

# GRUPO



**Otimização de Sistemas Energéticos:  
Conservação e Geração - CNPq**

**[www.feg.unesp.br/gose](http://www.feg.unesp.br/gose)**

**Prof. Dr. José Luz Silveira**  
**Faculdade de Engenharia de Guaratinguetá – UNESP – Brasil**  
**Abril-2011**

---

# TECNOLOGIAS DE NEUTRALIZAÇÃO DE EMISSÕES DE GASES APLICADAS EM USINAS HIDRELÉTRICAS

## 1. TÓPICOS A SEREM ABORDADOS

- Eficiência Ecológica
- Gaseificação de biomassa;
- Biodigestão anaeróbica;
- Planta de Produção de biodiesel por reciclagem de óleo de fritura;
- Produção de energia elétrica através do uso de painéis fotovoltaicos;
- Produção de Hidrogênio por eletrólise;
- Sistemas de iluminação utilizando LEDs (Light Emitter Diodes).

## 2. OBJETIVOS

- Melhoria de eficiência energética de usinas;
- Possibilitar o aproveitamento de resíduos;
- Desenvolver tecnologias eficientes de geração de energia;
- Promoção da implantação de projetos e programas de redução de impactos ambientais (neutralização de emissões);
- Uso de energias renováveis para a redução de impactos ambientais;
- Desenvolvimento e implantação de ações sociais integradas aplicadas para as comunidades e concessionárias.
- Entre outros.

### 3. JUSTIFICATIVA

---

- Contribuição para o desenvolvimento e instalação de protótipos que produzam eletricidade a partir do uso de resíduos animais, poda de vegetais, óleo de fritura residual e (energia equivalente) água vertida em usinas hidrelétricas.
- Contribuição para o desenvolvimento da geração distribuída ou descentralizada de energia, como fator de aumento da oferta e de garantia de desenvolvimento sustentável.
- Contribuição para o desenvolvimento tecnológico das Usinas Hidrelétricas e do setor de energias renováveis e, conseqüentemente, permitir o desenvolvimento tecnológico e ecológico do setor energético.

## 4. EFICIÊNCIA ECOLÓGICA

- Avalia o quanto poluidor é um processo produtivo, considerando as emissões por combustível ou eletricidade utilizada.
- Dióxido de Carbono Equivalente (CO<sub>2</sub>)<sub>e</sub> [kg CO<sub>2</sub>/kg comb.]
- Indicador de poluição (Π<sub>g</sub>) [kg CO<sub>2</sub>/MJ comb.]
- Eficiência ecológica, (ε) [%]
  - . 1 significa não poluidor
  - . 0 significa muito poluidor.

$$(CO_2)_e = CO_2 + 80.(SO_2) + 50.(NO_x) + 67.(MP)$$

$$\Pi_g = \frac{(CO_2)_e}{PCI}$$

$$\varepsilon = \left[ \frac{0,204 \times \eta_{sistema} \times \ln(135 - \Pi_g)}{\eta_{sistema} + \Pi_g} \right]^{0,5}$$

## 5. EFICIÊNCIA ECOLÓGICA DE HIDRELÉTRICA

Por analogia,

- A água seria o combustível;
- A energia potencial seria a energia disponível (PCI) para a geração de eletricidade;
- Índice de emissão:

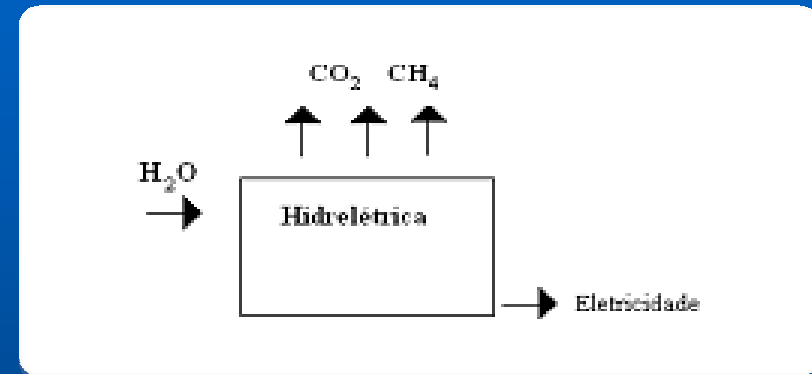
. emissão de CH<sub>4</sub> é 21 vezes mais nocivo ao efeito estufa do que CO<sub>2</sub>.

