



**UNIVERSIDADE ESTADUAL DO CEARÁ  
DANIELLE KELLY SARAIVA DE LIMA**

**ESTUDO DE VIABILIDADE DE UMA USINA SOLAR TÉRMICA  
ASSOCIADA À QUEIMA DE RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS NA  
CIDADE DE SOBRAL - CEARÁ.**

**FORTALEZA – CEARÁ  
2010**

# **Livros Grátis**

<http://www.livrosgratis.com.br>

Milhares de livros grátis para download.



**UNIVERSIDADE ESTADUAL DO CEARÁ  
DANIELLE KELY SARAIVA DE LIMA**

**ESTUDO DE VIABILIDADE DE UMA USINA SOLAR TÉRMICA  
ASSOCIADA À QUEIMA DE RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS NA  
CIDADE DE SOBRAL - CEARÁ.**

Dissertação apresentada ao Mestrado em Ciências Físicas Aplicadas, do Centro de Ciências e Tecnologia da Universidade Estadual do Ceará, como requisito parcial para a obtenção do grau de Mestre em Ciências Físicas Aplicadas.

Orientador: Prof. Dr. Fernando Pinto Ramalho

**FORTALEZA - CEARÁ  
2010**

L732e Lima, Danielle Kely Saraiva de.

Estudo de Viabilidade de uma Usina Solar Térmica associada á queima de Resíduos Sólidos Urbanos na cidade de Sobral – Ceará. /Danielle Kely Saraiva de Lima. – Fortaleza, 2010:

90 p. ; Il.

Orientador: Prof. Dr. Fernando Pinto Ramalho.

Dissertação (Mestrado em Ciências Físicas Aplicadas) – Universidade Estadual do Ceará, Centro de Ciências e Tecnologia.

1. Energia Solar. 2. Concentradores Parabólicos. 3. Resíduos sólidos Urbanos. I. Universidade Estadual do Ceará, Centro de Ciências e Tecnologia.

CDD: 333.7

UNIVERSIDADE ESTADUAL DO CEARÁ - UECE  
MESTRADO EM CIÊNCIAS FÍSICAS APLICADAS

Estudo de Viabilidade de uma Usina Solar Térmica associada à queima de Resíduos Sólidos Urbanos na cidade de Sobral - Ceará.

Autora: Danielle Kely Saraiva de Lima

Defesa em:

Conceito obtido: \_\_\_\_\_

BANCA EXAMINADORA

---

Prof. Dr. Fernando Pinto Ramalho (Orientador)  
Universidade Estadual do Ceará - UECE

---

Prof. Dr. Lutero Carmo de Lima  
Universidade Estadual do Ceará - UECE

---

Prof<sup>a</sup>. Dra. Mona Lisa Moura de Oliveira  
Universidade de Fortaleza - UNIFOR

Aos meus pais pelo apoio e carinho.

A meus irmãos e minhas sobrinhas.

A meus amigos e professores pelo  
companheirismo.

**DEDICO**

## **AGRADECIMENTOS**

Em primeiro lugar, agradeço a Deus pela proteção.

Agradeço ao Prof. Dr. Fernando Pinto Ramalho pela orientação e apoio.

Agradeço a todos os professores e á Coordenação do MCFA. Em especial agradeço ao Prof. Dr. Alfredo Nelson Cabral Serejo, pelo muito que contribuiu para o MCFA, pelos conhecimentos repassados e pela grande amizade.

Agradeço a CAPES pelo apoio financeiro.

Agradeço a UECE pelo apoio institucional.

Agradeço á meus pais José Manoel de Lima e Cosma Saraiva, pelo amor e apoio incondicional em todas as etapas da minha vida. Vocês são a base de tudo pra mim.

Agradeço ás minhas grandes amigas Dayane e Débora que sempre me apoiaram, e a todos os companheiros do mestrado.

Agradeço ás secretárias Ermínia e Graça que sempre me auxiliaram da melhor maneira possível.

Agradeço também a toda e qualquer pessoa que por ventura tenha contribuído de alguma forma com este trabalho.

**“Hoje em dia, o ser humano apenas tem ante si três grandes problemas que foram ironicamente provocados por ele próprio: a super povoação, o desaparecimento dos recursos naturais e a destruição do meio ambiente. Triunfar sobre estes problemas, vistos sermos nós a sua causa, deveria ser a nossa mais profunda motivação.”**

**Jacques Yves Cousteau**

## RESUMO

O mundo necessita constantemente de aumentar sua oferta de energia visto o crescimento exponencial da população. Porém, é necessário limitar a utilização de combustíveis fósseis não renováveis que emitem gases poluentes para a atmosfera, e que hoje representam mais de 80% da energia primária mundial. As energias renováveis surgem como uma grande possibilidade oferecendo inúmeras maneiras de geração sustentável como, por exemplo, as usinas termoeletricas solares. Um destes sistemas utiliza concentradores parabólicos que absorvem a radiação solar transformando-a posteriormente em energia elétrica através de um ciclo Rankine convencional. O presente trabalho propõe a associação desse tipo de sistema com usinas de geração de energia elétrica através da queima de lixo, uma vez que a utilização comum dos equipamentos do ciclo de Rankine permite um aumento significativo na produção de energia com um acréscimo relativamente pequeno nos custos. Esta tecnologia é particularmente atrativa na Região Nordeste do Brasil devido ao grande potencial solar existente, à necessidade de geração local de energia e aos benefícios sociais e ambientais que ela oferece. Neste trabalho têm-se como objetivo fazer uma análise técnico-econômica da viabilidade de uma usina solar térmica, utilizando a tecnologia de sistemas concentradores parabólicos e tendo como combustível auxiliar a queima dos resíduos sólidos urbanos, sendo a mesma considerada para a cidade de Sobral no estado do Ceará, já que esta localidade oferece condições favoráveis para a implantação deste tipo de tecnologia.

**Palavras-chave:** Energia Solar, Concentradores Parabólicos, Resíduos Sólidos Urbanos.

## ABSTRACT

The World needs a constant increase in the energy offer to cope with the exponential growth of the population. However, it is necessary to limit the use of fossil fuels that produce pollutant gases to the atmosphere and that represent more than 80% of the primary energy used today. The renewable energies are the best hope, offering several options of energy generation, like the solar-thermal power plants. One of those systems utilizes parabolic solar concentrators to absorb the solar radiation, transforming it in electric energy using a conventional Rankine cycle. The present work proposes the association of this type of system with power plants that burn urban solid residues (garbage) since the common use of the equipments of the Rankine cycle allows for a significant increase in the energy generated with a relatively small increase in costs. This technology is particularly interesting to the Brazilian Northeast Region due to great solar potential available, the need for local energy generation, and to the socio-economical and environmental benefits that it offers. This work has the objective to make a technical-economic analysis of the viability of this type of technology considering the city of Sobral in the state of Ceará, Brazil, since this site offers optimal conditions for the implementation of this type of technology.

**Keywords:** Solar Energy, Parabolic Concentrators, Solid Waste.

## **LISTA DE SIGLAS**

ADECE – Agência de Desenvolvimento do Estado do Ceará

ANEEL – Agência Nacional de Energia Elétrica

BFG – Blast Furnace Gas

CEFET – Centro Federal de Educação Tecnológica

CEGÁS – Companhia de Gás do Ceará

CEMIG – Companhia Energética de Minas Gerais

CER - Certified Emission Reduction

COG – Coke Oven Gas

EPE – Empresa de Pesquisa Energética

FAIS - Programa de Fontes Alternativas para Sistemas Isolados

FIES – Fundo de Incentivo á Energia Solar do Estado do Ceará

FUNCEME – Fundação Cearense de Meteorologia

GAF – Gás de Alto Forno

GEE – Gases de Efeito Estufa

GW – gigawatts

HCE – Heat Collector Element

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

IPCC - Intergovernmental Panel on Climate Change

IPECE – Instituto de Pesquisa Econômica e Estratégica do Ceará

ISCCS - Integrated Solar Combined Cycle System

kW - kilowatt

LS-1 Luz first-generation trough collector

LS-2 Luz second-generation trough collector

LS-3 Luz third-generation trough collector

MME – Ministério de Minas e Energia

MW – Megawatts

NREL – National Renewable Energy Laboratory

O&M – Operação e Manutenção

PAES – Programa de Aquecimento de Água por Energia Solar

PCDs – Plataformas de Coleta de Dados

PCI – Poder Calorífico Inferior

PCH's – Pequenas Centrais Hidrelétricas

PGD – Programa de Incentivo à Geração Distribuída

PIB – Produto Interno Bruto

PL – Projeto de Lei

PRODEEM – Programa Nacional de Desenvolvimento Energético de Estados e Municípios

PROINFA - Programa de Incentivo às Fontes Alternativas de Energia Elétrica

PROINTEC - Programa Municipal de Incubação Avançada de Empresas de Base Tecnológica

PTC – Parabolic trough collector

RCE's – Reduções Certificadas de Emissões

RSU – Resíduos Sólidos Urbanos

SEGS – Solar Energy Generating Systems

SIFAC - Sistema Fotovoltaico concentrador com lentes Fresnel

TIR – Taxa de Retorno do Investimento

TW - Terawatt

UTE - Usina Termelétrica de Energia

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Estimativa de crescimento da população mundial (Adaptado).....	16
Figura 2 - Projeção do aumento populacional (Adaptado). .....	17
Figura 3 - Setor Energético Mundial.....	18
Figura 4 - Oferta Interna de Energia Elétrica.....	23
Figura 5 - Média anual da insolação média diária em horas de energia solar que pode ser aproveitada para gerar eletricidade.....	27
Figura 6 - Média anual corrigida através de regressão linear entre a fração de cobertura de nuvem e a razão entre a radiação observada sobre a radiação no topo da atmosfera ( $W / m^2$ ).....	27
Figura 7 - Crescimento mundial de produção de energia solar fotovoltaica.....	30
Figura 8 - Sistema Fotovoltaico concentrador com lentes Fresnel (SIFAC).....	31
Figura 9 - Princípio de Funcionamento de uma Chaminé Solar. (Adaptado) .....	32
Figura 10 - Estrutura de um Sistema Concentrador/Disco Parabólico (Adaptado)....	33
Figura 11 - Motor Stirling.....	34
Figura 12 - Sistema de funcionamento de um Receptor Central (Adaptado). .....	36
Figura 13 - Sistema de Geração de Energia utilizando coletores parabólicos (Adaptado).....	38
Figura 14 - Total de MWh produzidos por cada SEGS no período de 1985 – 2002..	39
Figura 15 - Elemento absorvedor de calor (Adaptado).....	41
Figura 16 - Sistema Cilíndrico parabólico (Adaptado).....	41
Figura 17 - Estimativa de projetos futuros no norte da África. (Adaptado) .....	45
Figura 18 - Planta Solar de 280 MW no Arizona .....	46
Figura 19 - Perspectivas de implantação de Sistemas Cilíndricos Parabólicos no Mundo .....	46
Figura 20 - Concentradores Parabólicos da usina termoelétrica solar de Minas Gerais.....	48
Figura 21 - Fluxograma da Usina Termoelétrica Solar.....	48
Figura 22 - Vista lateral de um concentrador solar localizado no CEFET - MG .....	49
Figura 23 - Foto Usina Verde .....	56
Figura 24 - Fluxograma da USINA VERDE .....	57
Figura 25 - Mapa do Estado do Ceará	
Figura 26 - Mapa de Sobral.....	60

Figura 27 - Locais do globo adequados para aproveitar a energia térmica solar.....	61
Figura 28 - Média de radiação solar incidente em Sobral no ano de 2007 .....	61
Figura 29 - Fluxograma da Usina Proposta.....	65

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Características das nove usinas localizadas no Deserto do Mojave, na Califórnia. ....	38
Tabela 2 - Características dos tipos de coletores.....	40
Tabela 3 - Características dos Sistemas Concentradores de energia solar.....	44
Tabela 4 - Estimativa do custo de energia dos Sistemas Parabólicos .....	44
Tabela 5 - Composição GAF (%Vol) .....	51
Tabela 6 - Composição Média do Lixo de Sobral.....	63
Tabela 7 - Dados do Lixo de Sobral .....	69
Tabela 10 - Custo da Planta Solar de 1,2 MW pico.....	72
Tabela 11 - Energia Elétrica Gerada por Ano.....	73
Tabela 12 - Usina de Lixo .....	74
Tabela 13 – Valor dos parâmetros utilizados no cálculo dos créditos de carbono ....	76

# SUMÁRIO

<b>LISTA DE SIGLAS</b> .....	<b>9</b>
<b>LISTA DE FIGURAS</b> .....	<b>11</b>
<b>LISTA DE TABELAS</b> .....	<b>13</b>
<b>1 INTRODUÇÃO</b> .....	<b>16</b>
1.1 JUSTIFICATIVA.....	21
1.2 OBJETIVOS.....	21
1.3 ORGANIZAÇÃO DOS CAPÍTULOS.....	22
<b>2 SITUAÇÃO ATUAL DO SETOR ELÉTRICO BRASILEIRO</b> .....	<b>23</b>
2.1 PROGRAMAS DE APOIO AO DESENVOLVIMENTO DAS ENERGIAS RENOVÁVEIS.....	25
2.2 POTENCIAL SOLAR DO BRASIL E DO CEARÁ.....	26
<b>3 SISTEMAS DE APROVEITAMENTO DE ENERGIA SOLAR</b> .....	<b>29</b>
3.1 SISTEMA SOLAR FOTOVOLTAICO.....	29
3.2 SISTEMA FOTOVOLTAICO CONCENTRADOR COM LENTES FRESNEL.....	30
3.3 CHAMINÉ SOLAR.....	31
3.4 SISTEMAS CONCENTRADORES / STIRLING OU DISCOS PARABÓLICOS.....	33
3.4 SISTEMAS TORRE DE ENERGIA OU RECEPTOR CENTRAL.....	35
<b>4 SISTEMA CILÍNDRICO PARABÓLICO</b> .....	<b>37</b>
4.1 USINA PILOTO CEFET – MG.....	47
<b>5 POSSÍVEIS COMBUSTÍVEIS AUXILIARES PARA UMA USINA SOLAR TÉRMICA</b> .....	<b>50</b>
5.1 GASES RESULTANTES DO PROCESSO SIDERÚRGICO.....	50
5.2 BIOGÁS.....	52
5.3 GASES DE EXAUSTÃO DE TERMELÉTRICAS.....	53
5.3.1 Carvão Mineral.....	53
5.3.2 Gás Natural.....	53
5.3.3 Óleo Diesel.....	54
5.4 BIOMASSA.....	54
5.4.1 Casca da Castanha de Caju.....	55
5.4.2 Cana de Açúcar.....	55
5.4.3 Casca de Arroz.....	55
5.5 QUEIMA DO LIXO.....	56
<b>6 ANÁLISE DA INFRA-ESTRUTURA DA CIDADE DE SOBRAL – CEARÁ</b> .....	<b>59</b>
6.1 ANÁLISE DO POTENCIAL SOLAR.....	60
6.2 INFRA-ESTRUTURA DA CIDADE DE SOBRAL.....	62
<b>7 USINA PROPOSTA</b> .....	<b>64</b>
7.1 CIRCUITO PRIMÁRIO.....	66
7.2 CIRCUITO SECUNDÁRIO.....	66
7.3 CIRCUITO TERCIÁRIO.....	67

<b>8</b>	<b>AVALIAÇÃO ECONÔMICA DA USINA PROPOSTA.....</b>	<b>68</b>
8.1	CARACTERÍSTICAS DA USINA SOLAR TÉRMICA ASSOCIADA Á USINA DE LIXO.....	68
8.2	CUSTOS.....	71
8.3	ENERGIA GERADA.....	73
8.4	CUSTOS DE O&M.....	74
8.5	CRÉDITOS DE CARBONO.....	75
8.6	PRODUÇÃO DE TIJOLOS - USINA DE RSU .....	78
8.7	RESUMO DOS RESULTADOS .....	78
<b>9</b>	<b>CONCLUSÕES.....</b>	<b>80</b>
	<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>83</b>

# 1 INTRODUÇÃO

O desenvolvimento de um país se dá em grande parte devido à disponibilidade de recursos energéticos, pois o crescimento industrial e tecnológico depende da geração de energia. Atualmente, em todo o mundo existe uma preocupação com o aumento da geração de eletricidade, pois a população mundial está crescendo de maneira exponencial e alguns recursos energéticos, estão se tornando escassos. O crescimento demográfico afeta não só o tamanho como também a própria estrutura da demanda de energia, seja de forma direta, seja pelos fatores associados ao crescimento econômico e ao desenvolvimento (PLANO NACIONAL DE ENERGIA 2030, 2005).

A Figura 1 mostra claramente que as perspectivas de aumento da população mundial são grandes, sendo estimado que se chegue aos 9 bilhões de habitantes em 2050. A Europa, a Oceania, a América Latina e a América do Norte terão um crescimento mais contido chegando a populações inferiores a 1 bilhão cada, enquanto que a África possivelmente chegará aos dois bilhões de habitantes e a Ásia aos 5 bilhões em 2050.

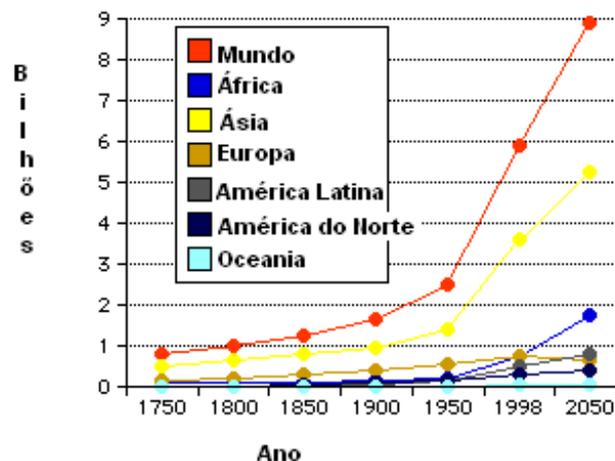


Figura 1 - Estimativa de crescimento da população mundial (Adaptado)  
Disponível em: [www.worldpopulationbalance.org](http://www.worldpopulationbalance.org)

Na Figura 2 é projetado o aumento populacional de alguns países do mundo

para o ano de 2050, sendo que o Brasil deve chegar à faixa de 250 milhões de habitantes juntamente com Bangladesh. Já Nigéria, Indonésia e Paquistão ficariam aproximadamente com 300 milhões, o Japão continuaria por volta dos 100 milhões, com os Estados Unidos chegando aos 400 milhões, enquanto a China e a Índia se aproximariam dos 1,5 e 1,6 bilhões respectivamente.

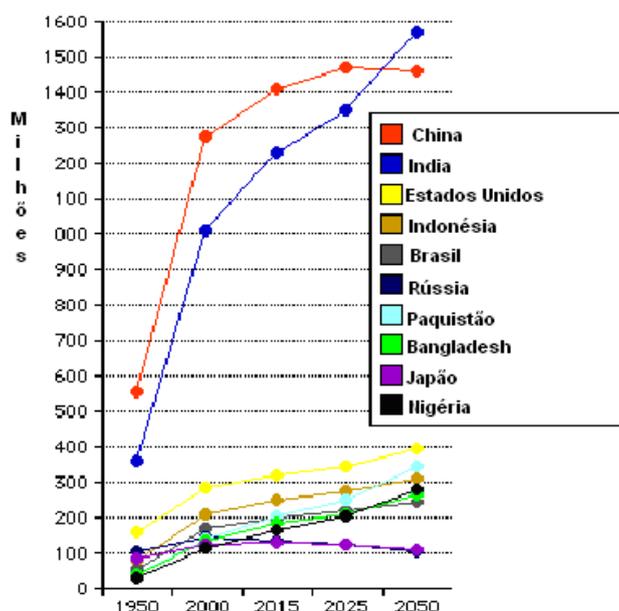


Figura 2 - Projeção do aumento populacional (Adaptado).  
Disponível em: [www.worldpopulationbalance.org](http://www.worldpopulationbalance.org)

No caso do Brasil cabe lembrar que na década de 70 o país tinha cerca de 90 milhões de habitantes, tendo crescido por volta de 100% em menos de 40 anos, atingindo hoje os 180 milhões.

Outro fator que reforça a importância da inserção das fontes renováveis de energia de forma efetiva na matriz energética mundial é o fenômeno do aquecimento global que está ocasionando mudanças drásticas no clima de algumas regiões do mundo, promovendo um alerta e despertando a população mundial para uma corrida em favor da preservação do ambiente.

A Figura 3 sinaliza o início de uma nova era no setor energético mundial, que deve ocorrer ao longo do presente século, onde a energia solar seria a fonte energética dominante, seguida da biomassa. O carvão e o petróleo diminuiriam significativamente suas atuações e a hidroelétrica se manteria quase constante, assim como o gás natural.

