

# ANÁLISE TÉCNICA E ECONÔMICA DE UM SISTEMA HÍBRIDO SOLAR-DIESEL

Elizabeth F. Cartaxo, Gilberto De M. Jannuzzi

Planejamento de Sistemas Energéticos da Universidade Estadual de Campinas

## RESUMO

*Este trabalho se propõe a fazer a análise de três alternativas de suprimento de energia elétrica na comunidade de Vila Campinas, interior do Amazonas.*

*Neste estudo, considera-se que a energia será produzida a partir de um conjunto gerador, com um motor térmico e a partir de painéis solares.*

*São analisadas as condições de geração de energia elétrica por um motor de combustão interna em duas condições diferentes de operação: com óleo diesel (já utilizado exaustivamente na região em termelétricas) e em um sistema híbrido solar-diesel; e o sistema operando unicamente com energia solar. A análise observará as melhores condições de comparação técnica e econômica apresentadas pelas três alternativas.*

## SUMMARY

This work propose to make the analyse of the three supply alternatives of the electric energy in the Campinas Village, Amazonas state interior.

In this study to consider that the energy will be generated from the generator group, with a thermal motor from solar source.

It is analyse the condition of the electric energy generation from the internal combustion motor in two different conditions of the operation: one with diesel oil (very utilized in the region in thermoelectrical) and the other a solar-diesel hybrid system; and the system operating just with solar energy. The analyse will observe the best condition to the technique and economic comparison presented for the three alternatives.

## INTRODUÇÃO

O processo de crescimento econômico e industrial de um país está intimamente relacionado ao consumo e à auto-suficiência de seus recursos energéticos. O Brasil não foge a esta regra, como em todos os países do mundo, após a II Guerra Mundial apresentou crescentes índices de utilização de energia,

os quais são fatores de estreita correlação com o desenvolvimento econômico.

Com a crise do petróleo nos anos 70, os governos de quase todos os países do mundo sobrevieram com medidas de redução de consumo de produtos derivados do petróleo e sua conseqüente dependência externa. No Brasil, apesar de algumas medidas de racionalização do consumo e de substituição da gasolina pelo álcool nos anos 80, pouco se observou em tomadas de decisões e medidas práticas neste sentido.

A energia é o fator básico de produção de um país, determina os padrões da sociedade, mostrando uma íntima e positiva correlação com o Produto Nacional Bruto - países ricos em geral, apresentam altos níveis de consumo de energia. O Brasil é um país que está em vias de desenvolvimento e é tido como um país rico. É dependente dos produtos derivados do petróleo. Muitas regiões brasileiras, como o caso da Região Amazônica, uma parcela de suas comunidades são supridas de forma precária, com intervalos de atendimento que variam de 4 a 8 horas diárias, e outras em que este serviço nem chega a se completar. A escassez de energia tem como resultante principal a limitação do ritmo e das tendências de crescimentos econômico, social e humano.

A energia que abastece estas localidades é gerada, basicamente, em termelétricas, que utilizam o óleo diesel como energético. A matriz energética de um país deve ser equilibrada, através de sua auto-suficiência ou mediante volumes de exportação de outros bens, gerados pelo país, devem permitir a importação de energia sem desequilíbrios e aumentos excessivos em sua economia interna. Não é este o caso do Brasil, país rico em condições hídricas para gerar energia numa determinada região e pobre e longínquo o suficiente para se revelar um país de desigualdades extremas, principalmente quando comparadas as metrópoles das regiões mais industrializadas e as regiões isoladas de comunidades no interior de outros estados, como na Amazônia por exemplo.

## CARACTERÍSTICAS DE VILA CAMPINAS

Vila Campinas está localizada às margens do rio Manacapuru, próximo ao Paraná do Anamá, a aproximadamente 53 km, em linha reta, da sede de seu

município, Manacapuru, o qual está distante 80 km de Manaus, capital do Estado. O acesso à Vila só se dá por via fluvial. Possui uma área de aproximadamente 1.500 km<sup>2</sup>, com topografia plana, levemente ondulada, de níveis muito baixos, clima quente e úmido e temperatura média de 30° C. A população fixa da Vila é de 1010 habitantes, distribuídos em 106 domicílios [3].

Vila Campinas é atendida por uma usina termelétrica a diesel (UTE Campinas) com capacidade nominal instalada de 96 KW, operada pela Concessionária de Energia do Amazonas/CEAM, com combustível subsidiado, pago pela Conta Comum de Combustível (CCC) gerenciada pela Eletrobrás.