$$E_p = m \cdot g \cdot h^*$$

$$I_e(CO_2) = I_{CO_2} + 21I_{CH_4}$$

$$(CO_2)_e = \frac{m_{(CO_2)}}{m_{\text{agua}}}$$

$$\pi_{g \text{ Hid}} = \frac{(CO_2)_e}{E_{\text{Hid}}}$$



$$[(CO_2)_e] = 3,40504E-07 \text{ (kg CO}_2\text{/kg Água)}$$

$$\Pi_g = 0,000291029 \text{ (kg CO}_2\text{/MJ Energia Potencia da Água)}$$

Ex. Itaipu é 12600 kW, estimando rendimento de 30%, e altura de queda de 117 m, tem-se eficiência ecológica de 98 %.

## Índice de Emissão de CH<sub>4</sub> e CO<sub>2</sub> do reservatório de 9 hidrelétricas brasileiras (Ie CO<sub>2</sub> = CO<sub>2</sub> + 21.CH<sub>4</sub>)

Hidrelétrica	Área km <sup>2</sup>	Latitude	Potência MW	Índice de Emissão de CH <sub>4</sub> kg/km <sup>2</sup> /dia	Índice de Emissão de CO <sub>2</sub> kg/km <sup>2</sup> /dia	Emissões de Carbono kg/dia
Tucuruí	2.430	3°45'S	4.240	109,4	8475,0	2.603
Samuel	559	8°45'S	216	104,0	7488,0	538
Xingo	60	9°37'S	3.000	40,1	6138,0	42
Serra da Mesa	1.784	13°50'S	1.275	51,1	3973,0	895
Três Marias	1.040	18°13'S	396	196,3	1117,0	540
Miranda	51	18°55'S	390	154,2	4388,0	38
Barra Bonita	312	22°31'S	140	20,9	3985,0	137
Itaipu	1.549	25°26'S	12.600	20,8	171,0	93
Segredo	82	27°47'S	1.260	8,8	2695,0	23
<b>Conjunto das 9</b>	<b>7.867</b>		<b>23.517</b>			<b>4911</b>



---

# POTENCIAL DE PRODUÇÃO DE HIDROGÊNIO COM ENERGIA ELÉTRICA GERADA COM ÁGUA A SER VERTIDA EM USINAS HIDRELÉTRICAS

## ESTUDOS PRELIMINARES

-É POSSÍVEL QUE UMA HIDRELÉTRICA APROVEITE A ENERGIA GERADA PELA ÁGUA VERTIDA PARA A PRODUÇÃO DE HIDROGENIO?