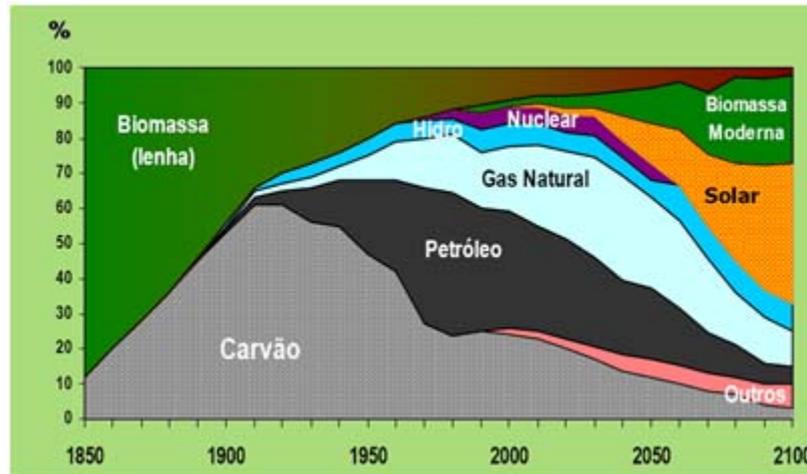


Figura 3 - Setor Energético Mundial  
 Fonte: Embrapa, 2006 apud Nakicenovic, Grübler e Maconald, 1998.

Os combustíveis fósseis suprem cerca de 80% das atuais necessidades de energia da humanidade. A limitação do uso desses combustíveis está pontuada não só nos prejuízos ambientais que os mesmos podem causar, mas também na própria limitação de reservas de petróleo, gás natural e seus derivados. Apesar do surgimento de algumas novas reservas de petróleo como a camada do pré-sal no Brasil, a disponibilidade desse tipo de recurso aos preços baixos hoje praticados está certamente limitada ao presente século.

O Brasil necessita de um aumento da oferta anual de energia superior a 5%, principalmente se considerarmos a possibilidade de redução da pobreza e a estimativa de que o PIB – Produto Interno Bruto brasileiro deverá crescer em média 5% nos próximos anos para acomodar o crescimento populacional.

De acordo com Figueiredo (2007), a geração energética vem se mantendo em patamares estáveis e relativamente baixos diante do crescente aumento do PIB, sendo que as emissões de dióxido de carbono, por outro lado, crescem acima do PIB, aumentando, portanto, a preocupação com o meio ambiente.

O crescimento econômico demanda maior quantidade de produtos e serviços. Um dos segmentos que mais aumenta quando há crescimento econômico depois do consumo de alimentos são os de bens duráveis, como os eletrodomésticos, que por sua vez demandam um aumento na oferta de energia elétrica.

De acordo com Leite (2006), houve um aumento da capacidade instalada no setor elétrico brasileiro de 4,25% ao ano nas duas últimas décadas, passando de 31

GW em 1980, para 86 GW em 2005, sugerindo que a demanda por energia elétrica poderá vir a ser um gargalo para o crescimento econômico no Brasil para os próximos anos.

Apesar do enorme potencial hidroelétrico que o Brasil possui, novos empreendimentos deste tipo têm enfrentado problemas em relação aos possíveis impactos ambientais causados ao ecossistema local. As Pequenas Centrais Hidrelétricas (PCH's) tem se apresentado como uma alternativa para que se possa produzir energia localmente, preservando matas ciliares e estimulando a economia regional.

O projeto de novas centrais nucleares evoluiu de maneira positiva com relação a sua viabilidade econômica e segurança, mas o fato de praticamente não terem sido implantadas novas usinas nos últimos 30 anos, aliado ao questionamento sobre o destino final dos rejeitos radioativos, geram ainda incerta e rejeição com relação a esse tipo de tecnologia.

Existem alguns empreendimentos no Brasil que utilizam biomassa para a produção de energia elétrica principalmente os que geram como resultados combustíveis como o álcool e o biodiesel. Alguns materiais são utilizados para a geração de energia de biomassa, como bagaço da cana-de-açúcar, bagaço de arroz, casca de caju, entre outros. O bagaço da cana-de-açúcar é utilizado para a produção de energia por meio da co-geração, melhorando a eficiência do sistema, gerando energia suficiente para suprir as necessidades energéticas da própria usina e em alguns casos há energia excedente para ser vendida.

A região Nordeste do Brasil é uma das regiões mais privilegiadas do mundo em relação ao regime de ventos, altamente favorável á produção de energia eólica. O Ceará tem se destacado com a implantação de inúmeros parques eólicos e com ótimas perspectivas de projetos futuros. Outros estados brasileiros que também se destacam são: Rio Grande do Norte e Rio Grande do Sul.

Todos os sistemas mencionados anteriormente tem sido objeto de políticas de implantação no Brasil através de programas como o PROALCOOL e o PROINFA. A energia solar por outro lado, apesar do enorme potencial existente, particularmente na Região Nordeste, aguarda ainda o estabelecimento de ações práticas dos órgãos governamentais para que possa começar a contribuir para a matriz energética brasileira através das suas varias formas, como os sistemas fotovoltaicos e os sistemas solares térmicos.

A Energia Solar Fotovoltaica é a energia capaz de converter a radiação direta da luz em eletricidade, através do efeito fotovoltaico. Apesar da queda dos custos de instalação de um sistema desta natureza, os mesmos ainda estão impraticáveis e inexistem sistemas de grande porte no Brasil, sendo apenas implantados sistemas isolados e em pequena escala. Atualmente um sistema piloto de 1 MW pico está previsto para a cidade de Tauá no Ceará, sistema esse que poderá nos anos seguintes chegar até 50 MW pico.

Os Sistemas Solares Térmicos são tecnologias que permitem a conversão de energia solar em energia térmica. Pode ser usado para o aquecimento de água para o uso doméstico, para aquecer a água em hotéis e em grandes construções, porém no caso de temperaturas altas tem como finalidade a produção de vapor para fins industriais e para a geração de energia elétrica. Os sistemas térmicos mais utilizados são os sistemas concentradores tipo calha, disco parabólico e torre de energia. Estes concentram a radiação solar incidente em um ponto transformando a energia solar em energia térmica e posteriormente em energia elétrica.

A utilização de tecnologias limpas que contribuem para a redução das emissões de gases poluentes (que causam o efeito estufa e o aumento do aquecimento global) se enquadram nos Mecanismos de Desenvolvimento Limpo – MDL e podem ser beneficiados com a venda de Créditos de Carbono.

Os créditos de carbono surgiram para atribuição de valores aos resultados dos esforços empreendidos para a redução das emissões de Gases de Efeito Estufa – GEE e para sua remoção da atmosfera (seqüestro). Criaram-se, assim, as Reduções Certificadas de Emissões (RCE's) que representam o volume de GEEs retirados ou deixados de emitir, (MORAES, 2008).

De acordo com EPE (2008), no Brasil, o primeiro leilão internacional de créditos de carbono, foi realizado pela Bolsa Mercantil e de Futuros de São Paulo (BM&F) em setembro de 2007, comercializando certificados a €16,20/tCO<sub>2</sub> (considerando o euro em média 2,8 x real, temos que cada tonelada de CO<sub>2</sub> evitado corresponde a R\$45,36) com um banco holandês que, por não ter metas de redução estabelecidas, revenderá os certificados no mercado europeu.

## 1.1 JUSTIFICATIVA

- Necessidade da diversificação da matriz energética Nacional;
- A Tecnologia solar de calha parabólica possui 25 anos de produção comercial de energia;
- Eliminação dos resíduos sólidos urbanos (RSU);
- Associação de tecnologias sustentáveis gerando benefícios técnicos, econômicos e sociais;
- Escala apropriada para uma usina piloto.

## 1.2 OBJETIVOS

O objetivo geral deste trabalho é realizar um estudo de viabilidade econômica de um sistema de geração de energia solar concentradora tipo calha parabólica que tem como combustível auxiliar a queima de resíduos sólidos urbanos simulado para a cidade de Sobral no Estado do Ceará.

Especificamente pretende-se:

- Analisar os possíveis combustíveis auxiliares para integrar este tipo de sistema;
- Estimar dos custos, inclusive os de O&M, necessários para a implantação da usina proposta.
- Calcular os créditos de carbono, qual a área necessária para a instalação da usina proposta e estimar preço de venda do kWh gerado.
- Considerações finais a cerca da viabilidade do projeto.

### 1.3 ORGANIZAÇÃO DOS CAPÍTULOS

O Capítulo 1 faz a introdução do assunto a ser desenvolvido na dissertação, mostrando a justificativa do estudo e os objetivos que se pretende atingir com o mesmo.

O Capítulo 2 mostra a situação atual do setor elétrico brasileiro caracterizando as várias fontes de energia que fazem parte da oferta interna de energia, descreve os vários programas de apoio ao desenvolvimento das energias renováveis no Brasil e mostra alguns estudos realizados sobre o potencial solar do Brasil e do Ceará.

O Capítulo 3 caracteriza alguns sistemas de aproveitamento de energia solar, como: Sistema Solar Fotovoltaico, Sistema Fotovoltaico Concentrador com Lentes Fresnel, Chaminé Solar, Sistemas Concentradores / Stirling ou Discos Parabólicos e Sistemas Torre de Energia ou Receptor Central.

O Capítulo 4 descreve características sobre o sistema de concentradores parabólicos do tipo calha, mostrando o seu princípio de funcionamento, os componentes do sistema, o ciclo utilizado, os custos e as perspectivas em relação a este tipo de tecnologia.

O Capítulo 5 aborda características dos possíveis combustíveis auxiliares que podem eventualmente serem usados em uma usina solar térmica com concentradores parabólicos. São eles: gases resultantes do processo siderúrgico, biogás, gases de exaustão de termelétricas, biomassa e queima do lixo.

O Capítulo 6 faz uma análise da infra-estrutura da cidade de Sobral – Ceará.

O Capítulo 7 mostra a estrutura da Usina Proposta.

O Capítulo 8 faz a análise econômica da usina proposta, descrevendo as condições e características da usina como: Energia Gerada (MWh), horas de funcionamento por dia da usina, custo total da construção da usina, custos de O&M, área necessária, preço de venda do MWh gerado, quantidade de toneladas de CO<sub>2</sub> evitado por ano e retorno do investimento.

O Capítulo 9 mostra as conclusões retiradas a cerca da usina proposta, analisando sua viabilidade.

O Capítulo 10 cita as referências utilizadas no trabalho.

## 2 SITUAÇÃO ATUAL DO SETOR ELÉTRICO BRASILEIRO

De acordo com EPE (2008), pode-se observar que o sistema elétrico brasileiro é totalmente dependente da energia hidráulica, o que não é uma situação confortável visto o risco de novos apagões como o ocorrido em 2001 se houver períodos prolongados de estiagem.

Apesar do estado do Amazonas possuir grande potencial para a geração hidrelétrica encontram-se inúmeras barreiras para a construção de uma usina, pois para ser economicamente viável, requer a formação de grandes reservatórios, com alterações ambientais de conseqüências imprevisíveis e altos custos sociais.

A Figura 4 mostra a oferta interna de energia elétrica no Brasil de acordo com o Balanço Energético Nacional de 2009 que tem como ano base 2008. A energia hidráulica lidera com 73,1%, seguida de 8,6% que é importada, 4,8% de biomassa (Incluindo lenha, bagaço de cana, lixo e outras recuperações), 6,0% de gás natural, 3,0% de derivados do petróleo, 1,6% de carvão e derivados e 0,1% de energia eólica. Ofertando um total de 485,9 TWh no ano de 2007.

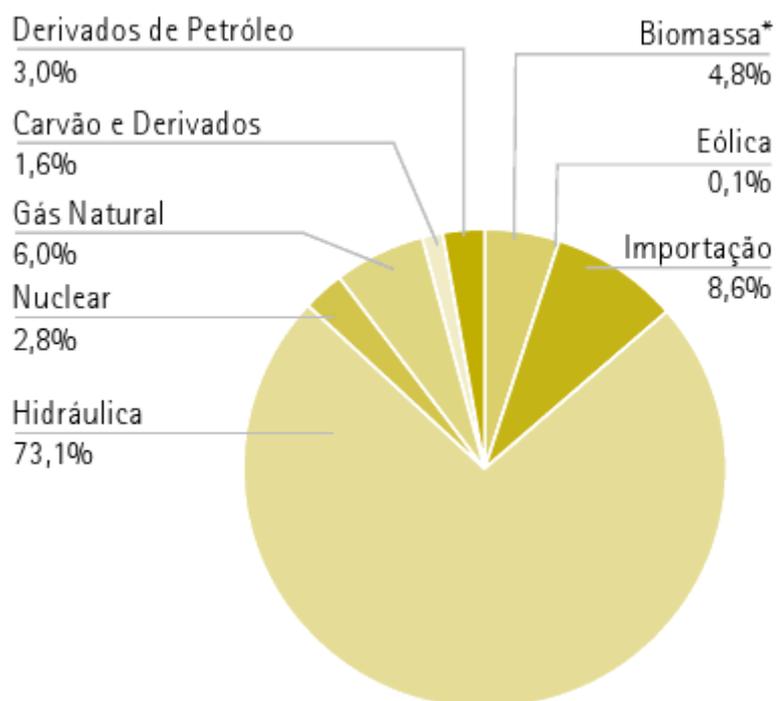


Figura 4 - Oferta Interna de Energia Elétrica  
Fonte: Balanço Energético Nacional 2009

As termelétricas á carvão ou á gás natural contribuem para o aquecimento global através do efeito estufa e da chuva ácida. A queima destes lança na atmosfera grandes quantidades de poluentes, além de serem combustíveis não renováveis. A falta de reservas suficientes também é um fator limitante para a utilização deste tipo de usinas. Apesar disto inúmeras termelétricas estão sendo construídas para funcionarem somente quando o sistema nacional necessitar.

Apesar de representar somente 0,57% da oferta de energia elétrica no Brasil, de acordo com a ANEEL, a energia eólica está em crescente desenvolvimento, principalmente no Ceará que possui 309,6 MW já instalados se tornando um dos principais Estados produtores de energia eólica do país. O Brasil tem capacidade instalada de geração de energia eólica de 602,2 MW e um potencial estimado para vento médio anual igual ou superior a 7 m/s de 143,5 GW totalizando 272,2 TWh/ano, para a região nordeste estima-se 75,0 GW sendo 144,3 TWh/ano, considerando a altitude de 50 m, (Atlas do Potencial Eólico Brasileiro, 2001).

No primeiro leilão exclusivo de energia eólica do Brasil foram cadastrados projetos que totalizam mais de 13 GW para Brasil e quase 3 GW destinados ao Ceará. Vale salientar que tais projetos foram submetidos á análise de documentação para posteriormente concorrerem ao leilão e só depois de realizado o leilão (ocorrido em dezembro de 2009), foram definidos quantos projetos efetivamente serão realizados resultando na contratação de 1.805,7 MW, a um preço médio de venda de R\$ 148,39/MWh, com 71 empreendimentos de geração eólica em cinco estados das regiões Nordeste e Sul, com a seguinte configuração: Rio Grande do Norte com 23 empreendimentos e 657 MW; Ceará com 21 empreendimentos totalizando 542,7 MW; Bahia com 18 empreendimentos e 390 MW; Rio Grande do Sul com 8 empreendimentos e 186 MW; Sergipe 1 empreendimento de 30 MW, (EPE, 2009).

Em relação ás usinas nucleares, além de Angra I e II que tem capacidade instalada de 657 MW e 1350 MW, respectivamente, e de Angra III que já está em processo licitatório e terá capacidade de 1350 MW, existe no Brasil intenção de instalação de novos empreendimentos desta natureza. Os governadores de quatro Estados nordestinos, Pernambuco, Bahia, Sergipe e Alagoas já manifestaram ao governo o firme interesse em receber as quatro usinas nucleares que serão construídas pela União nos próximos anos. Cada usina é estimada em cerca de R\$ 10 bilhões e produzirá 1.000 MW. Duas deverão ser instaladas no Nordeste e duas

no Sudeste, (ROMERO; RITTNER; LEO, 2010).

## **2.1 PROGRAMAS DE APOIO AO DESENVOLVIMENTO DAS ENERGIAS RENOVÁVEIS**

De acordo com Varella, Cavaliero e Silva (2008) apud (GALDINO & LIMA, 2002), o PRODEEM - Programa Nacional de Desenvolvimento Energético de Estados e Municípios foi estabelecido em dezembro de 1994 pelo governo brasileiro e instalou aproximadamente 9 mil sistemas fotovoltaicos em cinco fases de geração de energia e uma de bombeamento de água. Os sistemas foram instalados de junho de 1996 a dezembro de 2001 e implantados por todos os estados Brasileiros, especialmente nas Regiões Nordeste (semi-árido) e Norte (Amazônia). Apesar do grande potencial solar existente no Brasil, nenhum grande projeto foi efetivado sendo realizados até então somente a instalação de sistemas isolados para abastecimento de escolas, sistemas de irrigação e pequenas comunidades muito distantes das cidades.

Em 2002 foi estabelecido no âmbito do Ministério de Minas e Energia – MME o Programa de Incentivo às Fontes Alternativas de Energia Elétrica – PROINFA, considerado o maior programa brasileiro de incentivo às fontes alternativas de energia elétrica prevê a operação de 144 usinas, totalizando 3.299,40 MW de capacidade instalada. Os 3.299,40 MW contratados estão divididos em 1.191,24 MW provenientes de 63 Pequenas Centrais Hidrelétricas (PCHs), 1.422,92 MW de 54 usinas eólicas, e 685,24 MW de 27 usinas a base de biomassa. Toda essa energia tem garantia de contratação por 20 anos pela Eletrobrás, (ELETROBRÁS,2010).

De acordo com Varella, Cavaliero e Silva (2008), em 2007 foi criado o Projeto de Lei – PL para promover o uso de fontes renováveis alternativas para geração de energia elétrica, a universalização do fornecimento, a geração distribuída e a racionalização energética. Além das fontes contempladas no PROINFA, que são PCH's, biomassa e eólica, outras fontes alternativas renováveis de energia são consideradas, ondas, marés, solar e geotérmica. O PL também sugere a criação de programas como o Programa de Fontes Alternativas para Sistemas Isolados - FAIS, o Programa de aquecimento de Água por Energia Solar - PAES e o Programa de Incentivo à Geração Distribuída – PGD.

No estado do Ceará foi criado o Fundo de Incentivo à Energia Solar do Estado do Ceará – FIES instituído pela LEI COMPLEMENTAR Nº 81, de 02 de setembro de 2009, que tem o objetivo de incentivar a instalação e manutenção de usinas destinadas à produção de energia solar, assim como fabricantes de equipamentos solares no território cearense. A Agência de Desenvolvimento do Estado do Ceará– ADECE será responsável por definir diretrizes e políticas de financiamento, disciplinar, coordenar e gerir as ações necessárias à consecução dos objetivos definidos nesta Lei. Pelo projeto, o executivo fica autorizado a abrir crédito adicional de R\$ 10 milhões, para despesas do instrumento de captação financeira.

## **2.2 POTENCIAL SOLAR DO BRASIL E DO CEARÁ**

É evidente o grande potencial solar do Brasil e os grandes empreendimentos que podem ser implantados utilizando a energia do Sol, porém são mínimas as iniciativas de projetos de grande porte, deixando inutilizadas estas áreas em potencial.

De acordo com a Figura 5, pode-se observar que o Brasil possui inúmeros locais de alta radiação solar incidente favorável à utilização da energia solar. A região Nordeste possui os maiores índices de radiação e o estado do Ceará se encontra numa posição privilegiada, pois possui uma insolação média anual de 8 horas diárias.

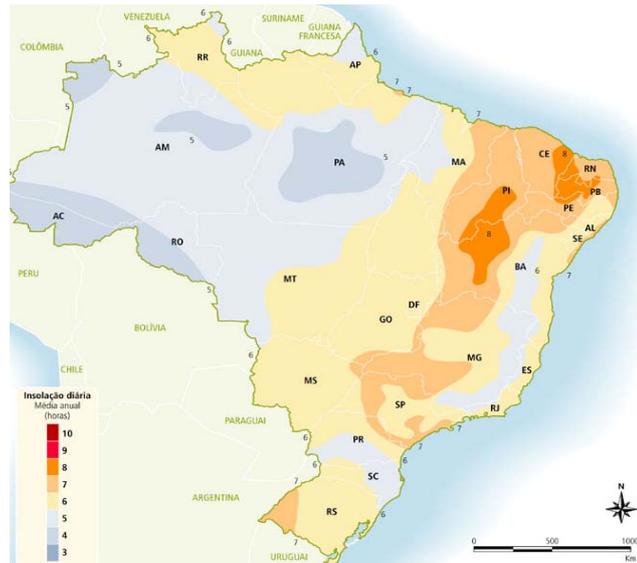


Figura 5 - Média anual da insolação média diária em horas de energia solar que pode ser aproveitada para gerar eletricidade.

