

**ESCOLA POLITÉCNICA
DA
UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO**

**DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA DE ENERGIA E
AUTOMAÇÃO ELÉTRICAS**



**GERAÇÃO DESCENTRALIZADA DE ENERGIA
ELÉTRICA NA ZONA RURAL: UM ESTUDO DE CASO**

Ricardo Mattos e Dinato

PROJETO DE FORMATURA 2004

ESCOLA POLITÉCNICA DA USP

**ESCOLA POLITÉCNICA
DA
UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO**

**DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA DE ENERGIA E
AUTOMAÇÃO ELÉTRICAS**



PEA
TF 2004
D 61g

PROJETO DE FORMATURA 2004

**GERAÇÃO DESCENTRALIZADA DE ENERGIA
ELÉTRICA NA ZONA RURAL: UM ESTUDO DE CASO**

ALUNO: Ricardo Mattos e Dinato
ORIENTADORES: Fernando Selles Ribeiro
Luiz Henrique Alves Pazzini
COORDENADOR: Dorel Soares Ramos

SYSNO: 1419171

M2004Z

*Este trabalho é dedicado aos
12 milhões de brasileiros que
ainda vivem, na era da
escuridão.*

AGRADECIMENTOS

Aos meus pais, Mauro Cesar Dinato e Sandra Lopes Mattos e Dinato, que sempre me apoiaram durante estes longos anos de faculdade.

Aos meus irmãos, Mauro Cesar Mattos e Dinato e Marcelo Mattos e Dinato, que sempre estiveram ao meu lado quando mais precisei.

A toda minha família, uma família muito especial.

À minha querida namorada, Marina Fernanda Menezes, pela paciência e compreensão nos momentos mais difíceis.

Aos meus amigos politécnicos, que tanto me incentivaram a imprimir este trabalho em papel reciclado e, sem os quais, a minha formatura nesta faculdade se tornaria impossível.

A todos os amigos e amigas que encontrei na Escola de Enfermagem da USP pela força e amizade conquistada nestes últimos anos.

E, finalmente, aos meus orientadores Fernando Selles Ribeiro e Luiz Henrique Alves Pazzini, que fizeram com que eu me apaixonasse pelo tema do trabalho.

SUMÁRIO

RESUMO

ABSTRACT

CAPÍTULO 1 – INTRODUÇÃO	01
CAPÍTULO 2 - ASPECTOS GERAIS DA ELETRIFICAÇÃO RURAL	03
2.1 A Energia Elétrica no mundo atual	03
2.2 Por que devemos levar energia elétrica ao campo?	04
2.3 A eletricidade e o desenvolvimento rural sustentável	06
CAPÍTULO 3 – ALTERNATIVAS TECNOLÓGICAS	07
3.1 Extensão da rede elétrica pré-existente	07
3.2 Energia Solar	08
3.3 Energia Eólica	10
3.4 Energia Hidrelétrica	11
3.5 Energia Termelétrica	12
CAPÍTULO 4 - ESCOLHA DO MUNICÍPIO	14
CAPÍTULO 5 – AVALIAÇÃO PRELIMINAR DAS ALTERNATIVAS TECNOLÓGICAS EXISTENTES	18
5.1 Extensão da rede elétrica pré-existente	18
5.2 Energia Solar	19
5.3 Energia Eólica	21
5.4 Energia Hidrelétrica	22
5.5 Energia Termelétrica	22
5.6 Síntese das alternativas tecnológicas a serem estudadas	23

CAPÍTULO 6 – ANÁLISE DAS ALTERNATIVAS TECNOLÓGICAS PRÉ-SELECIONADAS	24
6.1 Energia Solar	24
6.2 Extensão da rede elétrica pré-existente	30
6.3 Comparação entre as alternativas	32
CAPÍTULO 7 – CONCLUSÕES	33
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	34

RESUMO

Em pleno século XXI, o nosso país ainda enfrenta um grave problema social: mais de 12 milhões de brasileiros ainda vivem sem energia elétrica em suas residências. Na tentativa de solucionar este problema, o governo federal, através do Programa Luz Para Todos, pretende levar a eletricidade a todos os cidadãos que vivem no país. Existem diversas maneiras de se levar energia elétrica a uma comunidade isolada, sendo a alternativa mais comum a extensão da rede elétrica pré-existente. Porém, as fontes alternativas de energia já são uma opção viável em todo o mundo. Este trabalho visa contribuir com o processo de universalização do acesso à energia elétrica no Brasil, confrontando as diversas alternativas tecnológicas existentes, por meio de uma análise técnico-econômica. Desta maneira, será possível avaliar qual a melhor forma de se levar a eletricidade a cada comunidade, otimizando os recursos existentes e atendendo o maior número de famílias possível.

ABSTRACT

In the twenty first century, our country still has a big social problem: more than 12 million Brazilians still live without electrical energy at home. To solve this problem, through the program Luz Para Todos, the federal government pretends to take electricity to all Brazilians. There are several ways of taking electrical energy to an isolated community. The most common alternative is the extension of the existent electrical system. However, the alternative sources of energy are a good option all over the world. This paper intends to contribute with the process of universalization of the access of electrical energy in Brazil, comparing the existent technologies through a technical and economical analysis. This way, it will be possible to know which one is the best method to take electricity to each community. With this analysis, the existent resources can be optimized and a greater number of families can be attended.

CAPÍTULO 1 - INTRODUÇÃO

Em pleno século XXI o nosso país ainda enfrenta um grave problema social: mais de 12 milhões de brasileiros ainda vivem sem energia elétrica em suas residências. O mapa da exclusão elétrica no país revela que as famílias sem acesso à energia estão majoritariamente nas localidades de menor Índice de Desenvolvimento Humano (IDH) e são famílias de baixa renda. Cerca de 90% destas famílias têm renda inferior a três salários-mínimos e 80% estão no meio rural.

A energia elétrica funciona como vetor de desenvolvimento social e econômico das comunidades, contribuindo para a redução da pobreza e aumento da renda familiar. A chegada da energia elétrica facilita o acesso a serviços de saúde, educação, abastecimento de água e saneamento.

Uma das grandes barreiras que impedem que as comunidades afastadas sejam atendidas pela energia elétrica é exatamente a falta de definição de quem deve realizar este serviço. O governo determina que esta responsabilidade seja das concessionárias. Estas, por sua vez, não possuem nenhum incentivo financeiro para tal serviço. Estas comunidades ficam geralmente longe da rede elétrica existente. Seria necessário então um grande investimento por parte das concessionárias para a extensão da rede. Além disso, estas famílias de baixa renda consomem pouquíssima energia a um baixo fator de carga. Portanto, esse investimento não é economicamente interessante para as empresas. Com a privatização do setor elétrico, ficou ainda mais difícil convencer as concessionárias a atender o pobre rural, já que a principal meta de qualquer empresa privada é sempre o lucro.

Para tentar contornar esta situação, o governo federal, no final de 2003, lançou um programa a nível nacional com a finalidade de acabar com a exclusão elétrica no país. É o programa LUZ PARA TODOS, que tem o objetivo de levar energia elétrica para mais de 12 milhões de pessoas até 2008. O programa, coordenado pelo Ministério de Minas e Energia com participação da Eletrobrás e de suas empresas controladas, atenderá uma população equivalente aos estados de Piauí, Mato Grosso do Sul, Amazonas e do Distrito Federal. (site do MME)

Este programa fará uso de três alternativas tecnológicas básicas para o atendimento aos domicílios que ainda não possuem energia elétrica:

- Extensão da rede;
- Sistemas de geração descentralizada com redes isoladas;
- Sistemas de geração individuais.

Tomando como base o programa do governo federal, será realizado o estudo de caso de um município do estado de São Paulo, de forma a verificar qual a melhor maneira de se levar energia elétrica até estas comunidades. Para uma análise completa, devem ser levados em conta os aspectos técnicos, econômicos, sociais, ambientais e políticos.

Dentro da geração descentralizada, será analisada qual a melhor forma de se produzir a energia elétrica. As principais fontes de energia que serão estudadas estão listadas a seguir:

- Energia Hidrelétrica, através das pequenas centrais hidrelétricas (PCHs);
- Energia Termelétrica, através de fontes renováveis (biomassa) ou não-renováveis;
- Energia Eólica;
- Energia Solar.

A intenção deste trabalho é priorizar o uso de fontes alternativas de energia. Além disso, será dada sempre prioridade à alternativa mais ecologicamente correta, que menos agride o ambiente. A extensão da rede só será utilizada se não houver nenhuma outra opção viável.

