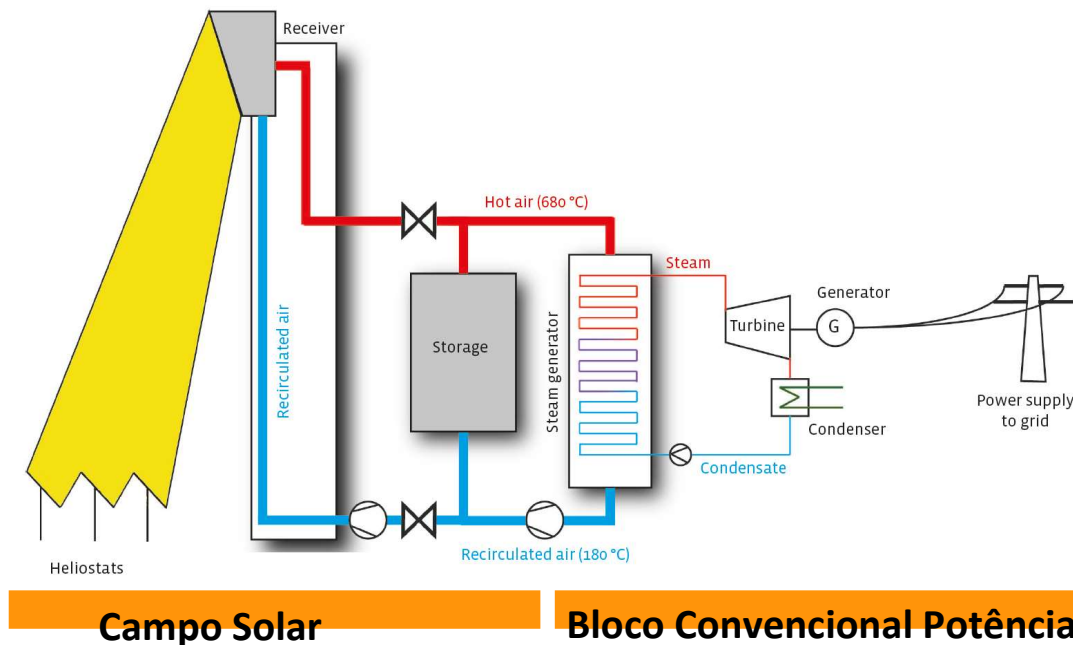


FIGURA 3 – Configuração da Planta CSP do Projeto de P&D Chesf Torre Central 1

O projeto da Torre Central foi orçado em R\$ 49.291,857,55 e será desenvolvido em um período de 48 meses pelas seguintes instituições de ensino e pesquisa: Fundação Cearense de Pesquisa e Cultura – PCPC, que englobará a Universidade Federal do Ceará - UFC, Universidade Federal do Rio Grande do Norte – UFRN, Universidade Federal do Piauí – UFPI, e Universidade Federal do Vale do São Francisco – UNIVASF. O projeto será desenvolvido pela empresa alemã Kraftanlagen München - KAM e sua subsidiária IA Tech, hoje pertencente à empresa francesa Bouygues, o Deutschen Zentrums für Luft- und Raumfahrt – DLR, e a empresa Arcadis. No momento atual, a Chesf está desenvolvendo os esforços necessários para contratação do projeto.

### 2.3 Planta CSP de Calha Parabólica

O projeto da planta heliotérmica com tecnologia CSP de calha parabólica surgiu em 2010 a partir de um acordo de cooperação técnica celebrado entre o Ministério de Minas e Energia – MME e o Ministério de Ciência, Tecnologia e Inovação – MCTI, com o objetivo de lançar as bases para o desenvolvimento científico e tecnológico do aproveitamento da energia solar heliotérmica na região semiárida do Nordeste Brasileiro.