Fonte: ATLAS Solarimétrico do Brasil. Recife: Editora Universitária da UFPE, 2000.

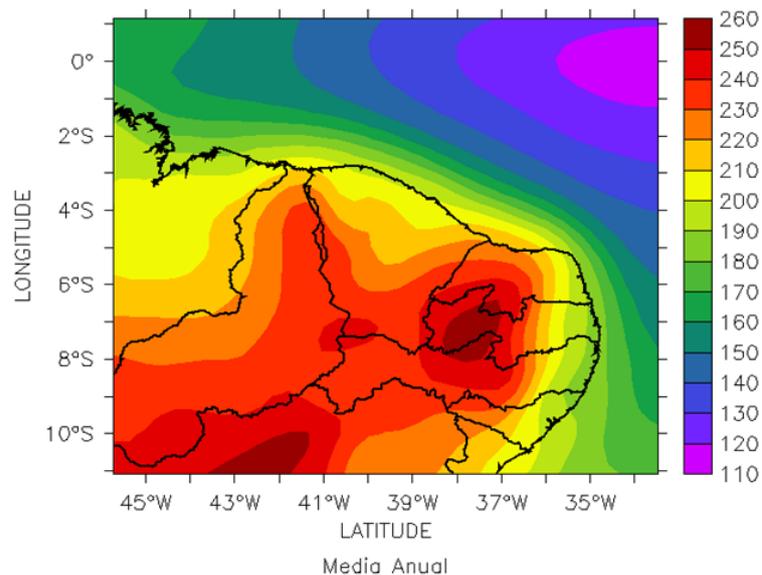


Figura 6 - Média anual corrigida através de regressão linear entre a fração de cobertura de nuvem e a razão entre a radiação observada sobre a radiação no topo da atmosfera ( $W / m^2$ ).

Fonte: Menezes Neto, 2007.

Pode-se observar na Figura 6 o grande potencial de geração de energia solar do estado do Ceará possuindo uma média anual de radiação solar incidente em torno de 200 a 250  $W/m^2$  variando de acordo com cada região do Estado, o que corresponde a aproximadamente de 5,6 a 6,5  $kWh/m^2$ .

De acordo com Menezes Neto (2007), a época de maior incidência da

radiação solar no Ceará coincide com a época de maior escassez de água, principalmente no interior do Estado e o mesmo sugere o uso de sistemas de bombeamento de água utilizando painéis fotovoltaicos para atender as comunidades de baixa renda.

## **3 SISTEMAS DE APROVEITAMENTO DE ENERGIA SOLAR**

### **3.1 SISTEMA SOLAR FOTOVOLTAICO**

O efeito fotovoltaico é um fenômeno físico que realiza uma conversão direta da radiação solar em energia elétrica, sendo que o dispositivo que realiza esta conversão é a célula fotovoltaica.

O sistema fotovoltaico pode ser classificado em três categorias distintas: sistemas isolados, híbridos e conectados a rede. Os tipos de células solares mais utilizadas são as de silício monocristalino, de silício policristalino e de silício amorfo.

De acordo com Falcão (2005), as células de silício monocristalino são as mais empregadas no mercado de células fotoelétricas, as mesmas são fabricadas a partir do cristal de silício. As células de silício policristalino são menos eficientes, mas também são mais baratas, já que a perfeição cristalina é menor que no caso do silício monocristalino e o processamento mais simples. Elas consistem de camadas de silício policristalino tratados quimicamente. As células de silício amorfo são menos eficientes que as células de silício policristalino, no entanto, poderão vir a ser competitivas para produção em grande escala.

Pesquisadores da Universidade de Delaware, Estados Unidos, conseguiram bater o recorde de eficiência energética das células solares cristalinas, atingindo um rendimento de 42,8% de conversão sob condições normais de iluminação.

Como se pode observar na Figura 7, na última década houve um crescimento bastante acentuado na produção de células fotovoltaicas. Este crescimento vem acompanhado de muito desenvolvimento tecnológico como também de um decréscimo no preço do módulo solar. O Japão, a Europa e a China são os líderes de produção de células fotovoltaicas, chegando a produzir cerca de 1.000 MW de células cada um em 2007.

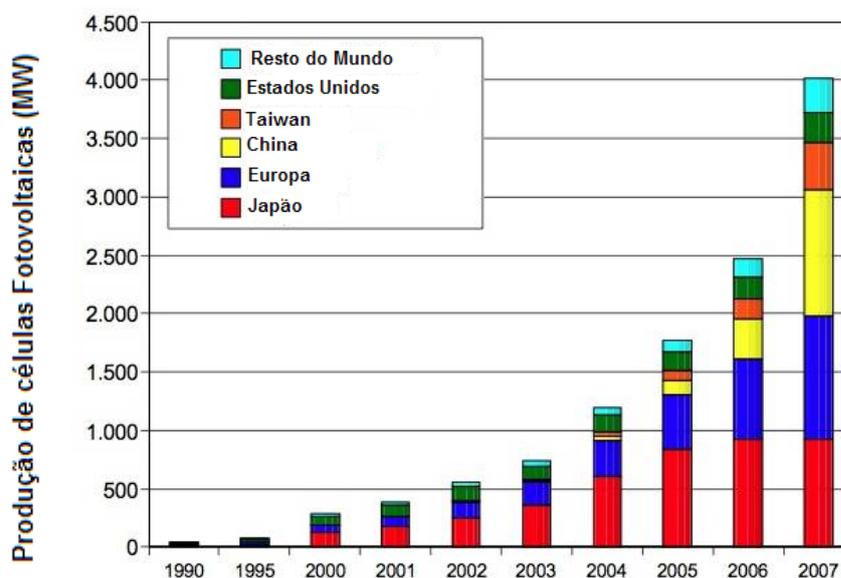


Figura 7 - Crescimento mundial de produção de energia solar fotovoltaica  
Fonte: PV News 2008

No Brasil já houve várias tentativas de implantação de sistemas fotovoltaicos isolados, porém a falta de manutenção adequada e o abandono dos empreendimentos impossibilitaram o sucesso dos mesmos.

A primeira usina comercial movida à energia solar da América Latina, a ser construída no Ceará, contará com investimentos privados de US\$ 250 milhões. O projeto, divulgado pelo Diário do Nordeste do dia 26/02/08, é capitaneado pela empresa MPX Energia, pertencente ao grupo EBX, que assinou, com o Governo do Estado, protocolo para estudo da planta. O local onde será construído o empreendimento será no município de Tauá. A usina terá capacidade instalada final de 50 megawatts (MW), sendo, assim, a segunda maior do mundo, ficando atrás apenas da de Moura, em Portugal, com 62 MW de energia gerada. A planta estará dividida em módulos de 5 MW a 10 MW, segundo informou o presidente da MPX, Eduardo Karrer.

### 3.2 SISTEMA FOTOVOLTAICO CONCENTRADOR COM LENTES FRESNEL

Uma das estratégias para aperfeiçoar o desempenho dos sistemas fotovoltaicos é a utilização de sistemas de concentração. Estes são compostos por um sistema óptico, que concentra a luz solar em uma pequena área. Concentrando

a luz, pode-se diminuir significativamente a área utilizada, por isso é possível fabricar células fotovoltaicas com alta tecnologia e maior eficiência com um preço final do sistema inferior ao obtido num sistema sem concentração. Além disso, operando em células com luz concentrada é possível obter rendimentos mais elevados. Uma das grandes vantagens deste tipo de sistema é a utilização muito pequena (cerca de 400 vezes menor) de silício comparado a um sistema sem concentração considerando a mesma potência instalada.

A Figura 9 mostra uma torre SIFAC de 25kW.

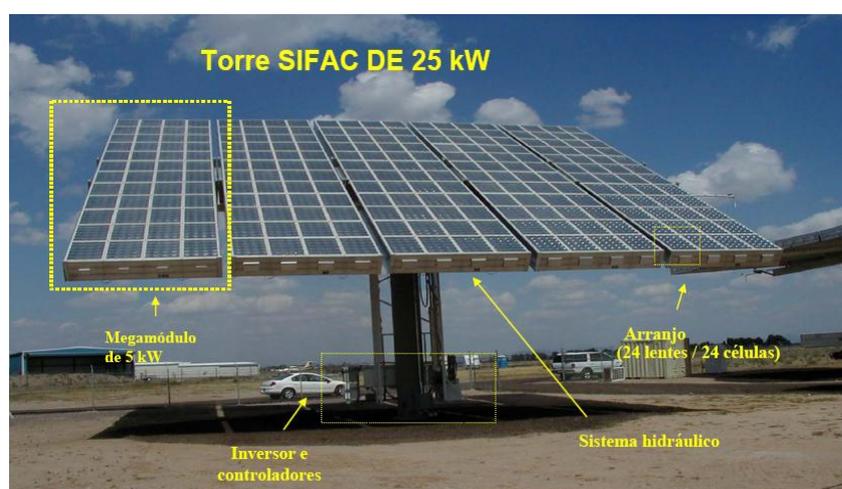


Figura 8 - Sistema Fotovoltaico concentrador com lentes Fresnel (SIFAC)  
Disponível em: [www.galeon.com/pikaso/sistfotov.pdf](http://www.galeon.com/pikaso/sistfotov.pdf)

Sistemas que tem como princípio de funcionamento com concentração de energia em um ponto são alternativas importantes para que as energias renováveis possam competir de igual e lograr êxito em relação às fontes de geração de eletricidade convencionais. (GUASCOR SOLAR CORPORATION, 2008).

Na Espanha existem alguns SIFAC's instalados, 25 kW em Madri, 7,8 MW em Navarra, 1 MW em Extremadura e 1,5 MW em Sevilha, além de outros projetos que estão em desenvolvimento.

### 3.3 CHAMINÉ SOLAR

A chaminé solar é uma central térmica solar para produção de energia

elétrica. É constituída por vários coletores, muito semelhantes a uma estufa, e uma chaminé central. O ar é aquecido pela radiação solar dentro do coletor que escoar por convecção pela chaminé fazendo mover uma turbina. A renovação de ar dentro do coletor faz-se através do perímetro do coletor que é aberto ao exterior.

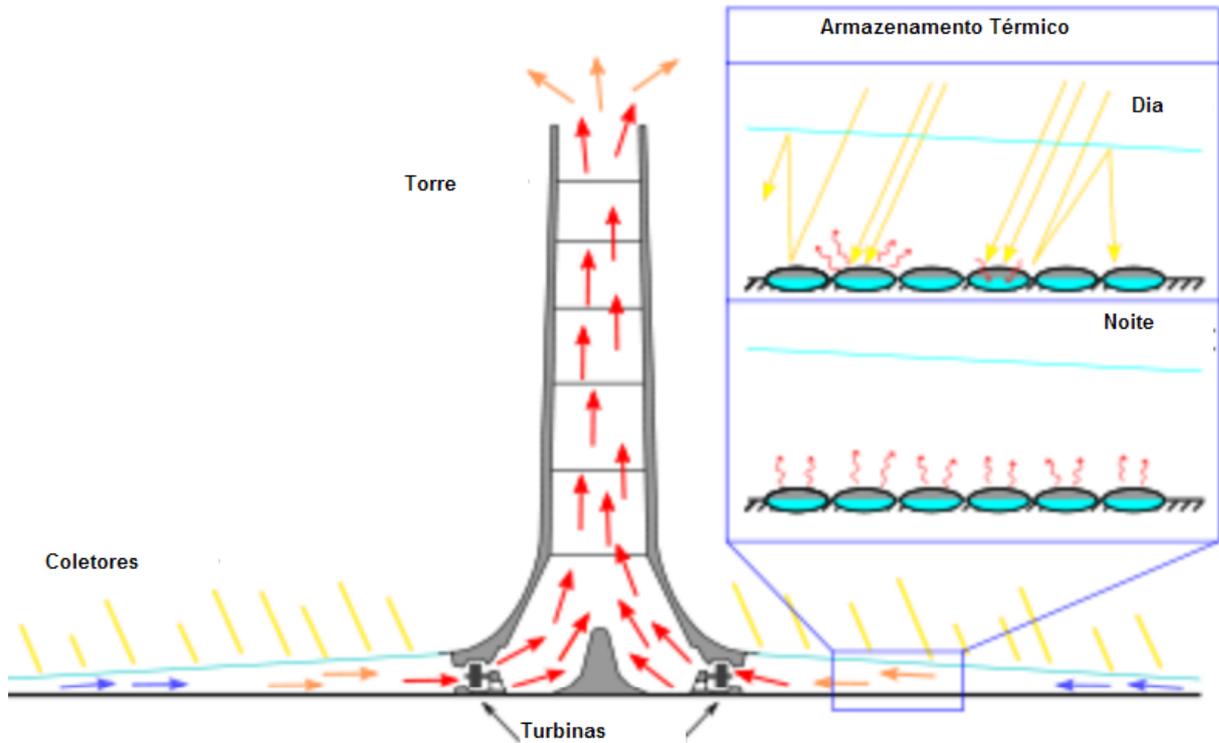


Figura 9 - Princípio de Funcionamento de uma Chaminé Solar. (Adaptado)  
Disponível em: <http://www.gluon.com.br>

A geração de energia é baseada no princípio que o ar quente sobe e é substituído pelo ar que entra pela borda do teto de vidro, em seguida, começa a aquecer. Dessa forma o calor da radiação solar é convertido em energia cinética do ar que sobe constantemente para movimentar a turbina construída na chaminé. A turbina então converte, através de um gerador, a energia de movimentação do ar em energia elétrica. Ao contrário das centrais com espelhos refletores, o coletor de vidro continua a operar quando o céu está nublado, utilizando a radiação difusa.

Uma das vantagens deste tipo de sistema é o baixo custo e a utilização de tecnologia relativamente simples, porém esta tecnologia ainda está em fase de desenvolvimento e possui eficiência muito baixa.

### 3.4 SISTEMAS CONCENTRADORES / STIRLING OU DISCOS PARABÓLICOS

O sistema disco parabólico concentra toda a radiação solar incidente direcionando-a para o motor stirling que captura o calor e o transforma em energia elétrica.

Os discos parabólicos é uma tecnologia recente que conta com dois protótipos de 50 KW cada, na Arábia Saudita e um de 25 kW nos Estados Unidos. Este sistema utiliza o motor stirling que tem uma vida útil em média de 30.000 h e possui sistemas modulares.

A Figura 10 mostra os componentes presentes em um sistema concentrador disco parabólico, que é composto por uma unidade conversora de potencial responsável por transformar a energia mecânica produzida pelo motor stirling em energia elétrica, o atuador azimutal, a haste de apoio, os espelhos, o dispositivo para inclinação, o suporte principal e a caixa de treliça.

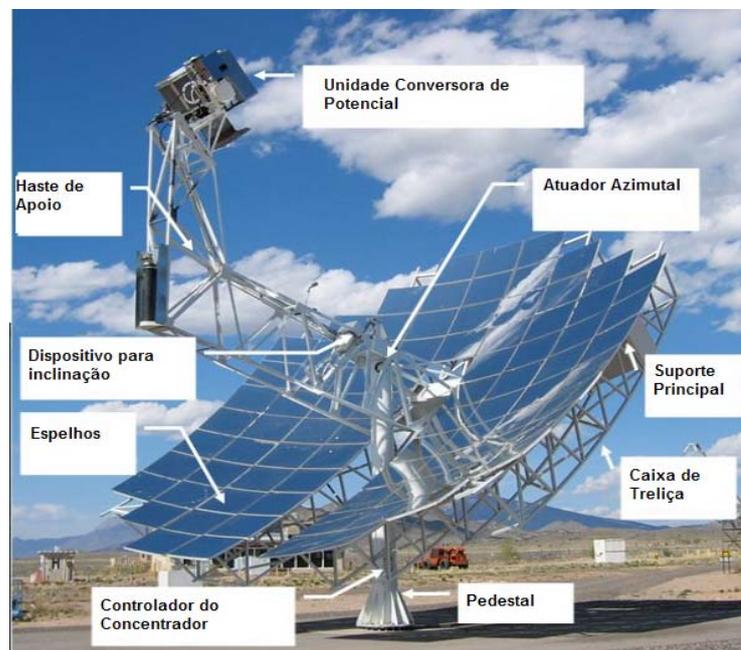


Figura 10 - Estrutura de um Sistema Concentrador/Disco Parabólico (Adaptado).  
Fonte : Stirling Energy Systems (2008).

O motor Stirling é um motor de combustão externa. Este tipo de motor funciona com um ciclo termodinâmico composto de 4 fases e executado em 2

tempos do pistão: compressão isotérmica, aquecimento isométrico, expansão isotérmica e resfriamento isométrico. Este é o ciclo idealizado para gases perfeitos, que diverge do ciclo real. Não obstante, encontra-se muito próximo do Ciclo de Carnot, que estabelece o limite teórico máximo de rendimento das máquinas térmicas. O motor Stirling (Fig.11) surpreende por sua simplicidade, pois consiste de duas câmaras em diferentes temperaturas que aquecem e resfria um gás de forma alternada, provocando expansão e contração cíclicas, o que faz movimentar dois êmbolos ligados a um eixo comum. O gás utilizado nos modelos mais simples é o ar hélio ou hidrogênio pressurizado (até 150 Kgf/cm<sup>2</sup>) que são empregados nas versões de alta potência e rendimento, por serem gases com condutividade térmica mais elevada e menor viscosidade, isto é, transportam energia térmica mais rapidamente e tem menor resistência ao escoamento, o que implica menos perdas por atrito. Ao contrário dos motores de combustão interna, o fluido de trabalho nunca deixa o interior do motor, trata-se, portanto de uma máquina de ciclo fechado.

Estes motores podem produzir energia utilizando o calor obtido a partir de um concentrador solar como fonte quente.

A Figura 11 mostra o esquema de um motor stirling.

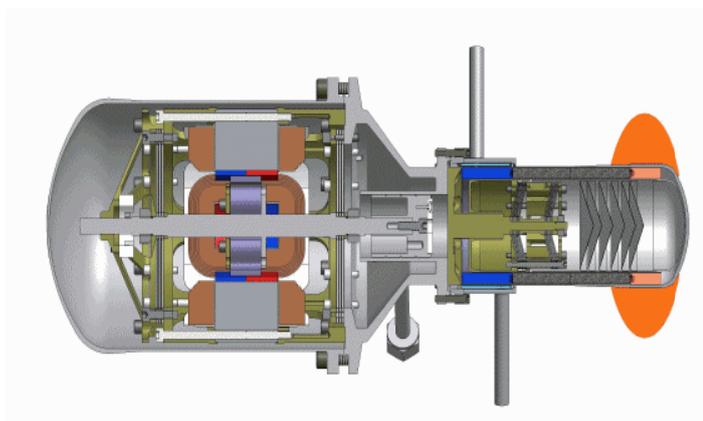


Figura 11 - Motor Stirling  
Fonte: [www.infiniacorp.com](http://www.infiniacorp.com).

Nos motores Stirling de alto desempenho, a temperatura do fluido de trabalho chega a 700 °C e a pressão atinge valores acima de 20 MPa. A eficiência de conversão térmico-elétrica desses motores é de cerca de 40%. Com essas

características, os motores Stirling são os mais adequados para a tecnologia dos discos parabólicos (PEREIRA E CAVALCANTI, 2000).

### **3.4 SISTEMAS TORRE DE ENERGIA OU RECEPTOR CENTRAL**

Em sistemas conhecidos como Torre de Energia, a torre é circundada por pequenos espelhos chamados heliostatos. Estes espelhos alinham-se e concentram-se no receptor a radiação solar que será enviada para o topo da torre, o calor coletado é transferido para uma central termoelétrica, conforme a Figura 12.

De acordo com SOUZA Filho (2008), atualmente existem mais de uma dezena de instalações diferentes com caráter demonstrativo. Algumas iniciaram como plantas de produção de energia e se transformaram em centros de pesquisas visando o aprimoramento desta tecnologia. São eles, o campo SSPS- CRS com 0,5 MW, o campo CESA 1 com 1,2 MW, ambos em Almería na Espanha; o campo Solar 1 com 10 MW e o campo Solar 2 também com 10 MW, situados na Califórnia, EUA; e o campo NSTTF com 1,5 MW, localizado Novo México.

Conforme se observa na Figura 12, os heliostatos absorvem a radiação solar incidente e a direcionam para o alto da torre onde existe um receptor capaz de absorver toda esta energia que aquece uma solução salina e posteriormente gera o vapor para mover a turbina e gerar eletricidade depois que passar pelo gerador.

Em 2007 foi construída na Espanha próximo á Sevilha uma usina de energia solar torre de energia, a planta produz atualmente 11 MW, mas existem planos para aumentar a produção para 300 MW até 2013.

