

AVALIAÇÃO TÉCNICO-ECONÔMICA DE UM PROJETO HÍBRIDO TERMOSSOLAR-BIOMASSA

Alcides Codeceira Neto – alcidesc@chesf.gov.br

Eduardo de Aguiar Sodré – easodre@chesf.gov.br

CHESF / UPE

Pedro Bezerra de Carvalho Neto – pbezerra@chesf.gov.br

Francisco José Maciel Lyra – flyra@chesf.gov.br

CHESF

RESUMO: O aproveitamento da energia solar para a produção de energia elétrica pode ser efetuado por meio da transformação da radiação solar diretamente em energia elétrica pelo processo fotovoltaico ou pelo aproveitamento da energia solar térmica proveniente da tecnologia de concentração da radiação solar direta, produzindo vapor e integrando um ciclo termodinâmico convencional turbo-gerador para produção de eletricidade. Essa tecnologia é mundialmente denominada Concentrating Solar Power (CSP). Para o desenvolvimento de empreendimentos com tecnologia CSP é necessária uma avaliação do potencial solar a partir da medição do DNI (Direct Normal Irradiance), ou seja, a radiação normal direta no local de implantação. Um valor aceitável para a implantação de tecnologia helotérmica é uma radiação DNI superior a 1900 kWh/m² ano (equivalente a 5,3 kWh/m² dia). A região do semi-árido nordestino apresenta-se como uma área favorável, seja pelos elevados níveis da radiação, baixa pluviometria, como também pela proximidade da Linha do Equador. Este artigo tem o objetivo de avaliar a viabilidade técnica e econômico-financeira de um Projeto Heliotérmico Híbrido com campo termossolar e biomassa. Para a consecução dessa atividade, foram considerados valores técnicos e econômicos típicos, incluindo uma avaliação econômico-financeira de um fluxo de caixa por 25 anos, com uma análise estocástica da geração anual de energia, utilizando o software SAM (System Advisor Model) do NREL. O empreendimento heliotérmico é uma planta híbrida que utiliza tecnologia de concentradores cilindro-parábola, para o campo solar óptico, com armazenamento térmico, integrados a uma planta de biomassa, utilizada tanto como backup, quanto para ampliação do fator de capacidade. O campo solar é constituído por concentradores de espelhos cilindro-parábola que refletem os raios solares incidentes, concentrando-os no foco, em um tubo absorvedor de calor que contém em seu interior um fluido térmico. O fluido térmico previsto para a usina termossolar é o Therminol VP-1, amplamente utilizado na maioria das plantas heliotérmicas existente no mundo, constituído de uma mistura de bifenil e óxido difenil. 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 complementação da geração de energia elétrica será feita a partir da queima simples da biomassa em caldeiras. As caldeiras mais utilizadas em centrais termelétricas são as do tipo aquatubular, em virtude de seu maior rendimento térmico e segurança na sua operação. Nesse tipo de caldeira os gases quentes provenientes da queima do combustível circulam externamente aos tubos, cedendo calor à água contida no interior dos mesmos. As características construtivas deste tipo de caldeira possibilitam a produção de grandes vazões nominais de vapor de alta pressão e temperatura, com eficiência da ordem de 85%. O empreendimento foi desenvolvido para ter um período de operação de 17 horas, sendo 12 horas para a operação com geração de energia elétrica proveniente do calor produzido pelo campo solar, e 5 horas complementados com geração de energia elétrica proveniente do calor produzido com a queima de biomassa.

PALAVRAS-CHAVE: Geração heliotérmica, Biomassa, Análise econômico-financeira

1. INTRODUÇÃO

Ao contrário da tecnologia fotovoltaica, que é a forma mais comum de capturar a energia solar, a geração de energia elétrica por meio da tecnologia *Concentrating Solar Power* (CSP) é bem mais complexa. Essa tecnologia utiliza espelhos controlados por sistemas de rastreamento da luz solar, que a concentram e a refletem, convertendo-a então em calor para gerar eletricidade em uma máquina térmica, geralmente em um ciclo Rankine através de uma turbina a vapor.

