

# ANÁLISE TÉCNICO-ECONÔMICA DE UMA PLANTA SOLAR DE PRODUÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA COM QUEIMA DE BIOMASSA COMBINADA

**Bruno Oliveira Amorim**

bamorim1@terra.com.br

***Resumo.** O objetivo do trabalho é a análise técnico-econômica do projeto de uma planta de produção de energia elétrica à partir da energia solar no Brasil, associada a uma usina que fornecerá bagaço de cana-de-açúcar para queima suplementar. Em um primeiro momento, foram escolhidas as regiões do Brasil onde os índices irradiação solar são mais favoráveis. Em seguida, foi analisado o projeto da planta solar, acoplada a uma usina sucro-alcooleira. Ao final, são estimados os custos envolvidos na sua operação e também o custo de sua implementação, assim como sua viabilidade econômica.*

***Palavras chave:** Energia solar; Energia elétrica; Co-geração de energia elétrica*

## 1. Introdução

Praticamente inesgotável, a energia solar pode ser usada para a produção de eletricidade através de painéis solares e células fotovoltaicas. No Brasil, a quantidade de sol abundante durante quase todo o ano estimula o uso deste recurso.

A Alemanha, por exemplo, provou como o uso das fontes renováveis pode ser útil ao Estado, à população e ao meio-ambiente. O país é responsável por cerca de um terço de toda a energia eólica instalada no mundo, representando metade da potência gerada em toda a Europa. O investimento em tecnologia também permitiu a eles se destacarem na utilização de combustíveis de origem vegetal (biomassa).

O objetivo do trabalho é o desenvolvimento do projeto de uma planta de produção de energia elétrica à partir da energia solar no Brasil, associada a uma usina que fornecerá bagaço de cana-de-açúcar para queima suplementar.

## 2. Análise da irradiação solar no Brasil

O INPE (Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais) realizou diversos estudos relacionados à irradiação solar no Brasil. O artigo intitulado “Mapas de irradiação solar para o Brasil – Resultados do Projeto SWERA” (Martins, 2009) foi utilizado como base para a maior parte das considerações abaixo.

A Figura 1 mostra a média anual das componentes da irradiação solar (global, direta, difusa) e a irradiação solar no plano inclinado (em ângulo igual à latitude) para o território brasileiro. A informação contida no mapa de irradiação no plano inclinado (Figura 1D) é de grande utilidade no aproveitamento da energia solar em projetos de geração fotovoltaica uma vez que mostra a quantidade de energia incidente no plano de maior irradiação solar direta considerando a posição geográfica do local. Pode-se observar que os maiores valores de irradiação direta e no plano inclinado ocorrem aproximadamente nas mesmas regiões do país: região compreendida pelo estado do Tocantins, oeste da Bahia e sul dos estados de Maranhão e Piauí durante o período de verão e na região central e sudeste do país durante a estação seca (agosto a outubro). A Figura 1 apresenta de forma clara o grande potencial para o aproveitamento da energia solar no Brasil. A média do território brasileiro ( $5 \text{ kW.h.m}^2/\text{dia}$ ) é praticamente igual ao valor máximo de irradiação observado no continente europeu ( $5,5 \text{ kW.h.m}^2/\text{dia}$ ), onde ocorre um grande investimento tanto governamental como de iniciativa privada nesta fonte de energia renovável.