### Torre de Energia ou Receptor Central

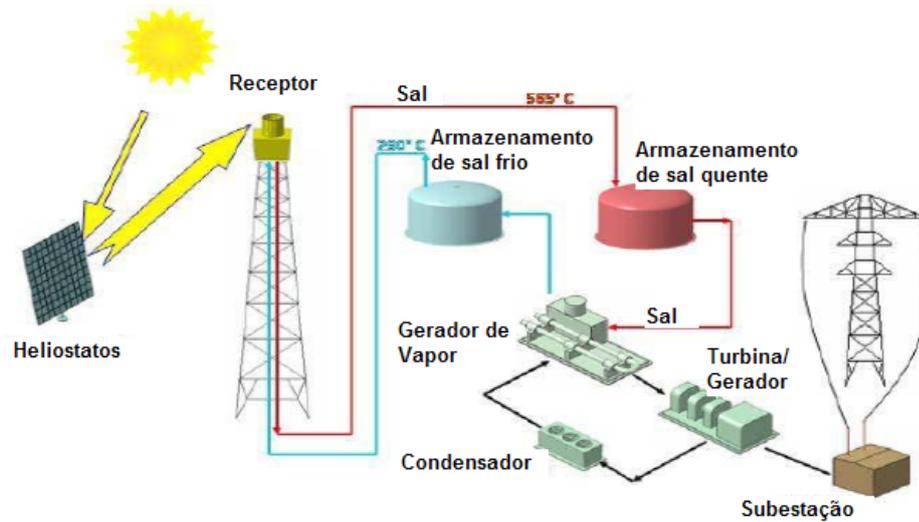


Figura 12 - Sistema de funcionamento de um Receptor Central (Adaptado).  
Fonte: SANDIA NATIONAL LABORATORIES (2007)

O National Renewable Energy Laboratory NREL, estimou que em 2020 o custo da eletricidade produzida a partir de torres de energia chegaria a 5,47 ¢/kWh. A expectativa é que se desenvolvam heliostatos mais baratos e com baixa manutenção num futuro próximo.

## 4 SISTEMA CILÍNDRICO PARABÓLICO

Neste capítulo é feita uma descrição detalhada do funcionamento do sistema concentrador do tipo calha parabólica.

A tecnologia de concentradores parabólicos do tipo calha é a mais comprovada tecnologia solar térmica para a geração de energia elétrica do mundo. Isto é devido, principalmente, à sua larga escala comercial, constituída de nove centrais que funcionam na Califórnia, no Deserto do Mojave, desde 1984. Estas plantas que continuam a funcionar diariamente variam no tamanho de 14 a 80 MW e representam um total de 354 MW de capacidade instalada de geração elétrica. Os grandes campos de concentradores, alguns chegando a ocupar aproximadamente 485.000 m<sup>2</sup>, ofertam energia térmica em grande quantidade para produzir vapor. (LABORATÓRIO SANDIA, 1999).

As duas primeiras plantas concentradoras parabólicas conhecidas como SEGS foram construídas em Daggett, Califórnia, entre 1984 e 1985, e têm respectivamente uma potência de 14 MW e 30MW. Da SEGS III até a SEGS VII, todos possuem 30 MW e foram montadas em Kramer Junction, Califórnia, entre 1986 e 1988. As duas últimas, a SEGS VIII e a SEGS IX, possuem 80 MW cada e se localizam em Harper Lake, Califórnia construídas entre 1989 e 1990. Todas as nove SEGS foram concebidas, construídas e vendidas pela Luz International (EUA). (PATNODE, 2006)

De acordo com SOUZA Filho (2008), além dos Estados Unidos, as experiências mais significativas utilizando sistemas cilíndricos parabólicos se localizam na Espanha e em Israel. Na Espanha existem o campo Acurex, com 0,5 MW, o campo Ace 20 com 50 kW, o campo DISS com 0,5 MW e o campo Eurotrough, com 50 kW, todos em Almería. Já em Israel se localiza o campo DSG System com 0,5 MW.

A Figura 13 mostra a estrutura de funcionamento de uma usina solar que utiliza concentradores parabólicos, nesta figura o aquecimento suplementar é feito com gás natural.

Figura 13 - Sistema de Geração de Energia utilizando coletores parabólicos (Adaptado).  
 Fonte: LABORATÓRIO SANDIA, (1999).

A Tabela 1 caracteriza as nove SEGS descrevendo o ano de instalação da planta, a capacidade instalada, a temperatura do fluido, o tipo de coletor utilizado, a área construída e a eficiência do ciclo de Rankine.

Tabela 1 - Características das nove usinas localizadas no Deserto do Mojave, na Califórnia.

Planta	Início de operação	Capacidade MW	Temperatura do Fluido (°C)	Tipo do Coletor	Área utilizada m <sup>2</sup>	Eficiência Rankine
I	1985	14	307	LS1/LS2	82.960	31,5
II	1986	30	315	LS1/LS2	165.376	29,4
III	1987	30	349	LS2	230.300	30,6
IV	1987	30	349	LS2	230.300	30,6
V	1988	30	349	LS2/LS3	250.560	30,6
VI	1988	30	390	LS2	188.000	37,5
VII	1989	30	390	LS2/LS3	194.280	37,5
VIII	1990	80	390	LS3	464.340	37,6
IX	1991	80	390	LS3	483.960	37,6

Fonte: KOLB, 1997

A Figura 14 mostra os dados de produção das nove SEGS, existentes no Deserto do Mojave, na Califórnia, dados estes coletados do Financing Renewable Energy Symposium de 2005.

Estes dados contemplam os dados de produção desde o ano de 1985 até o ano de 2002 e pode-se observar que já nos primeiros anos de desenvolvimento deste tipo de usina a produção de energia mantém níveis consideráveis e com uma regularidade muito boa. Observa-se em alguns momentos quedas de produção, porém deve ser considerado que a busca pelo aprimoramento nos primeiros anos é maior principalmente no aperfeiçoamento dos equipamentos e na procura do desenvolvimento de todo o processo.

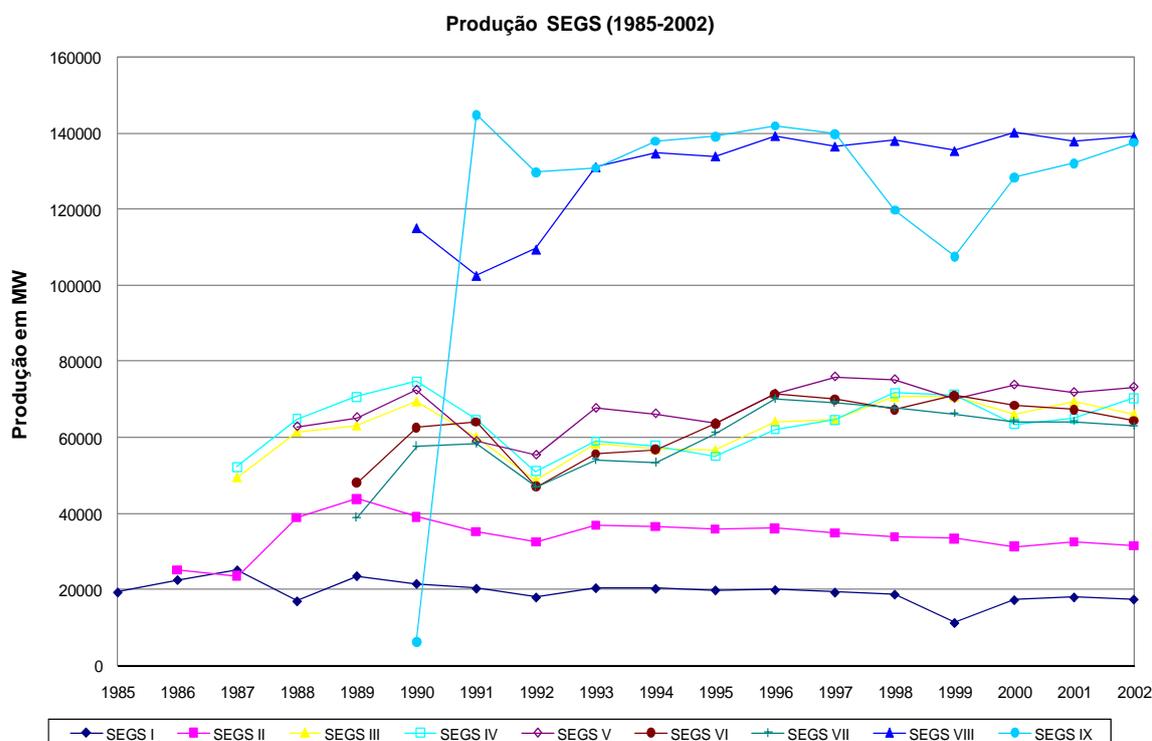


Figura 14 - Total de MWh produzidos por cada SEGS no período de 1985 – 2002

A Tabela 2 mostra as diferenças existentes entre os três tipos de coletores mais utilizados fazendo comparações a cerca da área, da abertura, do diâmetro do receptor, o comprimento total, a temperatura de saída, a eficiência óptica, a emissividade e a absorvidade do receptor, a refletividade do espelho e a taxa de concentração.

Tabela 2 - Características dos tipos de coletores

	LS1	LS2	LS3
Área (m <sup>2</sup> )	128	235	570
Abertura largura (m)	2,55	5,0	5,76
Diâmetro do receptor (m)	0,042	0,070	0,070
Comprimento Total (m)	50,2	47,1	99,0
Espaçamento (m)	7,3	12,5-15	17,3
Temperatura de saída (°C)	307	349	390
Eficiência Óptica	0,734	0,737-0,76	0,80
Emissividade do receptor	0,30	0,24	0,18
Absortividade do receptor	0,94	0,94	0,96
Refletividade do espelho	0,94	0,94	0,94
Taxa de Concentração	61	71	82

Fonte: KJC Operating Company

### Os componentes de um Sistema Parabólico

O tubo absorvedor é envolvido por um cilindro de vidro (Fig. 15), o espaço entre o tubo de aço e do vidro é evacuado para limitar as perdas de calor do tubo absorvedor para o ambiente. A energia solar radiante no foco é armazenada no Elemento Absorvedor de Calor (HCE) e transferida para o fluido de trabalho que é um óleo sintético, que é bombeado através de cada tubo absorvedor (PATNODE apud KEARNEY et al, 1988). O fluido aquecido é bombeado de volta para a usina, onde ele se torna o fluido térmico para a geração de vapor no ciclo.

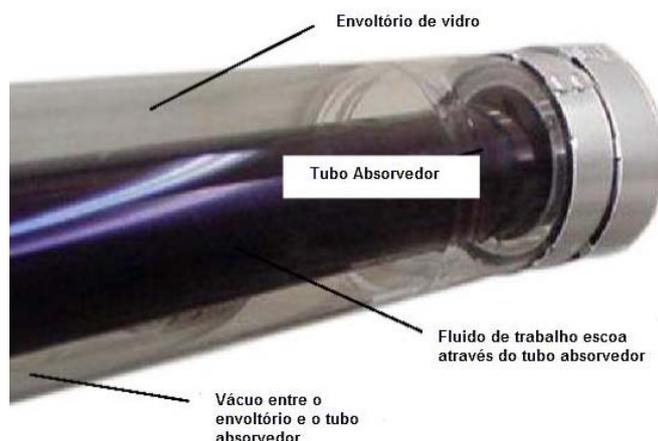


Figura 15 - Elemento absorvedor de calor (Adaptado).  
Fonte: PATNODE, (2006).

O tipo de fluido a ser utilizado no tubo absorvedor pode variar de acordo com a temperatura que se deseja atingir. Para temperaturas menores que 200 °C pode-se utilizar como fluido água desmineralizada ou etileno glicol, para temperaturas mais altas que estejam entre 200 °C e 450 °C, geralmente se usa óleos sintéticos, (SOUZA Filho, apud, Gil (2001)).

A superfície refletora do cilindro parabólico é responsável pela absorção da radiação direta do sol, concentrando toda a radiação recebida no tubo absorvedor, conforme se vê na Figura 16. A superfície refletora pode ser composta por fibra de vidro ou outro tipo de superfície que tenha alta refletividade.

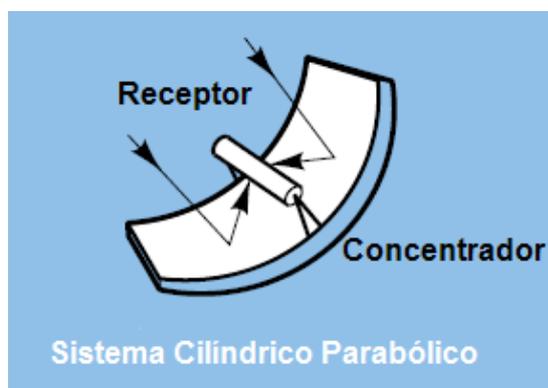


Figura 16 - Sistema Cilíndrico parabólico (Adaptado).  
Fonte: TYNER et al., (2001)

De acordo com BRAGA e LISBOA (2007), quando a relação entre a área da superfície refletora e a área da superfície absorvedora, denominado fator de concentração (FC) é elevado, somente a componente direta da radiação solar global tem utilização efetiva.

A estrutura de aço deve garantir a precisão exigida dos espelhos parabólicos para atingir uma forma quase perfeita parabólica, bem como a localização do HCE sobre o foco desta parábola. A mesma deve suportar as cargas do vento que o coletor sofre e deve ser rígido o suficiente para transmitir a ação do sistema de tração evitando uma alta torção, que poderia causar um foco ruim ou mesmo a quebra do espelho, (CASTAÑEDA, *et al.*2006).

De acordo com FAIRLEY (2009), a capacidade de armazenar energia é fundamental para a economia da central solar térmica. Sem armazenagem, uma central solar térmica precisaria de uma turbina grande o suficiente para lidar com o pico de produção de vapor, quando a radiação solar incidente é maior, mas que em outro momento quando a radiação fosse menor a mesma seria subutilizada. O calor armazenado significa que uma planta pode utilizar uma turbina a vapor mais barata e menos potente, por sua vez pode ser mantida em funcionando cada vez por mais horas durante o dia. A possibilidade de armazenamento em uma usina solar térmica aumenta o número de horas que ela pode manter a turbina funcionando sem parar. As novas usinas que estão sendo projetadas incluem tanques de armazenamento que serão capazes de armazenar energia suficiente para fazer com que a usina permaneça cerca de 7 horas em operação mesmo depois da não existência radiação solar incidente. Esses tanques são cheios de um sal fundido que permanece líquido a temperaturas superiores a 565 °C.

### Ciclo de Rankine

O Ciclo Rankine é um ciclo termodinâmico, usado na maioria deste tipo de sistema (Fig.13). Como outros ciclos termodinâmicos, sua eficiência máxima é obtida em função da eficiência de um Ciclo de Carnot. Primeiro, o fluido é bombeado, este bombeamento requer algum tipo de energia para se realizar, no caso do sistema representado na Figura 13, temos o tubo absorvedor de um Sistema Cilíndrico Parabólico. O fluido pressurizado entra numa caldeira, onde é aquecido á pressão constante até se tornar vapor superaquecido. O vapor

superaquecido expande através de uma turbina para gerar trabalho. Idealmente, esta expansão é isentrópica. Com esta expansão, tanto a pressão quanto a temperatura se reduzem. O vapor então entra num condensador, onde ele é resfriado até a condição de líquido saturado. Este líquido então retorna à bomba e o ciclo se repete.

O ciclo Rankine apresenta duas vantagens que o torna mais prático de se trabalhar que o ciclo Carnot. A primeira é que no ciclo Rankine o fluido é totalmente condensado e bombeado em estado líquido, muito mais fácil de realizar que bombear uma mistura de líquido e vapor como ocorre no ciclo Carnot. A segunda vantagem se refere ao superaquecimento do vapor que no ciclo Rankine ocorre à pressão constante e no Carnot a temperatura constante, onde ocorre uma queda de pressão, ou seja, o calor é transferido ao vapor enquanto este sofre uma expansão efetuando trabalho. Este processo presente no ciclo Carnot é mais difícil de obter na prática do que o aquecimento isobárico e a expansão adiabática do ciclo Rankine.

Fontes solares térmicas dotadas de concentradores podem fornecer o calor necessário para o processo de superaquecimento do vapor.

Uma outra tecnologia em estudo atualmente (Blanco et al - 2008), é a utilização do calor rejeitado no condensador para a dessalinização de água salobra, embora, para grandes volumes de produção, a melhor opção é utilizar uma usina de destilação convencional com o campo de coletores solares fornecendo a energia térmica necessária para o processo de dessalinização.

### Sistemas Solares Integrados de Ciclo Combinado (ISCCS).

Sistemas Solares Integrados de Ciclo Combinado (ISCCS - Integrated Solar Combined Cycle System) são modernas centrais de ciclo de turbinas a gás e vapor e adicionais de entrada de energia solar térmica a partir de um campo de calhas parabólicas. Essas plantas oferecem três vantagens: Em primeiro lugar, a energia solar pode ser convertida em energia elétrica com uma maior eficiência. Em segundo lugar, os custos incrementais para uma turbina a vapor de maior potência são inferiores ao custo de uma unidade global de energia solar. Em terceiro lugar, uma fábrica integrada não perde energia térmica a partir da ineficiência associada à partida e de parada da máquina da turbina a vapor. O investimento em uma usina

térmica de ciclo combinado parece ser útil, porque a energia solar com custo nivelado de energia são cerca de 10% - 15% mais baixos do que uma usina térmica de armazenamento, (DERSCH, *et al.* 2004).

A seguir na Tabela 3, são apresentadas algumas características dos Sistemas de Concentradores de Energia Solar, como pico de eficiência, eficiência anual e fator de capacidade anual.

Tabela 3 - Características dos Sistemas Concentradores de energia solar.

<b>Sistema</b>	<b>Eficiência de Pico</b>	<b>Eficiência Anual</b>	<b>Fator de Capacidade Anual</b>
Calha	21%	10 a 12% (d) 14 a 18% (p)	24% (d) 25 a 70% (p)
Torre de Energia	23%	14 a 19% (p)	25 a 70% (p)
Concentrador/motor	29%	18 a 23% (p)	25% (p)
(d) demonstrado (p) projetado, com base em testes na escala piloto. Fator de Capacidade anual refere-se à fração do ano que a tecnologia poderá fornecer a energia solar em potência nominal			

Fonte: (TYNER et al., 2001)

Na tabela 4 é feita uma estimativa otimista do custo de energia dos Sistemas Parabólicos para os próximos anos. Estimulando com esta previsão muitos projetos futuros.

Tabela 4 - Estimativa do custo de energia dos Sistemas Parabólicos

<b>Custo</b>	<b>1990</b>	<b>2000</b>	<b>2005</b>	<b>2010</b>	<b>2015</b>	<b>2020</b>
<b>(¢/kWh)</b>	15 - 18	10 - 12	7 - 8	5 - 6	4 - 5	4

Fonte: (PRICE e KEARNEY, 2003)

O custo da energia pode ser reduzido através de melhorias tecnológicas, aumentando a capacidade em MW de cada planta, as pressões concorrenciais, a

utilização do armazenamento térmico, avanços nos métodos de O & M, através de financiamentos e incentivos fiscais, (PRICE; KEARNEY, 2003).

A avaliação do ciclo de emissões e dos impactos da superfície terrestre mostra que sistemas concentradores de energia solar são os mais adequados para a redução de gases que causam o efeito de estufa e outros poluentes, sem criar outros riscos ambientais ou contaminação. Por exemplo, cada metro quadrado da superfície do coletor pode evitar 250 a 400 Kg de emissões por ano. (FEDERAL MINISTRY FOR THE ENVIRONMENT THE GERMANY, 2010).

De acordo com Solar Paces (2010), a área utilizada para construção de uma usina solar com concentradores parabólicos é de 2,2 ha/MW instalado e se utiliza cerca de 18.500 m<sup>3</sup>/MW de água por ano.

A Figura 17 mostra as intenções de instalação de projetos para o Norte da África e os mais solicitados são os concentradores parabólicos, energia eólica, geotérmica, solar fotovoltaica, biomassa e hídrica respectivamente.