Em 2011 foi realizada a contratação, no âmbito de um Convênio de Cooperação Técnica e Financeira entre o MME e o Cepel, da empresa espanhola *Solar Technology Advisors (STA)*, “spin-off” do Ciemat, para elaboração do projeto conceitual e básico de uma planta heliotérmica de 1,0 MW, sob orientação e coordenação do Cepel. Em 2012 o Cepel elaborou uma proposta para implementação da planta CSP de calha parabólica de 1 MW, tendo a mesma sido aprovada pela FINEP. Esse projeto recebeu o nome de HELIOTHERM. A princípio, o Cepel seria a entidade executora do projeto, em parceria com a Chesf, tendo a participação da Universidade Federal de Pernambuco – UFPE como entidade coexecutora, e contando ainda com a participação financeira da Secretaria de Ciência e Tecnologia do Estado de Pernambuco – SECTEC-PE.

Com a criação do CRESP, e considerando atrasos contingenciais na contratação do projeto, o mesmo foi redefinido para ser um dos projetos a compor esse centro de pesquisa em energia solar. Atualmente o projeto HELIOTHERM de 1,0 MW<sub>el</sub> está orçado em R\$ 56.000.000,00 e encontra-se em negociação entre a Chesf e as entidades executoras, CEPEL e UFPE, com possibilidade de participação da Petrobras.



A planta CSP de Calha Parabólica utilizará como bloco de potência um Ciclo Rankine convencional, além do campo solar, constituído por concentradores de espelhos do tipo cilindro-parábola que refletem os raios solares incidentes, concentrando-os no foco, em um tubo absorvedor de calor que contém em seu interior o fluido térmico utilizado.

Os sistemas parabólicos de alta concentração atingem temperaturas bastante elevadas, limitadas a 500 °C por restrição do tubo absorvedor. Os índices de eficiência variam entre 22% e 25% de aproveitamento da energia solar incidente sobre eles.

A Tabela 2, a seguir apresenta as principais características técnicas da planta HELIOTHERM.

A Figura 4, a seguir, apresenta uma configuração básica de uma Planta CSP de Calha Parabólica a ser usada no Projeto HELIOTHERM de 1,0 MW.

TABELA 2 – Características Técnicas da Planta CSP do Projeto “HELIOTHERM”

Potência Elétrica	1,2 MW <sub>el</sub>
Temperatura do Vapor d'água	375 °C
Pressão do Vapor d'água	40 bar
Produção Anual de Energia (Estimada)	1967,0 MWh
Área dos Espelhos	9.936 m <sup>2</sup>
Número de Loops / Coletores	3 loops, cada com 4 coletores
Comprimento de cada coletor	150 m

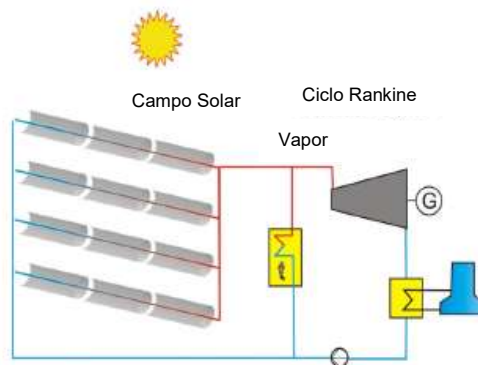


FIGURA 4 – Configuração da Planta CSP do Projeto de Calha Parabólica

#### 2.4 UFV Flutuante no Lago de Sobradinho

A planta solar fotovoltaica flutuante no lago da UHE Sobradinho está em fase final de implantação. O projeto de P&D visa atender a uma potência instalada de aproximadamente 5 MWp, contando com a presença de 19.230 painéis solares, passível de futuras expansões. A usina será diretamente conectada ao sistema elétrico através de uma rede de 13,8 kV conectada à própria subestação da usina hidrelétrica, pertencente à CHESF. A usina utilizará uma área de 55 mil metros quadrados para a sua instalação e será capaz de gerar energia suficiente para abastecer 9.000 residências, produzindo cerca de 8100 MWh por ano. Nessa primeira etapa básica de implantação do sistema, está sendo instalada uma potência de 1,0 MWp.

Quando em operação, esse será o primeiro projeto que trata de uma usina fotovoltaica flutuante instalada no lago de uma hidrelétrica no Brasil, com relevância e utilidade para todo o setor elétrico nacional. O estudo de pesquisa e desenvolvimento tem como objetivo analisar a interação da planta fotovoltaica com a operação da usina hidrelétrica, focando em fatores como a radiação solar incidente no local, o impacto do sombreamento

sobre a lâmina d'água, a produção de energia elétrica, o transporte, instalação e fixação no fundo dos reservatórios, a complementaridade da energia elétrica gerada e o escoamento dessa energia.