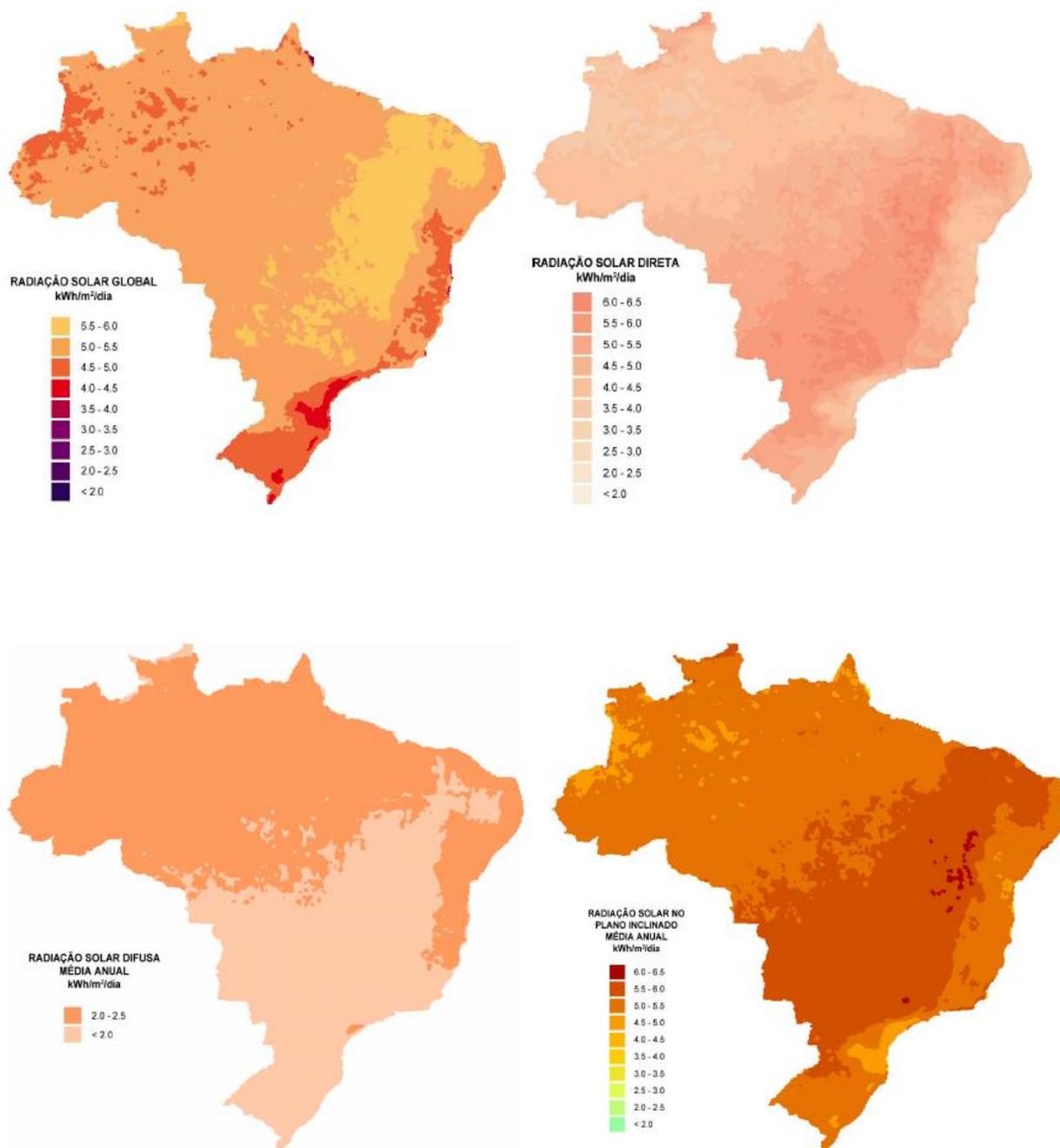


Figura 1. Diferentes tipos de irradiação solar no Brasil (Martins, 2009)

### 3. Estudo das tecnologias existentes

Nesta seção, serão apresentadas as tecnologias existentes para a produção de energia elétrica a partir da energia solar.

As técnicas mais comuns usadas para converter energia solar em eletricidade são a fotovoltaica e a termo-solar, que inclui o sistema parabólico, atualmente a opção mais econômica para grandes plantas solares. Ao contrário da tecnologia fotovoltaica, projetos termo-solares costumam ter grande escala e se localizam em áreas remotas. Apesar de a aplicação típica dos painéis fotovoltaicos serem soluções residenciais e industriais de pequeno porte, nós estudaremos também a viabilidade desta tecnologia.

### 3. 1 Painéis fotovoltaicos

Montado a partir de conjunto de células "wafer" de silício, texturizadas, laminadas e tratadas com materiais específicos que aumentam sua absorção e vida útil. Geram tensões e correntes que são condicionadas às ligações em paralelo ou em série, das células. A parte frontal dos módulos contém resina ou vidro temperado de alta transparência com resistência a tempestade, neve, granizo, salinidade, umidade e poeira. Os painéis costumemente são fornecidos emoldurados em perfil de alumínio e contém terminais de conexão. A energia proveniente do painel é em corrente contínua (DC).

### 3. 2 Tecnologias de termo conversão

Utilizam o efeito da termo conversão para obtenção de calor e acionamento de uma máquina térmica, geralmente um motor de ciclo Stirling, Rankine ou Brayton. O motor é utilizado para acionar um gerador elétrico convencional. Existem várias combinações usuais entre termo conversão e motor utilizadas, com resultados variados. Por uma questão de eficiência, os sistemas de termo conversão utilizam, em sua grande maioria, coletores com concentradores. São as seguintes configurações as mais utilizadas:

- Campo de heliostatos e receptor tipo torre
- Concentrador cilindro-parabólico
- Concentrador disco-parabólico

Um heliostato é um dispositivo que segue o curso do sol, tipicamente usado para orientar durante todo o dia os raios solares na direção de um ponto ou de uma superfície, através da movimentação de um conjunto de espelhos. Neste caso, os heliostatos estão dirigidos na direção da torre onde se gera o vapor que alimenta o ciclo termodinâmico em questão.