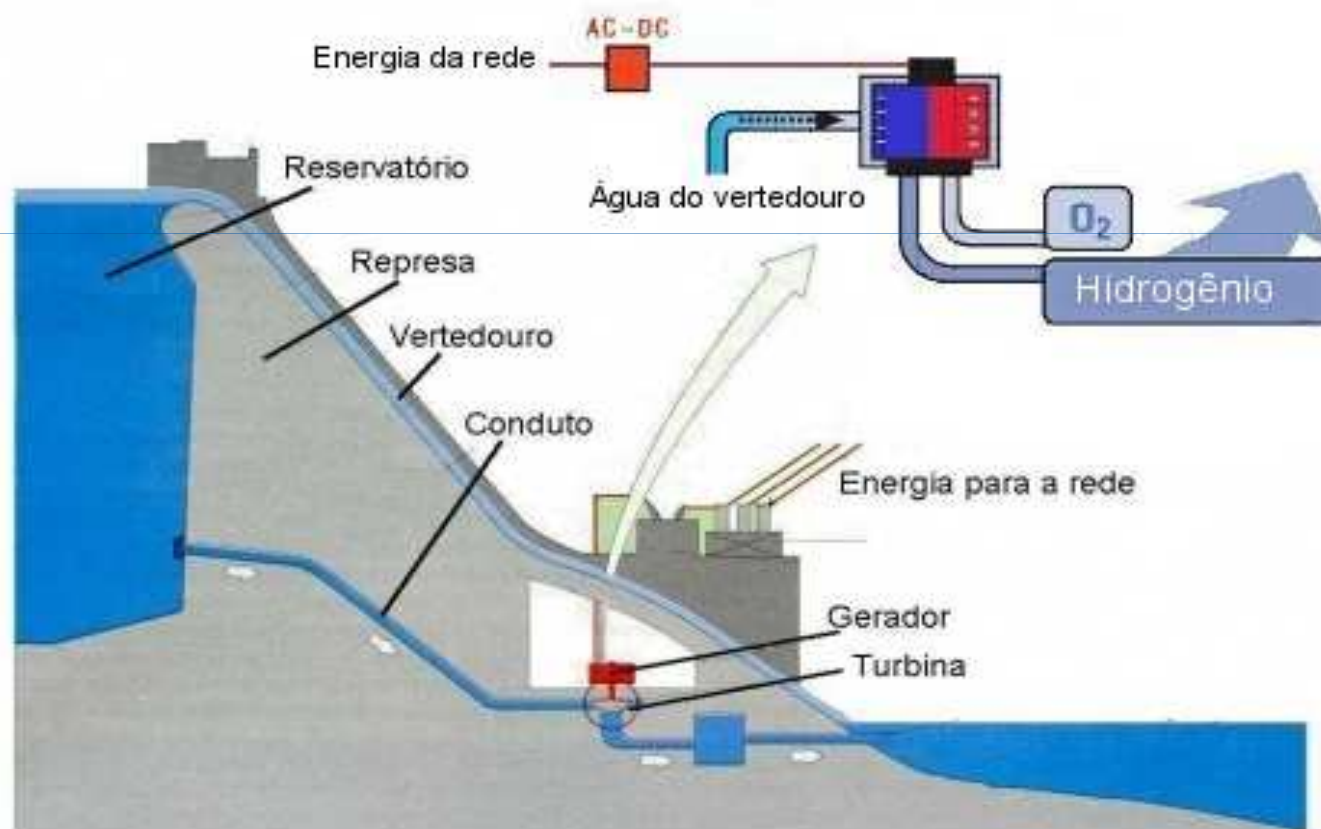
-QUANDO?

- Meses de grande fluxo hidrológico;
- Produção de energia excede a capacidade de transmissão;

-ITAIPU EM NÚMEROS:

- Potência instalada: 14 000 MW;
- Capacidade máxima de descarga vertedouro: 62,2 mil m<sup>3</sup>/s;
- No período de cheia do reservatório, Itaipu deixa de produzir 3000 MW;

# REPRESENTAÇÃO ESQUEMÁTICA



Esquema de uma usina Hidrelétrica

## ELETROLISADORES JÁ INSTALADOS EM HIDRELÉTRICAS



Hydroelectric Hydrogen Hgenerators: Plant Location: Rachel, Lincoln County, Nevada

## **PROTÓTIPOS DE PRODUÇÃO DE HIDROGÊNIO DESENVOLVIDOS**

**Protótipos de produção de hidrogênio por reforma a vapor de etanol, biogás e gás natural:**

**-Projeto de Pesquisa - Edital MCT/CNPQ/FNDCT 46/2009. (processo número 551309/2010-5). Estudo da Incorporação do Processo de Produção de Hidrogênio por Reforma a Vapor na Cadeia Produtiva do Etanol. Coordenador: Prof. Dr. José Luz Silveira. (2010 – 2012);**

**-Desenvolvimento e Otimização de Sistemas de Produção de Hidrogênio para Acionamento de Células a Combustível (processo número 06/52260-2) - Programa de Pesquisa em Políticas Públicas (PPPP) - FAPESP, Fases I e II. Coordenador: Prof. Dr. José Luz Silveira. (Início da fase I em 2007, fase II: início 2008 e finalização em dezembro de 2010);**

**- Produção de Hidrogênio por Reforma a Vapor de Etanol - Com o desenvolvimento de dois protótipos de sistemas reformadores a vapor de etanol para produção de hidrogênio. Projeto de P&D ANEEL - CEMIG - UNESP nº. 108. (de 2003 a 2006);**

