



UNICAMP

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS

FACULDADE DE ENGENHARIA AGRICOLA

AP 388 - Conservação e Uso de Eletricidade no Meio Rural

**FONTES LIMPAS DE ENERGIA ELÉTRICA - SISTEMAS
FOTOVOLTAICOS E EÓLICOS DE PEQUENO PORTE**

PROFESSOR: DR. LUIZ ANTÔNIO ROSSI

ALUNO: RICHARD ROBERTO CAIRES

RA: 078465

CAMPINAS, NOVEMBRO DE 2008

RESUMO

Visando avaliar fontes de energia elétrica limpa como sistemas fotovoltaicos e eólicos de pequeno porte, para utilização em áreas remotas que necessitam de energia elétrica e estão muito distantes de redes convencionais de energia realizou-se o estudo de viabilidade econômica de aplicação do sistema de geração eólico e sistema fotovoltaico. Os dados coletados foram adquiridos diretamente com fornecedores dos sistemas. Os resultados indicaram qual apresenta ser o mais viável economicamente. Foi avaliado o quanto deixou-se de aplicar em extensão da rede elétrica até a residência.

Palavras Chave

-Eólica, Energia Solar, Energia limpa.

ABSTRACT:

To evaluate electric sources of energy cleans as systems solar energy and wind power of small load, for use in remote areas that need electric power and they a lot distant of conventional nets of energy took place the study of economical viability of application of the system of generation wind power and system solar energy. The collected data were acquired directly with suppliers of the systems. The results indicated what to be the viable economically. The was evaluated the cost of applying in extension of the electric net to the residence.

Keywords

Wind power, Solar energy, Energy cleans

OBJETIVO

Este trabalho tem por objetivo fornecer através de estudos os desafios para a eletrificação de residências, principalmente as rurais isoladas e as opções de utilização da energia solar fotovoltaica e eólica de pequeno porte como solução. Demonstrar os principais componentes comparando valor e eficiência de geração de energia solar e eólica nos projetos de energia alternativa, ressaltando o sistema residencial rural. Verificar através de análises, a viabilidade econômica do sistema eólico, confrontando com o sistema fotovoltaico e ainda o quanto deixou-se de investir em extensão de rede convencional da concessionária de energia elétrica, considerando como média de consumo mensal residencial de aproximadamente 140kw/h mês ¹.

1. INTRODUÇÃO

Diante da redução das reservas mundiais de petróleo e da adoção de práticas de preservação do meio ambiente, que promovem a redução do impacto na natureza com a otimização dos recursos disponíveis, a utilização de fontes renováveis, representam hoje, o grande desafio do setor energético.

A maior parte da energia elétrica produzida no Brasil é de origem hidráulica, oferecendo para a sociedade uma energia renovável e, do ponto de vista dos efeitos globais sobre o clima, uma energia limpa. Mas, a energia elétrica produzida por fonte hidráulica possui certa sazonalidade, pois depende do regime hídrico dos rios das principais bacias, onde se situam os maiores aproveitamentos. Aproveitar outras fontes de energia, que sejam complementares a este regime sazonal, é uma alternativa bastante conveniente para o país, pois preserva recursos ambientais e econômicos.

O desenvolvimento e fortalecimento das energias renováveis no país são fundamentais, já que o Brasil possui as melhores condições de produção dessas fontes.

Dentre as mais significativas fontes renováveis do país, a energia solar e a eólica se destacam.

¹ Para definição da Potência média consumida levou-se em consideração cargas de uso doméstico que são apresentadas na pg.6

Prejudicada pelos arranjos de distribuições energéticas convencionais, a eletrificação rural, considerada não rentável economicamente é ainda um desafio essencialmente social. Distantes de redes convencionais de energia elétrica necessitam de grandes investimentos para extensão da rede elétrica até estas residências, muitas vezes para eletrificar poucas residências este investimento se torna não viável. Sistemas de energia solar e eólica de pequeno porte são alternativas que podem atender estas residências com investimentos menores.

A eletrificação em comunidades rurais isoladas é uma questão de cidadania, pois serve de referência de desenvolvimento, dentro de uma sociedade com desigualdades sociais e econômicas.

Algumas opções ao fornecimento de energia elétrica aos usuários rurais é a utilização da energia solar fotovoltaica e aerogeradores de pequeno porte, tecnologias bastante promissoras e economicamente interessantes.

2. FATORES QUE INFLUENCIAM NA VIABILIDADE ECONÔMICA

O estudo da viabilidade econômica é fundamental para toda instalação eólica e solar, podendo ser subdividido em duas etapas: custos iniciais e custos anuais de operação e manutenção.