CAPÍTULO 2 – ASPECTOS GERAIS DA ELETRIFICAÇÃO RURAL

Este capítulo pretende introduzir o leitor ao tema da Eletrificação Rural no Brasil e no mundo, justificando assim, a importância do trabalho a ser realizado.

2.1 A Energia Elétrica no mundo atual

A energia é uma questão básica no desenvolvimento e na sobrevivência humana. Ao estudarmos a história das civilizações antigas, nos deparamos com uma luta contínua do homem em busca da energia. Podemos perceber isso desde a descoberta do fogo, passando pela força de trabalho animal e até mesmo humano, pela energia eólica, pela energia hidráulica, do vapor, dos combustíveis fósseis, energia elétrica, energia nuclear e, mais recentemente, pelos equipamentos fotovoltaicos que transformam a energia solar em energia elétrica.

A utilização da eletricidade como fonte energética para as indústrias, residências e comércio apresentou um forte crescimento a partir do final do século XIX. Esta tendência de crescimento se explica pelo fato de a energia elétrica ser facilmente convertida em outras, como energia mecânica ou energia térmica. Outra característica que justifica esse crescimento é a facilidade de seu transporte para longas distâncias.

O Brasil aparece com destaque no cenário mundial. Segundo ANDRADE (1996), o Brasil é o décimo país do mundo em consumo de energia. Porém, segundo PAZZINI (1998), esse retrato está longe de caracterizar a população brasileira. A maior característica da sociedade brasileira está no contraste existente nos padrões de vida de sua população. Isto se torna bastante claro quando se compara o acesso à eletricidade na zona urbana e na zona rural. Enquanto a zona urbana apresenta em muitas regiões um índice de quase 100% de propriedades eletrificadas, a zona rural ainda apresenta cerca de três quartos de suas propriedades sem acesso à energia elétrica, a maioria constituída por pequenas propriedades com proprietários pobres.

Sendo de grande importância a eletricidade no contexto do mundo contemporâneo e, tendo em vista a carência de energia elétrica na zona rural, podemos perceber a grande importância em se debater o assunto.

2.2 Por que devemos levar energia elétrica ao campo?

Segundo PELEGRINI (1998), a eletrificação rural é vista, na maioria das vezes, como uma forma de incrementar atividades produtivas, através da utilização de equipamentos agrícolas que possuem eficiência energética maior que a dos equipamentos tradicionalmente usados em tarefas como secagem e moagem de grãos, bombeamento de água, trituração de milho e outros produtos para elaboração de ração para gado e aves, etc... Estas utilizam, ainda em muitos lugares, fontes energéticas derivadas do petróleo, como óleo diesel e gasolina, que custam mais caro e são de difícil obtenção, principalmente por causa das dificuldades de transporte. Em outras regiões, geralmente menos desenvolvidas economicamente, o uso da lenha e esterco, principalmente para aquecimento, é bastante comum. O uso da energia elétrica, desse modo, traz vantagens como economia de recursos financeiros, conservação de recursos naturais e diminuição da poluição e da dependência global de petróleo, em alguns países.

Uma outra vantagem que o pequeno produtor ganha com a eletricidade é a refrigeração, que lhe permite aumentar sua renda familiar. O freezer pode ser utilizado para congelar água e possibilitar uma segunda ordenha, já que o transporte de leite é matinal e, anteriormente, não havia como conservá-lo durante a noite.

Embora os aspectos econômicos sejam importantes, existem outros fatores tão ou mais importantes que devem ser levados em consideração para a tomada da decisão sobre a eletrificação rural. Algumas destas questões envolvem conceitos de difícil quantificação, o que dificulta a criação de uma metodologia para determinar o seu valor em uma análise de custos/benefícios.

Um aspecto muito forte da eletrificação rural é a possibilidade de melhorar a qualidade de vida na zona rural. A falta de eletricidade coloca o homem do campo às margens das inovações tecnológicas e das modernas formas de comunicação. A importância que a televisão tem em alguns países desprovidos de alternativas

culturais ultrapassa os aspectos de entretenimento e lazer, tornando-se um meio de integração política e cultural. Sem energia elétrica, o homem do campo sofre um certo "isolamento eletrônico" tornando-se um cidadão que pouca possibilidade tem de participar das decisões que afetam a sua vida, até pela falta de conhecimento delas (PELEGRINI, 1998).

A utilização mais comum da energia elétrica é na iluminação. Os lampiões e velas, tradicionalmente utilizados, não iluminam tão bem como a luz elétrica, além de gerar poluição no interior das casas, a qual, segundo GOLDEMBERG (1998) é um dos piores tipos de poluição existentes, já que está em contato direto com os habitantes. A iluminação dentro de casa permite ao camponês adequar a jornada de trabalho conforme lhe convém, não se submetendo aos horários que a natureza lhe impõe.

A realização de atividades noturnas, propiciadas pela chegada da energia elétrica, viabiliza outras formas de relacionamento social, facilitando a formação de escolas noturnas e associações comunitárias. Nas escolas noturnas, é possível realizar a alfabetização de adultos, já que estes precisam passar o dia trabalhando para sustentar suas famílias.

A exigência de luz elétrica não é apenas um capricho. A iluminação elétrica possibilita um maior número de horas para o estudo e proporciona aos estudantes um maior conforto para a educação noturna, reduzindo a possibilidade de se ocorrer problemas com a visão. A iluminação mais eficaz permite maior segurança quanto a ataques de animais, tais como cobras e escorpiões.

Finalmente, com a eletricidade, o homem do campo tem um incentivo a menos para se deslocar à cidade em busca de maiores confortos domésticos e melhor renda. Percebe-se que, menos que a possibilidade de subsistência, que de alguma forma é conseguida no campo, é mais o desejo do homem do campo de proporcionar conforto e meios de entretenimento e informação à sua família que o leva a deixar a zona rural e mudar para a cidade, buscando o que julga ser a cidadania e contemporaneidade (RIBEIRO, 1993). Além disso, a diminuição do êxodo rural restringe a pressão social na cidade por mais moradias, empregos, saúde e educação. É mais barato manter o homem no campo do que criar mais um posto de trabalho na cidade grande, já superpovoada (LESSA, 1998).

2.3 A eletricidade e o desenvolvimento rural sustentável

Um enfoque importante surgido nos últimos anos acerca da questão de se possibilitar o acesso à eletricidade para as áreas rurais diz respeito ao conceito do desenvolvimento sustentável.

O termo desenvolvimento sustentável indica um processo de desenvolvimento que ocorre sem trazer prejuízos para o meio ambiente e sem comprometer as necessidades das futuras gerações.

Segundo GOLDEMBERG (1998), a busca do homem pela energia é a maior fonte de poluição do planeta. Assim, em qualquer projeto que pretenda gerar energia elétrica, deve ser analisada cautelosamente a questão ambiental. Através da obtenção de uma fonte adequada e confiável de energia, o pequeno proprietário rural passa a ter a possibilidade de se desenvolver sem causar grandes prejuízos ao meio ambiente.

A extensão de linhas de distribuição de energia elétrica muitas vezes causa prejuízos para o meio ambiente. Portanto, devem ser adotados projetos adequados à realidade da zona rural. Assim, torna-se possível a extensão da malha elétrica em harmonia com o meio ambiente. O acesso à eletricidade, por sua vez, estimula a redução no consumo de lenha, podendo reduzir o desmatamento.

O processo de sustentabilidade envolve quatro esferas: a social, a econômica, a ecológica e a técnica. Para se atingir a sustentabilidade social, deve-se garantir igualdade de direitos para todos os cidadãos, inclusive aos mais pobres. A sustentabilidade econômica pressupõe a criação de processos mais eficientes, que reduzam perdas e sejam menos agressivos ao meio ambiente. A sustentabilidade ecológica visa garantir os recursos para as gerações vindouras. A sustentabilidade técnica prevê igualdade no acesso e controle da tecnologia.

Durante o desenvolvimento deste trabalho, será sempre analisada a questão do desenvolvimento sustentável. Assim, em cada decisão, deverão ser levados em consideração os aspectos social, econômico, ambiental e técnico.

CAPÍTULO 3 – ALTERNATIVAS TECNOLÓGICAS

Neste capítulo serão apresentadas as alternativas tecnológicas que poderão ser empregadas para se levar energia elétrica às comunidades do município analisado.

3.1 Extensão da rede elétrica pré-existente

A eletrificação rural por extensão de rede é parte do sistema de distribuição de energia elétrica e, como tal, está em constante mutabilidade em termos de potência requerida e número de consumidores. Assim, dependendo do perfil de carga de determinada região a ser estudada, pode-se utilizar diversos padrões de configuração de rede e uma grande variedade de equipamentos.