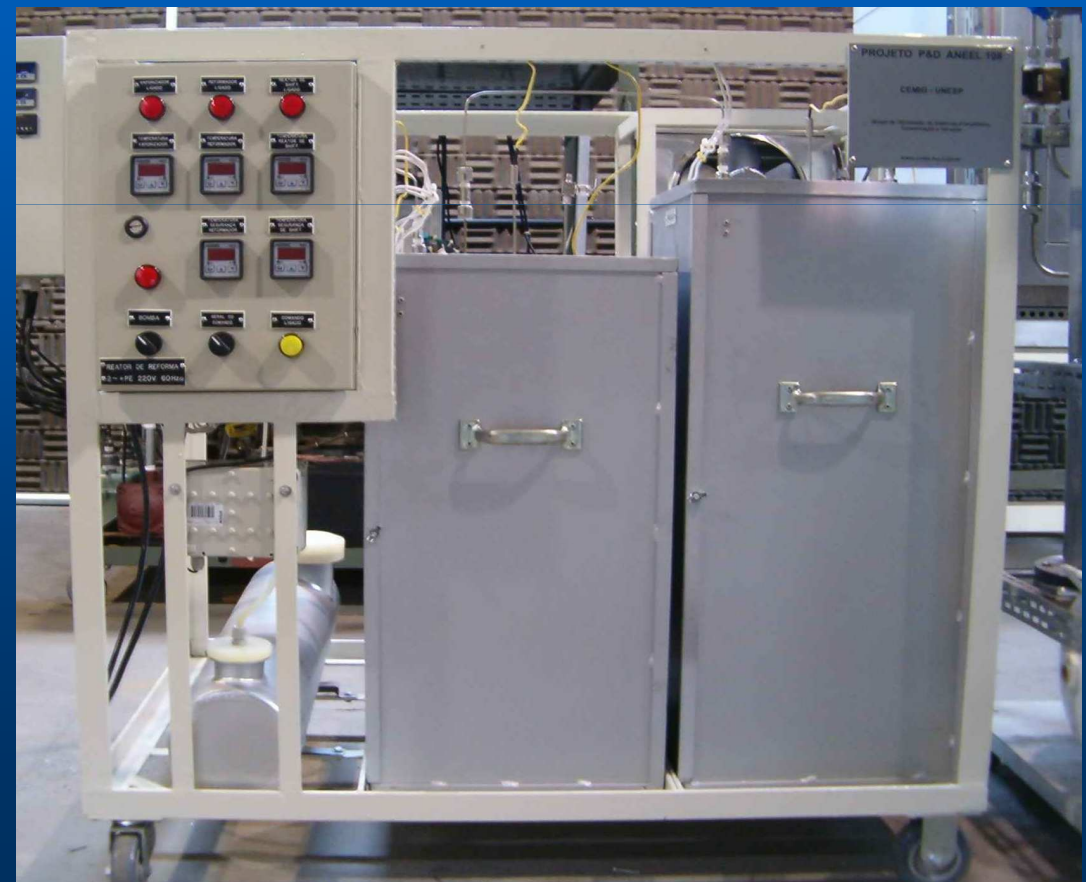


## REFORMADORES A VAPOR



## Protótipos: Reforma a Vapor

- Protótipo I – Laboratório UNESP;
- Protótipo II – Laboratório UNESP;



## 6. OUTRAS TECNOLOGIAS DESENVOLVIDAS

### 6.1- Gaseificador de Biomassa

O Grupo de Otimização de Sistemas Energéticos da UNESP já desenvolveu 2 protótipos de gaseificação de biomassa.

Projeto CTNERG intitulado “Construção de Protótipos de Sistemas Gaseificadores de Biomassa para Geração de Energia Elétrica com Motor de Combustão Interna - Edificação para a Integração do Laboratório de Otimização de Sistemas Energéticos” (processo número 555072/2006-1) - CTEnergy / Edital MCT/CNPq/CTEnergy nº 33/2006 – Combustão e Gaseificação (início: Novembro de 2006 – Junho de 2009).