Os custos iniciais podem referir-se aos gastos com o estudo de viabilidade técnica, negociações e desenvolvimento, projetos de engenharia, custos dos equipamentos, infraestrutura e despesas diversas. Já os de operação e manutenção correspondem aos gastos com operação, reparo e reposição de equipamentos, arrendamento do terreno, entre outros [6].

Os fatores acima citados referem-se principalmente ao estudo da viabilidade de grandes parques eólicos. Neste caso, algumas das características e custos envolvidos podem ser alterados ou, até mesmo, desconsiderados, dependendo da localização e tamanho.

Neste artigo é demonstrado um modelo de sistemas de geração eólica comparando com outro modelo de sistema de geração solar. Será avaliado o custo dos equipamentos instalados. Deste modo, os gastos iniciais poderão ser reduzidos a: despesas com avaliação do potencial eólico do local, instalação do gerador, custos de equipamento. Os custos de operação e manutenção são provenientes da manutenção preventiva e possíveis reposições de componentes, como é o caso das baterias, cuja vida útil é de apenas três anos, conforme informações do fabricante.

3. METODOLOGIA

Uma das dúvidas quando pensamos em instalar um equipamento para geração de energia alternativa, é identificar qual deles apresenta menor custo e qual o mais viável para aplicação local.

Para comparar os dois tipos de sistemas propostos neste trabalho (energia solar ou eólica), o estudo foi realizado através de dados coletados com fornecedores destes sistemas de geração de energia limpa como a Eólica Rio, situada na Rua Brasilina Rosa De Jesus n. 2 – sl 201 – São Gonçalo – RJ que fornece sistemas eólicos de pequeno porte, forneceu dados de diversos modelos de aerogeradores e custos. A Energia Pura Empreendimentos Ltda, situada na Rua da Praia, 170 – Centro Histórico – Paraty – RJ CEP: 23970-000 forneceu dados de custo do sistema de geração através de células solares. Tomou-se como base um consumo de aproximadamente 100kw/mês a 140kw/mês para uma residência, que esteja distante mais de 10 Km da rede convencional de energia elétrica. Considerou-se como cargas uma Bomba d'água, 10 lâmpadas de 11W, 1 aparelho de som, um televisor colorido 21", uma antena parabólica, um ventilador e um refrigerador.

Verificou-se o quanto deixou de investir em extensão de rede elétrica convencional e o que deixou de ser pago em faturas de energia elétrica para a concessionária local, quando utilizado sistemas de energia eólica ou solar.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

O estudo comparativo demonstrará o uso do sistema que apresenta melhor viabilidade econômica, levando em consideração o local que será instalado o equipamento, avaliando se prevalece a energia solar ou eólica considerando o investimento necessário para instalação de cada sistema e o quanto deixou de investir com extensão da malha de energia convencional.

Foi tomado como base algumas cargas importantes que podem ser ligadas em uma residência, cargas como lâmpadas, aparelho de som, televisor, antena parabólica e refrigerador de baixo consumo. A tabela 01 mostra a composição de cargas que podem ser utilizadas para os sistemas eólico da Enersud – Gerar 246 e também para o sistema fotovoltaico do fornecedor Energia Pura do Rio de Janeiro.

Bomba Shurflo		Lâmpadas		Aparelho Som		Televisor Colorido 21"		Antena Parabólica	
80W		11W		50W		90W		10W	
Qtd	Uso h/dia	Qtd	Uso h/dia	Qtd	Uso h/dia	Qtd	Uso h/dia	Qtd	Uso h/dia
1	3	10	5	1	3	1	4	1	3

Ventilador		Refrigerador		Consumo Wh/dia	Consumo Wh/Mês
30W		60kW/mês			
Qtd	Uso h/dia	Qtd	Uso h/dia		
1	3	1	24	2860Wh/dia	86kW

TABELA 01 – COMPOSIÇÃO DE CARGAS E CONSUMO TOTAL EM KW.

Na figura 01 podemos ver nitidamente que a maior carga é do refrigerador, que tem um consumo diário de 1440 W.