A correta configuração do sistema de distribuição de energia elétrica, levando em conta todas as alternativas existentes, é um dos fatores fundamentais que pode levar ou não à viabilidade de eletrificação. Portanto, é necessária uma análise dos padrões existentes:

- *Trifásico*: é o sistema mais caro e também o mais confiável, utilizado normalmente para servir grandes e médias propriedades, povoados e cidades com características de alta densidade de carga. Deste modo, não é o mais indicado para eletrificar regiões cuja densidade de carga é baixa, pois, neste caso, os custos de implantação por consumidor tornam-se bastante elevados;
- *Bifásico*: constitui-se de dois condutores fase, derivados de uma rede trifásica, para atender um suprimento monofásico. É bastante utilizado na França, onde é construído com estruturas idênticas às usadas para o sistema trifásico, com a omissão do condutor no topo do poste, facilitando depois a conversão para o sistema trifásico;
- *Monofásico com fio de neutro*: é muito utilizado no sistema de eletrificação rural norte-americano, tendo como vantagens a eliminação de cruzetas e ferragens, a simplificação da construção, a eliminação de um isolador de alta tensão por poste

e a utilização de estações transformadoras mais simples e baratas. No estado de São Paulo, a Eletropaulo utiliza esse sistema de forma generalizada na área rural;

- *Monofásico com retorno por terra (MRT)*: este sistema utiliza apenas um condutor simples, com a terra servindo como caminho de retorno para a corrente. Foi utilizado primeiro na Austrália, e depois em países como Nova Zelândia, Canadá e Rússia, que possuem grandes áreas com densidade de carga baixa. É o sistema mais econômico, principalmente se for utilizado com materiais adequados, como postes de madeira, condutores de aço, transformadores compactos e construção em regime de mutirão, podendo assim ser viabilizado para populações mais pobres. A CESP possui instalações nesse sistema em São Paulo.

O sistema MRT é de longe o mais adequado para ser utilizado na eletrificação rural. Além disso, outras medidas de barateamento dos custos devem ser associadas ao MRT. A utilização de postes de madeira é a medida número um a ser adotada. Além disso, como só existe um condutor passando por cada poste, deve-se desprezar o uso da cruzeta. O condutor do sistema deve ser de aço zincado e os transformadores monofásicos do tipo ruralito (geralmente de 15kVA ou menos). Outra medida interessante é a utilização de mutirão para auxiliar no processo de construção da rede elétrica. A população pode realizar o serviço que não requeira pessoal qualificado. Outros equipamentos alternativos que devem ser utilizados são mola desligadora e descarregador de chifre.

3.2 Energia Solar

A energia solar é uma fonte inesgotável e gratuita de energia. Assim, pode representar uma solução para o problema da falta de energia em localidades de difícil acesso ou em pontos distantes da rede elétrica.

Por ser um país tropical, o Brasil tem um potencial solar maior que o de países situados mais próximos dos pólos, tornando esse aproveitamento mais interessante. Neste aspecto, existe um grande contraste: os países desenvolvidos situam-se em sua maioria em regiões mais frias, com menor incidência de raios

solares, enquanto os países em desenvolvimento situam-se principalmente na região dos trópicos. Esse pode ser um dos motivos que levam a um sub-aproveitamento da energia proveniente dos raios solares. Assim, o nosso país deve investir em pesquisas na área, já que a quase totalidade do seu território se situa em região tropical.

A energia que a Terra recebe do sol é muitas vezes superior à demanda total de todos os habitantes do planeta. Esta grande quantidade de energia pode e deve ser aproveitada. Infelizmente, a tecnologia disponível não permite que toda essa energia seja aproveitada, já que possui baixa eficiência.

Na prática, a energia solar tem duas grandes aplicações: aquecimento e geração de energia elétrica.

Para o simples aquecimento de água, são utilizados coletores solares planos, os quais não passam de sistemas absorvedores de luz e calor. Nestes, os raios solares são absorvidos por superfícies escuras, que passam o calor a serpentinas, aquecendo a água que circula no interior das mesmas.

A energia solar pode ser transformada em energia elétrica através da conversão fotovoltaica. As primeiras células fotovoltaicas surgiram na década de 50, com o desenvolvimento da tecnologia dos semicondutores pela indústria americana de componentes eletrônicos. Por mais de vinte anos, a tecnologia fotovoltaica foi considerada inviável devido ao seu alto custo e baixo rendimento (em torno de 5%, na época).

Devido à corrida espacial, após a década de 60, Estados Unidos e União Soviética buscavam uma forma de geração de energia viável para o desenvolvimento de seus projetos espaciais, principalmente de satélites artificiais. Após 1970, a conversão fotovoltaica de energia foi definida como a principal fonte energética utilizada nos projetos espaciais devido aos novos valores de eficiência alcançados, em torno de 10%. Isso provocou um aumento da produção de painéis solares e aumentou o interesse científico pelo assunto.

O aumento considerável da eficiência das células solares comerciais (hoje em dia pode chegar a 15% ou mais), juntamente com a redução dos custos de fabricação, levou alguns países europeus, Japão e Estados Unidos a adotar sistemas fotovoltaicos como solução para diversos de seus problemas. Aliado a essas vantagens, existe o fator ambiental, já que essa forma de produção de energia é considerada uma das

mais limpas existentes: não emite resíduos tóxicos e não causa qualquer dano ao meio ambiente.

Alemanha, Espanha e outros países desenvolvidos adotaram a tecnologia fotovoltaica de forma mais ousada. Dentro do conceito de geração distribuída de energia elétrica, instalaram sistemas geradores solares conectados a redes de distribuição convencionais. Apesar dos altos custos de instalação, os resultados são favoráveis em longo prazo.

No Brasil, a energia solar fotovoltaica ainda é pouco desenvolvida. Sua utilização mais importante se dá em regiões de reserva ambiental ou de difícil acesso. Diversos sistemas já foram implantados nesses moldes, beneficiando populações rurais que não tinham acesso à eletricidade.

Os principais elementos que formam um sistema fotovoltaico são:

- *Painéis Fotovoltaicos* - transformam a energia solar em energia elétrica;
- *Baterias* - armazenam a energia, já que não podemos contar com a fonte de energia, o sol, durante todo o tempo;
- *Inversor CC-CA* - converte a energia elétrica das baterias (CC) na forma convencional de consumo (CA);
- *Controlador de Carga* - impede que a bateria tenha sua vida útil reduzida.

3.3 Energia Eólica

A energia eólica, assim como outras fontes renováveis de energia, está amplamente disponível, mas é de difícil aproveitamento. O vento constitui uma imensa fonte de energia natural, a partir da qual é possível produzir grandes quantidades de energia elétrica.

Os sistemas mais comuns de fornecimento de energia utilizando-se os ventos são os seguintes:

- *Sistemas eólicos de grande porte interligados à rede pública de distribuição* – por dispensarem sistemas de armazenamento, são bastante viáveis. Representam a maior evolução em sistemas eólicos, apresentando custos próximos ao das hidrelétricas em determinados locais.

- *Sistemas híbridos diesel-eólico de médio porte* – neste caso, os geradores eólicos podem representar uma economia de combustível, com custos bem atraentes para locais onde não há rede de distribuição convencional e existe a dependência de geradores a diesel para o fornecimento de energia elétrica. Como este sistema também dispensa o armazenamento de energia, torna-se bastante interessante sua instalação.
- *Sistemas eólicos autônomos com armazenamento de energia* – esta opção torna-se bastante dispendiosa devido ao sistema de armazenamento de energia. Como existe variação no regime de ventos de uma localidade, as baterias devem compensar os períodos com escassez de vento. Porém, essa variação não é apenas instantânea e diária, mas também devido às estações do ano. Como as baterias não conseguem armazenar energia suficiente para atender a uma longa demanda, poderão ocorrer períodos de falta de energia elétrica à comunidade atendida pelo sistema em questão.

Considerando o grande potencial eólico existente no Brasil, confirmado através de medidas de vento precisas realizadas recentemente, é possível produzir eletricidade a custos competitivos com centrais termelétricas, nucleares e hidroelétricas. Uma vantagem das centrais eólicas em relação às usinas hidroelétricas é que quase toda a área ocupada pela central eólica pode ser utilizada (para agricultura, pecuária, etc...) ou preservada como habitat natural.

Para qualquer projeto envolvendo captação de energia eólica, é necessário o conhecimento completo do comportamento do vento na região. Como os ventos variam de intensidade e direção a cada instante, torna-se necessário levantar dados de média durante o dia, média durante a noite, variações do dia, variações da noite, construindo assim gráficos semanais, quinzenais, mensais e até anuais.