Prototipo I. Gaseificador de Biomassa Tipo  
Downdraft de 25 kg/h



Prototipo II. Gaseificador de Biomassa Tipo  
Downdraft de duplo estagio de 25 kg/h

## 6.2- Produção de Biogás

O Grupo da UNESP já desenvolveu biodigestores e miniETE (Minietsção de Tratamento de Esgoto com geração de Biogás).

-Desenvolvimento e Otimização de Sistemas de Produção de Hidrogênio para Acionamento de Células a Combustível (processo número 06/52260-2) - Programa de Pesquisa em Políticas Públicas (PPPP) - FAPESP, Fases I e II. Coordenador: Prof. Dr. José Luz Silveira. (Início da fase I em 2007, fase II: início 2008 e finalização em dezembro de 2011);

- Mini estação de tratamento de esgoto com auto-suficiência de energia, projeto finalizando na UNESP - Campus de Guaratinguetá, e que produz biogás para a geração de eletricidade e ainda utiliza uma roda d'água para a aeração de água tratada. Origem: Tigre S.A. (Material) e CNPq (1 Bolsa de Doutorado). (de 2004 a 2007);





A **mini-ETERA** (mini-estação de tratamento de efluente e re-uso de água) é composta por processo integrado anaeróbio (sem a presença de ar), aeróbio (na presença de ar) e anóxico (sem a presença de ar, porém na presença de nitrato), associada a um **sistema compacto de cogeração de energia (5 kW)** acionado a biogás, ambos desenvolvidos por integrantes do Grupo de Pesquisa.



O biogás aproveitado é convertido em energia elétrica (para acionar o sistema aeróbio) e em água quente (para aquecer o sistema biodigestor anaeróbio). O efluente tratado é utilizado para ferti-irrigação de áreas verdes.

Biodigestor instalado  
fazenda em Guará,  
Projeto PPPP-FAPESP



### 6.3- Produção de Biodiesel

- O Grupo da UNESP já desenvolveu protótipos de produção de biodiesel a partir de óleo de fritura;
- Transesterificação utilizando etanol e catalisadores básicos.
- Convenio: Thermochemical Conversion of Biomass – Program. Royal Institute of Technology - Sweden and Sao Paulo State University – Brazil. 2006-2010 (Renovado 2011-2013)



Produção de Biodiesel+Glicerina utilizando óleos vegetais residuais + catalisadores ácidos + etanol no laboratório de física-química da UNESP.



Produção de Biodiesel+Glicerina utilizando óleos virgem + catalisadores básicos + etanol no laboratório de química do Royal Institute Technology-Suécia.



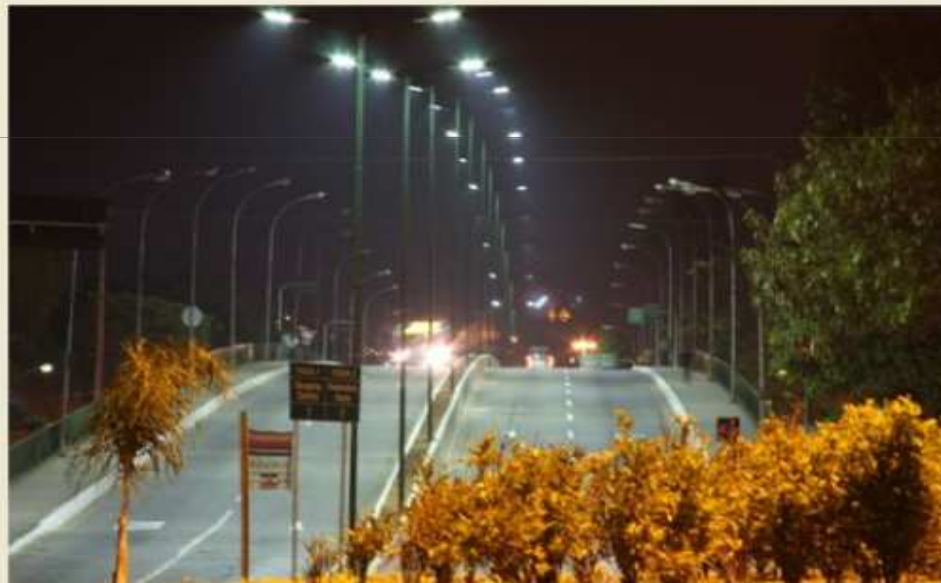
Produção de Biodiesel+Glicerina utilizando óleo de fritura + catalisadores básicos + etanol no laboratório de química do Royal Institute Technology-Suécia.