Como o nome indica, o sistema cilindro-parabólico utiliza uma série de refletores cilíndricos em forma de parábola. A parábola concentra a luz sobre um tubo receptor situado ao longo da linha focal do refletor. As temperaturas podem chegar facilmente a 500°C e permitem assim a produção de vapor.

O concentrador disco-parabólico concentra os raios solares em um ponto, o receptor, que atinge temperaturas de até 750°C.

Para todas as tecnologias já existe um conhecimento bastante adiantado e a literatura aponta vantagens e limitações que se alternam em função de fatores como a potência da planta. Os custos ainda são superiores aos sistemas convencionais. Sistemas sem concentradores, utilizando coletores planos também foram utilizados para pequenas unidades na década de setenta, mas apresentavam baixo rendimento com tamanho e custo excessivos.

### 3. 3 Seleção da tecnologia a ser utilizada

A planta a ser projetada será acoplada a uma usina de tal forma que uma queima de biomassa (bagaço de cana) auxilie no processo de vaporização da água.

A tabela abaixo apresenta um resumo comparativo entre as tecnologias mais comuns para a produção de energia elétrica a partir da energia solar, assim como informações relevantes sobre as demais tecnologias para produção de energia elétrica a partir de fontes renováveis.

Tabela 1 – Comparativo das tecnologias existentes. Fonte: (CEPEL, 2009)

TECNOLOGIA		POTENCIAL (GW)	TAMANHO TÍPICO (KW)	APLICAÇÃO	MATURIDADE DA TECNOLOGIA	VIABILIDADE TÉCNICA	CUSTO INVESTIMENTO (US\$/KW)	CUSTO O&M (US\$/MWh)	CUSTO COMBUSTÍVEL (US\$/MWh)	CUSTO GERAÇÃO (US\$/MWh)	EFICIÊNCIA
SOLAR FOTOVOLTAICA		-	0,05 A 10	- INTERMITENTE - GRID E OFF-GRID	DEMONSTRADA (GRID)	MÉDIA (GRID)	4,000 a	4 a	0.	250 a	10 a
					COMERCIAL (OFF-GRID)	ALTA (OFF-GRID)	9,000 a	20 a		500 a	18 a
HELIOTÉRMICA	TORRE CENTRAL	-	30.000 A 200.000	- BASE - GRID	PRÉ COMERCIAL	ALTA	5000 a 8500	4 a 23	0.	220 a 310	15 a 30
	CILINDROS	-	50.000	- BASE - GRID	COMERCIAL	ALTA	.1700 a 5.500	4 a 23	0.	80 a 150	15 a 30
	DISCOS	-	20 a 50	- BASE -GRID E OFF-GRID	DEMONSTRADA	MÉDIA	10000 a 22000	15 a 23	0.	200 a 500	15 a 30
EÓLICA		30	300 a 2000	-INTERMITENTE -GRID E OFF-GRID	COMERCIAL	ALTA	1500 a 2000	4 a 12	0.	110 a 150	25 a 45
BIOMASSA		27.7	10 a 50.000	-BASE -GRID E OFF-GRID	COMERCIAL	ALTA	500 a 2.500	6 a 12	20 a 100	38 a 78	25 a 35
PCIH's			50 A 1.000	-VARIÁVEL -GRID E OFF-GRID	COMERCIAL	ALTA	1.000 a 3,000	6 a 15	0.	35 a 102	60 a 85

Dentre as tecnologias que se utilizam da energia solar, observamos claramente que as células fotovoltaicas são aplicadas em geral em pequenos empreendimentos. Entre as tecnologias de termo conversão, os espelhos cilindro-parabólicos são os que apresentam menor custo, mas são limitados a plantas de até 50MW em geral. Já a torre central apresenta um custo um pouco superior, mas pode ser empregada em empreendimentos de até 200MW.

Como a tecnologia que utiliza espelhos parabólicos se mostrou ser a mais eficiente para sistemas de médio porte, nosso objetivo é o de estudar uma planta solar baseada nesta tecnologia, integrada com uma usina sucro-alcooleira. O objetivo aqui será de projetar uma planta de 50MW, considerado o limite economicamente viável para esta tecnologia segundo a CEPEL.

Como indicado na tabela acima, o custo de implementação de uma planta de cilindros-parabólicos é de aproximadamente 3.600 US\$/KW, já para uma planta eólica este valor seria de aproximadamente 1.750 US\$/KW, enquanto para uma planta baseada somente em biomassa custaria 1.500 US\$/KW. Estes valores nos indicam a principal razão pela qual a energia eólica é atualmente muito mais empregada do que a energia solar, sendo parte importante das matrizes energéticas de diversos países Europeus, principalmente da Alemanha. Entretanto, as tecnologias baseadas na energia solar estão sendo cada vez mais empregadas, o que tende a baratear sua implementação ao longo do tempo. O gráfico abaixo mostra a perspectiva para a evolução dos custos de operação de plantas baseadas nas tecnologias heliotérmicas.