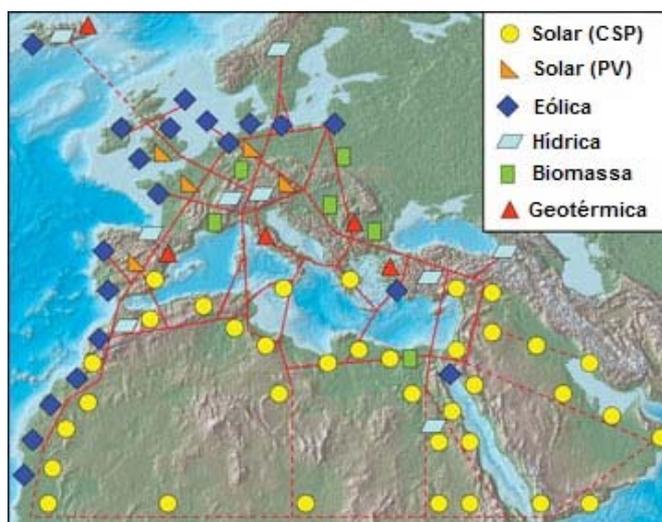


Figura 17 - Estimativa de projetos futuros no norte da África. (Adaptado)  
Disponível em: [www.geotimes.org](http://www.geotimes.org)

A empresa espanhola Abengoa Solar está em processo de desenvolvimento de uma nova usina solar térmica a ser construída no sudoeste do Arizona, onde as temperaturas no verão podem chegar a até 48 °C (120 °F). Se aprovada, a usina produzirá 280 MW e terá a estrutura mostrada na Figura 18. Na Espanha duas plantas de 50 MW de concentradores parabólicos estão em construção na região de Andaluzia.



Figura 18 - Planta Solar de 280 MW no Arizona  
Disponível em: [www.guponeva.es](http://www.guponeva.es)

A Figura 19 pontua as perspectivas de implantação de sistemas cilíndricos parabólicos em todo o mundo, fazendo uma projeção com base no potencial que os países disponibilizam para o possível desenvolvimento desta tecnologia.

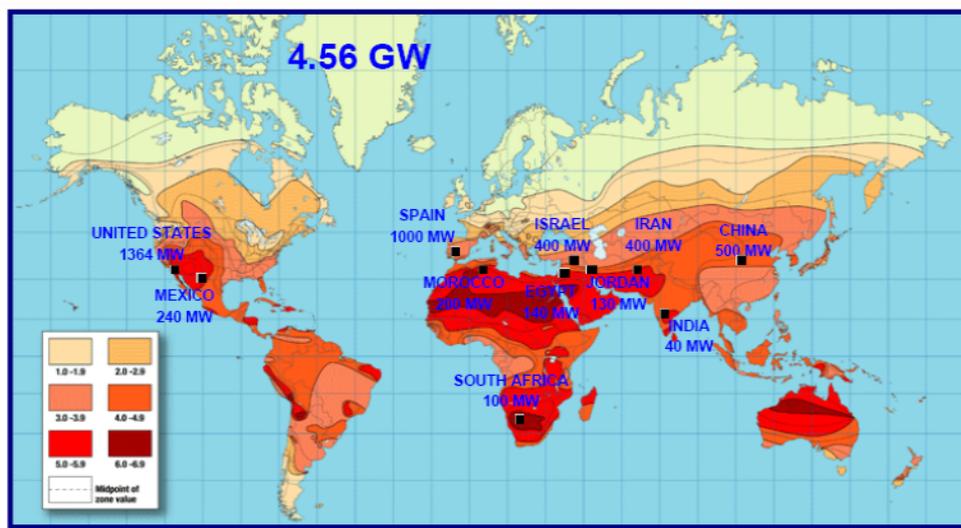


Figura 19 - Perspectivas de implantação de Sistemas Cilíndricos Parabólicos no Mundo  
Fonte: SANDIA NATIONAL LABORATORIES, (2007)

Embora o Brasil possua condições extremamente favoráveis à implantação deste tipo de sistema, como grandes áreas planas, terrenos de baixo custo, ótima radiação solar incidente e disponibilidade de fontes complementares de energia, não

existe nenhum projeto relevante a ser implantado, contando apenas com uma usina piloto em Minas Gerais.

Com implantações já previstas para os países da Europa e Norte da África, deve-se considerar a possibilidade de a estruturação de uma usina desta natureza para o Ceará, o que vislumbraria a instalação futura de uma fábrica de coletores parabólicos para o Estado, que detêm uma localização estratégica que facilita o processo de exportação com a estrutura do Porto do Pecém.

Além de ser o maior sistema solar ligado á rede do mundo, de possuir décadas de experiência em operação e manutenção, estabelecendo custos bem definidos, o sistema concentrador parabólico de calha não teve até hoje propostas concretas de implementação no Brasil, onde as principais iniciativas até essa data privilegiaram sistemas fotovoltaicos. Além disso, como discutido no presente trabalho, a possibilidade de utilização de uma fonte adicional de combustível associada a planta solar abre um leque de possibilidades que representam uma maior viabilidade para esse tipo de tecnologia.

#### **4.1 USINA PILOTO CEFET – MG**

No Brasil o único protótipo existente de concentradores parabólicos se localiza em Belo Horizonte – MG, foi resultado de uma parceria entre o Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais CEFET-MG e a Companhia Energética de Minas Gerais - CEMIG.

Buscando algumas alternativas no sentido de nacionalizar ao máximo todo o processo e reduzir custos, a CEMIG iniciou em Julho de 2001, junto com o CEFET-MG, um projeto que visava construir, operar e analisar o desempenho de uma mini usina termelétrica solar experimental, na faixa de 10 kW, utilizando concentradores parabólicos, (BRAGA; LISBOA, 2007).

O CEFET-MG disponibilizou o espaço para a construção da usina e também ficou responsável pela coordenação do projeto disponibilizando uma equipe de professores para acompanhar diariamente o andamento das ações, enquanto que a CEMIG disponibilizou a quantia de R\$1.200.000,00 para a compra dos equipamentos necessários. A Figura 20 mostra os concentradores parabólicos da usina do CEFET-MG. A Figura 21 representa o fluxograma da usina em questão

detalhando cada componente.



Figura 20 - Concentradores Parabólicos da usina termoeletrica solar de Minas Gerais  
Fonte: Créditos Danielle

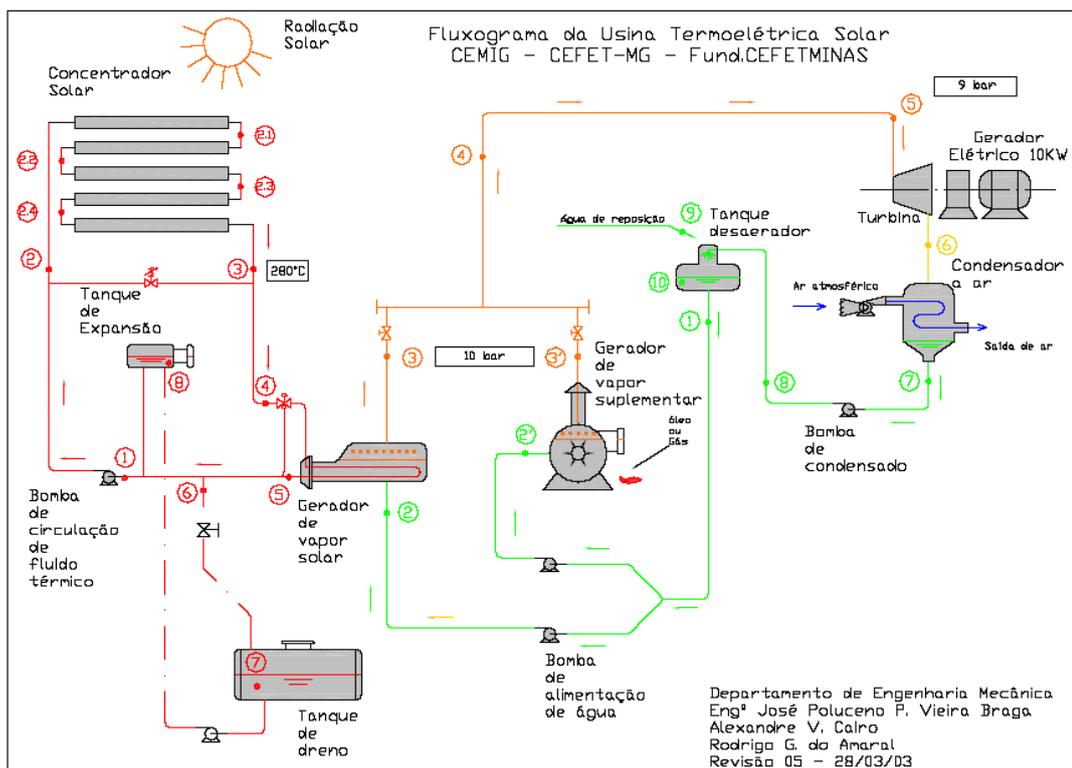


Figura 21 - Fluxograma da Usina Termoeletrica Solar  
Fonte: BRAGA (2007).

Por causa de problemas financeiros este projeto não foi concluído faltando ainda equipamentos responsáveis diretamente pela geração de energia, como a turbina e o gerador elétrico. A parte da usina referente aos concentradores está concluída e é possível fazer alguns testes.

A superfície refletora utilizada é o alumínio anodizado que tem uma refletividade de 83%, porém a equipe responsável pela usina pretende trocar a superfície refletora para um alumínio anodizado que tem uma proteção contra corrosão atmosférica e que possui uma refletividade de 87%.



Figura 22 - Vista lateral de um concentrador solar localizado no CEFET - MG  
Fonte: Créditos Danielle

O fluido térmico utilizado é o Thermia E, que é um óleo mineral naftênico destinados a sistemas fechados de transferência de calor por aquecimento indireto, que operam em temperaturas de até 320°C. Outras iniciativas como essa devem ser incentivadas no Brasil, principalmente na Região Nordeste que detém um alto índice de radiação solar incidente.

## 5 POSSÍVEIS COMBUSTÍVEIS AUXILIARES PARA UMA USINA SOLAR TÉRMICA

Neste capítulo são abordadas características de possíveis combustíveis auxiliares usados em uma usina solar térmica com concentradores parabólicos. São eles: gases resultantes do processo siderúrgico, aterro sanitário (biogás), gases de exaustão de termelétricas (carvão mineral, gás natural e óleo diesel), biomassa e queima do lixo.

### 5.1 GASES RESULTANTES DO PROCESSO SIDERÚRGICO

Dentro do processo siderúrgico integrado, são produzidos diversos tipos de gases, sendo os mais importantes sob o ponto de vista do valor energético, aqueles provenientes da produção de coque e de gusa, denominados respectivamente, gás de coqueria (COG) e gás de Alto Forno (BFG), (VIEIRA, 2004).

De acordo com RODRIGUES, *et al* (2003), na Companhia Siderúrgica de Tubarão as Centrais Termoelétricas utilizam-se de gases oriundos dos processos de fabricação do aço que ao invés de serem lançados para a atmosfera provocando poluição ambiental são queimados em caldeiras, gerando energia elétrica.

De acordo com VIEIRA (2004) apud (Fuel Distribution System, 1982), dentre os principais consumidores do gás de coqueria estão as centrais termelétricas, sendo empregado nas caldeiras para a geração de vapor.

O gás de coqueria é altamente tóxico, explosivo, asfixiante e de fácil identificação devido ao odor dos hidrocarbonetos. Ele é composto basicamente de monóxido de carbono, nitrogênio, hidrogênio, dióxido de carbono e hidrocarbonetos. O poder calorífico do gás de coqueria varia em torno de 4.200 a 4.800 Kcal/Nm<sup>3</sup>, enquanto que o poder calorífico do gás de alto forno fica entre 750 a 900 Kcal/Nm<sup>3</sup>.

De acordo com notícia divulgada no site da Thyssen Krupp CSA, a usina termelétrica que será construída no projeto da Siderúrgica do Atlântico terá capacidade instalada de 490 MW, utilizando basicamente gases do processo

siderúrgico (vapor de coqueria, gás de alto forno e gás de aciaria) para a geração de eletricidade.

Outro exemplo é a UTE Barreiro, localizada em Minas Gerais com capacidade de 12,9 MW que utiliza como combustível principal o gás de alto forno e como combustíveis complementares alcatrão e gás natural.

O gás de alto forno é um gás tóxico e combustível, utilizado largamente em siderúrgicas, nos pré-aquecedores de ar injetado no alto forno (cowpers ou glendons), em fornos de reaquecimento para produtos intermediários, e em caldeiras.

De acordo com Ferreira 2009, a composição aproximada do GAF é mostrada na tabela seguinte.

Tabela 5 - Composição GAF (%Vol)

<b>Monóxido de Carbono (CO)</b>	25 ~ 30%
<b>Dióxido de Carbono (CO<sub>2</sub>)</b>	12 ~ 25%
<b>Hidrogênio (H<sub>2</sub>)</b>	3 ~ 6%
<b>Metano (CH<sub>4</sub>)</b>	1,0 ~ 2,0%
<b>Nitrogênio (N<sub>2</sub>)</b>	45 ~ 50%

Fonte: Ferreira 2009

De acordo com Lopes Junior (2007), o mesmo realizou um estudo de comparação entre o ciclo Rankine tradicional e uma nova proposta de ciclo Rankine para uma planta de cogeração na indústria siderúrgica. O ciclo inovador é caracterizado por um sistema de regeneração por injeção direta de vapor seguida de bombeamento bifásico substituiria o uso de pré-aquecedores como no ciclo tradicional. Para a simulação dos ciclos de potência foi empregado o Software Gate Cycle. Foram simuladas e estudadas diversas alternativas de configuração para a aplicação da nova tecnologia. A melhor alternativa de configuração do ciclo inovador foi então comparada com o ciclo tradicional por meio da aplicação das análises de Primeira e Segunda Lei da Termodinâmica. Observou-se, entretanto, pouca diferença no desempenho do ciclo tradicional e do ciclo modificado.

## 5.2 BIOGÁS

Um aterro sanitário é um espaço destinado à deposição final de resíduos sólidos gerados pela atividade humana. Nele são dispostos resíduos domésticos, comerciais, de serviços de saúde, da indústria de construção, ou dejetos sólidos retirados do esgoto.

Os aterros sanitários têm sido utilizados no Brasil como a forma mais econômica e ambientalmente segura para a disposição final de RSU. Seu princípio construtivo básico constitui-se nas seguintes etapas: impermeabilização de uma determinada área superficial do solo através de mantas plásticas, evitando a contaminação do solo pelo chorume; disposição do lixo urbano sobre esta área, cobrindo com uma camada de terra, garantindo a decomposição anaeróbica do qual resulta a formação do biogás. No aterro, devem ser dispostos coletores para a captura do biogás e drenos para a coleta do “chorume”, uma vez que estes resíduos são poluentes e devem ser tratados adequadamente, (PARO; COSTA; COELHO, 2008).

O biogás é produzido por aterros sanitários, esterco bovino, eqüino e suíno, bem como por estações de tratamento de efluente de esgoto doméstico e industrial. O potencial do aterro sanitário é significativamente maior que as demais fontes de biogás. O biogás é gerado nos aterros por décadas, o que possibilita seu aproveitamento energético, pois possui de 50% a 60% de metano em sua composição. É o equivalente a metade do poder calorífico do gás natural.

Os métodos biológicos para a produção de combustíveis a partir do lixo baseiam-se no rendimento da atividade microbiana, principalmente de bactérias anaeróbicas que, através do seu metabolismo, transformam a matéria orgânica em produtos combustíveis, como o gás metano e o hidrogênio, (VANZIN, et al. 2006).

O biogás é um combustível com todas as condições técnicas e econômicas para ser explorado no Brasil. Está inserido no programa do governo de incentivo às fontes alternativas de energia (PROINFA), segundo o qual o biogás se viabiliza com um preço de cerca de R\$ 170,00/MWh com os créditos de carbono essenciais para os investidores e para a viabilização de projetos de UTE a biogás em aterros, (GREENPEACE, 2004).

O município de São Paulo possui dois grandes aterros, Bandeirantes e São João, que operam duas termelétricas, com 20 e 24,8 MW de potência instalada,

respectivamente. De acordo com a EPE (2008), a geração de energia destes dois aterros é suficiente para atender ao consumo de cerca de 170 mil residências (considerando consumo médio de 140 kWh/mês), ou o equivalente a uma população entre 500 e 600 mil habitantes.

O Brasil emite por ano cerca de  $0,7 - 2,2 \times 10^6$  toneladas de metano nos aterros sanitários.

## **5.3 GASES DE EXAUSTÃO DE TERMELÉTRICAS**

### **5.3.1 Carvão Mineral**

O carvão mineral é formado pela decomposição da matéria orgânica durante milhões de anos, seu poder calorífico e sua incidência de impurezas variam o que determina a subdivisão do minério nas categorias: baixa qualidade (linhito e sub-betuminoso) e alta qualidade (ou hulha, subdividida nos tipos betuminosos e antracito).

A principal aplicação do carvão mineral é a geração de energia elétrica por meio de usinas termelétricas seguido da aplicação industrial para a geração de calor para os processos de produção.

Uma usina termelétrica movida a carvão mineral libera poluentes como o dióxido de carbono e óxidos de nitrogênio, que contribuem para a formação de chuva ácida. Para minimizar essa poluição atmosférica, os gases resultantes da queima do carvão mineral podem ser reutilizados para a geração de energia.

### **5.3.2 Gás Natural**

O gás natural é uma mistura de hidrocarbonetos leves, que, à temperatura ambiente e pressão atmosférica, permanece no estado gasoso. Na natureza, ele é encontrado acumulado em rochas porosas no subsolo, freqüentemente acompanhado por petróleo (gás associado), ou constituindo um reservatório (gás

não associado). O metano ( $\text{CH}_4$ ) é o principal componente do gás natural. O poder calorífico do gás natural gira em torno de 8 993 a 9 958 Kcal/Nm<sup>3</sup> dependendo da qualidade do gás, se ele é superior ou inferior, (GAS BRASILIANO GBD, 2010).

Dentre as várias aplicações do gás natural, ele pode ser usado como combustível para fornecimento de calor, geração de eletricidade e de força motriz, como matéria-prima nas indústrias siderúrgica, química, petroquímica e de fertilizantes. Na área de transportes é utilizado como substituto do óleo diesel, gasolina e álcool.

De acordo com a Companhia de Gás do Ceará - CEGÁS, o gás natural é mais consumido pelas indústrias e veículos, seguido das térmicas, autoprodução, residencial e comercial.

Os gases resultantes do processo da queima do gás natural também podem ser reaproveitados para alimentar um sistema de cogeração desde que o sistema seja compatível.

### 5.3.3 Óleo Diesel

O Óleo Diesel é um combustível derivado do petróleo sendo constituído basicamente por hidrocarbonetos. A queima do óleo diesel libera na atmosfera uma grande quantidade de gases poluentes responsáveis pelo efeito estufa. Entre estes gases, que também prejudicam a saúde humana, estão o monóxido de carbono, óxido de nitrogênio e o enxofre. O poder calorífico do óleo diesel é 8620 kcal/l ou 10200 kcal/kg.

O óleo diesel tem várias aplicações, podendo ser utilizado como combustível industrial, combustível para motores a explosão de máquinas, combustível para veículos pesados, para automotivos e para embarcações marítimas, além de combustível para geração de energia elétrica.

## 5.4 BIOMASSA

#### 5.4.1 Casca da Castanha de Caju

A casca de castanha de caju é um tipo de biomassa que é produzido em grande escala no nordeste do Brasil. Em especial, o Ceará é um grande produtor não podendo desperdiçar esse potencial para a geração de energia. De acordo com Coelho et al. (2002), o potencial da casca de castanha de caju é estimado em 12,76 MW, com ênfase para o Norte Cearense (3,08 MW). O poder calorífico da castanha de caju é de 4.700 kcal/Kg, sendo um combustível auxiliar muito interessante, visto o seu elevado poder calorífico.

#### 5.4.2 Cana de Açúcar

O bagaço de cana é um subproduto resultante da extração do caldo da cana-de-açúcar em usinas ou destilarias na produção de álcool etílico e açúcar. É considerado um dos principais resíduos agrícolas do Brasil, devido à expansão na produção de álcool.

De acordo com Dantas Filho (2009), o bagaço da cana-de-açúcar permite baixos custos de produção de açúcar e álcool, pois toda a energia consumida em seu processo é proveniente de seus próprios resíduos (bagaço). Além da produção de energia elétrica suficiente para o consumo industrial próprio, a cogeração propicia excedentes de eletricidade, dependendo da tecnologia utilizada.

O bagaço de cana utilizado em usinas termoelétricas para o aquecimento da caldeira tem poder calorífico da ordem de 2000 kcal/kg.

#### 5.4.3 Casca de Arroz

A queima da casca do arroz em sistemas termoelétricos poderia gerar mais de 200 MW de energia no Brasil, que equivalem a aproximadamente 1% de toda a energia produzida no país, segundo a Koblitz, empresa de engenharia especializada em geração e co-geração de energia.

O Rio Grande do Sul é responsável mais da metade da produção orizícola nacional. No processamento industrial do arroz, as cascas correspondem a aproximadamente 20% do peso dos resíduos.

O poder calorífico, da casca de arroz, é de aproximadamente 16.720 kJ/kg.

Essas cascas, quando não são queimadas, são deixadas no meio ambiente, criando problemas de estética e ambiental, que se agravam quando levadas pelo vento para outras áreas, mas se reaproveitadas podem passar de empecilho para fonte energética, através da queima já na própria unidade beneficiadora.