# USINA DE BIODIESEL



## Projeto EcoLed



Sistema de Iluminação Pública com Tecnologia LED  
eficiência energética e respeito ao meio ambiente

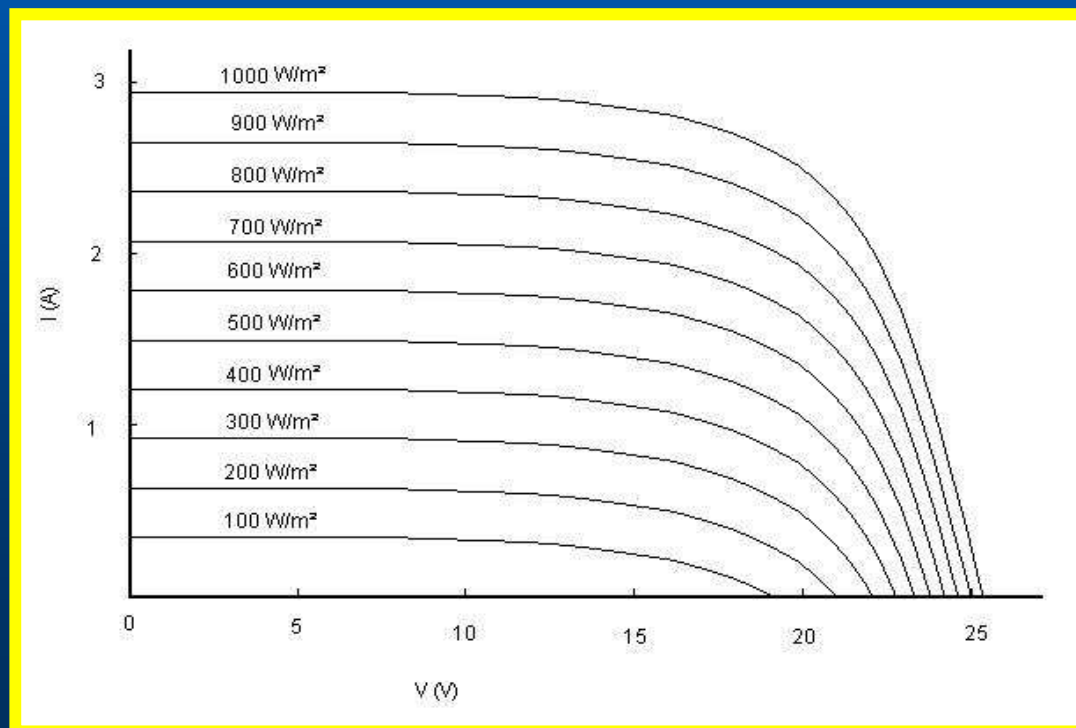


## 6.4- Sistema de iluminação LED

- Estudo do estado da arte da tecnologia LED em sistemas de iluminação;
- Destaque para os sistemas de iluminação pública - aspectos energéticos e ambientais desta tecnologia em comparação com outras tecnologias.
- Tomada de decisão sobre a tecnologia a ser utilizada na expansão dos atuais sistemas de IP:
  - . lâmpadas a vapor de mercúrio
  - . lâmpadas a vapor de sódio de alta pressão
- Escolha de sistemas mais eficientes sobre ponto de vista de consumo e aspectos ambientais.