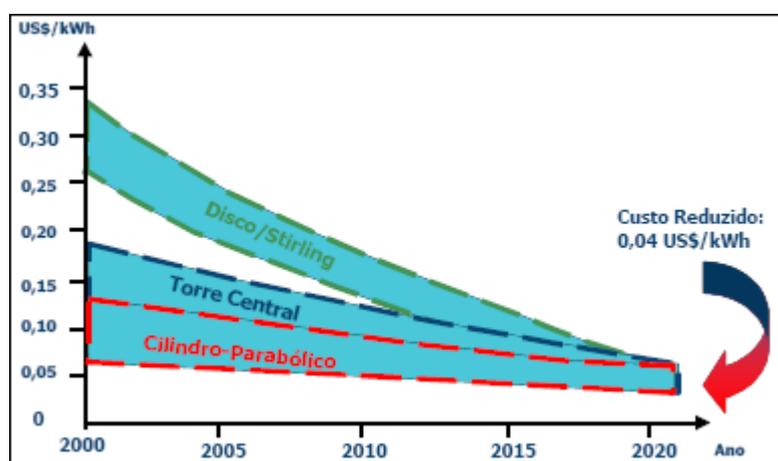


Gráfico 1 – Evolução dos custos das tecnologias solares (Cavalcanti & Brito, 1999)

## 4. Análise da planta

### 4.1 Aspectos gerais

Este projeto consiste na análise de uma planta com espelhos cilindro-parabólicos, devido à sua eficiência e conseqüente custo reduzido em relação às demais tecnologias. A planta deverá ser capaz de gerar 50MW, o máximo valor para o qual a tecnologia selecionada apresenta viabilidade econômica conforme mencionado anteriormente.

Em geral as plantas solares são acopladas a sistemas de queima suplementar, para os períodos noturnos ou mesmo quando houver muitas nuvens sobre a planta, a fim de manter a geração de energia aproximadamente constante. Para manter a linha de utilização de insumos renováveis, acoplaremos a planta a uma usina que fornecerá bagaço de cana-de-açúcar.

Uma planta de 50MW no Brasil seria suficiente para abastecer aproximadamente 100.000 habitantes, levando-se em consideração que a capacidade instalada neste país é de aproximadamente 100.000MW (ANEEL, 2010), que abastecem uma população de aproximadamente 190.000.000 de habitantes, o que leva a uma necessidade média de 0,5kW por habitante. Este cálculo não leva em consideração o possível consumo de energia pela própria usina sucroalcooleira.

A principal escolha a se fazer se refere ao fato de o sistema solar propriamente dito (espelhos cilíndricos e tubos) estar diretamente conectado ao ciclo de Rankine, se utilizando do mesmo fluido de trabalho, ou conectado ao mesmo através de um trocador de calor. Neste caso optamos pelo sistema com trocador de calor já que assim poderemos utilizar um óleo e não água nos coletores, levando a pressões de trabalho mais baixas mesmo a altas temperaturas. Isso simplifica a estrutura do trocador de calor, que age também de certa forma como um acumulador.

Assim, obtemos a configuração abaixo para a planta solar:

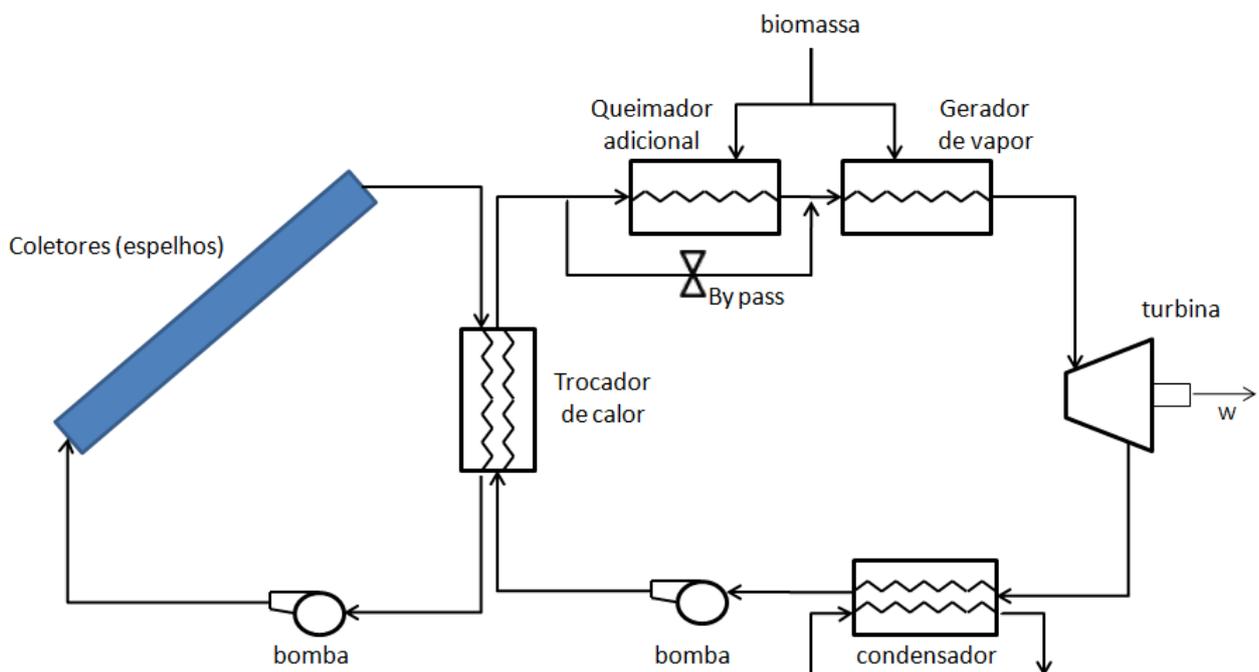


Figura 2 – Esboço da planta solar

Para analisar a relevância da energia solar na planta acima utilizamos o seguinte raciocínio: o circuito bomba – coletores – trocador de calor – bomba tem como objetivo levar a água da temperatura ambiente até a temperatura de saturação, que é de 295°C a 8MPa, o que corresponde a uma variação de aproximadamente 1100kJ/kg. Já o gerador de vapor seria responsável pela vaporização da água, consumindo aproximadamente 1440kJ/kg. Assim, a variação de entalpia total no processo seria de aproximadamente 2540kJ/kg, sendo que 44% deste valor seria fornecido pela energia solar.

## 4.2 Coletores solares de alta eficiência

O coletor selecionado é composto pelos dutos por onde o fluido de trabalho escoará e pelos espelhos parabólicos que concentrarão a energia solar sobre estes dutos. A este sistema será acoplado um sistema seguidor que permitirá ao espelho “seguir” o sol na medida em que o mesmo se desloca em relação à terra a fim de se obter o melhor ângulo de incidência possível.

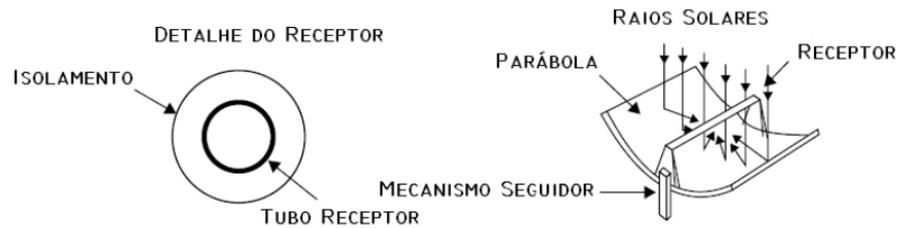


Figura 3 – Coletores (Feng & Kurita, 2009)

Os tubos serão pretos a fim de maximizar a absorção e terão um isolamento térmico com o meio afim de se evitar perdas. Um tubo exterior, de vidro, possibilitará a criação de uma câmara em vácuo entre o duto e o ambiente.

Para selecionar o fluido de trabalho, utilizam-se os seguintes critérios: pressão de trabalho, vazões, toxicidade e viabilidade econômica. Além disso, está se buscando a minimização da vazão porque valores menores implicam menores equipamentos e, portanto, maior viabilidade econômica. A toxicidade se trata em analisar algum tipo de risco sobre o ser humano ou meio ambiente.

O cálculo da dimensão dos coletores depende do fluido de trabalho e de diversos outros fatores. Seu cálculo detalhado foge do escopo deste projeto. Entretanto, sabemos que para uma planta de 200W, puramente solar, um coletor de 1m seria suficiente (Feng & Kurita, 2009). Considerando que a energia solar equivale a 44% dos 50MW da planta em questão, estima-se o comprimento dos coletores em 110m, considerando rendimentos semelhantes. Os 110m parecem razoáveis levando-se em consideração o porte da planta.

## 4.3 Gerador de vapor

O gerador de vapor receberá água na temperatura de saturação e gerará o vapor a ser utilizado na turbina. Sua fonte de energia será a biomassa, mais precisamente o bagaço de cana-de-açúcar, advindo da usina à qual a planta será acoplada. Um queimador adicional será utilizado no caso de o sistema solar não conseguir aquecer a água até a temperatura de saturação. Seu acionamento será feito através de controladores que irão monitorar a temperatura na saída do trocador de calor. O queimador adicional, que também será alimentado com biomassa será mais utilizado quando da presença de nuvens por longos períodos ou mesmo no período da noite quando não há irradiação solar relevante.