A disponibilidade do recurso solar em níveis satisfatórios em Campinas foi um dos fatores que motivaram a implantação do Sistema Híbrido de geração complementar de energia elétrica. A implantação do sistema foi viabilizada devido a doação por parte de uma empresa americana dos equipamentos necessários, que tornou Campinas uma estação experimental, monitorada via satélite por técnicos da empresa nos Estados Unidos.

## SISTEMA DIESEL

Diversos derivados do petróleo, entre eles o óleo diesel, são utilizados como fontes para geração de energia elétrica. A nível mundial, os derivados de petróleo representam a quinta maior fonte primária utilizada, com 11% do total de energia elétrica produzida.

No Brasil, o óleo diesel e o óleo combustível têm sido tradicionalmente usados na geração termelétrica. Com a elevação dos preços do petróleo a partir de 1973, houve significativo esforço governamental visando a redução do uso desses produtos, inclusive pelo Setor Elétrico. Não obstante, de 1984 a 1986, com ênfase em 1986, a baixa hidráulica verificada na Região Sudeste do Brasil obrigou a um aumento na geração das termelétricas a derivados de petróleo, em complementação à geração hidráulica.

O óleo diesel é crítico na matriz energética brasileira, sobre o qual se apoia grande parte do transporte de carga e coletivo de passageiros. Nesse sentido, utilizações adicionais de diesel não devem ser estimuladas, independentemente de sua eventual rentabilidade. Todavia, raramente se têm alternativas ao consumo de óleo diesel para geração de eletricidade em sistemas elétricos isolados, particularmente os de menor porte, como as pequenas comunidades da Região Amazônica. Isso implica em que este produto deverá ainda ser usado por muito tempo como combustível em usinas térmicas. Razões operacionais fazem com que ele seja ainda usado em pequena proporção nas termelétricas a óleo combustível e a carvão mineral. Sua utilização futura

para geração termelétrica deverá ser mantida nos níveis mínimos possíveis.

O consumo do motor foi obtido usando as curvas de taxas de consumo de combustível[5], a partir do valor de HR e do fator de carga calculado do motor.

Tabela 1- Características dos Motores:

Grupo motor-gerador	STEMAC
Potência	48KW/53KVA
Rendimento (η)	39%
Fator de Potência (fp)	0,8
Vida útil	30.000 horas
Custo unitário do grupo gerador (incluído imposto e frete)	\$ 30.520,00

Fonte: STEMAC[6].

Obs: Para 18 horas de funcionamento diário o motor opera 6570 horas/ano. Os custos relativos ao óleo lubrificante estão incluídos nos custos de manutenção. Depreciação (método linear) = (P-L)/N = (\$61040 - \$6104)/10 = \$5.494,00/ano (considerado 2 grupos geradores para o sistema diesel).

Tabela 2: Parâmetros Utilizados para Análise no Sistema Diesel

Custo de manutenção	2% do inv. inicial
Custos Fixos	2% do inv. inicial
Fator de Carga (FC)	32/48 = 0,66
Consumo Específico(m <sub>c</sub> )	[HR .P/PCI] 7,13 kg/h
Poder Calorífico Inferior (PCI)	42738 kj/kwh
Consumo de óleo	46844 l. diesel/ano
Custo do óleo(bomba)	\$ 0,403/l
Custo do óleo( No local)	\$ 0,3695/l
Conta de óleo	\$17.308,00/ano
Tarifa	\$0,115/kwh
Receita anual	\$24.178,00
Depreciação	\$5.494,00/ano

Fonte: Elaboração própria

O método adotado para análise comparativa dos investimentos foi o método exato do custo anual equivalente por ser uma alternativa mais esclarecedora, tendo em vista que os projetos possuem vidas úteis diferentes.

### CÁLCULO DO CUSTO ANUAL - CAE

$$CAE = 61040 / (P/A,510) + 1064 + 54936 \times (P/F,5,10) / (P/A,5,10) + 54936 \times (P/F,5,20) / P/A,5,20 - 6104 \times 54936 \times (P/F,5,30) / (P/A,5,30)$$

$$CAE = \$7.904,70 + \$1.064,00 + \$4.367,42 + \$1.661,48 - \$91,88$$

$$CAE = \$14.905,72$$

## SISTEMA SOLAR:

Marca: MSX64 SOLAREX.

Características: 20 conjuntos de 40 módulos, totalizando 800 painéis de 64 W de pico.

Potência: 51,2 KW de pico.

Banco de baterias: dimensionado para 200 kwh / 8 horas (capacidade útil - ciclo diário máximo).

Potência do Inversor: 50 KW.

Devido a incidência solar ser praticamente constante, o Sistema fotovoltaico foi projetado de modo a permitir um ajuste anual de inclinação de 5°, 10° e 15°.