## 6.5 – Sistemas fotovoltaicos

-“Análise da performance de um sistema solar fotovoltaico de 2 kw interligado à rede elétrica pública e integrado a uma edificação urbana”,



## Sistemas fotovoltaicos

Em ordem de maturidade são:

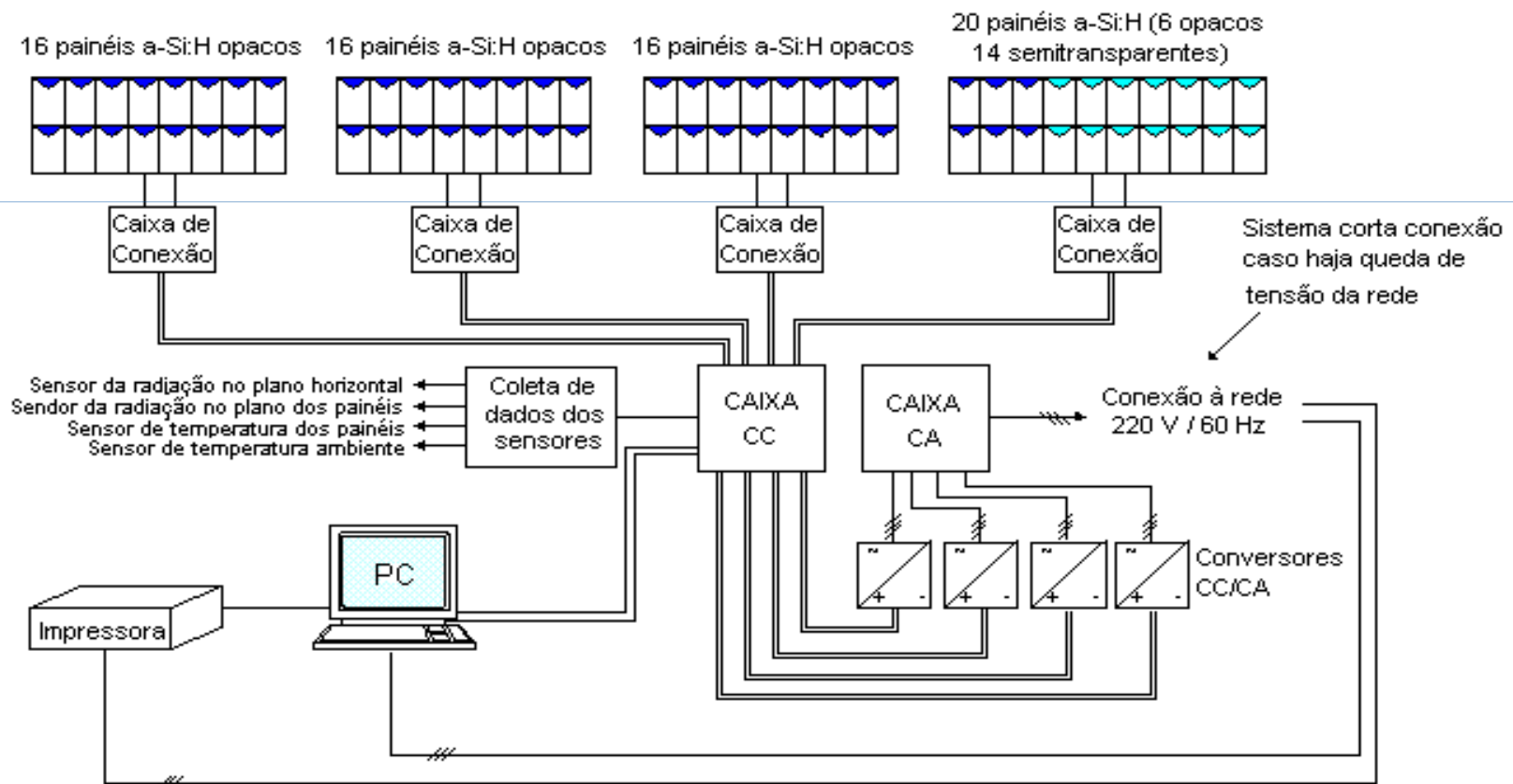
- O Silício cristalino (c-Si);
- O Silício amorfo hidrogenado (a-Si:H ou a-Si);
- O Telureto de Cádmio (CdTe);
- O Bissulfeto de cobre (gálio) e Índio (CuInSe<sub>2</sub> ou CIS e Cu(InGa)Se<sub>2</sub> ou CIGS);
- Arseneto de galio (GaAs).