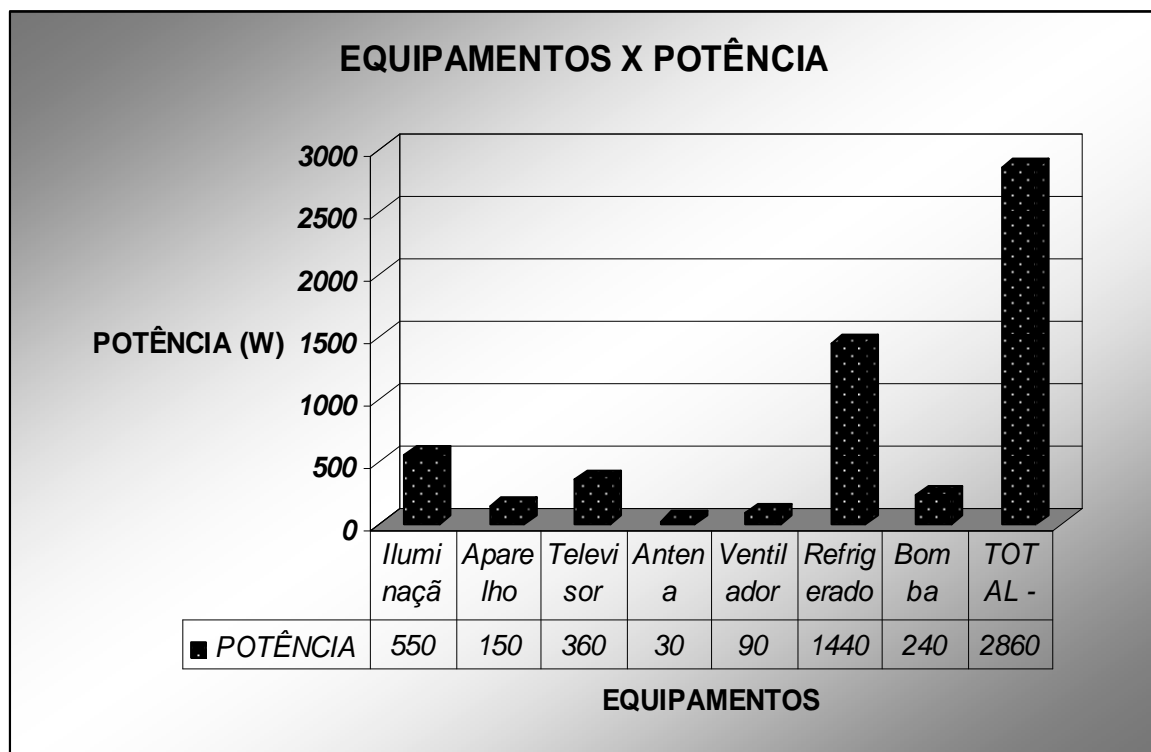


FIGURA 01– GRÁFICO DE CARGAS E POTÊNCIA CONSUMIDA

Para atender estas cargas foi orçado um gerador eólico que produz em média 140kW/mês. Como temos que levar em consideração a sazonalidade dos ventos, a potência de geração deve ser maior, para que não falte energia.

Neste caso é necessário especificar os equipamentos aplicáveis a uma instalação baseada na produção de energia através dos ventos (eólica) ou na produção de energia através dos raios solares (sistema fotovoltaico).

4.1 SISTEMA EÓLICO – AEROGERADOR GERAR 246 ENERSUD

A especificação técnica do aerogerador tipo Gerar246 podem ser identificados conforme a tabela 2.

Características Técnicas do Aerogerador **Gerar246**

Diâmetro da hélice	2,46 m
Potência a 12 m/s	1000 Watt
Rpm a 12 m/s	630 rpm
Número de pás	3
Tipo de pás	torcida, (5 aerofólios)
Velocidade de partida	2,2 m/s
Torque de partida	0,3 Nm
Controle de velocidade	stall
Proteção contra altas velocidades	Active Stall (Controle de Passo)
Sistema magnético	neodímio (ímã permanente)
Sistema elétrico	trifásico
Tensão de saída	24/48 volts
Topologia	Fluxo Axial
Peso total (alternador+hélice+cab. Rot.)	32 Kg
Material Anti Corrosão	Alumínio / Inox / Mat. Galvanizado
Balaceamento	Dinâmico(confirmação após pintura)
Principais Funções:	Características do Controlador de Carga
Controle de carregamento de baterias	
Tensão de saída	24/48 volts
Material	Alumínio
Indicador de carga	Leds / Amperímetro

TABELA 02 – CARACTERÍSTICAS AEROGERADOR GERAR [1]

Os aerogeradores são projetados para uma determinada faixa de variação da velocidade do vento, geralmente entre 4 a 30 m/s. Acima desta faixa, os componentes como gerador, pás, passam a atuar com sobrecarga. Abaixo da faixa não é viável gerar energia. Desta forma é necessário um sistema que bloqueie o aerogerador nas extremidades desta faixa.

O coeficiente de potência do rotor, C_p , ou a eficiência do rotor é a fração de potência mecânica que conjunto de pás consegue transmitir ao eixo do gerador. [1]

Portanto podemos retirar no máximo 45% da potência contida no vento, temos de considerar algumas perdas, porque nenhum Aerogerador retira 100% de potência dos 45% que nos é permitido pela física, devendo levar em consideração alguns fatores:

- Aerodinâmicos
- Elétricos
- Resistivos
- Qualidade do vento

O nosso Mapa Eólico Nacional tem algumas limitações que introduz mais outra perda, pois a precisão dele é de 1km² por 1km² e a altura mínima é de 50mt, assim como instalamos os aerogeradores com 12 mt de altura precisamos também reduzir a média de vento apresentada no Mapa Eólico ² (instalações de pequenas turbinas a 50mt é economicamente inviável).