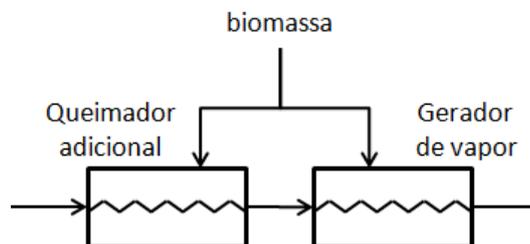


Figura 4 – Gerador de vapor

#### 4.4 Estudo da viabilidade da utilização do bagaço de cana de açúcar

Durante a execução deste projeto percebeu-se que não seria evidente garantir o fornecimento de biomassa para o sistema dado a natureza orgânica da mesma. O bagaço da cana se deteriora com o passar do tempo e dado a sazonalidade de seu cultivo tem-se que encontrar meios de armazená-la por alguns meses. Neste tópico vamos levantar os principais pontos referentes ao armazenamento e transporte da biomassa a fim de estudar a viabilidade de sua utilização como insumo principal da planta solar. Para tal, nos baseamos no trabalho desenvolvido no artigo de **Pellegrini (2002)**.

Apresentamos abaixo os principais pontos a serem considerados quanto à utilização e armazenamento da cana-de-açúcar na planta solar. Uma alternativa para não haver necessidade de armazenamento seria a utilização da planta somente nos períodos de safra, ficando a mesma desativada ou produzindo menos energia na entre safra.

Uma possibilidade para a região NE do Brasil seria ter plantas que utilizariam biomassa nos meses em que há pouca chuva, o que limita o funcionamento das hidrelétricas, já que nestes meses temos a colheita da cana nesta região.

O bagaço de cana tem sido historicamente usado como combustível nas usinas, pelo menos desde o início deste século, quando passou a substituir a lenha nas caldeiras. Com os avanços tecnológicos do setor sucroalcooleiro, o bagaço passou a ser mais valorizado como fonte de energia, respondendo pelas necessidades energéticas da própria usina, passando depois, a ser comercializado para outras usinas ou indústrias.

A utilização do bagaço como combustível para fins energéticos passa pelo equacionamento dos seus maiores problemas:

- Baixa densidade energética
- Umidade (que pode ser reduzida com a utilização dos gases de escape do sistema)
- Armazenamento difícil
- Transporte caro
- Decomposição ao longo do tempo.

O enfardamento é a prática mais difundida quando se objetiva facilitar o transporte e/ou reduzir a área das instalações para estocagem do bagaço. Para tanto, existem dois processos de enfardamento: o normal e o com secagem.

O bagaço da cana será responsável pelo fornecimento de 56% da energia consumida na planta, sendo que o restante será oriundo da energia solar. Assim, estimando que o período de entressafra seja de 4 meses, é preciso armazenar o suficiente para este período. Utilizando valores médios do poder calorífico do bagaço e a energia projetada para 4 meses de operação foi possível determinar o volume de bagaço a ser armazenado, de aproximadamente 40.600 m<sup>3</sup>. Simplificando a estrutura de armazenamento, para se estimar a área necessária para o armazenamento, seria necessário aproximadamente 1 hectare para o armazenamento.

#### 4.5 Estudo da viabilidade econômica

Nesta sessão analisaremos aspectos econômicos da planta proposta por dois pontos de vista. Primeiramente comentaremos os valores normativos propostos pela ANEEL. Em seguida, apresentaremos um breve estudo com o objetivo de determinar por qual preço a energia produzida na planta deveria ser vendida para que se recupere o investimento feito na planta.

Dentro do ambiente de mercado do setor elétrico brasileiro, passaram a existir os consumidores cativos e os consumidores livres. Estes últimos negociam livremente os seus contratos junto às geradoras de energia elétrica. Entretanto, no caso de consumidores cativos, o agente regulador deve assegurar que não haja abuso de poder de mercado por parte da distribuidora, oferecendo condições contratuais extremamente vantajosas para os consumidores livres e compensando a diferença de receita com o aumento do montante de repasse aos cativos. Desta forma, foi criado o Valor Normativo – VN, como o custo de referência para a comparação com o preço de compra da energia e para o repasse a ser realizado às tarifas de fornecimento de energia elétrica. Cabe ressaltar que os preços de compra de energia até 5% maiores que os respectivos VN's serão integralmente repassados para as tarifas do consumidor final.