## O PRIMEIRO SFCR DO BRASIL

### (Caraterísticas Técnicas)

- Potência: 2078 Wp;
- Composto por 68 painéis de vidro sem moldura;
- 54 deles são opacos;
- 14 painéis semitransparentes;
- Área ocupada de 40,8 m<sup>2</sup>;
- Orientado ao norte com 6° de desvio ao leste;
- Os painéis tem uma inclinação de 27°.

## ESQUEMA DA INSTALAÇÃO



## Instalação dos módulos no LABSOLAR



## Programa para a Seleção de Painéis Fotovoltaicos Comercialmente Disponíveis no Mercado Mundial.

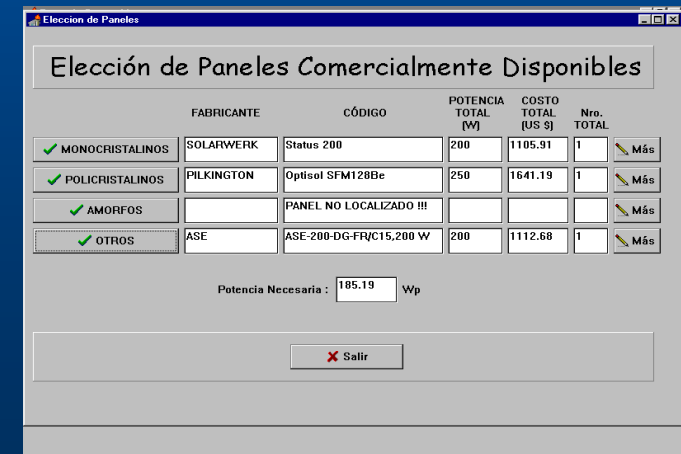
O Programa é feito em DELFHI e permite analisar sistemas conectados ou não a Rede elétrica.

O Programa permite efetuar Análise Técnica e Econômica de Sistemas.



A esquerda tela de determinação de carga necessária.

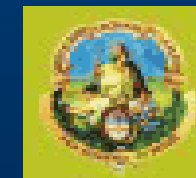
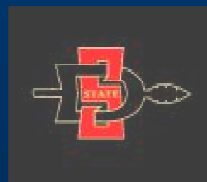
A direita tela de seleção de painéis.





## Intercâmbios internacionais: Convênios

- Florida State University – Estados Unidos da América
- Pontifícia Universidade Católica de Valparaíso – Chile
- Royal Institute of Technology – Suécia
- San Diego State University – Estados Unidos da América
- Universidade de Lusíada – Portugal
- Universidade de Perugia – Itália
- Universidade de Zaragoza – Espanha
- Universidade do Oriente – Cuba
- Universidade Nacional de La Plata – Argentina
- Universidade Nacional de Mar del Plata – Argentina
- Universidade Nacional de Tucumán – Argentina
- Universidade Politécnica de Madri – Espanha





## EQUIPE DE PESQUISA

Prof. Dr. José Luz Silveira (coordenador) - UNESP  
Prof. Dr. Pedro Magalhães Sobrinho - UNESP  
Prof. Dr. Oscar Armando Maldonado Astorga - UNESP  
Prof. Dr. Celso Eduardo Tuna – UNESP  
Prof. Dr. Julio Santana Antunes - UNESP  
Prof. Dr. Christian Coronado Jeremi – UNESP  
Prof. Dr. Daniel Julien Barros da Silva Sampaio – UNESP  
Prof. Dr. Marcio Evaristo Silva - UNESP  
Eng. MSc. Ronney Mancebo Boloy - UNESP  
Eng. MSc. Lucia Bollini Braga - UNESP  
Eng. MSc. Valdisley José Martinelli - UNESP  
Eng. Lucas Fachini Vane - UNESP  
Eng. Informática Ricardo de Castro Villela - UNESP  
Técnico Rodolfo dos Santos - UNESP  
Téc. de Informática Carlos Augusto Silva - UNESP

# FIM

Prof. Dr. José Luz Silveira  
Bolsista Produtividade em Pesquisa - CNPq  
Nível 1 B  
Titular / Livre Docente  
Grupo Otimização de Sistemas Energéticos  
Departamento de Energia  
Faculdade de Engenharia de Guaratinguetá  
FEG - UNESP  
<http://www.feg.unesp.br/gose/>