Quanto ao tamanho da usina termossolar, sistemas de geração de energia que utilizam a tecnologia CSP variam desde grandes usinas que operam em ciclo Rankine até unidades menores que alimentam pequenas demandas de energia. O potencial para utilização da tecnologia termossolar CSP é considerável; a quantidade de energia solar que atinge o planeta Terra no período de uma hora, por exemplo, é maior que o consumo de energia devido à atividade humana em todo o mundo durante um ano. Um estudo recente realizado pelo grupo solarPACES da

Agência Internacional de Energia (*International Energy Agency - IEA*), em conjunto com as associações *European Solar Thermal Electricity Association* e *Greenpeace International* sugeriram que sistemas de geração de energia deveriam utilizar a tecnologia termossolar *Concentrating Solar Power (CSP)* para gerar 25% da demanda de eletricidade até o ano 2050.

Para o desenvolvimento de empreendimentos com tecnologia *Concentrating Solar Power (CSP)* faz-se necessária uma avaliação do potencial solar a partir da medição da Radiação Normal Direta (DNI) no local de implantação da usina termossolar. Um valor aceitável para a implantação da tecnologia heliotérmica seria uma radiação direta normal superior a 1900 kWh/m² ano (equivalente a uma radiação de 5,3 kWh/m² dia). A região do semi-árido nordestino apresenta-se como uma área favorável, seja pelos elevados níveis de radiação, baixa pluviometria, bem como pela proximidade com a Linha do Equador, ou seja, baixa latitude.

Será uma desafio para os próximos anos tornar o uso da tecnologia termossolar *Concentrating Solar Power - CSP* a custos competitivos com a geração de energia elétrica através da queima de combustíveis fósseis e outras fontes alternativas de energia. Isto significa não somente aumentar a eficiência das tecnologias CSP bem como torná-las mais acessíveis e atraentes do ponto de vista comercial. Nos Estados Unidos, por exemplo, tem-se hoje uma geração de eletricidade de cerca de 500 MW por meio do uso da tecnologia CSP. Cinco novas usinas termossolares estão atualmente em construção nos Estados Unidos, com previsão de entrada em operação até 2014, contribuindo para um aumento de potência instalada de 1300 MW no país. Cinco dessas novas usinas termossolares estarão entre as maiores usinas no mundo.

Este artigo técnico tem como objetivo avaliar a viabilidade técnica de um Projeto Heliotérmico Híbrido, com campo termossolar e biomassa, em uma região do semi-árido nordestino, bem como analisar a viabilidade econômico-financeira desse projeto em referência. A complementação da geração de energia elétrica será feita a partir da queima simples da biomassa em uma caldeira. Para o empreendimento em referência considerou-se um período de operação de 17 horas, sendo 12 horas para a operação com geração de energia elétrica proveniente do calor produzido pelo campo solar, e 5 horas complementados com a geração de energia elétrica proveniente da queima de biomassa sólida.

2. TECNOLOGIA DOS CONCENTRADORES

Nas centrais heliotérmicas estão disponíveis atualmente quatro tecnologias de concentradores: a) heliostatos, b) cilindro-parábola; c) Fresnel e d) disco parabólico. A Figura 1, a seguir apresenta uma representação esquemática dessas tecnologias.