Essa primeira etapa do projeto da planta fotovoltaica flutuante no lago da UHE Sobradinho se enquadra no critério de minigeração distribuída que utiliza fonte de base solar fotovoltaica, uma vez que a mesma tem uma potência instalada de 1004,64 kWp, conforme a nova regulamentação da ANEEL (Resolução Normativa nº 687/2015), conectada na rede de distribuição por meio da subestação existente da usina hidrelétrica local.

A Figura 5, a seguir, apresenta uma foto do estágio atual da implantação da usina fotovoltaica flutuante.



FIGURA 5 - Estágio atual da implantação da usina fotovoltaica flutuante e sua localização  
(Fonte: Autor / Google Earth)

### 3.0 - CONCLUSÃO

Este artigo técnico tem como objetivo apresentar e descrever os projetos solares de Pesquisa e Desenvolvimento integrantes do Centro de Referência em Energia Solar de Petrolina - CRESP, ressaltando as diferentes tecnologias empregadas. Esses projetos tecnológicos representam uma oportunidade de trazer à Chesf o uso de tecnologias de alto nível em geração de energia solar, fotovoltaica, incluindo o uso de tecnologias inovadoras com módulos de terceira geração, além da planta flutuante, e a tecnologia heliotérmica CSP (*Concentrated Solar Power*) de calha parabólica e de receptor central.

Os projetos de pesquisa e desenvolvimento constituintes do CRESP serão relevantes para a inserção e desenvolvimento das tecnologias solares (fotovoltaica e heliotérmica), buscando a sua nacionalização no mercado Brasileiro, além de promover a capacitação técnica das equipes da Chesf e das entidades executoras, como universidades e centros de pesquisa. Com a implantação desses projetos de P&D busca-se a geração de novos processos, produtos e conhecimentos, e a criação de novos modelos matemáticos, econômicos e financeiros que levam ao desenvolvimento de softwares específicos voltados para o controle e operação dessas plantas solares.

### 4.0 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- (1) Lovegrove, K., Stein, W., Concentrating Solar Power Technology: Principles, Developments and Applications. Woodhead Publishing Limited, Cambridge, 2012.
- (2) NREL - <https://www.nrel.gov/pv/assets/images/efficiency-chart.png>, 2017.
- (3) Ely e Swart. Espaço IEEE: O Setor Elétrico / Outubro de 2014, 138-139.
- (4) Nascimento et al. Anais do VI Congresso Brasileiro de Energia Solar 2016.
- (5) Duffie, John A.; Beckman, William A.; Solar Engineering of Thermal Processes; 4<sup>th</sup> Edition, Wiley, 2013.



**XXV SNTPEE**  
**SEMINÁRIO NACIONAL DE PRODUÇÃO E**  
**TRANSMISSÃO DE ENERGIA ELÉTRICA**

4425  
GES/30

10 a 13 de novembro de 2019  
Belo Horizonte - MG

(6) ANEEL; Manual do Programa de Pesquisa e Desenvolvimento Tecnológico do Setor de Energia Elétrica, 2012.

(7) Sunlution; Pré-Projeto Básico da Usina de 1 MW Sobradinho – BA – Projeto de P&D “Exploração de Energia em Lagos de Usinas Hidrelétricas.

#### 5.0 - DADOS BIOGRÁFICOS



**Alcides Codeceira Neto** possui MSc e PhD em Engenharia Mecânica pela Cranfield University - Inglaterra, na área de Ciências Térmicas, é professor da Escola Politécnica da Universidade de Pernambuco - UPE e Engenheiro da Assessoria de Pesquisa, Desenvolvimento e Inovação da Chesf.

**José Bione de Melo Filho** possui DSc em Tecnologias Energéticas Nucleares pela UFPE, é professor do Instituto Federal de Pernambuco – IFPE e Gerente da Assessoria de Pesquisa, Desenvolvimento e Inovação da Chesf.