3.4 Energia Hidrelétrica

Quando falamos em hidrelétricas no Brasil, logo pensamos em grandes barragens e em uma potência grandiosa instalada. Porém, no enfoque de pequenas

comunidades rurais, utilizamos as chamadas Pequenas Centrais Hidrelétricas (PCHs).

Uma PCH pode ser construída a partir de apenas um fio d'água, muitas vezes sem a necessidade de um reservatório para armazenar a água. Como a demanda das comunidades em questão é muito baixa, este tipo de sistema é o suficiente para suprir tais necessidades.

Há diversos benefícios associados às PCHs. Sob uma visão macro, uma quantidade significativa de combustível para geradores a diesel pode ser economizada. Além da vantagem financeira, há também a vantagem ambiental, já que a poluição pode ser reduzida drasticamente.

Para a realização de um projeto de geração hidrelétrica em uma comunidade afastada, é necessário levantar o potencial hídrico da região. Assim, devem ser localizadas quedas d'água com vazão e altura adequadas às necessidades do sistema. Hoje em dia, já é possível extrair energia até mesmo de rios sem queda d'água, através de geradores que funcionam com a própria correnteza dos rios.

3.5 Energia Termelétrica

A energia termelétrica pode ser obtida através de duas fontes principais: o diesel e a biomassa. Os motores a diesel são uma tecnologia bem conhecida e por isso não serão aqui detalhados. Daremos maior enfoque na geração de energia através da biomassa.

A biomassa é o conjunto de organismos que podem ser aproveitados como fonte de energia. Os principais exemplos são: a cana-de-açúcar, o eucalipto e a beterraba (dos quais se extrai álcool), o biogás (produto de reações anaeróbicas da matéria orgânica existente no lixo), diversos tipos de árvores (lenha e carvão vegetal) e os óleos vegetais (de mamona, de amendoim, de soja, de dendê). Em geral, a biomassa é considerada uma fonte de energia limpa, já que é pouco poluente e renovável.

No Brasil, o primeiro programa de grande escala de substituição de derivados de petróleo com base em biomassa foi o Programa Nacional do Alcool, iniciado em 1975. Na época, não havia uma preocupação ambiental, mas sim uma preocupação

com a elevação dos preços do petróleo no mercado mundial. Em 1988, no auge do programa, foram produzidos 12 bilhões de litros de etanol no país, para abastecer cerca de 1,2 milhões de veículos.

Nas comunidades afastadas, a principal utilização da biomassa é no lugar do diesel. Dois aspectos tornam esta substituição favorável. O primeiro é o aspecto ambiental, já que a queima de biomassa é muito menos poluente que a queima de combustíveis fósseis. O segundo é que a própria comunidade pode produzir sua fonte de energia. Assim, devem ser levados em consideração os diferentes tipos de agricultura disponíveis no local, para que a melhor alternativa possa ser escolhida.

CAPÍTULO 4 - ESCOLHA DO MUNICÍPIO

A primeira parte do trabalho consiste em localizar um município adequado à realização do estudo de caso. Esta escolha será feita com base em alguns critérios. Em primeiro lugar, o município escolhido deverá apresentar um baixo IDH e um grande percentual de domicílios não atendidos pela rede elétrica. Além disso, o município não poderá estar localizado muito distante da capital, já que serão realizadas visitas de campo. As regiões que se encaixam neste perfil são o Vale do Ribeira, o Vale do Paraíba e a Baixada Santista.

Abaixo, podemos ver uma tabela com todas as cidades das regiões mencionadas acima, além de seus respectivos Índice de Desenvolvimento Humano Municipal e Índice de Atendimento Rural (porcentagem de domicílios da zona rural atendidos pela energia elétrica):

Tabela 1. Índice de Atendimento Rural e IDHM das cidades do Vale do Ribeira, Vale do Paraíba e Baixada Santista

CIDADE	IDHM, 2000	Índice de Atendimento Rural
Aparecida	0,804	47,2%
Apiaí	0,716	85,4%
Arapeí	0,716	83,5%
Areias	0,723	84,8%
Bananal	0,758	100,0%
Barra do Chapéu	0,646	86,1%
Barra do Turvo	0,663	72,2%
Bertioga	0,792	57,0%
Caçapava	0,834	91,4%
Cachoeira Paulista	0,794	91,8%
Cajati	0,751	88,1%
Campos do Jordão	0,820	6,6%
Cananéia	0,775	77,8%
Canas	0,753	93,4%
Caraguatatuba	0,802	71,8%
Cruzeiro	0,809	71,3%
Cubatão	0,772	0,0%
Cunha	0,733	100,0%

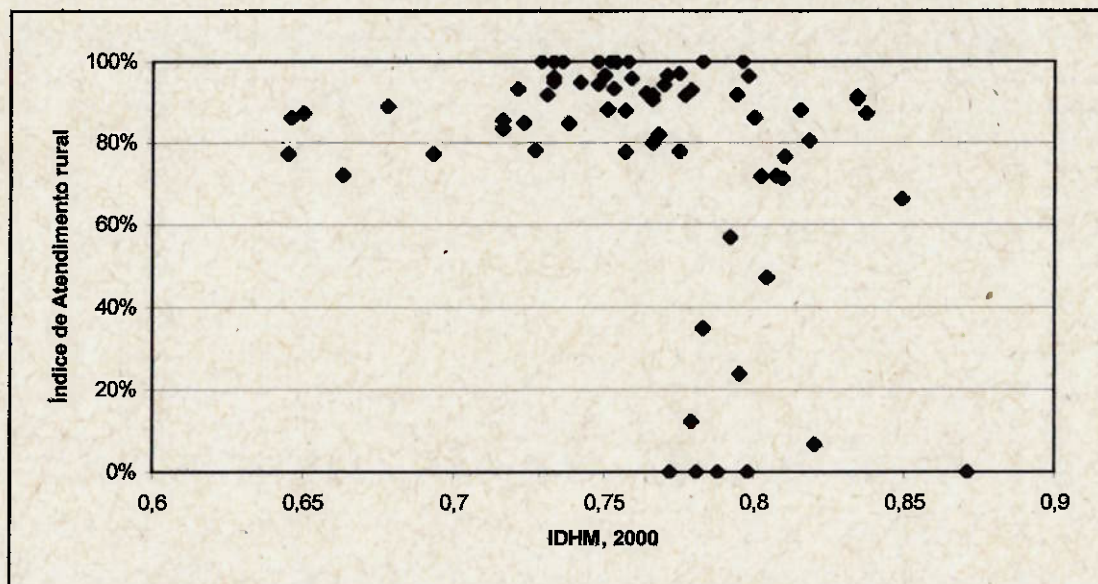
Eldorado	0,733	95,1%
Guararema	0,798	96,5%
Guaratinguetá	0,818	80,5%
Guarujá	0,788	0,0%
Igaratá	0,764	92,2%
Iguape	0,757	87,8%
Ilha Comprida	0,803	*
Ilhabela	0,781	0,0%
Iporanga	0,693	77,3%
Itanhaém	0,779	12,2%
Itaóca	0,650	87,1%
Itapirapuã Paulista	0,645	77,3%
Itariri	0,750	96,6%
Jacareí	0,810	76,7%
Jacupiranga	0,759	95,8%
Jambeiro	0,779	93,1%
Juquiá	0,742	94,9%
Lagoinha	0,752	100,0%
Lavrinhas	0,768	81,9%
Lorena	0,807	72,0%
Miracatu	0,748	94,5%
Mongaguá	0,783	100,0%
Monteiro Lobato	0,775	97,0%
Natividade da Serra	0,733	96,1%
Paraibuna	0,771	96,6%
Pariquera-Açu	0,770	94,3%
Pedro de Toledo	0,729	100,0%
Peruíbe	0,783	34,9%
Pindamonhangaba	0,815	87,9%
Piquete	0,800	86,1%
Potim	0,757	77,7%
Praia Grande	0,796	*
Queluz	0,766	90,6%
Redenção da Serra	0,736	100,0%
Registro	0,777	91,7%
Ribeira	0,678	88,8%
Roseira	0,766	79,8%
Salesópolis	0,748	100,0%
Santa Branca	0,796	100,0%
Santa Isabel	0,766	91,8%
Santo Antônio do Pinhal	0,796	100,0%
Santos	0,871	0,0%
São José do Barreiro	0,727	78,2%
São José dos Campos	0,849	66,2%
São Luís do Paraitinga	0,754	99,9%

São Sebastião	0,798	0,0%
São Vicente	0,798	0,0%
Sete Barras	0,731	91,8%
Silveiras	0,721	93,2%
Tapiraí	0,738	84,7%
Taubaté	0,837	87,1%
Tremembé	0,834	90,7%
Ubatuba	0,795	23,9%

* não possui zona rural

Fonte: ONU, MME

Durante a preparação desta tabela, foi possível perceber que muitos dos municípios destas regiões se encontram realmente entre os mais pobres do estado de São Paulo. No entanto, podemos ver através do gráfico abaixo que o IDHM não está diretamente relacionado com o Índice de Atendimento Rural nestas cidades. Isto nos leva a crer que o motivo da falta de eletricidade nas zonas rurais destas cidades está relacionado com outros aspectos.