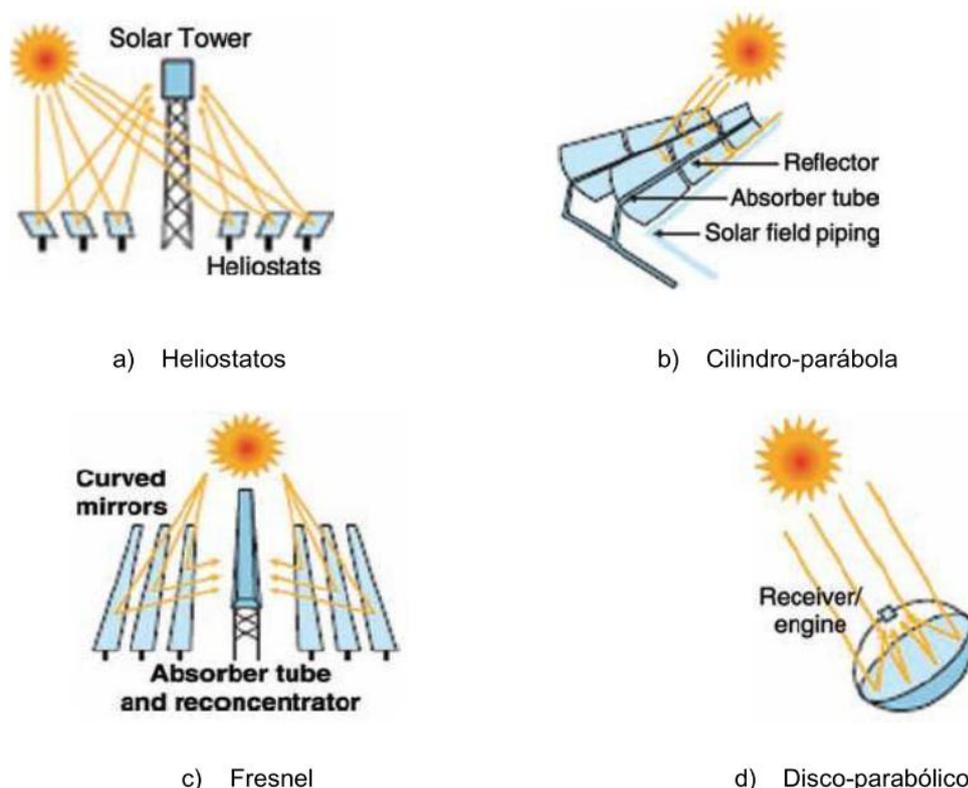


FIGURA 1 – Tecnologias de Concentradores em Centrais Heliotérmicas

A escolha da tecnologia vai depender de fatores locais como alta radiação, baixo regime pluviométrico, disponibilidade de área, água, características topográficas, dentre outros, assim como a definição de processos estratégicos de geração de eletricidade, opção de armazenamento térmico, etc.

A literatura internacional sobre tecnologia termossolar ressalta que aquela de concentradores do tipo cilindro-parábola, apresentada na Figura 1.b, é mais receptiva pelos bancos no tocante à obtenção de financiamento. Além disso, a tecnologia cilindro-parábola é a mais madura dentre as existentes apresentadas na Figura 1. A tecnologia de cilindro-parábola usa um coletor linear com uma seção transversal parabólica. Essa tecnologia permite o rastreamento do sol em apenas um eixo: norte-sul ou leste-oeste. Cada coletor solar concentra a irradiação direta no tubo receptor, o qual encontra-se localizado no centro do cilindro-parábola. Em uma usina termossolar convencional, o calor é transportado através de um óleo sintético, que circula no tubo receptor e passa por vários trocadores de calor, onde esse fluido é então utilizado para a produção de vapor d'água superaquecido a alta pressão. Esse vapor d'água superaquecido é então expandido na turbina de um ciclo Rankine, gerando energia elétrica através de um gerador elétrico que acopla a turbina a vapor, conforme mostrado na Figura 2, a seguir.

2.1 Características Tecnológicas do Projeto

O projeto heliotérmico analisado nesse artigo técnico é uma planta híbrida que utiliza a tecnologia de concentradores cilindro-parábola, para o campo solar óptico, sem armazenamento térmico, integrada a uma planta de biomassa utilizada tanto como *backup*, quanto para ampliação do fator de capacidade da planta. O empreendimento foi desenvolvido para ter um período de operação de 17 horas, sendo 12 horas para a operação com geração de energia elétrica proveniente do calor produzido pelo campo solar, e um período complementar de 5 horas para operação com geração de energia elétrica a partir do calor produzido pela queima de biomassa.