## 5.5 QUEIMA DO LIXO

A destinação dos resíduos sólidos urbanos tem sido um dos grandes problemas do nosso país, tendo em vista os graves impactos ambientais gerados pelos “lixões” ou mesmo pela diminuição da capacidade dos aterros sanitários.

Em alguns países da Europa, nos Estados Unidos e no Japão foi desenvolvida uma opção ambientalmente sustentável aproveitando o lixo para a geração de energia não eliminando a reciclagem de materiais, que é a primeira e principal etapa do processo. Com mais de 20 anos de utilização desta tecnologia, tais países conseguiram obter um controle da qualidade do ar a partir da queima dos RSU – Resíduos Sólidos Urbanos obedecendo aos padrões de qualidade exigidos pelas Agências de Proteção Ambiental.

A primeira usina térmica que utiliza resíduos sólidos urbanos como combustível no Brasil é a USINA VERDE, localizada no campus da Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ), na Ilha do Fundão - RJ que ocupa uma área de 5.000 m<sup>2</sup>. Esta usina processa 30 ton/dia de RSU, sendo que a mesma funciona 24h/dia durante toda a semana.



Figura 23 - Foto Usina Verde  
Créditos: Danielle

## PRÉ-TRATAMENTO DOS RESÍDUOS

## TRATAMENTO TÉRMICO & GERAÇÃO DE ENERGIA

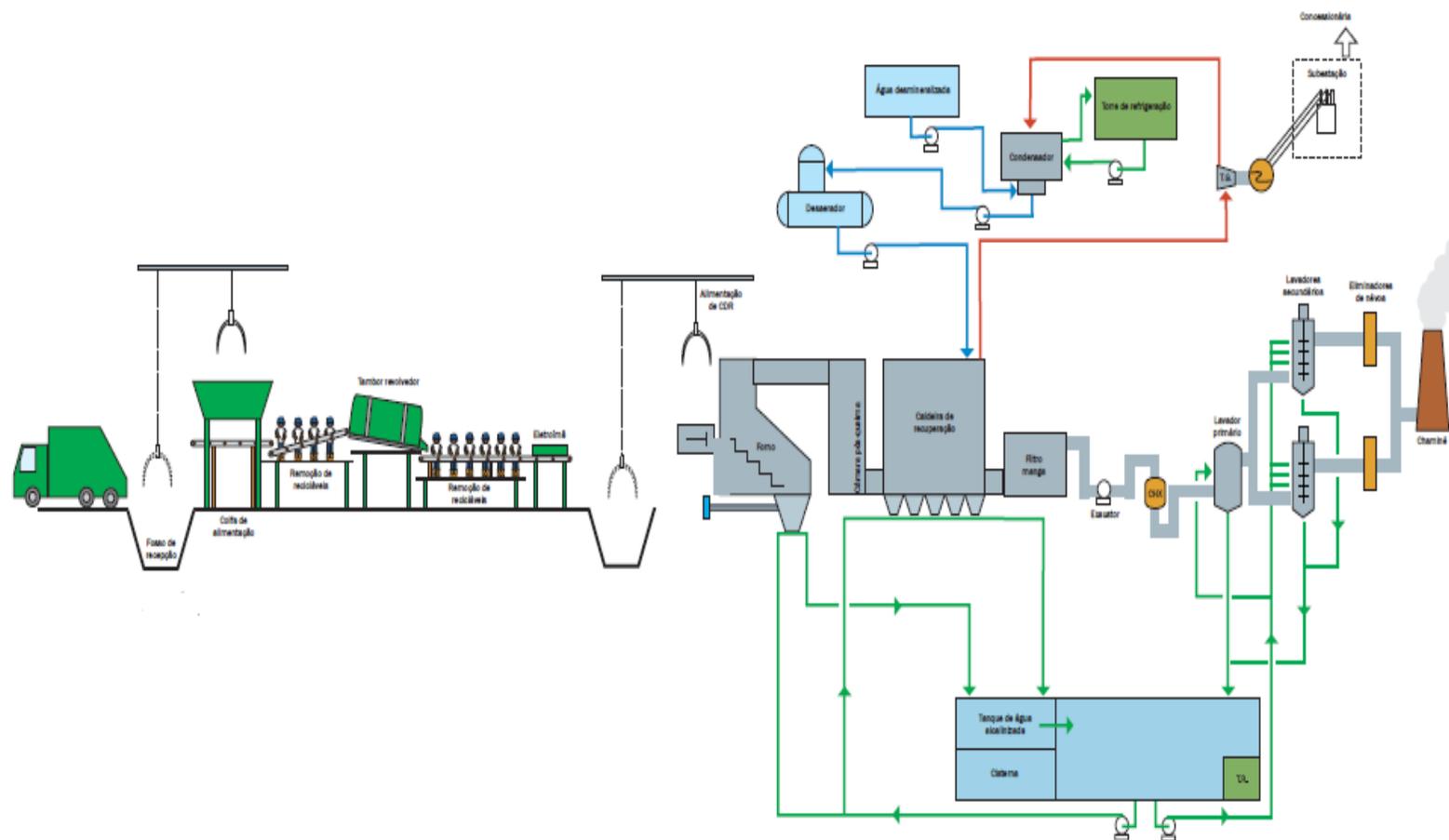


Figura 24 - Fluxograma da USINA VERDE  
Fonte: USINA VERDE

De acordo informações da própria USINA VERDE, os gases exauridos da Caldeira de Recuperação são neutralizados por processo de lavagem em circuito fechado (lavadores e tanque de decantação) não havendo a liberação de quaisquer efluentes líquidos. Contrariamente à maioria dos sistemas de limpeza dos gases e vapores da incineração de lixo urbano adotados no mundo, que utilizam, principalmente, 'filtros de manga' de elevado custo de aquisição e manutenção, a rota tecnológica patenteada pela USINAVERDE para a neutralização dos gases e vapores tem como base uma solução de água alcalinizada com as cinzas do próprio processo e hidróxido de cálcio. Os resultados que vêm sendo obtidos encontra-se em perfeita conformidade com as normas ambientais. Os Créditos de Carbono apurados e certificados já podem ser comercializados.

De acordo com EPE (2008) apud (Oliveira e Rosa 2003), se o metano for utilizado para a geração de energia, dependendo da rota tecnológica escolhida, cada MWh gerado a partir de RSU será capaz de compensar a emissão decorrente de 3 a 15 MWh gerados a partir do gás natural em ciclo combinado.

De acordo com a Diretoria da USINA VERDE o valor do investimento para a implantação dependerá das características topográficas e geológicas do local onde ocorrerá a instalação. Apenas como valor de referência, a estimativa de investimento para a implantação de um módulo de 150 ton/dia com geração de 3,3 MW, incluindo-se Projeto de Engenharia, Licenciamento da Tecnologia, Obras Civis, Equipamentos e Materiais é de cerca R\$ 39 milhões, desconsiderados neste valor o custo de aquisição do terreno (1 módulo = 13000 m<sup>2</sup>), as obras de acesso à Usina e a interligação com a Rede Geral de Transmissão de energia elétrica.

O custo operacional de um módulo é de aproximadamente R\$ 2,5 milhões por ano, dos quais R\$ 1 270 milhões/ano referem-se a custos fixos (pessoal, encargos sociais, despesas administrativas), R\$ 830mil/ano referem-se à manutenção preventiva e R\$ 370 mil/ano referem-se aos custos variáveis (insumos).

Uma alternativa interessante para diminuir a umidade do lixo seria a utilização de um sistema de pré-secagem solar, onde o lixo ficaria numa espécie de estufa antes do processo de incineração, melhorando o rendimento e otimizando todo o sistema de geração de energia elétrica.

## **6 ANÁLISE DA INFRA-ESTRUTURA DA CIDADE DE SOBRAL – CEARÁ**

Neste capítulo é feita a análise do potencial solar, da topografia, das instalações elétricas de transmissão, dos sistemas adequados de abastecimento de água, e da disponibilidade de abastecimento de combustível auxiliar da cidade de Sobral, a fim de estabelecer se o local indicado para a construção da usina proposta satisfaz as condições necessárias para o funcionamento da mesma.

A cidade de Sobral foi escolhida para o estudo de viabilidade deste projeto por ser uma das maiores e mais bem estruturadas cidades do Ceará demandando uma grande quantidade de energia diariamente, por possuir uma radiação solar incidente favorável para a implantação de sistemas solares, por existir um sistema de coleta de lixo bem estruturado no município entre outros fatores.

De acordo com o Perfil Básico Municipal de Sobral feito pelo Instituto de Pesquisa Econômica e Estratégica do Ceará (IPECE) em 2009, o consumo de energia elétrica total de Sobral no ano de 2007 foi de 373.285 MWh, sendo o maior consumidor o setor industrial, seguido do setor residencial, público, comercial e rural, respectivamente.

A cidade de Sobral fica localizada a aproximadamente 230 quilômetros de Fortaleza, possui um clima tipicamente tropical, quente e seco, com uma temperatura média de 30 graus centígrados e com uma altitude de 70 metros.

A cidade de Sobral está entre as maiores economias do estado. De acordo com o IBGE em 2006 seu PIB a preço de mercado corrente foi de 1.157.504 mil reais, estabelecendo um PIB per capita de 8.688 reais.

As figuras 24 e 25 mostram a localização da cidade de Sobral.



Figura 25 - Mapa do Estado do Ceará

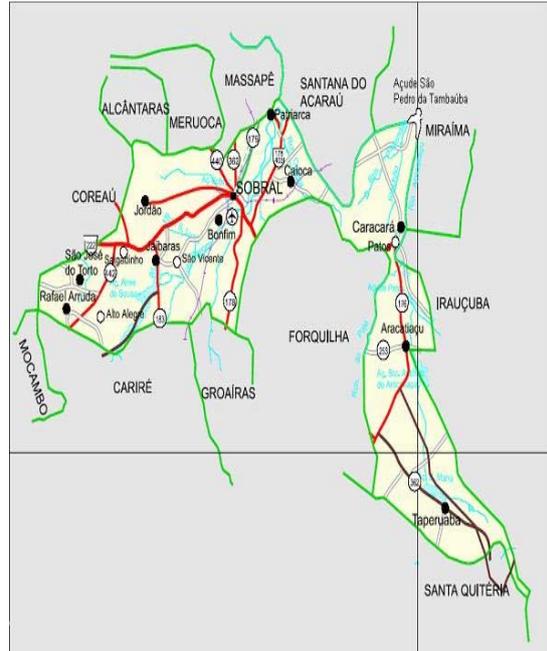


Figura 26 - Mapa de Sobral

Disponíveis em: [www.sobral.ce.gov.br/cidade/geografia.htm](http://www.sobral.ce.gov.br/cidade/geografia.htm)

## 6.1 ANÁLISE DO POTENCIAL SOLAR

Como mostrado anteriormente na Figura 7, o estado do Ceará possui uma elevada radiação solar incidente, sendo que a cidade de Sobral possui em média uma radiação solar incidente de 210 a 220 W/m<sup>2</sup>. A Figura 26 mostra os locais do globo mais adequados para o aproveitamento da tecnologia solar térmica, estando todo o estado do Ceará compatível.

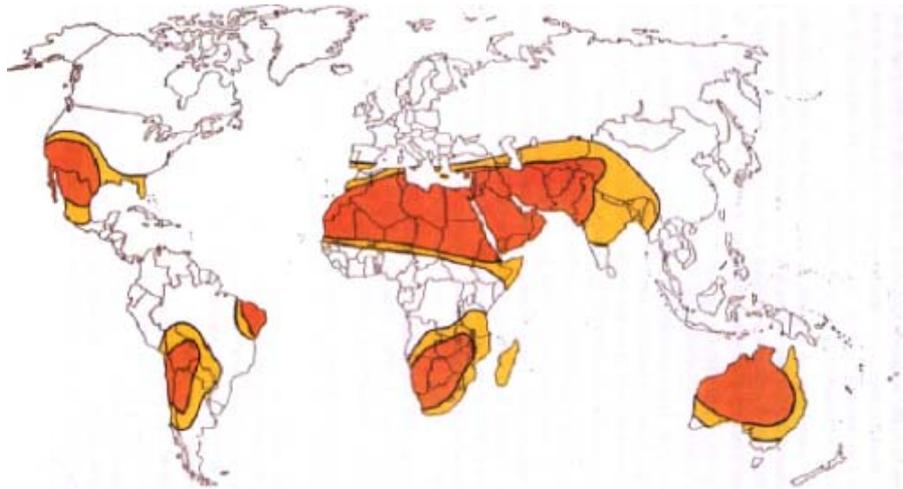


Figura 27 - Locais do globo adequados para aproveitar a energia térmica solar.  
Fonte: Stirling Energy Systems, (2008).

A Figura 26 mostra claramente o grande potencial que o estado do Ceará possui em relação ao aproveitamento da energia solar térmica. Este fato não pode ser ignorado, porém não se tem nenhum projeto definido até então, em relação à instalação de usinas deste tipo no estado.

A Figura 27 mostra a média de radiação solar incidente na cidade de Sobral no ano de 2007. A mesma foi concebida através de dados disponibilizados pela Funceme coletados pelas PCDs que apontam um grande potencial para a utilização desta radiação na geração de energia.

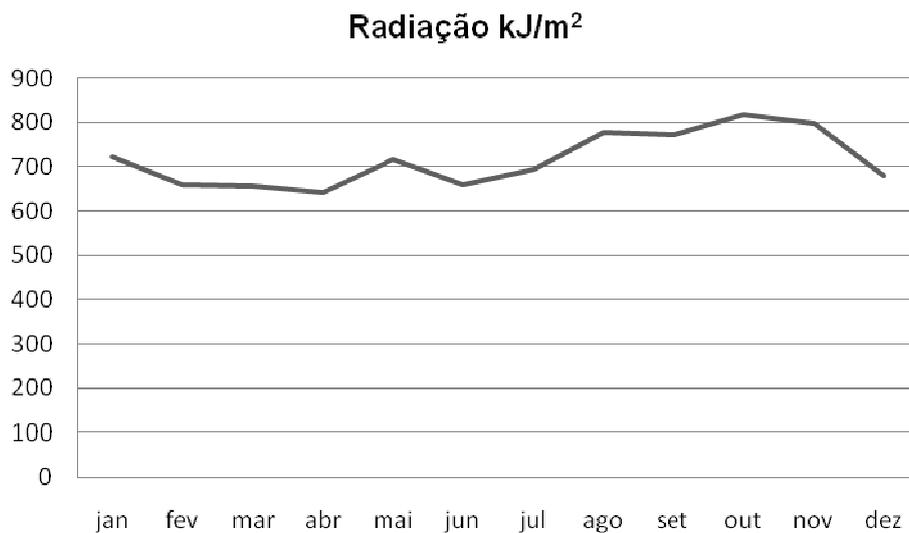


Figura 28 - Média de radiação solar incidente em Sobral no ano de 2007  
(Dados coletados pelas PCDs da Funceme)

## 6.2 INFRA-ESTRUTURA DA CIDADE DE SOBRAL

O local indicado para a construção da usina proposta localiza-se ao lado do aterro sanitário de Sobral situado a 8 km da cidade, existe uma área suficiente para a implantação da usina, o terreno possui uma topografia relativamente plana e no local existem linhas elétricas de transmissão.

Em relação à disponibilidade de água podem ser construídos poços profundos. A quantidade de água necessária para alimentar o sistema diariamente é de aproximadamente 3 m<sup>3</sup> por tonelada de lixo processada e 18.500 m<sup>3</sup>/MW/ano para manter a usina solar térmica em funcionamento.

Em 2008 com população de 180.046 habitantes (de acordo com dados divulgados pelo IBGE) foram produzidos aproximadamente 110 toneladas de lixo por dia, este valor considera que cerca de 83% da população sobralense foi atendida pela coleta de lixo. Considerando o crescimento exponencial da população sobralense e o conseqüente aumento na produção de lixo urbano dentro de poucos anos Sobral conseguirá atender a uma usina que processa diariamente 150 toneladas de lixo.

De acordo com o Decreto Nº 6.017, de 17 de janeiro de 2007, regulamentado pela Lei Federal Nº 11.107, de 6 de abril de 2005, que dispõe sobre normas gerais de contratação de consórcios públicos, municípios vizinhos poderão realizar consórcios afim de se resolver o problema do tratamento e da destinação final dos resíduos sólidos urbanos.

Os municípios de até 30 mil habitantes geram 0,5 kg/hab/dia e os municípios com maior população corresponde um volume linearmente crescente, de modo que os de 500 mil habitantes gerem 0,8 kg/ hab/dia e os de 5 milhões de habitantes serem 1,0 kg/hab/dia, (MELLO, 2008).

De acordo com o Estudo de Viabilidade do Programa Para O Tratamento e Disposição de Resíduos Sólidos no Estado do Ceará – Brasil, feito pelo PROINTEC - Programa Municipal de Incubação Avançada de Empresas de Base Tecnológica em 2006, o lixo da cidade de Sobral é composto de acordo com a Tabela 6.

Tabela 6 - Composição Média do Lixo de Sobral

	%	Poder Calorífico Kcal/Kg	Quantidade de lixo Kg
<b>Orgânico</b>	60	385	23100
<b>Construção e Obra Civil</b>	15	0	0
<b>Papel e Papelão</b>	4	525	2100
<b>Plásticos moles</b>	5	445	2225
<b>Plásticos duros</b>	10	445	4450
<b>Vidro</b>	3	0	0
<b>Metais</b>	3	0	0
<b>Média do Poder Calorífico</b>		318,75	

Se considerarmos que 50 % de Papel / Papelão e Plástico da composição do lixo de Sobral forem reciclados, ainda assim o poder calorífico do lixo será em média de 275 kcal/Kg. A título de comparação, a população da cidade de Fortaleza gera cerca de 20 vezes a quantidade de lixo produzida em Sobral, representando uma escala bastante superior do ponto de vista de uma eventual termelétrica de lixo que venha a ser instalada futuramente.

## 7 USINA PROPOSTA

Uma usina solar térmica do tipo calha já é uma tecnologia muito bem desenvolvida que trabalha com baixas temperaturas (e portanto menor eficiência termodinâmica) ao contrário, por exemplo, de uma usina solar térmica do tipo torre com heliostatos. No entanto, é mais facilmente compatibilizada com uma usina de lixo, já que este possui poder calorífico relativamente baixo.

Considerando que se tenha radiação solar incidente durante 8 horas por dia, o ciclo Rankine ficaria parado 2/3 do tempo em uma usina solar térmica, mas com o uso do lixo como combustível auxiliar a usina pode funcionar 24 horas por dia aumentando a produção de energia elétrica e a rentabilidade do sistema. Com a associação destes dois sistemas o custo de energia caisignificativamente, principalmente se considerarmos que o lixo é praticamente grátis.

O lixo acrescenta custo inicial e de O&M maior por conta do sistema de limpeza de gases de exaustão, porém não é muito diferente de térmicas movidas à carvão que também precisam filtrar os gases a serem liberados para a atmosfera. A questão é como dimensionar a usina solar compatível para certo volume de lixo de forma a ter um maior output de energia possível para certa tarifa de energia.

A seguir a Figura 28 mostra a Fluxograma esquemático da usina proposta, descrevendo os seus componentes e a estrutura de funcionamento da mesma.

