

## PROJETO LENÇÓIS – ESTÁGIO ATUAL E DESAFIOS VENCIDOS

L. F. Leal Diniz – lf.leal.diniz@gmail.com  
Júlio C. Pereira-Segundo – jc.eletrico@gmail.com  
Shigeaki L. Lima – shigeaki@dee.ufma.br  
José Gomes de Matos – gomes@dee.ufma.br  
Oswaldo R. Saavedra – o.saavedra@ieee.org

Universidade Federal do Maranhão, Departamento de Engenharia Elétrica. Núcleo de Energias Alternativas

**Resumo.** Neste trabalho é apresentado o desenvolvimento atual do projeto “Sistema Híbrido de Geração Elétrica Sustentável para a Ilha de Lençóis, Município de Cururupu – MA”. São relatadas as etapas executadas, assim como os desafios naturais, humanos e tecnológicos vencidos e tarefas ainda a serem executadas. Há uma descrição do projeto com uma topologia ilustrada por diagramas e imagens dos componentes do sistema. É abordada a logística de transporte e organização, mostrando as dificuldades encontradas decorrentes da distância do local onde o projeto é executado em relação aos centros urbanos. São mostradas também as particularidades da instalação da geração eólica em um terreno arenoso e com elevado grau de dificuldades para o transporte e instalação dos equipamentos.

**Palavras-chave:** Energia Solar, Energia Eólica, Sistemas Híbridos, Sustentabilidade.

### 1. INTRODUÇÃO

Segundo estimativas do Ministério de Minas e Energia (MME), cerca de 4 milhões de domicílios ou mais de 12 milhões de pessoas, não têm acesso à energia elétrica. Além disso, cerca de 80% da população vive em áreas urbanas e 20% vive em área rural (Poppe, 2002). Essa realidade é consequência da inexistência de atividade econômica substantiva no meio rural, o que impossibilita a realização de investimentos em serviços e infra-estrutura básica, estimulando o êxodo rural e os problemas dele decorrentes.

No início do ano de 2004, o Governo Federal lançou o “Programa Nacional de Universalização do Acesso e Uso da Energia Elétrica – Luz Para Todos”, cujo principal objetivo é conceder a toda população brasileira o fornecimento de energia elétrica (ANEEL, 2003; MME, 2004), necessidade básica da sociedade contemporânea. Baseando-se nisso, o Núcleo de Energias Alternativas (NEA), laboratório de pesquisas na área de fontes renováveis de energia do departamento de Engenharia Elétrica da Universidade Federal do Maranhão (UFMA), propôs um projeto de sistema de geração de energia híbrida sustentável, visando o abastecimento energético da comunidade da Ilha dos Lençóis, pertencente ao município de Cururupu - MA.

Em função do Programa Federal, o Ministério de Minas e Energia aprovou no final do ano de 2006, o projeto “Sistema Híbrido de Geração Elétrica Sustentável para a Ilha dos Lençóis, município de Cururupu - MA”. Esse projeto objetiva o desenvolvimento de um sistema eólico-solar-diesel de energia e vai servir como projeto piloto, visando adquirir experiência para reprodução desse tipo de ação com sistemas híbridos em outras ilhas ou em comunidades isoladas.

A escolha da Ilha dos Lençóis foi motivada por reunir condições relevantes para o desenvolvimento do projeto, tais como: ser uma ilha distante do continente, por isso não sendo atendida pela rede convencional de distribuição de energia no curto ou médio prazo; possuir baixa renda per capita, mas com um potencial econômico reprimido; estar localizada numa região com alta incidência de ventos e de radiação solar; e por encontrar-se dentro de uma reserva extrativista (RESEX).

O Projeto Luz Para Todos (PLPT) determina que o serviço energético oferecido respeite os padrões de qualidade de energia encontrados nos centros urbanos. Isto determinou a necessidade de se considerar um subsistema de geração de segurança (backup). No caso, um banco de baterias e um grupo-motor-gerador (GMG) a diesel permitirão a continuidade do fornecimento de energia elétrica mesmo durante períodos onde a radiação e a intensidade do vento sejam relativamente baixas, casos registrados nos meses de março e abril. (Saavedra, 2006)

### 2 CARACTERIZAÇÃO DA ILHA DE LENÇÓIS

A Ilha dos Lençóis no ano de 2006 contava com 90 edificações, sendo 80 residências, 1 escola, 1 pousada, 1 igreja, 1 posto de saúde, 2 bares, 2 pequenos comércios e 2 salas de apresentações culturais.