A figura 02 abaixo mostra a velocidade média anual a 50mt de altura no Brasil.

² Mapa eólico, para maiores informações consultar: ANEEL – Agência Nacional de Energia Elétrica

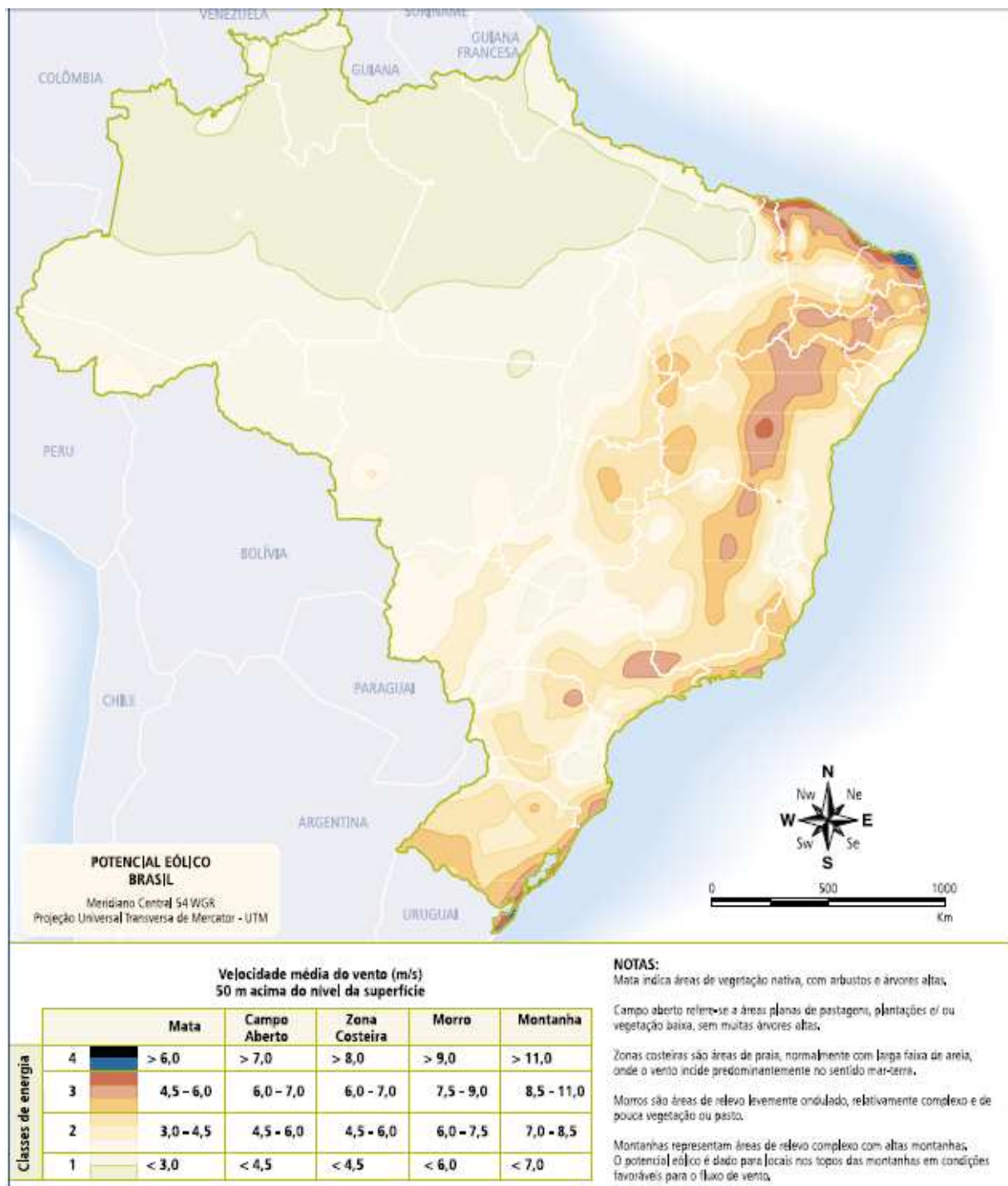


FIGURA 02 – VELOCIDADE MÉDIA ANUAL DO VENTO A 50M ALTURA FONTE: (ANEEL, 2008) [8]

Portanto de forma prática uma Turbina Eólica modelo Gerar246 de 1000W nos fornecerá de forma contínua no máximo 20% de sua potência nominal ou seja 200W. Com este dado podemos então multiplicar 200W pelas 720 horas do mês para chegarmos a 144 kWh/mês que é a produção estimada mensal deste Aerogerador de 1000W em locais com média de vento anual acima de 6m/s.[1]

O custo do aerogerador pode ser identificado na tabela 03.