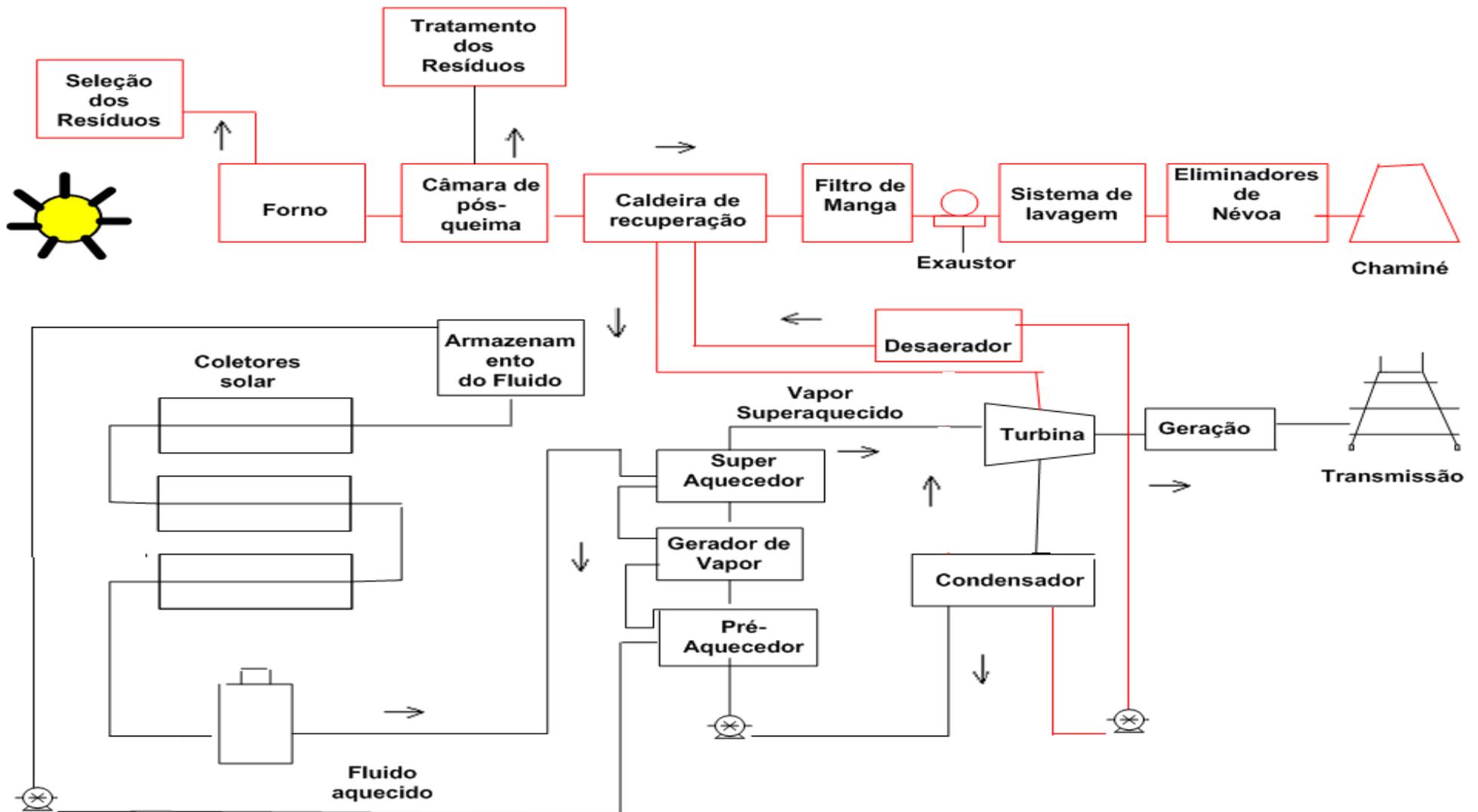


Figura 29 - Fluxograma da Usina Proposta

A Usina proposta é constituída por três circuitos básicos:

- Circuito Primário: Constituído pelo campo solar e sistema de fluido térmico.
- Circuito Secundário: Constituído pelo sistema de vapor, turbina e gerador elétrico.
- Circuito Terciário: Constituído pelo processamento dos Resíduos Sólidos Urbanos.

## **7.1 CIRCUITO PRIMÁRIO**

Os coletores solares são responsáveis pela absorção da radiação solar incidente concentrando-a em um único ponto, em seguida aquecendo o fluido de trabalho que gerará o vapor. Nesta parte do sistema existe um tanque responsável pelo armazenamento do fluido que constitui uma reserva adicional de fluido térmico possibilitando a drenagem do sistema para manutenção. Este tanque possui um controlador de nível de segurança do fluido no circuito. Além deste tanque existe outro contendo o fluido aquecido. Existe também um sistema de bombeamento que promove a circulação do fluido térmico no campo solar e no gerador de vapor.

O circuito primário possui um sistema de controle de pressão, vazão e temperaturas do fluido térmico que é monitorado pelo computador. É a partir deste controle que o sistema pode ser avaliado mostrando o rendimento e é onde são detectados os possíveis problemas para que seja feita a devida manutenção e também onde são guardados os dados de produção de energia.

## **7.2 CIRCUITO SECUNDÁRIO**

O circuito secundário é responsável pela geração efetiva de energia. Produz-se o vapor na caldeira, em seguida o vapor produzido vai para a turbina que aproveita a energia calorífica do vapor transformando-o em energia mecânica que é transferida para o gerador que transforma a energia mecânica cedida pela turbina em energia elétrica que posteriormente é destinada às redes de transmissão. Depois de passar pela turbina o vapor é resfriado no condensador e a água é direcionada para a bomba renovando o ciclo.

### 7.3 CIRCUITO TERCIÁRIO

O circuito terciário é baseado na tecnologia utilizada pela USINA VERDE, uma empresa brasileira de capital privado criada em 2001, pioneira no Brasil, no desenvolvimento de tecnologia e processos para a implantação de Usinas de Tratamento Térmico de resíduos sólidos urbanos com recuperação de energia.

No circuito terciário primeiramente é feita a seleção dos resíduos, sendo retirados os passíveis de reciclagem, os de maior tamanho e os impróprios para a queima. Em seguida é realizado o processamento térmico dos resíduos no forno que chegam à média de 950 °C. Na câmara de pós-queima os gases são oxidados e as cinzas recolhidas para posterior tratamento térmico. Os gases quentes são aspirados através de uma Caldeira de Recuperação, onde é produzido vapor. A turbina é movimentada pelo vapor sob pressão, fazendo com que o gerador produza energia.

Os gases exauridos da Caldeira de Recuperação passam pelo filtro de manga e lavadores de gases para a retenção dos materiais particulados presentes nos gases, depois os gases são polidos se chocando com hélices turbinadas existentes no interior dos lavatórios, passam pelos eliminadores de névoa até serem eliminados pela chaminé sem poluir a atmosfera cumprindo os limites estabelecidos pela RESOLUÇÃO CONAMA 316/2002.

Exaustores instalados imediatamente após o filtro de mangas garantem que todo o sistema combustão dos resíduos no forno e o de recuperação de calor na caldeira opere em pressão negativa, impedindo que haja vazamento dos gases da combustão diretamente para a atmosfera.

O desaerador é o tanque que recebe o condensado proveniente do condensador e opera como tanque de água de alimentação dos geradores de vapor.

## **8 AVALIAÇÃO ECONÔMICA DA USINA PROPOSTA**

Foi desenvolvida uma planilha de cálculo baseada nos dados obtidos nas várias fontes e referências listadas na Bibliografia de forma a sintetizar os diferentes aspectos de interesse do ponto de vista técnico-econômico, resultando nas tabelas abaixo apresentadas, onde se toma por base que a usina termelétrica solar será capaz de gerar a mesma quantidade de energia térmica bruta por hora que a planta de lixo.

A usina proposta tem os seguintes critérios de design:

- Capacidade da Usina de Lixo: 150 toneladas de lixo por dia;
- Usina proposta pode funcionar 24 horas por dia;  
Usina Solar – 8 horas  
Usina de RSU – 16 horas
- Capacidade de Armazenamento de calor: 1 hora de funcionamento a plena carga;
- A Usina Solar tem a mesma capacidade pico da energia firme produzida na Usina de Lixo;

### **8.1 CARACTERÍSTICAS DA USINA SOLAR TÉRMICA ASSOCIADA À USINA DE LIXO**

Os dados apresentados na Tabela 7 foram obtidos através de informações cedidas pelo Coordenador de Limpeza da cidade de Sobral, pelo IBGE e pelo PROINTEC (2006).

Tabela 7 - Dados do Lixo de Sobral em 2008

População	180.000
Quantidade de Lixo coletado (ton/dia)	115
Percentagem de Lixo coletado (%)	83,0
Quantidade de Lixo não coletado (ton/dia)	12,3
Quantidade total de lixo produzido (ton/dia)	127,3
Quantidade de lixo (kg) gerada por habitante por dia	0,7
Energia média por Kg de lixo (kcal/kg)	318,75
Energia média por kg de lixo (J/kg)	1.334.543

Os dados apresentados na Tabela 8 foram obtidos através de informações de acordo com Prince (2003), como a eficiência do ciclo termodinâmico e a partir dos dados já cedidos anteriormente.

Tabela 8 - Dados da Usina de Lixo Proposta para Sobral

Quantidade de Lixo (tons/dia)	150
Geração de Energia térmica bruta por dia (J/dia)	$2,0 \times 10^{11}$
Numero de horas de operação	16
Capacidade de queima por hora (ton/hora)	9,38
Potência Gerada térmica (MW)	3,48
Eficiência do Ciclo Rankine (%)	37,7
Potência Elétrica Bruta da Usina de Lixo (MWe)	1,31
Eficiência elétrica (%)	91
Potência Elétrica Líquida da Usina de Lixo (MWe)	1,19
Área Necessária (ha)	1,3

Os dados apresentados na Tabela 9 se baseiam em informações cedidas pelo NREL (2003) e SOLAR PACES (2010).

Tabela 9 - Características da Planta Solar Térmica

Potência Térmica - Gerada pelos campos de coletores (MWt)	3,48
Eficiência do Ciclo Rankine (%)	37,7
Potência Elétrica Bruta da Usina Solar (MWe)	1,31
Eficiência elétrica (%)	91
Potência Elétrica Líquida da Usina Solar (MWe)	1,19
Energia Bruta gerada pelo campo de coletores (MWht / m <sup>2</sup> )	0,000318
Área de Coletores Necessária (m <sup>2</sup> )	10928,8
Área de Coletores Necessária (ha)	1,09
Área de Terreno Necessário (ha)	3,64
Numero de Coletores LS2	47
Custo do campo de coletores (US\$ / m <sup>2</sup> )	242
Custo do campo de coletores (R\$/m <sup>2</sup> )	436
Capacidade de Armazenamento (h)	1
Máxima Energia de Estocagem (MWht)	3,48
Custo do Sistema de armazenagem de calor (R\$/kWht)	57,84

O sistema de armazenagem de calor para a usina solar foi dimensionado, neste caso, para manter a planta funcionando a plena carga pelo período de apenas 1 hora. Ao contrário do que se vê normalmente em plantas desse tipo, aonde se utiliza uma capacidade de armazenagem de 5 a 6 horas, o uso do lixo como combustível de baixo custo associado a grande disponibilidade de sol durante todo o ano, a proximidade da linha do equador que faz com que as condições de operação sejam semelhantes tanto no inverno como no verão, permite que o sistema de armazenagem de calor seja dimensionado apenas para cobrir eventuais transientes como os decorrentes da passagem de nuvens e do ajuste de transição entre a operação exclusiva pelos coletores solares e o modo de operação exclusivamente pelo uso do lixo. Como o sistema de armazenagem de calor utilizando tanques de sais fundidos é relativamente caro, o sistema aqui proposto representa uma redução significativa no custo inicial de implantação da usina combinada.

## 8.2 CUSTOS

### CUSTO DA USINA DE LIXO

De acordo com a Diretoria da USINA VERDE, os custos da Planta de lixo incluem:

- Estação de recebimento, seleção e condicionamento do lixo para a queima;
- Caldeira específica para queima de lixo;
- Torre de refrigeração;
- Ciclo Rankine (turbina / gerador / condensador/ bomba de água / pré-aquecedores);
- Unidade de tratamento de gases;
- Unidade de recuperação de cinzas;

<b>TOTAL (milhões de Reais)</b>	<b>R\$ 40,0</b>
---------------------------------	-----------------

### CUSTO DA USINA SOLAR

De acordo com Price (2003), o National Renewable Energy - NREL desenvolveu um modelo de custos detalhados para usinas de energia solar com concentradores parabólicos. O modelo usa citações de referência para o custo de cada elemento, aonde são utilizados fatores de escala para ajustar os custos de tamanhos diferentes dos casos de referência. A equação de escala tem a forma geral:

$$\text{Custo2} = (\text{C2/C1})^{0,7} \times \text{Custo1}$$

onde:

- Custo1 é o custo de referência para um equipamento de capacidade C1.
- C2 é a capacidade desejada para o equipamento de custo Custo2.
- O expoente varia para cada elemento de custo e é calculado a partir de duas citações de referência. No entanto, 0,7 é o valor usado pelo NREL para os equipamentos usuais, quando apenas uma citação está disponível.

A Tabela 10 mostra os custos aproximados de uma planta solar com concentradores parabólicos com potência elétrica líquida de aproximadamente 1,2 MW pico, os valores contidos nesta tabela foram estimados utilizando o modelo de custos desenvolvido pelo NREL.

Tabela 10 - Custo da Planta Solar de 1,2 MW pico

Custo total do Campo de Coletores (milhões de R\$)	R\$ 4,76
Custo de Estocagem	R\$ 196.427,97
Estrutura	R\$ 206.037,25
Aquecedor Auxiliar/Caldeira	R\$ 894.415,99
Turbina e Gerador	R\$ 3.270.841,66
Engenharia, Construção e Gestão de Projetos	R\$ 593.062,12
Restante da Planta	R\$ 1.901.719,45
Terreno (*)	0
<b>TOTAL ( R\$)</b>	<b>R\$ 9.920.877,50</b>

(\*) O terreno é aqui assumido como tendo custo zero considerando que o mesmo será doado pelos Governos Municipal e/ou Estadual, como é o caso, por exemplo, da Usina Solar Fotovoltaica em fase de implantação no município de Tauá no interior do Ceará.

### **CUSTO TOTAL DA USINA SOLAR (sem Ciclo Rankine)**

Faremos a seguir o cálculo dos custos da usina solar que inclui apenas os equipamentos que não foram considerados anteriormente no cálculo do custo da usina de lixo, ou seja:

- Custo total do campo de coletores
- Preço da estrutura
- Aquecedor Auxiliar/Caldeira
- Custo de Estocagem

Utilizando os dados da Tabela 10, verificamos que os equipamentos complementares aqueles já considerados na Planta de Lixo representam um custo adicional de R\$ 5,86 milhões.

### **CUSTO TOTAL DE IMPLANTAÇÃO DA USINA DE RSU + SOLAR**

<b>Custo total de implantação da Usina Solar</b> (sem o ciclo Rankine) (milhões de reais)	R\$ 5,86
<b>Custo total de implantação da Usina de RSU</b> (milhões de reais)	R\$ 40,0
<b>Custo total de implantação da Usina Solar + a Usina de RSU</b> (milhões de reais)	<b>R\$ 45,86</b>

### **8.3 ENERGIA GERADA**

A Tabela 11 faz a estimativa da quantidade de energia gerada pelas duas usinas associadas.

Tabela 11 - Energia Elétrica Gerada por Ano

Energia Elétrica gerada por ano (MWh)	10.445
Usina de Lixo (MWh)	6.963
Usina Solar (MWh)	3.482

A energia gerada pela usina combinada lixo + solar é suficiente para atender a quase 11 mil casas de consumidores de baixa renda (até 80 kWh/mês) que representam uma percentagem significativa dos moradores de Sobral.

## 8.4 CUSTOS DE O&M

### CUSTOS DE O&M DA USINA DE LIXO

Os dados contidos na Tabela 12 mostram os custos de O&M da Usina de lixo, tendo como base estudos feitos pela USINA VERDE.

Tabela 12 - Usina de Lixo

Pessoal / Encargos Sociais / Despesas Administrativas (milhões de reais / ano)	1,27
Manutenção Preventiva (milhões de reais / ano)	0,83
Custos variáveis - insumos - (milhões de reais / ano)	0,37
Total (milhões de reais / ano)	2,47

### CUSTOS DE O&M DA USINA SOLAR

Não incluído nos custos apresentados na Tabela 12 estão:

1. Manutenção dos coletores
2. Manutenção do Gerador de Vapor do sistema solar

Deve-se observar que o custo de O&M da planta de lixo inclui a maior parte dos custos, já que compreende:

- Equipamento para recebimento e preparação do lixo para a queima;
- Ciclo Rankine;
- Equipamento de limpeza dos gases;

- Sistema de Controle;
- Disposição dos resíduos da queima.

Assim, consideraremos um acréscimo de 15% nos custos de O&M da planta de lixo para incluir os equipamentos específicos da planta solar, obtêm-se o valor de R\$ 0,3705 milhões de reais / ano.

## **CUSTOS DE O&M DA USINA DE LIXO + USINA SOLAR**

Custo total por ano de O&M = R\$ 2,84 milhões.

## **8.5 CRÉDITOS DE CARBONO**

### **USINA DE RSU**

A usina de lixo faz jus ao recebimento de créditos de carbono por evitar, através da queima do lixo, a formação de metano (CH<sub>4</sub>) que é um gás de forte efeito estufa. Para o cálculo da quantidade de CH<sub>4</sub> emitida por tonelada de lixo por ano foi utilizada a metodologia do IPCC - Intergovernmental Panel on Climate Change, de acordo com Bogner e Matthews (2003).

$$\text{CH}_4 \text{ emitido} = (A - R) (1 - \text{OX})$$

Onde:

R – Recuperação de CH<sub>4</sub>

OX – Fração de CH<sub>4</sub> oxidada

$$A = (\text{MSWt} * \text{MSWf} * \text{MCf} * \text{DOC} * \text{DOCf} * F * 16/12)$$

Sendo:

emitido =MSWt - Quantidade de Resíduos Sólidos do Município

MSWf – Fração que é depositada no Aterro

MCf – Fração contida no aterro que é decomposta anaerobicamente

DOC – Fração biodegradável de carbono orgânico no aterro

DOCf – Fração de conversão de CH<sub>4</sub> para CO<sub>2</sub> no aterro

F - Fração de gás CH<sub>4</sub> no aterro

16/12 – Taxa de conversão de carbono em metano

Como a usina proposta tem capacidade de processamento de 150 ton/dia, a quantidade de resíduos sólidos do município considerada será a totalidade do lixo produzido, que teoricamente será enviada para a usina.

Os valores da Tabela 13 correspondem aos recomendados pelo IPCC, conforme apresentados por PARO, COSTA E COELHO (2008).

Tabela 13 – Valor dos parâmetros utilizados no cálculo dos créditos de carbono

MSWt	150
MSWf	1
MCf	0,6
DOC	0,12
DOCf	0,77
F	0,5
R	0
OX	0

Considerando a temperatura e pressão (0°C e 1,013 bar) respectivamente, a densidade do CH<sub>4</sub> é de 0,0007168 ton/m<sup>3</sup>. Sendo assim, a quantidade de CH<sub>4</sub> emitida é de 5,54 ton/dia, ou seja, 2.024 ton/ano, o que equivale a 2.823.047 ton/m<sup>3</sup> de CH<sub>4</sub>.

Vale salientar que o potencial de Aquecimento Global para o Metano é de 21 vezes a tCO<sub>2</sub>eq/tonCH<sub>4</sub> e o preço do CER - Certified Emission Reduction é de US\$ 12,00/tCO<sub>2</sub>eq , ou seja, R\$ 22,10/tCO<sub>2</sub>eq. Desta forma, temos:

Total de CO <sub>2</sub> equivalente (ton / ano)	42.494,8
Receita anual com a venda das CER (R\$ / ano)	917.886,82
Período de Créditos (anos)	25
Total Recebido (R\$)	22.947.170,40

## USINA SOLAR

De acordo com Abreu (2009), o Cálculo das Receitas com a venda de RCEs – Reduções Certificadas de Emissões deve ser feito da seguinte maneira:

$$\text{Receita (R\$)} = \text{Redução nas Emissões (tCO}_2\text{e)} * \text{Preço da RCE (R\$ /tCO}_2\text{e)}$$

Onde a Redução nas Emissões (tCO<sub>2</sub>e) equivale a:

$$\text{Emissões da Linha de Base} = \frac{\text{Energia Gerada pelo projeto em MWh} * \text{Fator de emissão da linha de base (tCO}_2\text{e /MWh)}}{\text{Energia Gerada pelo projeto em função apenas da parte solar (MWh/ano)}}$$

Desta forma, temos que:

Energia Gerada pelo projeto em função apenas da parte solar (MWh/ano)	3.482
Fator de Emissão da Linha de Base (tCO <sub>2</sub> eq/MWh)	0,202
Emissões da Linha de Base (tCO <sub>2</sub> eq / ano)	703,4
Receita (R\$/ano)	15.547,16

Período de Créditos (anos)	25
Total Recebido (R\$)	388.678,95

Essa metodologia é a mesma aplicada hoje para empreendimentos de geração de energia elétrica através da conversão de energia eólica.

## **USINAS ASSOCIADAS**

<b>Receita total anual de RCE (R\$/ano)= R\$ 933.079,48</b>
---

### **8.6 PRODUÇÃO DE TIJOLOS - USINA DE RSU**

O material resultante da queima dos RSU é tratado podendo ser integrado a outros materiais como o cimento para produzir tijolos. De acordo com a diretoria da Usina Verde, um módulo de 150 ton/dia gera material suficiente para a produção de 44000 tijolos por mês com as seguintes características: Dimensões de: 0,20m x 0,40m x 0,20m e Peso: 9 kg, sendo composto por, Cinzas: 6,5 kg (72,2 %), Cimento: 2,0 kg (22,2 %) e Água: 0,5 kg (5,6 %). Uma opção interessante para a destinação da produção destes tijolos seria a construção de casas populares.