A Figura 2 apresenta um diagrama esquemático da planta híbrida com tecnologia CSP- biomassa, onde são identificados os blocos do campo solar, da caldeira de combustão da biomassa, o ciclo termodinâmico e de geração de energia elétrica. A Figura 2 também apresenta um bloco de armazenamento térmico.

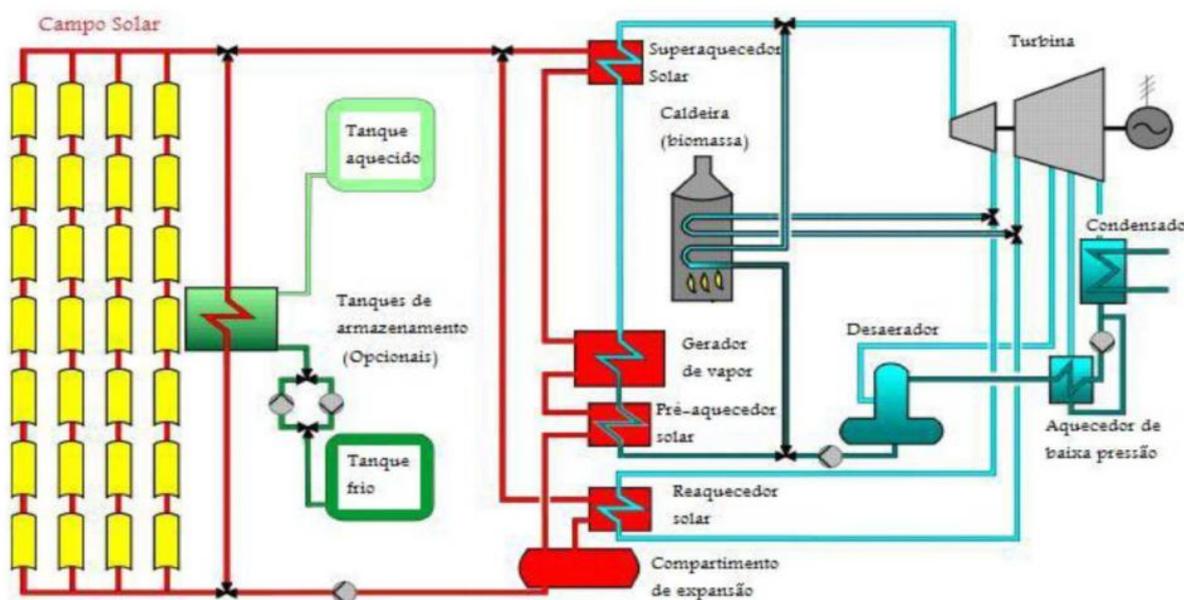


FIGURA 2 – Diagrama esquemático da planta híbrida com tecnologia CSP-Biomassa

A Tabela 1, a seguir, apresenta os dados gerais do projeto heliotérmico em análise, com possibilidade de implantação em uma dada região do Nordeste Brasileiro.

Tabela 1 – Dados gerais do projeto heliotérmico

Área Total do Terreno	250 ha
Área do Campo Solar	20 ha
Potência Instalada	30 MWe
Capacidade Máxima de Geração	29 Mwe
Fator de Capacidade	70%
Energia Gerada Anual	183.960 MWh
Período de Operação	17 horas (12 horas de sol e 5 horas de biomassa)
Fator de disponibilidade	97%
Custo da Biomassa Estimado	20,00 R\$/ton
Investimento em R\$/kWe	6.000,00 R\$/kWe

A Tabela 2, a seguir, apresenta os dados do bloco de potência do projeto heliotérmico em análise, com possibilidade de implantação em uma dada região do Nordeste Brasileiro.