ITENS - Gerar246 – Fornece 140kwh/mês em locais com média de vento anual acima de 6m/s	QTD	PREÇO UNIT	TOTAL
Aerogerador 1000w – 48v + controlador de carga. (Enersud)	1	R\$ 5.990,00	R\$ 5.990,00
Kit torre - (Enersud)	1	R\$ 900,00	R\$ 900,00
Inversor 1000w – 48v (Comércio Local)	1	R\$ 1.200,00	R\$ 1.200,00
Bateria estacionária 170ah (Comércio Local)	4	R\$ 750,00	R\$ 3.000,00
Tubo Din 2440 - 2” 1/2” (Comércio Local)	2	R\$ 250,00	R\$ 500,00
Outros – cabos elétricos, etc... (Comércio Local)	1	R\$ 300,00	R\$ 300,00
Frete (média)	1	R\$ 200,00	R\$ 200,00
		Total	R\$ 12.090,00

TABELA 03– CUSTO AEROGERADOR GERAR 246–FORNECEDOR EÓLICA RIO [1]

4.2 SISTEMA FOTOVOLTAICO COM 20 MÓDULOS DE 80W

Para compararmos o custo entre o sistema de geração eólica e solar, deve-se manter a potência inicial estabelecida de geração mensal para cotação do sistema de energia solar. Portanto foi considerado a potencia de 140kw/mês como foi feito para o sistema eólico.

A energia solar fotovoltaica é a energia obtida através da conversão direta da luz em eletricidade (efeito fotovoltaico). O efeito fotovoltaico, relatado por Edmond Becquerel, em 1839, é o aparecimento de uma diferença de potencial nos extremos de uma estrutura de material semicondutor, produzida pela absorção da luz. A célula fotovoltaica é a unidade fundamental do processo de conversão

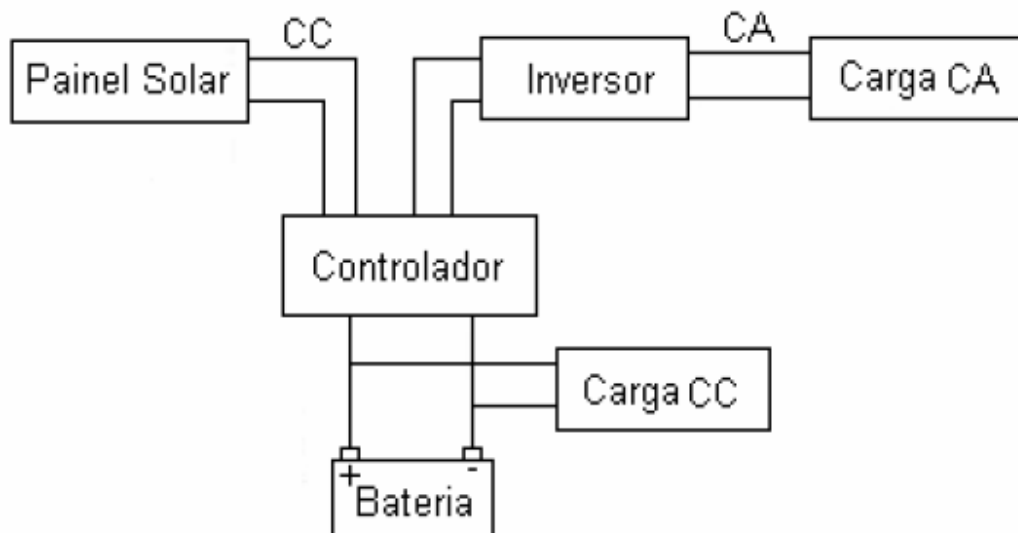


FIGURA 03– CONFIGURAÇÃO BÁSICA DE UM SISTEMA FOTOVOLTAICO ISOLADO [2]

Módulos Fotovoltaicos: Equipamentos de Silício Cristalino

Baterias estacionárias: São projetados para trabalhar com sistemas fotovoltaicos, com vida útil acima de 4 anos, sem manutenção.

Controlador de Carga: Protege as baterias contra descargas profundas e excesso de carga, aumentando a vida útil das baterias.

Inversor: Permite a utilização de aparelhos de corrente alternada.

O Brasil apresenta uma ótima condição para o uso da energia solar, com uma excelente média de radiação, principalmente na região Nordeste, conforme observado figura 04.