O inversor de 60 KW ligado a saída do sistema de corrente contínua, constituído do banco de baterias, que fornece 200 KWh em um período de descarga médio de 24 horas, e dos módulos de painéis solares, entrega uma tensão de 240 volts AC para a subestação. Esta, através dos transformadores elevadores de tensão, joga para a rede de distribuição uma tensão de 16800 volts AC.

O sistema é capaz de alimentar a carga durante o dia, diretamente dos módulos PV e a noite através do banco de bateria. Admite-se que a distribuição da radiação solar na Vila permite o atendimento de energia durante nove meses do ano, e nos demais meses de menores níveis de irradiação solar o número de horas diárias será reduzido de 18 para 6 horas de fornecimento.

Tabela 3: Parâmetros Utilizados para Análise no Sistema Solar

Custo dos Painéis	\$ 302.400,00
Custo do Inversor	\$ 64.800,00
Custo do Controlador de Carga	\$ 16.200,00
Custo do Banco de Baterias	\$ 75.000,00
Vida Útil	30 anos(exc. baterias)
Total do Investimento Inicial	\$ 428.800,00
Custos Fixos	1% do inv. inicial
Custos de Manutenção	0,0
Horas de operação anual	5418 horas
Receita anual	\$ 19.939,00
Depreciação:	
1. Do Sistema	\$10.614,00/ano
2. Do Banco de Baterias	\$9.642,00/ano

Fonte dos Preços: Amazonas Energia Solar [1]

Obs.: Não foram considerados os custos de obras civis, devido a similaridade para quaisquer dos investimentos. Da mesma forma para os materiais de interligação e suporte.

#### CÁLCULO DO CUSTO ANUAL - CAE

$$CAE = 428.800 / (P/A,5,30) + 4.606 + 67.500 \times (P/F,5,7) / (P/A,5,7) + 67.500 \times (P/F,5,14) / (P/A,5,14) + 67.500 \times (P/F,5,21) / (P/A,5,21) - 42.880 \times (P/F,5,30) / (P/A,5,30) \{$$

$$CAE = \$27.894,87 + \$4.606,00 + \$ 8291,10 + \$3.444,21 + \$1.889,53 - \$6.224,46 \{ CAE = \$ 39.901,25$$

#### **SISTEMA HÍBRIDO SOLAR-DIESEL**

Sistema Solar + Sistema Diesel com redução de um grupo gerador.

$$\text{Total do Investimento Inicial} = \$ 428.800,00(\text{Solar}) + \$ 30.520,00(\text{Grupo Gerador}) = \$ 459.320,00$$

Tabela 4: Parâmetros Utilizados para Análise no Sistema Híbrido

Total do Investimento Inicial	\$ 459.320,00
Custos Fixos	1% do investimento inicial
Custos de Manutenção	\$ 610,00 (gerador)
Conta do óleo	\$ 5.769,00
Receita Anual	\$ 24.178,00
Depreciação:	
1. Do Sistema (exceto bateria)	\$10.614,00/ano
2. Do Banco de Bateria	\$ 9.642,00/ano
3. Do Grupo Gerador	\$1.831,00/ano

Fonte: Elaboração própria.

#### CÁLCULO DO CUSTO ANUAL - CAE

$$CAE = 459.320 / (P/A,5,30) + 8.881 + 67.500 \times (P/F,5,7) / (P/A,5,7) + 27.468 \times (P/F,5,15) / (P/A,5,15) + 67.500 \times (P/F,5,14) / (P/A,5,14) + 67.500 \times (P/F,5,21) / (P/A,5,21) - 55.428 \times (P/F,5,30) / (P/A,5,30) \{$$

$$CAE = \$29.880,30 + \$8.881,00 + \$ 8.291,10 + \$325,24 + \$3.444,21 + \$1.889,53 - \$8.045,93 \{ CAE = \$ 44.665,45$$

#### **CONSIDERAÇÕES SOCIAIS E AMBIENTAIS**

Até recentemente os problemas de poluição do meio ambiente eram considerados como específicos às nações desenvolvidas. As legislações e os instrumentos de proteção são peculiares a cada país e estão se tornando cada vez mais severos.

A qualidade do ar tem sido e discussão em quase todas as grandes cidades do mundo e também os danos provocados na natureza, tais como acidificação dos solos, morte de rios e lagos, a atrofia das florestas e a extinção de certas espécies de animais e vegetais, que apresentam uma ameaça à qualidade de vida do futuro.

Grande parte da poluição do mundo é causada pela queima de combustíveis fósseis e a dificuldade de combatê-lo reside, em parte, na necessidade de instalações de equipamentos especiais que envolvem altos custos.