Tabela 2 – Dados do bloco de potência do projeto heliotérmico

Potência do gerador	30 MWe
Fluxo de massa de água no Ciclo Rankine	kg/s
Fluxo de massa de biomassa	22050 kg/h
Pressão na caldeira	60 bar
Temperatura na entrada da turbina	360 °C
Pressão no condensador	0,1 bar
Poder Calorífico Inferior do Combustível	18,80 MJ/kg
Eficiência Térmica do Ciclo Rankine	30,66%

2.2 A Complementação da Geração de Energia Elétrica

A complementação da geração de energia elétrica será feita a partir da queima simples da biomassa em uma caldeira. As caldeiras mais utilizadas em centais termelétricas são as do tipo aquatubular, em virtude de seu maior rendimento térmico e segurança na sua operação. Nesse tipo de caldeiras os gases quentes provenientes da queima do combustível circulam externamente aos tubos, cedendo calor à água contida no interior dos mesmos. As características construtivas deste tipo de caldeira possibilitam a produção de grandes vazões nominais de vapor de alta pressão e temperatura, com eficiência da ordem de 85%.

2.3 O Campo Solar

O campo solar é constituído por concentradores de espelhos cilindro-parábola que refletem os raios solares incidentes, concentrando-os no foco, em um tubo absorvedor de calor que contém em seu interior um fluido térmico. Um fluido térmico amplamente utilizado na maioria das plantas heliotérmicas existentes no mundo, é constituído de uma mistura de bifenil e óxido difenil.

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.

2.4 Características Econômicas do Projeto

Os dados utilizados para a Análise da Viabilidade Técnico-Econômica do Projeto, seguem abaixo:

Aspectos Técnicos

Vida Útil do Projeto	25	anos
Potência Instalada	30	MWe
Consumo Próprio	0,1	MWe
Fator de Disponibilidade	98%	
Fator de Capacidade	0,69	%

Aspectos Financeiros

Preço de Venda da Energia	160,00	R\$/MWh
Investimento	6.000.000,00	R\$/MWinst
Investimento Total	180.000.000,00	R\$
Depreciação	35	anos
Percentual Financiado	70%	
Taxa de Juros	8,40%	a.a.
Amortização	16	anos
Sistema de Amortização	SAC	

Despesas Operacionais

O&M Variável	0,00	R\$/MWh
O&M Fixo	4.243.000,00	R\$ por ano
Transmissão	1,30	(R\$/kWinst)/mês
Custo da Biomassa	3.101.000,00	R\$ por ano

Impostos/Taxas

PIS / COFINS - LUCRO PRESUMIDO	3,65%	
Taxa de Fiscalização ANEEL	62.758,50	R\$ por ano
Imposto de Renda (IRRJ) - Lucro Presumido - 25% aplicados sobre o Lucro Presumido de 8% da Receita Bruta	25%	
Contribuição Social (CSLL) - Lucro Presumido - 9% aplicados sobre o Lucro Presumido de 12% da Receita Bruta	9,0%	
75% de isenção do IRPJ no Nordeste	75%	

Através da Análise de Fluxo de Caixa determinístico pode-se ver a variação da Taxa Interna de Retorno (TIR) do projeto em função do preço de venda da energia (Figura 3).

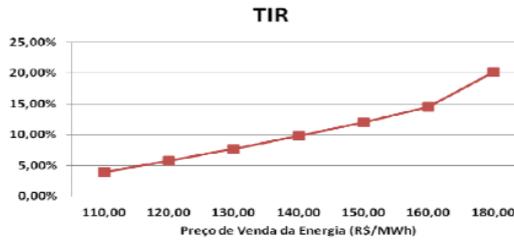


FIGURA 3 – TIR em função do Preço de Venda de Energia

Os resultados preliminares demonstram a viabilidade comercial para uma planta termossolar híbrida na região semi-árida do Nordeste Brasileiro. Pode-se ver na Figura 4 uma análise de sensibilidade da TIR do acionista em função do valor do investimento.