O processo regulatório para o estabelecimento destes limites iniciou-se com a publicação da Resolução ANEEL nº 266/98, na qual foi estabelecida a metodologia de cálculo do repasse. Após o processo de audiência pública, a ANEEL divulgou a Resolução nº 233/99, que definia os valores normativos discriminados por fonte de geração (competitiva, termoeletrica a carvão nacional, PCH, termoeletrica a biomassa, eólica e solar fotovoltaica) esperando-se, desta forma,

incentivar a diversificação da matriz energética nacional. Entretanto, segundo muitos pesquisadores, os VN's apresentados para as fontes renováveis alternativas eram baixos, inclusive para o nível tecnológico e para a escala de produção dos fabricantes das tecnologias de conversão em vários países europeus, tornando-os ainda pouco atrativos

Em fevereiro de 2001 a ANEEL emitiu uma nova resolução, a Resolução ANEEL nº 22/01, apresentando a revisão dos valores de repasse e o aumento de todos os VN's. Esta revisão já estava prevista em legislação na ocorrência de mudanças estruturais relevantes na cadeia de produção de eletricidade e nas diretrizes do Governo Federal. A tabela abaixo mostra os VN's adotados em cada uma das resoluções comentadas.

Tabela 2. Valores Normativos (Cavaliero & Silva, 2002)

Fontes	Resolução 233/99		Resolução 022/01	
	R\$/MWh	US\$/MWh	R\$/MWh	US\$/MWh
Competitiva	57,20	29,01	72,35	36,85
Termoelétrica à carvão nacional	61,80	31,34	74,86	38,13
Pequena central hidroelétrica	71,30	36,16	79,29	40,39
Termoelétrica à biomassa	80,80	40,97	89,86	45,77
Eólica	100,90	51,17	112,21	57,15
Solar fotovoltaica	237,50	120,44	264,12	134,53

Podemos constatar que o valor de referência para energia solar é mais do que o triplo aplicado para pequenas centrais hidrelétricas, o que reflete o elevado custo da energia solar. Entretanto, este valor parece ser ainda insuficiente (Cavaliero & Silva, 2002) vis-à-vis dos elevados custos envolvidos na implementação desta tecnologia.

Há um segundo problema que é de grande relevância, pois estipulou-se VN's para cada fonte que na realidade não são os mesmos para todos os submercados, já que existe uma disponibilidade de fontes energéticas e um custo associado a cada uma que varia de região para região. Um exemplo disto é a geração de energia elétrica nos sistemas isolados da Região Norte, onde se encontram as tarifas mais elevadas do país.

A Tabela3 abaixo resume o estudo de viabilidade econômica da planta solar. O objetivo desta análise é de estimar o preço pelo qual a energia produzida deveria ser vendida no mercado secundário a fim de que o projeto se pague em 10 anos, ou seja, que todo investimento feito na planta seja recuperado em 10 anos.

Para tal, foram utilizados os custos médios operacionais e de investimento apresentados pela CEPEL. Observamos que em 2010, considerado ano 1 da análise, temos basicamente o gasto de investimento. Nos anos seguintes temos custos operacionais e receitas advindas da produção de energia na planta.

Assim conclui-se que seria necessário vender a energia a R\$358,00 / MWh para que o investimento seja recuperado em 10 anos. Este valor relativamente alto já era esperado já que é sabido o elevado custo da co-geração com energia solar. Apesar de o preço ser muito elevado, há outros fatores que devem ser levados em consideração, como por exemplo:

- Eventuais subsídios oferecidos pelo governo;
- Escassez de oferta de energia na região adjacente à usina;
- Baixíssimo impacto ao meio ambiente, o que pode gerar um bem comercial intangível para os usineiros.

Finalmente, considerando que a planta atenderia às necessidades de uma população de aproximadamente 100.000 habitantes no caso de a usina não consumir a energia produzida, o valor do investimento por habitante seria de aproximadamente R\$3.060,00/hab, o que parece razoável levando-se em conta que com esta planta seria possível atingir populações que não são atendidas pela rede pública (cuja matriz é dominada pela energia hidrelétrica, escassa nas regiões mais secas do país).

Tabela 3. Análise econômica

Capacidade instalada	50	MW
Custo O&M	23	R\$/MWh
Custo geração	196	R\$/MWh
Investimento inicial	6.120	mil R\$/MW

		2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
capacidade instalada	MW	0	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50
horas de produção	mil h	0,0	4,4	4,4	4,4	4,4	4,4	4,4	4,4	4,4	4,4	4,4
<b>produção</b>	<b>mil MWh</b>	<b>0</b>	<b>219</b>									
Custo O&M	R\$ milhão	0,0	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0
Custo geração	R\$ milhão	0,0	42,8	42,8	42,8	42,8	42,8	42,8	42,8	42,8	42,8	42,8
<b>A Custo operacional</b>	<b>R\$ milhão</b>	<b>0,0</b>	<b>47,8</b>									
<b>B Investimento inicial</b>	<b>R\$ milhão</b>	<b>306,0</b>	<b>0,0</b>									
<b>A+B Custo + Investimento</b>	<b>R\$ milhão</b>	<b>306,0</b>	<b>47,8</b>									
<b>C Receita da venda de energia</b>	<b>R\$ milhão</b>	<b>0,0</b>	<b>78,4</b>									
<b>D Saldo final no período</b>		<b>-306,0</b>	<b>30,6</b>									
<b>Saldo acumulado em 10 anos</b>	<b>R\$ milhão</b>	<b>0</b>										
<b>tarifa cobrada</b>	<b>R\$/MWh</b>	<b>358</b>										