A poluição do ar provoca umas das maiores preocupações ambientais atuais, sendo objeto de regulamentação cada vez mais rígida. Além de seus componentes naturais (azoto, oxigênio, gases raros, vapor de água e CO<sub>2</sub>), o ar contém, em concentrações variáveis conforme o local, os produtos gerados por combustão e por evaporação de hidrocarbonetos, solventes e produtos químicos.

Nos países industrializados, os grandes setores de atividade responsáveis pela poluição do meio ambiente são, por ordem decrescente, os transportes rodoviários, as indústrias, as termelétricas e o uso doméstico. Nas indústrias e termelétricas, a queima de óleo ou carvão para a produção de calor ou de energia elétrica tem-se constituído na maior fonte

de emissão de SO<sub>x</sub>. A emissão de SO<sub>x</sub> pela queima do óleo combustível depende da quantidade queimada e do teor de enxofre contido que pode chegar a um valor máximo determinado por normas.

A falta de energia elétrica numa sociedade tem como consequência a existência de assimetrias sociais nas condições e qualidade de vida, tais como: a permanência da pobreza, a falta de oportunidade para o crescimento, o fluxo migratório para as grandes cidades e a descrença desta sociedade local no futuro. Os estilos de vida urbano são realmente adotados como o modo de vida futuro. As grandes cidades são caracterizadas pelas profundas disparidades de renda, condição de vida e acesso aos serviços básicos entre os grupos sociais que conseguem capturar os benefícios econômicos do crescimento rápido e aqueles que não conseguem [4].

### CONSIDERAÇÕES FINAIS

Dentre as alternativas analisadas, para as condições de operação consideradas neste trabalho, observamos os seguintes custos anuais equivalentes:

Sistema	CAE (\$)	Varição
Diesel	14.905,00	100 (base)
Solar	39.925,00	268
Híbrido	44.665,00	299

Evidencia-se, pela tabela acima, que o sistema diesel, do ponto de vista econômico, ainda é a melhor alternativa das três estudadas.

Ocorre que, para a região amazônica a questão não pode ser somente analisada tão somente do ponto de vista econômico, em face das peculiaridades da região amazônica, tais como as questões sociais e ambientais provenientes das tecnologias renováveis onde fatores econômicos são importantes mas não deveriam se sobrepor aos valores social e ambiental das tecnologias de energia renovável. Neste caso, o empreendimento é tão satisfatório para as necessidades básicas da faixa mais pobre da população, que o critério humanitário deveria dar lugar ao critério econômico [7]. É o caso de Vila Campina.

Considerando os benefícios sociais e de auto-sustentabilidade do sistema na comunidade, o seu uso torna-se uma alternativa viável para as localidades isoladas da Amazônia. No entanto, é necessário a difusão desta tecnologia para criar uma cultura desta fonte e aumentar o poder de influência sobre aqueles que gerenciam, decidem e financiam os recursos necessários para sua implantação.

O custo unitário da energia elétrica obtida de sistemas fotovoltaicos calculados pelas sistemática propostas ainda é bastante elevado (da ordem de dez vezes), em relação ao custo da energia elétrica fornecida, por exemplo, a usuários a nível residencial

conectados à rede elétrica convencional. O forte investimento inicial em capital torna a disseminação do uso destes sistemas muito difícil, principalmente para os usuários de baixa renda em locais isolados, onde o uso desta alternativa seria mais adequada [2].

### AGRADECIMENTOS

Agradecemos ao prof. Carlos Alberto Figueiredo (Universidade do Amazonas) pela valiosa colaboração na aquisição dos dados e discussão do trabalho.

### REFERÊNCIAS

- [1] AMAZONAS ENERGIA SOLAR Ltda., 1997. Manaus, AM.
- [2] MARTINS, J. M. V., 1996. "A influência da confiabilidade de sistemas de conversão fotovoltaicas nos custos da energia elétrica". VII CBE e II Seminário Latino Americano de Energia, Vol. IV, Rio de Janeiro/RJ.
- [3] MATOS, A. A., 1995. "Projeto Vila Campinas". Convênio CEAM/CEPEL/ELETOBRÁS/NREL. Manaus, AM.
- [4] RADY, H. M., 1992. "Renewable energy in rural areas of developing countries: some recommendations for a sustainable strategy". Energy Policy, junho.
- [5] REVISTA POWER, 1983. MacGraw Hill, Nova York.
- [6] STEMAC S/A, 1997. Porto Alegre/RS.
- [7] TYLER, S., 1994. "Household energy use and environment in Asian cities: An introduction". Energy, Vol. 19, No. 5, pp. 502-508.