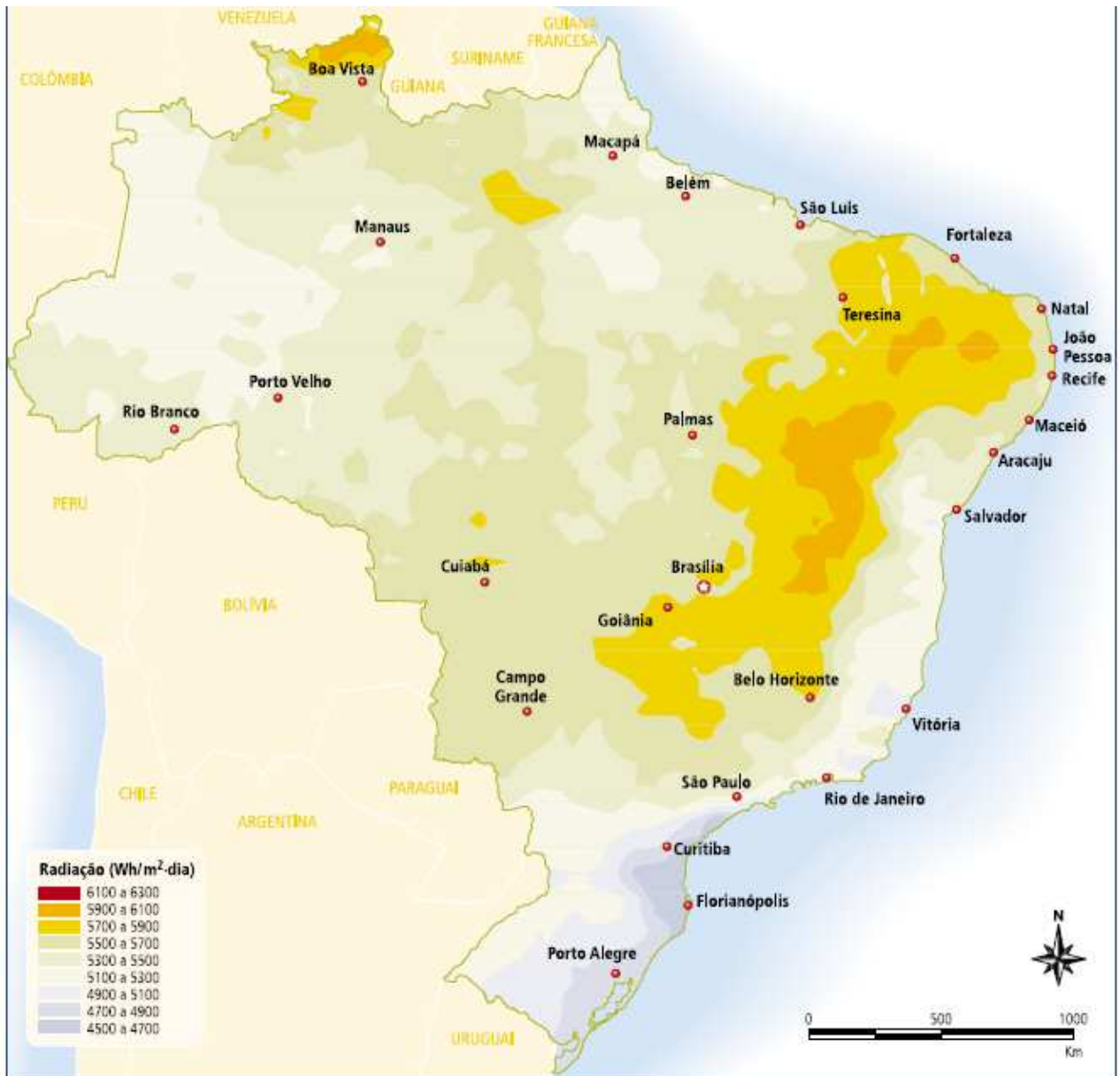


FIGURA 04 – RADIAÇÃO SOLAR GLOBAL DIÁRIA – MÉDIA ANUAL TÍPICA (Wh/m².dia) FONTE: (ANEEL, 2008) [8]

O custo do sistema fotovoltaico com capacidade de geração de 140kW/mês pode ser identificado na tabela 04.

Item	Quantidade	Descrição	Preço unitário	Preço Total
01	20	Módulo solar de 80W	R\$ 1.400,00	R\$ 28.000,00
02	01	Controlador de carga MX 60	R\$ 2.995,00	R\$ 2.995,00

03	12	Bateria estacionaria 220Ah	R\$ 1.180,00	R\$ 14.160,00
04	01	Inversor	R\$ 1.265,00	R\$ 1.265,00
			Total	R\$ 46.420,00

TABELA 04 – CUSTO SISTEMA FOTOVOLTAICO – FORNECEDOR ENERGIA PURA, PARATI RJ. [7]

Nesta primeira análise podemos verificar uma grande diferença de preços entre os dois tipos de sistemas que foram projetados para uma geração média de 140kw/mês.