Fonte: tabulação própria

Após analisar atentamente os dados pesquisados, uma cidade me chamou a atenção. Santos, que apesar de ser a cidade com o terceiro melhor IDHM do estado, possui Índice de Atendimento Rural igual a zero.

A partir destes dados, uma pesquisa mais específica começou a ser realizada na cidade de Santos. Após um primeiro contato com a prefeitura, recebemos o comunicado de que estes dados estavam completamente errados, e que a cidade não possuía nenhuma casa sem energia elétrica.

Esta primeira informação foi dada por alguém que não conhecia plenamente o assunto. Depois de um segundo contato, obtivemos a informação correta. Existe um bairro, na área continental da cidade, onde nenhuma casa possui energia elétrica. Este bairro, chamado Iriri, possui de 30 a 40 domicílios sem eletricidade.

Para averiguar a veracidade de tal informação, uma primeira visita de campo foi realizada. Na verdade, o que é chamado de "bairro" são casas isoladas distribuídas ao longo da Rodovia Rio-Santos. Na frente de uma das casas, uma faixa denunciava o problema com os seguintes dizeres: "Iriri, único bairro sem luz de Santos".

Assim, ficou decidido que esta comunidade seria a escolhida para a realização deste trabalho. Apesar de ter sido mencionado anteriormente que a cidade escolhida deveria possuir baixo IDHM e grande percentual de domicílios sem eletricidade, acabamos mudando de idéia. Como estamos desenvolvendo um projeto piloto, não se torna necessário partirmos para uma região mais pobre para realizarmos a pesquisa. Todos os avanços alcançados durante este projeto poderão ser tomados como base para projetos futuros, desta vez em municípios mais necessitados. Portanto, o principal fator que influenciou na decisão foi a proximidade da região à capital, tornando novas visitas de campo mais fáceis de serem realizadas.

CAPÍTULO 5 – AVALIAÇÃO PRELIMINAR DAS ALTERNATIVAS TECNOLÓGICAS EXISTENTES

No capítulo 2, foram apresentadas as possíveis alternativas para se levar energia elétrica para uma região. O presente capítulo se destina a fazer uma pré-seleção das alternativas, levando em consideração o local escolhido para a realização do estudo. Nesta etapa, serão descartadas aquelas opções que se apresentam claramente inferiores às outras. Após a escolha das opções mais promissoras, estas serão analisadas mais profundamente. Por fim, será elaborada uma metodologia simplificada para ser utilizada em futuras comparações do mesmo tipo.

5.1 Extensão da rede elétrica pré-existente

Em todo e qualquer projeto que pretende levar energia elétrica a uma comunidade isolada, a extensão da rede elétrica pré-existente deve ser analisada. Em muitos casos, esta opção acaba sendo a mais apropriada.

Na localidade que está sendo estudada, existe a possibilidade de se levar energia através dos postes convencionais. A comunidade se localiza às margens da rodovia Rio-Santos. A distância das casas à rede elétrica mais próxima existente, pertencente à concessionária Elektro, é de apenas 2,2 km. Porém, a concessão da região é de responsabilidade da CPFL. Os últimos postes da CPFL, que chegam pelo outro lado da rodovia, estão há cerca de 6 km do local. Além disso, seria necessária uma rede secundária de 150 m.

Neste quadro, surge uma disputa político-econômica entre as duas concessionárias. Enquanto esta briga não termina, as famílias continuam vivendo na escuridão.

O grande problema da extensão da rede neste local é ambiental. A região está inserida dentro de uma área de preservação ambiental. Para a instalação dos postes e dos cabos, seria necessário o desmatamento de um corredor de árvores em plena Mata Atlântica. Este fato é bastante complicado, já que a Mata Atlântica só possui

7% de sua área inicial e, nos últimos anos, surgiram diversas ONGs que trabalham na preservação do que restou da floresta.

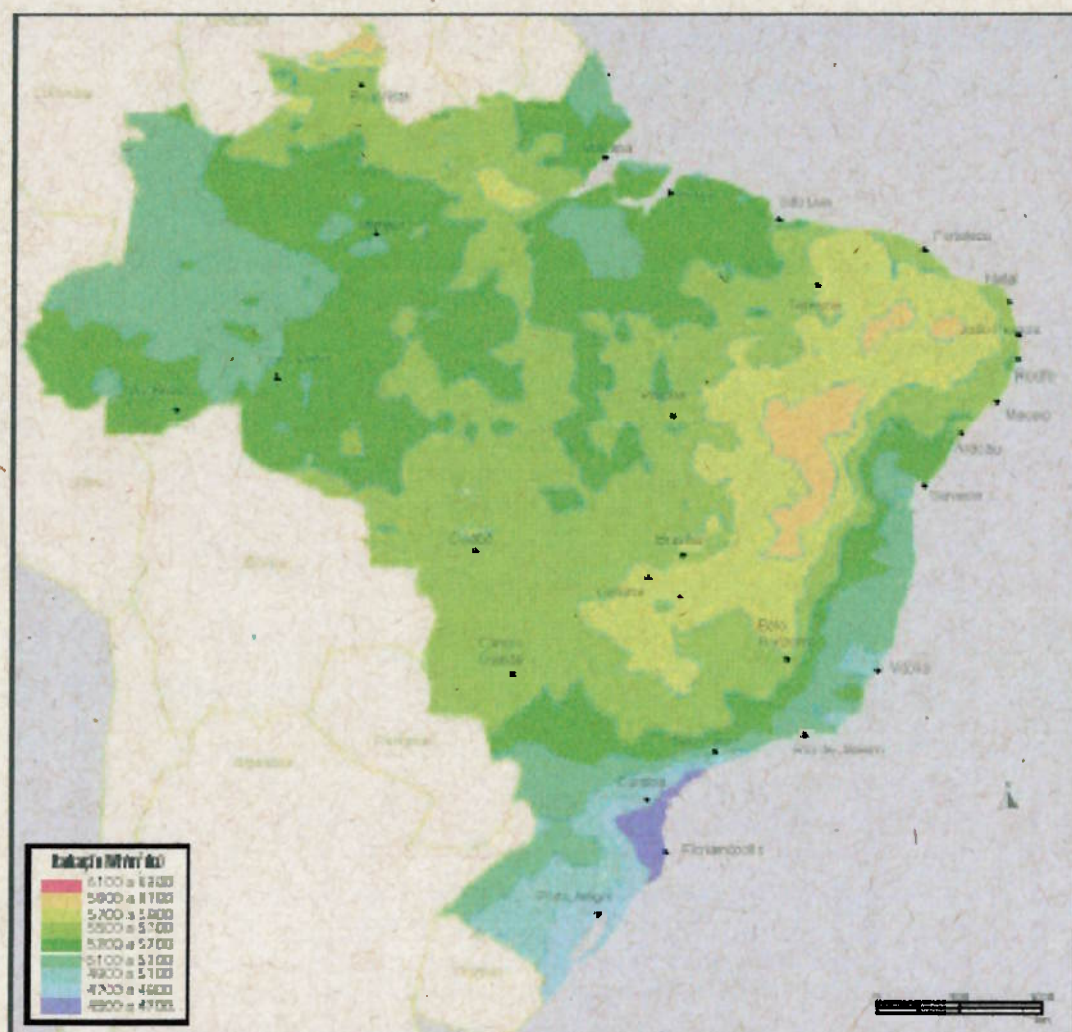
Uma solução para este problema seria a instalação dos postes bem próximos à rodovia, já que existe uma faixa de vegetação rasteira neste local. Assim, não seria preciso desmatar a vegetação nativa. Porém, neste caso, é preciso uma autorização do Departamento de Estradas de Rodagem (DER), que irá analisar se a obra não prejudicará a rodovia.

Concluindo, a extensão da rede é uma alternativa promissora, e será analisada mais profundamente adiante. Em relação à configuração do sistema de distribuição, dois casos são os mais importantes. Primeiro, o sistema trifásico, cuja utilização é plenamente conhecida, sendo este o preferido das concessionárias. Segundo, o MRT, por ser o sistema mais barato de todos. Infelizmente, as concessionárias não gostam de utilizar este sistema, por considerarem-no de baixa qualidade.