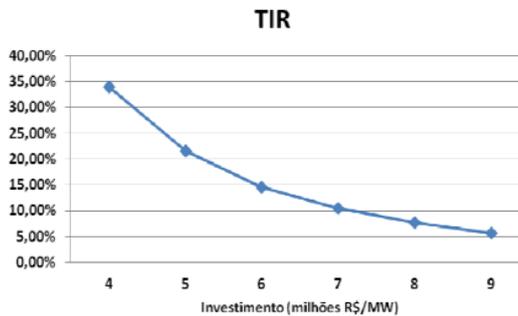


FIGURA 4 – TIR em função do Valor do Investimento

Na Figura 5 pode-se observar uma pequena sensibilidade da TIR do acionista em função do Fator de Capacidade da planta termossolar híbrida. Isso provavelmente indica algum ponto ótimo de Fator de Capacidade a partir do qual não é mais interessante incorporar horas de geração noturna com biomassa.

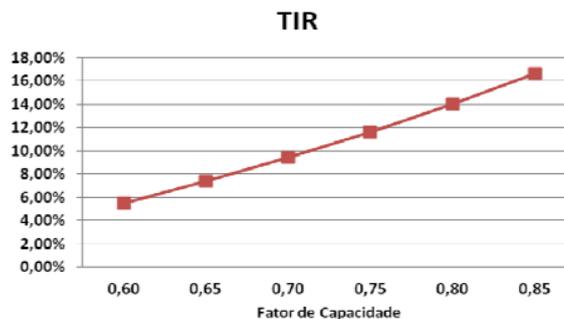


FIGURA 5 – TIR em função do Fator de Capacidade

3. CONCLUSÃO

A avaliação técnico-econômica de uma CSP-híbrida torna evidente a atual viabilidade comercial da tecnologia e a complementaridade com a biomassa na geração de eletricidade. Plantas de energia solar tem uma restrição em sua capacidade de geração, que são principalmente os ciclos dia / noite, e alguns períodos esparsos de insolação reduzida (dias nublados). Operando-se em conjunto uma planta termossolar com a queima da biomassa para geração de vapor num mesmo bloco térmico, tem-se uma redução bastante significativa das restrições de operação. Neste tipo de empreendimento é importante que seja estudado em detalhe o custo e os riscos associados com o fornecimento contínuo de grandes quantidades de um combustível de biomassa sazonal.

Dois fatores críticos adicionais também precisam ser melhor investigados em trabalhos futuros: a dinâmica térmica do sistema, para que o funcionamento seja melhor otimizado; e as perdas em operação de carga parcial do sistema, de modo a melhor determinar, em base mais realistas, a eficiência da planta.

O presente trabalho contribui para consolidar as análises de viabilidade técnico-econômicas no setor elétrico brasileiro para as novas tecnologias. Esta metodologia pode ser aplicada em qualquer outra análise de tecnologia termossolar com custo de combustível, podendo avaliar de forma correta os riscos associados.

REFERÊNCIAS

- (1) Crawford, Mark, "Catching the Sun", Magazine of The American Society of Mechanical Engineers – ASME, Março de 2013, páginas 32 a 37.
- (2) Servert, J.; San Miguel, G e López, D., "Hybrid Solar – Biomass Plants for Power Generation; Technical and Economic Assessment", Global NEST Journal, Vol 13, No 3, pp 266-276, 2011.
- (3) NREL, Solar Advisor Model – Manual - Technology Options: Concentrating Solar Power Systems - Version 2011.12.2 - Manual Release Date 12/7/2011.
- (4) Wagner, M.; Gilmar, P., Technical Manual for the SAM Physical Trough Model - Technical Report NREL/TP-5500-51825, June 2011.
- (5) Mendelsohn, M., Kreycik, C., Bird, L. Bird, Schwabe, P., and Cory, K., "The Impact of Financial Structure on the Cost of Solar Energy", Technical Report NREL/TP-6A20-53086, March 2012.