- Valor total sistema fotovoltaico – **R\$ 46.420,00**
- Valor total sistema eólico – **R\$ 12.090,00**

4.3 EXTENSÃO REDE ELÉTRICA EM ÁREA RURAL

Por se tratar de investimentos relativamente altos, devemos avaliar o custo domiciliar da eletrificação rural convencional em função do número de residências a serem atendidas e da distância à rede elétrica, pois se existirem mais de uma casa isolada na área rural, pode ser mais vantajoso a extensão da rede elétrica até as residências.

A tabela abaixo demonstra o valor em dólares, para extensão de rede elétrica em para número de domicílios atendidos e a distancia em Kilometros de extensão da rede elétrica para atender os domicílios.

Número de Domicílios	Distância (Km)						
	0,5	1	2	5	8	9	10
1	2,964.89	4,644.69	7,971.42	17,951.59	27,931.76	31,258.48	34,585.21
5	1,619.71	2,459.62	4,644.69	9,634.78	14,624.87	16,288.23	17,951.59
10	647.92	815.91	1,148.58	2,459.62	3,770.66	4,207.68	4,644.69
15	593.02	705.01	926.80	1,731.26	2,605.29	2,896.63	3,187.98
20	565.58	649.57	815.91	1,367.08	2,022.60	2,241.11	2,459.62
30	538.12	594.12	705.01	1,037.69	1,439.91	1,585.59	1,731.26
50	516.16	549.76	616.30	815.91	1,617.19	1,082.04	1,148.58

TABELA 05 – VALOR PARA EXTENSÃO EM DÓLAR DA REDE CONVENCIONAL DE ENERGIA. [4]

Como podemos verificar na tabela quanto maior o número de residências atendidas, o valor de investimento diminui. Para uma única residência o investimento de extensão da rede elétrica no caso de 10km, o valor será de **R\$ 80.445,19** (Cotação dólar em 12/10/2008 – Valor R\$2,326) [3]

No caso de utilização do sistema fotovoltaico ou eólico, não existe fatura mensal, que é cobrada mensalmente pelas concessionárias de energia, de acordo com o consumo da residência.

Considerando o sistema convencional de energia elétrica através da extensão da rede elétrica da concessionária da região, baseado que a tarifa seja com classificação rural normal B2, podemos visualizar o gasto anual pago pelo consumo de energia elétrica através da tabela abaixo:

Qtd KW/h mês consumido	Valor da Fatura Mensal	Valor Anual
140 KW/h mês	$0,24075 \times 140 = \text{R\$ } 33,70$	R\$ 404,46

TABELA 06 - VALOR KW/H MÊS = 0,224075 (FONTE COELBA – MÊS DE OUTUBRO DE 2008) [5]

Como pode ser observado na tabela 06, o gasto anual para utilização de energia convencional é de R\$404,46 para o proprietário da residência. A concessionária terá que investir R\$80.445,19, para extensão da rede considerando que existe apenas uma casa e a 10 km de distancia do ponto para conexão da rede elétrica. Se aplicado o sistema eólico ou solar, deixara de gastar com extensão da rede elétrica e fatura mensal de energia elétrica cobrada pela concessionária local.