O nome característico da ilha deve-se ao fato das dunas, em abundância no local, parecerem lençóis de areia. A ilha possui dois períodos bem definidos: um período seco e um período chuvoso. No primeiro período encontra-se alta incidência de radiação solar ( $5,95 \text{ W/m}^2$ ) e grande velocidade dos ventos (8 m/s). Devido à característica dos ventos há um movimento constante de dunas da direção Leste seguindo para o Oeste da ilha. A vila da comunidade encontra-se

situada em local estável quanto à movimentação das dunas, devido à vegetação que circunda a região e protegendo-a dos ventos e do movimento das dunas. No período chuvoso a ilha é marcada por chuvas torrenciais vindas do Oceano Atlântico, responsáveis pela formação de lagoas de águas cristalinas que podem atingir até 1,5 m de profundidade. Esta época é a que concentra maior potencial turístico na região. O período chuvoso é caracterizado pelas baixas incidências de radiação solar e velocidades do vento, o que representa menor geração solar-eólica, implicando na necessidade de geração por outra fonte de energia, por exemplo, um gerador a diesel.

## 2.1 Acesso

A Ilha dos Lençóis situa-se numa região de difícil acesso devido à distância da mesma ao continente e também pelo fato das estradas que levam aos portos mais próximos estarem em situações precárias. O caminho de melhor acesso à ilha levando em consideração o custo de viagem e o transporte de cargas (equipamentos que serão instalados) é feito via “ferry boat” (embarcação tipo balsa) de São Luís até o porto de Cujupe, na MA 106, dirigindo-se à cidade de Apicum-Açu por via terrestre, cerca de 260 km, onde existe um pequeno porto com melhor infra-estrutura para o embarque das cargas a serem transportadas até a Ilha de Lençóis. Esse percurso é feito através de embarcações tradicionais de madeira (típicas da região), com capacidades que variam de 3 a 5 toneladas e formatos projetados para a pesca artesanal e transporte de cargas com pequena dimensão, o que dificulta a escolha da embarcação para o transporte de equipamentos pesados e dimensões maiores (grupo gerador, torres das turbinas eólicas, inversores, etc.). A viagem é realizada em aproximadamente 3 horas nos períodos em que as condições de vento e marés são favoráveis e de 4 a 6 horas quando essas condições não são favoráveis, através de canais naturais (igarapés). Nesse caso, embora o tempo de viagem seja maior, as condições de segurança são melhores, o que diminui o risco de naufrágio. A Fig. 1 ilustra a rota e a distância de São Luís a Ilha dos Lençóis (linha tracejada).



Figura 1 – Localização da Ilha dos Lençóis relacionando o seu distanciamento a São Luís- MA

## 2.2 Equipamentos e serviços

Devido à baixa demanda de materiais elétricos e de construção civil nas cidades circunvizinhas da Ilha de Lençóis, as revendedoras locais não possuem todo o material necessário e nem em quantidades suficientes para atender a demanda do projeto. Em consequência disso, a maior parte dos materiais para as obras civis e elétricas, assim como ferramentas e equipamentos (turbinas, torres, painéis e etc.) foram adquiridos em São Luís ou importados e enviados por caminhões até a cidade de Apicum-Açu. Essa cidade foi escolhida como “ponto de apoio” por contar com um porto com melhores condições de embarque do que Cururupu, ser mais próxima da Ilha de Lençóis e devido ao trajeto marítimo até a ilha apresentar melhores condições de navegação, com menos turbulência (menos “maresia”), portanto, mais segura para o transporte dos equipamentos e pessoal. Vale enfatizar, que alguns desses equipamentos chegavam a pesar mais de 1500 kg por unidade. A Ilha dos Lençóis não possui um porto ou qualquer estrutura de desembarque. Isto constitui um sério problema para realizar a descarga de materiais e equipamentos pesados, pois, alguns equipamentos não podiam correr o risco de serem molhados. Além disso, com a maré baixa o terreno torna-se escorregadio, com riscos de acidentes e quedas durante o transporte dos materiais até o local de uso.

Para solucionar o problema foi necessário utilizar a cooperação, o trabalho de equipe, a determinação e a força física dos moradores da Ilha, que com auxílio de técnicas quase primitivas (cordas, paus e pranchas de madeira) possibilitaram o desembarque seguro dos equipamentos e materiais. Na Fig. 2 e na Fig. 3 são apresentadas fotografias ilustrando o processo de desembarque de alguns materiais e equipamentos.



(a)



(b)

Figura 2 - (a) Descarregamento de parte das torres das turbinas; (b) Embarcação ainda carregada com bobinas de cabos elétricos.



(a)



(b)

Figura 3 - (a) Descarregamento das bobinas de cabos com maré baixa; (b) Transporte de uma das turbinas até o local de instalação.