5.2 Energia Solar

O Brasil, por sua localização geográfica, é um país privilegiado quando se trata da utilização da energia solar. Em todo o território nacional é possível aproveitar a energia proveniente do sol. Quanto mais ao norte do país, a incidência de raios solares é maior. O gráfico abaixo nos dá uma idéia do potencial da energia solar no Brasil.

A comunidade estudada neste trabalho encontra-se no litoral do estado de São Paulo. Ao olharmos no mapa esta região, vemos que ela não está entre as mais beneficiadas pela radiação solar em nosso país. Porém, não devemos nos enganar pensando que a radiação do local é baixa. Comparado aos principais países desenvolvidos do mundo, esse nível de radiação pode ser considerado alto. Portanto, é plenamente viável realizar o estudo da implantação de um sistema fotovoltaico na região.



Fonte: INMET & LABSOLAR, 1998

Radiação solar no Brasil – média anual típica ($\text{Wh/m}^2\cdot\text{dia}$)

Para a elaboração de um projeto fotovoltaico, é necessário conhecer a radiação solar no local, da forma mais precisa possível. Na tabela abaixo, encontramos os valores de radiação solar mensal média no município de Santos, SP. Os dados estão em kWh por dia por m^2 de área plana.

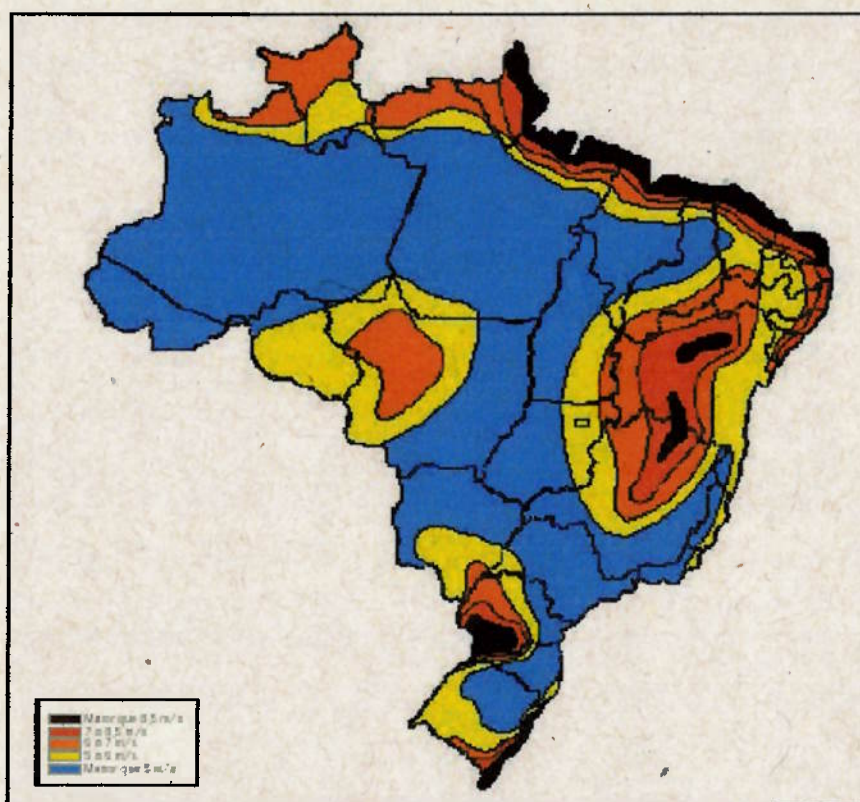
Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Média
4,89	5,03	4,39	3,83	3,5	3,03	3,39	3,56	3,56	4,31	4,94	5,08	4,13

Fonte: Atlas Solarimétrico do Brasil – Banco de Dados Terrestres

5.3 Energia Eólica

O município de Santos não possui um grande potencial de energia eólica, o que pode ser comprovado através do mapa abaixo. Um sistema eólico, para ser implantado como solução única a uma comunidade isolada, deve possuir sistema de armazenamento de energia elétrica, através de baterias. Porém, neste local de pouca intensidade de ventos, é possível que ocorra falta de vento por mais de uma semana. Assim, torna-se completamente inviável a instalação de um sistema eólico para resolver o problema de falta de energia desta comunidade, já que as baterias não dariam conta de suprir a demanda das famílias durante este longo período.

Uma outra solução seria a instalação de um sistema híbrido diesel-eólico. Porém, a demanda desta comunidade é bastante pequena, o que tornaria tal solução superdimensionada, elevando extremamente os custos. Dessa forma, a energia eólica está completamente descartada em nossa situação.



Fonte: CBEE, 1999

5.4 Energia Hidrelétrica

A energia hidrelétrica poderia ser aproveitada no local através de uma PCH. Porém, não existe nenhum recurso natural próximo à comunidade que possa ser aproveitado para tal. Assim, mesmo que uma PCH fosse construída, seria necessária a instalação de uma rede elétrica, para levar a energia da turbina até as casas. Fica claro que isso não faz sentido; se houver a necessidade de se construir uma nova rede, é mais fácil fazer a extensão da rede elétrica pré-existente.

5.5 Energia Termelétrica

Neste caso, existem duas fontes energéticas distintas: o óleo diesel e a biomassa. Vamos tratar separadamente de cada um.

Primeiramente, vamos analisar o óleo diesel. Apesar da utilização do diesel ser bastante comum em comunidades isoladas, esta tecnologia pode ser considerada ultrapassada. Seu grande inconveniente é a poluição ambiental. A queima do óleo diesel produz diversos gases nocivos ao meio ambiente. Como estamos dentro de uma área de preservação ambiental, este problema é agravado. Portanto, fica inviável a utilização desta tecnologia na comunidade em questão.

Por último, temos a biomassa. O principal produto cultivado no estado de São Paulo, passível de aproveitamento na geração elétrica, é a cana-de-açúcar. No interior do estado, a queima do bagaço de cana é amplamente utilizada na geração de energia elétrica. Porém, as usinas sucroalcooleiras encontram-se afastadas do município em estudo. Assim, o transporte do bagaço encareceria extremamente a geração, tornando-a inviável.

A grande vantagem da utilização da biomassa é a possibilidade de uma comunidade poder gerar sua energia através de um produto produzido no próprio local. Porém, a comunidade em estudo não é caracterizada por atividades rurais. A única forma de agricultura existente no local se manifesta através do cultivo da banana, que é vendida na beira da estrada. Mesmo assim, esta produção é bem pequena, já que as famílias não possuem grandes extensões de terra.

Concluindo, a utilização da biomassa para a geração de energia elétrica no local não é atraente e, portanto, não será aqui estudada.

5.6 Síntese das alternativas tecnológicas a serem estudadas

Como visto acima, duas serão as alternativas estudadas neste trabalho. Será feita uma comparação técnico-econômica entre as seguintes:

- Extensão da rede elétrica pré-existente;
- Energia Solar;

CAPÍTULO 6 – ANÁLISE DAS ALTERNATIVAS TECNOLÓGICAS PRÉ-SELECIONADAS

Neste capítulo, faremos uma análise detalhada das duas alternativas selecionadas anteriormente. Esta análise levará em consideração os aspectos técnico-econômicos de cada opção.

6.1 Energia Solar

Vamos começar pelo caso mais trabalhoso a ser estudado, o da energia solar. Diferentemente das outras opções, um sistema fotovoltaico (SFV) possui sérias restrições de consumo de energia elétrica. Um exemplo disso é o chuveiro elétrico: devido à sua alta potência, é impossível ligar um chuveiro destes a um arranjo fotovoltaico. Assim, um sistema de coletores solares para aquecimento da água deve ser acrescentado ao SFV.

Além de instalar o sistema, parte fundamental do projeto é educar os moradores sobre o funcionamento do mesmo. É preciso explicar claramente as limitações desta tecnologia. Se um bom trabalho educativo não for feito junto à comunidade, existe uma grande chance do SFV não funcionar corretamente. As pessoas que utilizarão o sistema devem estar cientes de que é preciso seguir todas as recomendações fornecidas, de forma a economizar energia elétrica ao máximo. Se isso não for feito, além da possibilidade da família ficar sem energia elétrica durante algum tempo, os equipamentos terão as respectivas vidas úteis bastante prejudicadas.

Antes de começar o dimensionamento fotovoltaico, vamos apresentar os equipamentos que serão utilizados para tal. Estes equipamentos foram todos pesquisados pela internet, sendo que os preços foram obtidos por telefone. Abaixo, temos a lista completa dos mesmos. As especificações técnicas foram fornecidas pelos fabricantes. É interessante notar que, com exceção do inversor, todos os equipamentos são de fabricação nacional. Este fato está de acordo com o desenvolvimento sustentável, questão bastante visada neste projeto.