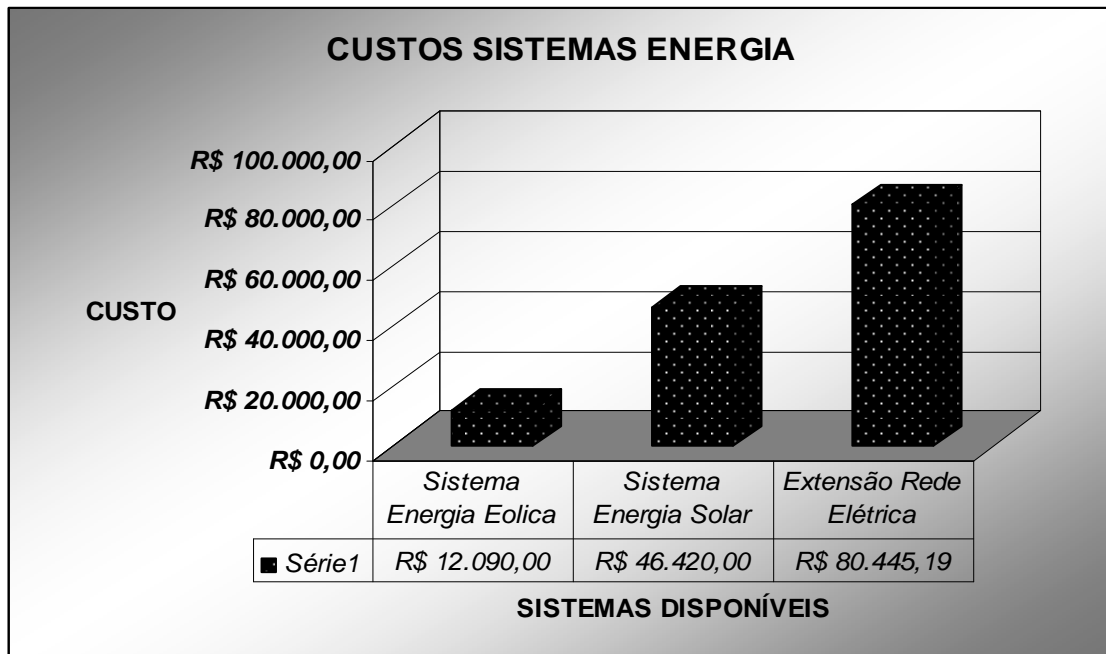


FIGURA 05- GRÁFICO DE CUSTOS ENTRE SISTEMAS DE ENERGIA ELÉTRICA

Com o gráfico disponível na figura 05 podemos notar que existe uma grande diferença de custos para implantação dos sistemas. O Sistema de Geração Eólica foi o que se mostrou com custo mais atraente. Considerando que os dois sistemas possuem pouca manutenção, pois a durabilidade é de aproximadamente 20 anos, tanto para o eólico ou solar, devendo apenas executar limpeza periódica, necessitando substituição apenas das baterias que duram aproximadamente 4 anos e são aplicados para os dois tipos de sistema, verificou-se que a geração elétrica eólica ainda continua sendo mais atrativo, pois o utiliza menor número de baterias (4 de 170Ah), já o fotovoltaico utiliza maior número de elementos (12 de 220Ah), pois a geração de energia solar só ocorre quando temos sol, a noite não existe geração de energia, dependendo das baterias. No caso do eólico, pode gerar dia e noite, dependendo dos ventos, utilizando, portanto um menor número de baterias.

CONCLUSÃO:

Neste estudo o sistema de energia eólica se mostrou com um custo muito mais atraente comparado com o sistema de energia solar. O sistema de energia fotovoltaica se mostrou 383%

mais elevado que o sistema eólico. Os dois sistemas têm a capacidade de geração máxima de 140kW mês.

Deve-se levar em consideração o local geográfico para cada sistema, avaliando a velocidade do vento local para o sistema eólico e para o sistema de energia solar considerar a incidência local de sol, pois dependendo da localidade pode não ser viável a instalação destas fontes de energia limpa.

Para o caso de extensão da rede de energia elétrica, o valor estimado para atendimento de uma residência a 10 km de distância da rede elétrica, é bastante alto e o consumidor tem a fatura mensal da energia consumida.

Portanto o sistema de energia Eólico se mostrou mais atrativo, se o local de instalação possuir ventos acima de 6m/s.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

[1] ENERSUD Energia Eólica Limpa e Renovável. Disponível em: <www.enersud.com.br>. Acesso em 18 outubro 2008, 20:30hs.

[2] FILHO, N. P. – Inversores Monofásicos para Sistemas Fotovoltaicos de Energia Elétrica, São Luís - UFMA, Monografia, 2003.

[3] Economia UOL Cotações. Disponível em <<http://economia.uol.com.br/cotacoes>>, Acesso em 12 outubro 2008, 19:30hs.

[4] NAPER - Núcleo de Apoio a Projetos de Energias Renováveis - da Universidade Federal de Pernambuco, disponível em <<http://www.ufpe.br/naper/analise.doc>> Acesso em 12 de outubro 2008, 21:30hs.

[5] COELBA - Núcleo Companhia de Eletricidade do Estado da Bahia, disponível em <<http://www.coelba.com.br>> - acesso em 15 de outubro 2008, 20:30hs.

[6] CRESESB - Centro de Referência para Energia Solar e Eólica Sérgio de Salvo Brito, disponível em <http://www.cresesb.cepel.br/Publicacoes/download/Direng.PDF> - acesso em 15 de outubro 2008, 20:00hs.

[7] Energia Pura Empreendimentos LTDA, Fornecedor de energia elétrica a partir de fontes renováveis.

[8] ANEEL – Agência Nacional de Energia Elétrica, disponível em <http://www.aneel.gov.br/aplicacoes/atlas/pdf> >- acesso em 19 de outubro 2008, 21:17hs.