### **8.7 RESUMO DOS RESULTADOS**

O custo de uma planta de queima de lixo capaz de atender a cidade de Sobral queimando a totalidade do lixo em um período de 16 horas a cada dia é de cerca de 40 milhões de Reais. O custo adicional para incluir na referida usina de lixo uma usina solar térmica por calha parabólica é de cerca de 6 milhões de Reais (15,5% a mais). No entanto essa planta solar deverá gerar energia por 8 horas adicionais representando um acréscimo de praticamente 50%, e garantindo uma produção constante de eletricidade 24 horas por dia. Além disso a planta solar acrescenta relativamente pouco nos custos de O&M que existiriam de qualquer maneira considerando-se apenas a planta de lixo.

Quanto a tarifa necessária para a venda da eletricidade de forma a gerar um

retorno econômico considerado satisfatório para o empreendimento, este deveria ser o objeto de um estudo mais amplo considerando o fluxo de caixa do investimento e aspectos fiscais, tributários e de engenharia financeira que fogem do escopo do presente trabalho. No entanto, foi realizada uma análise grosseira que aponta para os seguintes resultados:

Considerando que um dos principais benefícios da usina combinada aqui proposta é a eliminação total do lixo, pode-se argumentar que mesmo um empreendimento desse tipo que não gerasse lucro, porém apresentasse um custo menor ou igual do que aquele que existirá de qualquer forma pela necessidade de deposição do lixo em aterro controlado, seria benéfica do ponto de vista governamental, social e ambiental.

Foi verificado de acordo com PARO, COSTA E COELHO (2008), que um aterro sanitário padrão capaz de atender a cidade de Sobral feitas as devidas proporções, tem um custo inicial por volta de 8,2 milhões de reais e um custo anual de O&M de cerca de 1,8 milhões de reais, valores esses bastante menores dos que os encontrados para a usina de lixo+solar. Nestas condições, verificou-se que uma tarifa da ordem de R\$ 300 MWh seria capaz de pelo menos zerar os custos adicionais associados a planta combinada, através de uma receita anual de 3 milhões de Reais. Esse valor de tarifa se aproxima dos praticados no PROINFA para a energia eólica (por volta de R\$ 240 por MWh) e dos valores reais de energia para as usinas térmicas convencionais recentemente contratadas pelo mecanismo de leilão, quando estas são demandadas a produzir energia para o sistema integrado, sinalizando que a usina solar+lixo aqui proposta seria na realidade menos custosa para o estado do que a implantação de um aterro sanitário padrão

No entanto, como dito anteriormente, a análise acima é apenas indicativa e conservadora, de tal forma que uma análise mais detalhada provavelmente irá indicar uma viabilidade bem mais significativa do que a acima apresentada, principalmente se tomarmos em conta outros fatores externos como programas de incentivo como o FIES e o possível aumento do valor da tonelada equivalente de CO<sub>2</sub>, aqui considerada como sendo US\$ 12,00/tonCO<sub>2</sub>eq. Vale lembrar que historicamente esse valor já atingiu a casa de US\$ 20,00/tonCO<sub>2</sub>eq e o contínuo aumento dos efeitos visíveis do fenômeno de aquecimento global pode significar valores bem mais altos a serem praticados futuramente do que os aqui considerados.

## CONCLUSÕES

### 9 CONCLUSÕES

A implantação de uma usina termoelétrica solar associada a queima de resíduos sólidos urbanos é uma alternativa inovadora a nível mundial, e interessante do ponto de vista energético, haja visto que o sol é uma fonte de energia inesgotável e particularmente abundante na Região Nordeste do Brasil e os resíduos sólidos urbanos são produzidos diariamente em grande escala, proporcionando sustentabilidade e geração contínua de energia 24 horas por dia. Este tipo de sistema respeita o meio ambiente e contribui para evitar o processo de alterações climáticas.

A possibilidade de utilização da planta solar acoplada a planta de queima de lixo representa uma produção de energia cerca de 50% maior, com um acréscimo de custo de cerca de 15%, já que o ciclo Rankine é comum a ambas, o que torna a planta combinada mais atrativa do ponto de vista econômico.

Haveria um ganho de experiência muito grande na operação de uma planta solar concentradora associada com lixo, mesmo em escala de planta piloto, pois seria um projeto pioneiro no Brasil e no mundo, sendo que no Brasil não existe ainda nem ao menos uma usina solar com concentradores parabólicos operando comercialmente, o que contrasta com as novas usinas desse tipo sendo implantadas a nível mundial e com a grande experiência já adquirida pela operação comercial de mais de 350 MW no deserto do Mojave por um período superior a 20 anos. Essa experiência piloto promoveria o desenvolvimento desta tecnologia no país, possibilitando a replicação futura de outras usinas desta natureza em escalas maiores (como na cidade de Fortaleza), com a possibilidade de criação de novas empresas e geração significativa de emprego.

Usinas com uma capacidade de produção maior do que o da usina proposta possibilitam também um retorno do investimento mais rápido, sendo, porém que usinas piloto como a aqui proposta possibilitam determinar uma estratégia ótima de operação e design entre as formas de geração solar, diretamente dos campos de coletores, a partir dos tanques de armazenamento térmicos e da queima direta do lixo. Como exemplo de otimização necessária, citamos a determinação ótima do ponto de vista técnico e financeiro da capacidade dos tanques de estocagem térmica

versos o tamanho do campo de coletores, tendo em conta a possibilidade de utilizar parte da energia gerada pelo lixo como reserva térmica.

Outro grande benefício de usinas deste tipo é que substitui a utilização de aterros sanitários, que possuem uma vida útil de deposição de cerca de 20 anos, mas que precisam ser mantidos sob acompanhamento por 40 anos após o término do período de deposição, representando um ônus social, fiscal e ambiental para os governos a nível municipal e estadual por um período total de cerca de 60 anos.

A usina proposta tem o benefício de eliminar a produção de chorume e a contaminação dos lençóis freáticos, bem como elimina a produção do metano que seria gerado no aterro sanitário. Esse gás além de ser um importante promotor de efeito estufa, pode produzir incêndios espontâneos mesmo em aterros bem planejados. Por outro lado, a lavagem e filtragem dos gases resultantes da queima do lixo garantem que não serão emitidos gases poluidores em quantidades significativas para o meio ambiente.

Além da eliminação do lixo, esta usina gera energia que teria de ser provida de outra forma numa região em crescimento como o Nordeste, com os relativos custos agregados. Em particular, no caso da Região Nordeste, a geração local de energia elétrica diminui os custos e perdas adicionais devido a transmissão de energia por longas distâncias como é o caso das novas usinas hidroelétricas atualmente em processo de implantação, como as usinas do Rio Madeira e de Belo Monte.

A cidade de Sobral possui características extremamente favoráveis à implantação de uma usina solar térmica associada à queima de RSU, aproveitando a energia proveniente do Sol e resolvendo a problemática da destinação final dos resíduos sólidos urbanos. Os resíduos resultantes da queima dos RSU podem ser adicionados a cimento para a fabricação de tijolos que podem ser utilizados em programas de habitação do município, o fato de na cidade possuir uma fábrica de cimento facilita o processo.

A usina combinada aqui proposta para a cidade de Sobral tem uma viabilidade menor do que uma usina de maior porte como o que seria o caso para atender a cidade de Fortaleza ou outras capitais no Nordeste. No entanto o porte necessário para atender a cidade de Sobral é ideal do ponto de vista de uma planta piloto para operação comercial que permitiria um grande aprendizado e o desenvolvimento dessa tecnologia a nível regional, inclusive com a participação de indústrias e mão de obras locais.

A análise feita neste trabalho visa permitir uma primeira idéia das possibilidades da associação de plantas solares de calha parabólica com usinas de queima de lixo, sendo que uma análise teórica aprofundada das estratégias de design e operação e dos custos associados da planta combinada, na linha das idéias aqui propostas, pode servir de base para uma tomada de decisão a nível governamental e empresarial da implantação futura dessa tecnologia na região Nordeste, o que colocaria o Brasil na vanguarda mundial desse tipo de tecnologia, com ganhos sociais, ambientais e econômicos significativos.

## 10 REFERÊNCIAS

ABREU, Virgínia Brasil de. **Análise da Viabilidade Econômico-Financeira da Energia Eólica diante do Mercado de Créditos de Carbono**. XV SEMINÁRIO DE PLANEJAMENTO ECONÔMICO-FINANCEIRO, São Paulo, 2009.

AMARANTE, Odilon Camargo do; ZACK, Michael Brower e John; SÁ, Antonio Leite de. **Atlas do Potencial Eólico Brasileiro**. Brasília: Ministério de Minas e Energia, 2001.

BLANCO, J. et al. **Review of feasible solar energy applications to water processes**. Renewable And Sustainable Energy Reviews, Estados Unidos, 2008.

BOGNER, J.; MATTHEWS, E.. **Global methane emissions from landfills: New methodology and annual estimates 1980–1996**. Global Biogeochemical Cycles, Washington, 2003.

BRAGA, José Poluceno P. Vieira; LISBOA, Alexandre Heringer. **Usina Termelétrica Solar Experimental Utilizando Concentradores Cilíndricos Parabólicos**. In: 1º CONGRESSO BRASILEIRO DE ENERGIA SOLAR, Fortaleza, 2007.

BRASIL. Empresa de Pesquisa Energética. **Plano Nacional de Energia 2030**. Rio de Janeiro: EPE, 2007.

BRASIL. Empresa de Pesquisa Energética. **Balço Energético Nacional 2009 – Ano base 2008**. Rio de Janeiro: EPE, 2009

CASTAÑEDA, Nora et al. **Sener Parabolic Trough Collector Design and Testing**. Solar Paces, España, 2006.

COELHO, Suani Teixeira et al. **Panorama do Potencial de Biomassa no Brasil**. São Paulo: Agência Nacional de Energia Elétrica - Aneel, 2002.

DANTAS FILHO, Paulo Lucas. **Análise de custos na Geração de Energia com Bagaço de Cana-de-Açúcar: Um Estudo de Caso em quatro usinas em São Paulo**. 2009. 175 f. Dissertação (Mestre) - Programa de Pós-graduação em Energia, São Paulo, 2009.

DERSCH, Jürgen et al. **Trough integration into power plants—a study on the performance and economy of integrated solar combined cycle systems**. Energy, Suíça, n., p.947-959, 2004. Disponível em: <[www.sciencedirect.com](http://www.sciencedirect.com)>. Acesso em: 01 out. 2008.

ELETROBRÁS. **Proinfa**. Disponível em: <<http://www.eletronbras.gov.br>>. Acesso em: 20 jan. 2010.

EMBRAPA, **Estratégia da Embrapa para o Programa de Agro-energia**. São Paulo, 2006.

Empresa de Pesquisa Energética, Ministério de Minas e Energia e Governo Federal. **Avaliação Preliminar do Aproveitamento Energético dos Resíduos Sólidos Urbanos de Campo Grande, MS**. Rio de Janeiro, 2008.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA - EPE. **Leilão de Energia de Reserva – Eólica**. São Paulo, 2009.

FADAR, A. El; MIMET, A.; GARCIA, M.Pérez. **Modelling and performance study of continuous adsorption refrigeration system driven by parabolic trough solar collector**. Solar Energy, 03 dez. 2008.

FAIRLEY, Peter. Solar without the Panels. **Technology Review**, Massachusetts, 2009.

FALCÃO, Vivienne Denise. **Fabricação de Células Solares de CdS/CdTe**. 2005. 120 f. Dissertação (Mestre) - Instituto Militar de Engenharia, Rio de Janeiro, 2005.

FERREIRA, Marcos Júnio. **Estudo sobre o aproveitamento do gás de alto forno em uma Central de Cogeração de usina siderúrgica para produção de energia elétrica**. Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2009.

FIGUEIREDO, Natalie Jimenez Vérdi. **Utilização do Biogás de Aterro Sanitário para a geração de energia elétrica e iluminação á gás - estudo de caso**. 90 f. Monografia (Bacharel em Engenharia Mecânica) - Universidade Presbiteriana Mackenzie, São Paulo, 2007.

GREENPEACE. **Dossiê Energia Positiva para o Brasil**. Brasília, 2004.

GUASCOR SOLAR CORPORATION. **Tecnología, Calidad, Flexibilidad e integración vertical ante los nuevos retos del sector fotovoltaico**. Bilbao, 2008.

INSTITUTO DE PESQUISA E ESTRATÉGIA ECONÔMICA DO CEARÁ (IPECE). **Perfil Básico Municipal - Sobral**. Fortaleza, 2009.

KOLB, Gregory J. **Comercial Solar Power in Califórnia, USA. Solar Electric Generating Systems (SEGS)**. Sandia National Laboratories. Workshop para Geração Heliotérmica de Eletricidade, CEPEL, Rio de Janeiro, 1997.

KOLB, Gregory J. et al., **SEGS LS-2 Sollar Collector**, Sandia National Laboratories, 1994.

LABORATÓRIO SANDIA. **Solar Parabolic Trough**. Novo México, 1999.

LEITE, S. Q. **Projeções para a demanda por energia elétrica no Brasil 2006-2015**. Dissertação de Mestrado. Faculdade de Economia e Finanças IBMEC, Rio de Janeiro, 2006.

LOPES JUNIOR, Carlos Thomaz Guimarães. **Análise termodinâmica comparativa entre um ciclo de Rankine Tradicional e um Inovador Utilizando Gases Residuais do Processo Siderúrgico como Combustível**. Dissertação de Mestrado, 122 f. PUC, Rio de Janeiro, 2007.

MARTINS, Fernando Ramos; ABREU, Samuel Luna de; RÜTHER, Ricardo. **Atlas Brasileiro de Energia Solar**. São José Dos Campos: Inpe, 2006. 60 p.

MELLO, Gustavo. **Notas sobre o Gerenciamento de Resíduos Sólidos Urbanos no Brasil**. Rio de Janeiro: BNDES, 2008.

MENEZES NETO, Otacílio Leandro. **Metodologia para estimativa de radiação solar aplicada a região nordeste do Brasil**. Dissertação de Mestrado. Universidade Estadual do Ceará, Fortaleza, 2007.

Ministério de Minas e Energia e Empresa de Pesquisa Energética. **Resultados Preliminares do Balanço Energético Nacional 2008 (ano base 2007)**. Brasília, 2008.

MORAES, Luiz Antonio Grell. **Contribuição ao Estudo do Valor, das Perspectivas e da Efetividade do Mecanismo De Desenvolvimento Limpo no Protocolo de Kyoto**. Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares, São Paulo, 2008.

PARTNER et al. **Financing Solar Projects: History, Current Context and Challenges**, Arizona. Financing Renewable Energy Symposium, 2005. Disponível em: <<http://www.ssd.com/files/tbl>>. Acesso em: 23 set. 2008.

PARO, André de Carvalho; COSTA, Fernando Córner da; COELHO, Suani Teixeira. **Estudo Comparativo para o Tratamento de Resíduos Sólidos Urbanos: Aterros Sanitários x Incineração**. Revista Brasileira de Energia, São Paulo, p.113-125, 2008.

PATNODE, Angela M. **Simulation and Performance Evaluation of Parabolic Trough Solar Power Plants**. 2006. 271 f. Tese (Mestrado) - University Of Wisconsin-madison, Madison, 2006. Disponível em: <[www.worldcat.org](http://www.worldcat.org)>. Acesso em: 01 out. 2008.

PEREIRA,L.M.;CAVALCANTI,S.C. **Sistemas de Geração Heliotérmica de Energia: A tecnologia de discos parabólicos**. Relatório Técnico ACME 499, 41p, 2000.

PRICE, H.; KEARNEY, D. **Reducing the Cost of Energy from Parabolic Trough Solar Power Plants**. In: **International Solar Energy Conference**,2003, Hawai. National Renewable Energy Laboratory - NREL, 2003.

PRICE, H.. **A Parabolic Trough Solar Power Plant Simulation Model**. INTERNATIONAL SOLAR ENERGY CONFERENCE, 2003, Hawai. National Renewable Energy Laboratory - NREL, 2003.

PROINTEC. **Estudo de Viabilidade do Programa para o tratamento e disposição de Resíduos Sólidos no Estado do Ceará - Brasil**. Minas Gerais, 2006.

RODRIGUES,Paulo Eduardo, *et al.* **Aproveitamento de características físicas dos gases de alto forno para geração de energia elétrica em uma siderúrgica: O caso da Companhia Siderúrgica de Tubarão(CST),2003**. XXIII Encontro Nacional de Engenharia de Produção – Ouro Preto, MG, Brasil.

ROMERO, Cristiano; RITTNER, Daniel; LEO, Sérgio. **Quatro Estados do Nordeste disputam receber usinas nucleares.** Disponível em: <<http://www.ecodebate.com.br>>. Acesso em: 20 jan. 2010.

SANDIA NATIONAL LABORATORIES. **Concentrating Solar Power 2007.** Disponível em: <[www.sandia.gov](http://www.sandia.gov)>. Acesso em: 08 out. 2008.

SOUZA FILHO, José Ribeiro de. **Projeto, Construção e Levantamento de Desempenho de um Concentrador Solar Cilíndrico Parabólico com Mecanismo Automático de Rastreamento Solar.** 2008. 91 f. Dissertação (Mestre) - Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Rio Grande do Norte, 2008.

SYSTEMS, Pure Energy. **How a Stirling Engine Works.** Disponível em: <[www.infiniacorp.com](http://www.infiniacorp.com)>. Acesso em: 10 out. 2008.

SYSTEMS, Stirling Energy. **Stirling Engine.** Disponível em: <[www.stirlingenergy.com](http://www.stirlingenergy.com)>. Acesso em: 10 out. 2008.

TIBA, Chigeru et al. **Atlas Solarimétrico do Brasil.** Disponível em: <[www.aneel.gov.br](http://www.aneel.gov.br)>. Acesso em: 10 out. 2008.

TYNER, Craig E. et al. **Concentrating Solar Power.** Spain: Solar Paces, 2001. Disponível em: <[www.solarpaces.org](http://www.solarpaces.org)>. Acesso em: 10 out. 2008.

USINA VERDE S/A. **Tecnologia Usina Verde.** Disponível em: <<http://www.usinaverde.com.br>>. Acesso em: 27 out. 2009.

VANZIN, Emerson et al. **Análise da viabilidade econômica do uso do biogás de aterros sanitários para geração de energia elétrica: aplicação no aterro metropolitano Santa Tecla.** XXVI ENEGEP, Fortaleza, 2006.

VARELLA, Fabiana Karla de Oliveira Martins; CAVALIERO, Carla Kazue Nakao; SILVA, Ennio Peres da. **Energia Solar Fotovoltaica no Brasil: Incentivos Regulatórios**. Revista Brasileira de Energia, São Paulo, p.9-22, 2008.

VIEIRA, Wander Pacheco. **Estudo de Corrosão em tubulações de gás de coqueria**, 2004.129p. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória, 2004.

# Livros Grátis

( <http://www.livrosgratis.com.br> )

Milhares de Livros para Download:

[Baixar livros de Administração](#)

[Baixar livros de Agronomia](#)

[Baixar livros de Arquitetura](#)

[Baixar livros de Artes](#)

[Baixar livros de Astronomia](#)

[Baixar livros de Biologia Geral](#)

[Baixar livros de Ciência da Computação](#)

[Baixar livros de Ciência da Informação](#)

[Baixar livros de Ciência Política](#)

[Baixar livros de Ciências da Saúde](#)

[Baixar livros de Comunicação](#)

[Baixar livros do Conselho Nacional de Educação - CNE](#)

[Baixar livros de Defesa civil](#)

[Baixar livros de Direito](#)

[Baixar livros de Direitos humanos](#)

[Baixar livros de Economia](#)

[Baixar livros de Economia Doméstica](#)

[Baixar livros de Educação](#)

[Baixar livros de Educação - Trânsito](#)

[Baixar livros de Educação Física](#)

[Baixar livros de Engenharia Aeroespacial](#)

[Baixar livros de Farmácia](#)

[Baixar livros de Filosofia](#)

[Baixar livros de Física](#)

[Baixar livros de Geociências](#)

[Baixar livros de Geografia](#)

[Baixar livros de História](#)

[Baixar livros de Línguas](#)

[Baixar livros de Literatura](#)  
[Baixar livros de Literatura de Cordel](#)  
[Baixar livros de Literatura Infantil](#)  
[Baixar livros de Matemática](#)  
[Baixar livros de Medicina](#)  
[Baixar livros de Medicina Veterinária](#)  
[Baixar livros de Meio Ambiente](#)  
[Baixar livros de Meteorologia](#)  
[Baixar Monografias e TCC](#)  
[Baixar livros Multidisciplinar](#)  
[Baixar livros de Música](#)  
[Baixar livros de Psicologia](#)  
[Baixar livros de Química](#)  
[Baixar livros de Saúde Coletiva](#)  
[Baixar livros de Serviço Social](#)  
[Baixar livros de Sociologia](#)  
[Baixar livros de Teologia](#)  
[Baixar livros de Trabalho](#)  
[Baixar livros de Turismo](#)