Módulo fotovoltaico

Fabricante – Heliodinâmica

Modelo – HM-70D12

Potência Máxima – 70 W

Corrente de Curto Circuito – 4,86 A

Nível de Tensão – 12 V

Vida Útil – 30 anos

Preço – R\$ 1.576,00

Bateria

Fabricante – Moura

Modelo – Moura Clean – 12MC220

Tensão Nominal – 12 V

Capacidade – 220 Ah = 2640 Wh

Profundidade de Descarga – 50 %

Eficiência – 0,85

Vida Útil – 5 anos

Preço – R\$ 786,00

Inversor

Fabricante – Xantrex

Tensão de Entrada – 12 Vcc

Tensão de Saída – 110Vca

Potência Nominal – 150 W

Eficiência – 0,85

Vida Útil – 10 anos

Preço – R\$ 165,00

Controlador de Carga e Descarga

Fabricante – Unitron

Modelo – TotalControl TCS-30 – 12V

Capacidade – 30 A

Tensão Nominal – 12 V

Vida Útil – 15 anos

Preço – R\$ 335,00

Para a realização do dimensionamento fotovoltaico, foram usados como base os seguintes equipamentos (especificações técnicas fornecidas pelos fabricantes):

Televisor

Marca – Gradiente

Modelo – Colorido (14 polegadas)

Potência – 65 W

Geladeira

Marca – Brastemp

Modelo – 120 litros

Potência – 28 W

Consumo diário – 672 Wh

Lâmpada fluorescente compacta

Marca – Osram

Potência – 15 W (equivalente a uma lâmpada incandescente de 60 W)

Para iniciarmos um dimensionamento fotovoltaico, precisamos, em primeiro lugar, levantar a demanda específica da população a ser atendida. A comunidade estudada, localizada no bairro do Iriri, em Santos, é caracterizada por possuir poucos recursos. Assim, sua expectativa de consumo de equipamentos elétricos é bem baixa. Devemos levar em consideração que o SFV é um sistema modular. Portanto, caso a família venha a obter melhores recursos e queira adquirir novos equipamentos, é possível ampliar o sistema.

Segundo um levantamento feito no local, a população gostaria de possuir em casa, ao menos, uma televisão, uma geladeira e iluminação elétrica. Deste modo, foi elaborada a tabela abaixo, que avalia o consumo de uma residência. De posse destes dados, é dado início ao dimensionamento, retratado a seguir.

Tabela 2. Consumo médio de uma residência (energia solar)

Aparelho	Quantidade	Potência (W)	Horas de utilização por dia	Consumo diário (Wh)
Televisor	1	65	3	195
Geladeira	1	28	24	672
Lâmpada	3	15	4	180

Potência nominal = 138 W

A1 = Consumo diário = 1047 Wh

A2 = Radiação solar média em Santos = 4,13 kWh/dia.m²

A3 = Número de dias sem sol em Santos = 3 dias

A4 = Rendimento da bateria = 0,85

A5 = Rendimento do inversor = 0,85

A – Dimensionamento dos módulos fotovoltaicos

A6 = Energia requerida dos módulos = $A1 / (A4 * A5) = 1074 / (0,85 * 0,85) = 1449 \text{ Wh/dia}$

A7 = Módulo utilizado = 70 Wp

A8 = Energia gerada pelo módulo = $A7 * A2 = 70 * 4,13 = 289 \text{ Wh/dia}$

Número de módulos necessários = $A6 / A8 = 1449 / 289 \sim 5$

B – Dimensionamento das baterias

Autonomia = 3 dias

A9 = Profundidade de descarga = 0,50

A10 = Capacidade requerida das baterias = $(A1 * A3) / (A9 * A5) = (1047 * 3) / (0,5 * 0,85) = 7390 \text{ Wh}$

A11 = Capacidade da bateria = $220 * 12 = 2640 \text{ W}$

Número de baterias necessárias = $A10 / A11 = 7390 / 2640 = 2,8 \sim 3$

C – Dimensionamento do controlador de carga

$I = 1,25 * I_{cc_arranjo} = 1,25 * 5 * 4,86 = 30,4 \sim 30 \text{ A}$

D – Dimensionamento do inversor

Potência nominal da carga = 138 W

Potência nominal do inversor = 150 W

Portanto, podemos ver que necessitamos dos seguintes equipamentos para o SFV:

- 5 módulos fotovoltaicos
- 3 baterias
- 1 inversor
- 1 controlador de carga e descarga

Esta é a lista inicial de equipamentos. Porém, estes equipamentos possuem uma certa vida útil, e deverão ser trocados após alguns anos. Assim, devemos fazer uma análise econômica, trazendo todos os gastos futuros para um correspondente valor presente. Para esta análise, foi considerado um período de 25 anos e uma taxa de juros Selic de 16,25% ao ano.

Custo inicial

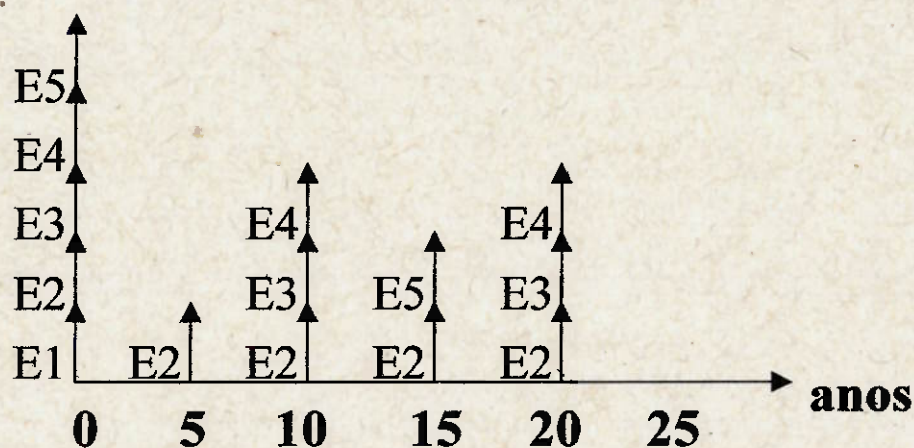
E1 = Custo dos módulos = $5 * R\$1.576 = R\7.880

E2 = Custo das baterias = $3 * R\$786 = R\2.358

E3 = Custo do controlador de carga = $R\$335$

E4 = Custo do inversor = $R\$165$

E5 = Custo do kit para aquecimento solar = $R\$735$



$$VP(E1) = R\$7.880$$

$$VP(E2) = 2358 + 2358 / (1,1625)^5 + 2358 / (1,1625)^{10} + 2358 / (1,1625)^{15} + 2358 / (1,1625)^{20} = R\$4.354$$

$$VP(E3) = 335 + 335 / (1,1625)^{10} + 335 / (1,1625)^{20} = R\$426$$

$$VP(E4) = 165 + 165 / (1,1625)^{10} + 165 / (1,1625)^{20} = R\$210$$

$$VP(E5) = 735 + 735 / (1,1625)^{15} = R\$812$$

$$VP(\text{total}) = R\$13.682$$

Para 30 casas, temos:

$$\text{Valor total} = 30 * R\$13.682 = R\$410.460$$

É interessante observar que este valor refere-se a 30 casas sendo supridas por um SFV em Santos. A radiação solar deste município não está entre as mais altas do Brasil. Para entendermos melhor a situação, podemos tomar como exemplo o município de Patos, localizado na Paraíba. Como Patos possui um dos mais altos índices de radiação solar do país ($5,83\text{kWh}/\text{dia.m}^2$), fica muito mais barato instalar um SFV nesta cidade. Com base no mesmo consumo médio de uma residência visto anteriormente (Tabela 2), foi feito o dimensionamento para esta nova cidade (não vamos detalhar aqui este dimensionamento, pois trata-se do mesmo processo feito para o caso de Santos). Nesta nova situação, necessitamos dos seguintes equipamentos:

- 3 módulos fotovoltaicos
- 2 baterias
- 1 inversor
- 1 controlador de carga e descarga

Portanto, podemos perceber que o sistema torna-se bem mais barato se instalado numa região que possua alta radiação solar. Em Patos, o custo total por residência é de R\$9.078, o que representa uma economia de 34% em relação ao mesmo sistema instalado em Santos.

6.2 Extensão da rede elétrica pré-existente

A comunidade em questão está localizada a uma distância de apenas 6km da rede elétrica convencional. Desta maneira, foi feita uma análise técnico-econômica de extensão da rede, tanto para o sistema MRT quanto para o sistema trifásico. O sistema MRT merece destaque por ser o mais barato, enquanto o trifásico é o preferido das empresas concessionárias.