Na tabela acima, a linha correspondente a “A+B” resume para cada ano os gastos com a planta, seja para sua implementação, seja para sua operação diária. Já a linha correspondente a “C” diz respeito à receita para cada ano com a venda de energia. Finalmente, a linha “D” é o resultado líquido apurado em cada ano, ou seja, é o resultado de “C-(A+B)”. Concluímos assim que para recuperar os R\$306 milhões investidos em 2010 em 10 anos, seria necessário cobrar uma tarifa de R\$358,00 / MWh, de tal forma a se obter a receita presente na linha “C”.

## 5. Agradecimentos

Ao Professor José Roberto Simões Moreira que se dispôs a me orientar neste projeto.

Ao Professor Alberto Hernandez Neto por sua dedicação à orientação de todos os alunos que estão desenvolvendo seus trabalhos de formatura.

À POLI-USP pela formação dispensada ao longo dos últimos anos.

## 6. Referências

ANEEL, **Informações técnicas**, disponível em <<http://www.aneel.gov.br/areaPerfil.cfm?idPerfil=2>>. Acesso em 14/10/2010

Cavalcanti E. S. C. & Brito R. B. S., **GERAÇÃO HELIOTÉRMICA: UMA NOVA OPÇÃO DE ENERGIA LIMPA PARA O BRASIL**, artigo submetido pela CEPEL para o VIII Congresso Brasileiro de Energia.

Cavaliero C. K. N. & Silva E. P., **GERAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA, AS NOVAS REGULAMENTAÇÕES PARA AS FONTES RENOVÁVEIS ALTERNATIVAS**. Planejamento de Sistemas Energéticos, Faculdade de Engenharia Mecânica, UNICAMP, 2002.

CEPEL, **Pesquisa em Energias Solar e Eólica**. Disponível em: <[http://www.cresesb.cepel.br/apresentacoes/20090527\\_ETERJ.pdf](http://www.cresesb.cepel.br/apresentacoes/20090527_ETERJ.pdf)>. Acesso em: 10/11/2009

Feng L. & Kurita R., **CICLO RANKINE DE BAIXA TEMPERATURA ASSISTIDO POR COLETOR SOLAR DE ALTA EFICIÊNCIA PARA GERAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA**. Trabalho de formatura apresentado ao departamento de Engenharia Mecânica da EPUSP, 2009.

Martins F. R., **MAPAS DE IRRADIAÇÃO SOLAR PARA O BRASIL – RESULTADOS DO PROJETO SWERA.** Estudo publicado no website do INPE. Disponível em: <<http://mar.te.dpi.inpe.br/col/l tid.inpe.br/sbsr/2004/11.19.15.49/doc/3137.pdf>>. Acesso em: 27/10/2009

Pellegrini M., **INSERÇÃO DE CENTRAIS COGERADORAS A BAGAÇO DE CANA NO PARQUE ENERGÉTICO DO ESTADO DE SÃO PAULO: EXEMPLO DE APLICAÇÃO DE METODOLOGIA PARA ANÁLISE DOS ASPECTOS LOCACIONAIS E DE INTEGRAÇÃO ENERGÉTICA.** Programa Interunidades de Pós-Graduação em Energia da USP (EP/FEA/IEE/IF), 2002.

Van WYLEN, G. J., SONNTAG, R. E., BORGNAKKE, C.; **Fundamentos da Termodinâmica**, 6ª edição., Edgard Blücher Ltda, 2003.

## 7. Direitos autorais

### **FEASIBILITY STUDY OF A SOLAR POWER PLANT COUPLED WITH A BIOMASS SYSTEM**

**Bruno Oliveira Amorim**

bamorim1@terra.com.br

**Abstract.** The project's main point is the feasibility study of a Solar Power Plant in Brazil. First of all, we choose a region in Brazil where we have the highest solar irradiation levels, based on public data, in order to determine the regions where such a plant would be the most suitable. After that, the plant is designed, following the standards of existing similar plants, as the ones we can find in the US and in Europe.

At the end, we estimate the costs for procuring, engineering and construction of the above mentioned plant, leading to a conclusion on the financial feasibility.

**Keywords.** *Solar energy, Renewable energy.*