Os parâmetros utilizados para os cálculos foram baseados nos do Programa Luz da Terra, realizado entre 1996 e 2003 no estado de São Paulo, e são os seguintes:

- 5 consumidores / km
- 5kVA /consumidor
- 10 postes / km
- 3 transformadores / km
- cabo de aço zincado

No caso do sistema MRT, a rede primária possui um custo de R\$12.000,00/km e a rede secundária, coincidentemente, também possui este mesmo custo. Além disso, cada residência necessita de equipamentos individuais para o recebimento de energia, conhecidos como padrão de entrada. O padrão de entrada do sistema MRT custa R\$750,00.

No sistema trifásico, a rede primária tem um custo de R\$24.000,00/km e a rede secundária de R\$13.600,00/km. O padrão de entrada trifásico custa R\$880,00 por casa.

Ao calcularmos os custos totais da extensão da rede, devemos levar em consideração também o custo da energia. Neste caso, foi considerado que cada família tem um consumo médio igual ao visto no caso da energia solar (Tabela 2), somado ao consumo de um chuveiro elétrico (Tabela 3). Segundo os dados de uma concessionária do estado de São Paulo, o custo do MWh para o cliente rural é de R\$207,19. Como o consumo mensal de cada casa foi calculado em 100,410kWh, temos que o valor a ser pago pela energia é de R\$20,80 por mês. Como estamos

trabalhando com um horizonte de 25 anos, utilizando a taxa de juros Selic de 1,26% ao mês, chegamos a um valor total de R\$1.632,00.

Tabela 3. Consumo médio de uma residência (energia elétrica convencional)

Aparelho	Quantidade	Potência (W)	Horas de utilização por dia	Consumo diário (Wh)
Televisor	1	65	3	195
Geladeira	1	28	24	672
Lâmpada	3	15	4	180
Chuveiro	1	4600	0,5	2300

De posse destes dados, podemos fazer os cálculos para cada sistema.

MRT

Custo da rede primária = $6 * R\$12.000 = R\72.000

Custo da rede secundária = $0,150 * R\$12.000 = R\1.800

Custo do padrão de entrada = $30 * R\$750 = R\22.500

Custo da energia = R\$1.632

Custo total = R\$97.932

Trifásico

Custo da rede primária = $6 * R\$24.000 = R\144.000

Custo da rede secundária = $0,150 * R\$13.600 = R\2.040

Custo do padrão de entrada = $30 * R\$880 = R\26.400

Custo da energia = R\$1.632

Custo total = R\$174.072

6.3 Comparação entre as alternativas

Como podemos evidenciar através dos valores resumidos na Tabela 4, temos que a extensão da rede pré-existente pelo sistema MRT é a opção mais econômica de todas, seguida da extensão da rede pelo sistema trifásico. A terceira opção seria a utilização da energia solar.

Tabela 4. Custos totais de cada alternativa

Alternativa	Custo total (R\$)
Extensão da rede (MRT)	97.932,00
Extensão da rede (trifásico)	174.072,00
Energia Solar	410.460,00

A extensão da rede é a opção mais vantajosa neste caso por dois aspectos. Em primeiro lugar, porque a comunidade está relativamente perto da rede elétrica pré-existente, apenas 6 km. Em segundo lugar, porque existe uma grande concentração de casas no mesmo local. Se este número fosse menor, a escolha da energia solar poderia ser a mais adequada.

Para retratar melhor esta questão, foi calculada a distância a partir da qual a energia solar leva vantagem sobre a extensão da rede. No caso do sistema MRT, essa distância é de 32 km. No caso do trifásico, de 16km. Para esta análise, foi considerado que existem 30 casas agrupadas, como feito anteriormente.

É muito importante ressaltar o fator ambiental. Apesar da extensão da rede ser a opção mais barata, ela pode não ser a mais adequada neste caso. Um corredor de 6km deve ser desmatado para a colocação dos postes e cabos. Como a comunidade em estudo encontra-se dentro de uma área de preservação ambiental, em meio à Mata Atlântica, é bem possível que tal projeto não seja autorizado pelos órgãos ambientais. Assim, restaria partirmos para a terceira opção, a utilização da energia solar.

CAPÍTULO 7 – CONCLUSÕES

A falta de energia elétrica é um problema que ainda atinge milhões de brasileiros. Para solucionarmos este problema, precisamos conhecer as diversas alternativas tecnológicas existentes. Em cada comunidade, deve ser feita uma análise de qual alternativa é a melhor a ser empregada.

A primeira etapa desta análise consiste em descartar as alternativas que se mostram claramente inferiores às demais. Em seguida, é realizado um estudo mais detalhado das alternativas pré-selecionadas.

No estudo de caso aqui realizado, a energia eólica, a energia termelétrica e a energia hidrelétrica foram descartadas por motivos particulares, restando ser analisadas a energia solar e a extensão da rede elétrica pré-existente.

Dentro da análise técnico-econômica, a energia solar mostrou-se bem mais cara que a extensão da rede, sendo o MRT quase a metade do preço do trifásico. Alguns motivos levaram a esta situação. Em primeiro lugar, a proximidade da comunidade à rede elétrica pré-existente, que fez com que sua extensão se tornasse mais barata. Em segundo lugar, a grande concentração de casas num mesmo local, que acaba por reduzir o custo unitário da extensão da rede. Por fim, a baixa incidência solar no município de Santos, que elevou o custo da energia solar.

Finalmente, precisamos ressaltar que uma simples análise técnico-econômica não representa a verdadeira solução do problema. Os fatores ambientais, sociais e políticos também devem ser levados em consideração em tal análise. Assim, para um estudo mais abrangente, o correto seria aplicar a Análise dos Custos Completos, que leva em consideração todos estes fatores.

ANEXO A



Foto de casa localizada na comunidade em estudo, o bairro Iriri, em Santos

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] ANDRADE, C.A.M. de. **O futuro da energia e a situação brasileira.** Jornal da USP, São Paulo, 28 de outubro de 1996. p. 2.
- [2] CORREIA, J.S.S. **Eletrificação rural de baixo custo – avaliação e prática.** São Paulo, 1992. 155p. Dissertação (Mestrado). Escola Politécnica da Universidade de São Paulo.
- [3] FERREIRA, M.J.G. **Experiência de projetos fotovoltaicos no estado de São Paulo: Modelagem para planejamento energético em comunidades isoladas.** São Paulo, 2002. 205p. Tese (Doutorado). Programa Interunidades de Pós-Graduação em Energia da Universidade de São Paulo.
- [4] FERREIRA, M.J.G.; CAMPOS, U.S. **Instalações fotovoltaicas do PRODEEM – São Paulo e uma proposta de organização regional.** In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENERGIA, 8., Rio de Janeiro, 1999. *Anais.* p.1372-1380.
- [5] GOLDEMBERG, J. **Energia, Meio Ambiente & Desenvolvimento.** São Paulo: Editora da Universidade de São Paulo, 1998. 234p.
- [6] LESSA, C. **Eletrificação rural de baixo custo.** Palestra proferida durante o Seminário de Utilização do CAZ. Porto Alegre, outubro de 1988.
- [7] PAZZINI, L.H.A. **Avaliação de uma política pública de eletrificação rural.** São Paulo, 1998. 134p. Dissertação (Mestrado). Escola Politécnica da Universidade de São Paulo.
- [8] PELEGRINI, M.A. **Prática da eletrificação rural em São Paulo (1995 – 1997).** São Paulo, 1998. Dissertação (Mestrado). Escola Politécnica da Universidade de São Paulo.

[9] REIS, L. B.; SILVEIRA, S. **Energia Elétrica para o Desenvolvimento Sustentável**. São Paulo: Editora da Universidade de São Paulo, 2001. 284p.

[10] RIBEIRO, F.S. **Eletrificação rural de baixo custo**. São Paulo, 1993. 157p. Tese (Livre Docência). Escola Politécnica da Universidade de São Paulo.

[11] SANTOS, R.R. **Procedimentos para a eletrificação rural fotovoltaica domiciliar no Brasil: uma contribuição a partir de observações de campo**. São Paulo, 2002. 221p. Tese (Doutorado). Programa Interunidades de Pós-Graduação em Energia da Universidade de São Paulo.

[12] VILLELA, D.P. **Uso de sistemas de geração descentralizada de energia elétrica na zona rural**. São Paulo, 2000. Dissertação (Projeto de Formatura). Escola Politécnica da Universidade de São Paulo.

Este material foi impresso em papel reciclado, segundo os princípios do desenvolvimento sustentável, que é discutido neste trabalho.