### 3.1 DESCRIÇÃO RESUMIDA DO PROJETO

Analisando os hábitos e equipamentos dos moradores da ilha, foi estimado um consumo médio mensal por consumidor de aproximadamente 40 kWh, com um crescimento de 1,5 % ao ano, o que conduziu a um projeto de sistema híbrido com a seguinte configuração:

- Um subsistema de geração solar formado por 162 módulos fotovoltaicos de 130 Wp, totalizando 21 kWp de potência instalada.
- Um subsistema de geração eólica, com três aerogeradores de 7.5 kW, totalizando 22,5 kW;
- Um banco com 120 baterias de 150 Ah, com as finalidades de suprir os picos de demanda, estabilizar a tensão do barramento de corrente contínua e armazenar energia para o suprimento das cargas por um período médio de 10 horas sem as gerações eólica e solar, considerando um percentual de descarga de 30% do banco de baterias.
- Um GMG (Grupo Motor Gerador) a diesel de backup, com potência nominal de 52 kVA em regime stand by ou 48 kVA em regime “prime”.
- Um retificador controlado, com potência nominal de 52 kVA para uso em conjunto com o GMG.
- Dois inversores de tensão trifásicos, cada um com potência de 20KVA e que são paralelizados para formação do barramento CA do sistema.
- Um sistema de controle integrado comandado por um CLP (controlador lógico programável).

### 3.1 Logística

Toda execução de um projeto necessita de um planejamento prévio a ser seguido; isso determina as condições de sucesso ou fracasso e a evolução das etapas do cronograma. A objetividade é necessária para tornar as viagens das equipes de montagens mais eficientes e menos dispendiosas, pois toda ação envolve custos operacionais e o menor erro de planejamento e execução pode gerar um deslocamento de 260 km de distância a mais. Na Tab. 1 é mostrado as 8 etapas de planejamento e execução do projeto.

Tabela 1 – Etapas do projeto.

Atividade	Ações específicas
1. Planejamento e Prospecção <i>in-loco</i>	Levantamento de dados; reuniões entre parceiros; organização do plano de trabalho; detalhamento de cronograma de execução.
2. Elaboração do projeto executivo do sistema	Elaboração de desenhos; detalhamentos construtivos; elaboração de especificações técnicas e planejamento da instalação do sistema de geração.
3. Infra-estrutura civil	Construção dos abrigos para o sistema de geração; aquisição de equipamentos e traslado para a Ilha.
4. Rede de distribuição de energia elétrica	Instalação da rede de distribuição de energia; das instalações elétricas internas dos consumidores; ramais de serviço e medidores.
5. Montagem do sistema de geração	Instalação e teste dos equipamentos; integração dos subsistemas de geração.
6. Reuniões com a comunidade	Plano de gestão compartilhada, com participação da comunidade; conscientização quanto ao uso eficiente da energia elétrica; elaboração do plano de gestão e de sustentação do sistema; reuniões com parceiros.
7. Testes e colocação do sistema em operação	Colocação do sistema em operação.
8. Acompanhamento	Acompanhamento do desempenho técnico; do plano de gestão e sustentabilidade do sistema.

### 3.2 Topologia do sistema

O projeto foi desenvolvido utilizando uma topologia em que a energia gerada pelos 162 painéis fotovoltaicos (potência instalada de 21 kW) e pelas 3 turbinas eólicas (potência instalada de 22.5kW) é armazenada em um banco de 120 baterias de 150 Ah em uma configuração de barramento comum de tensão nominal de 240 Vcc. As baterias estão dispostas em 6 grupos em paralelo, sendo cada grupo composto por 20 baterias conectadas em série. A tensão mínima do barramento é 210 Vcc que corresponde a condição de descarga do banco de baterias e a tensão máxima do barramento é 280 Vcc que correspondendo a situação de banco com carga plena. A tensão de saída dos retificadores controlados (VCS-“voltage control system”) das três turbinas eólicas encontra-se na faixa de operação do barramento CC, assim como o retificador do gerador a diesel.

O sistema de inversão de tensão foi especialmente projetado para esta aplicação, sendo composto de dois inversores trifásicos com saídas senoidais de 380/220 V, 60 Hz, 20 KVA (totalizando 40 KVA), cuja tensão CC de entrada varia de 210 Vcc a 300 Vcc. As tensões de entrada e saída do gerador são definidas pela estratégia de controle do CLP e depende basicamente da tensão do barramento CC. Convém ressaltar que o sistema foi dimensionado para que o funcionamento do gerador fosse mínimo e que somente ocorra quando não houver geração solar ou eólica a contento, que possivelmente deverá ocorrer durante os períodos chuvosos. Essa topologia é ilustrada no diagrama de blocos da Fig. 4.

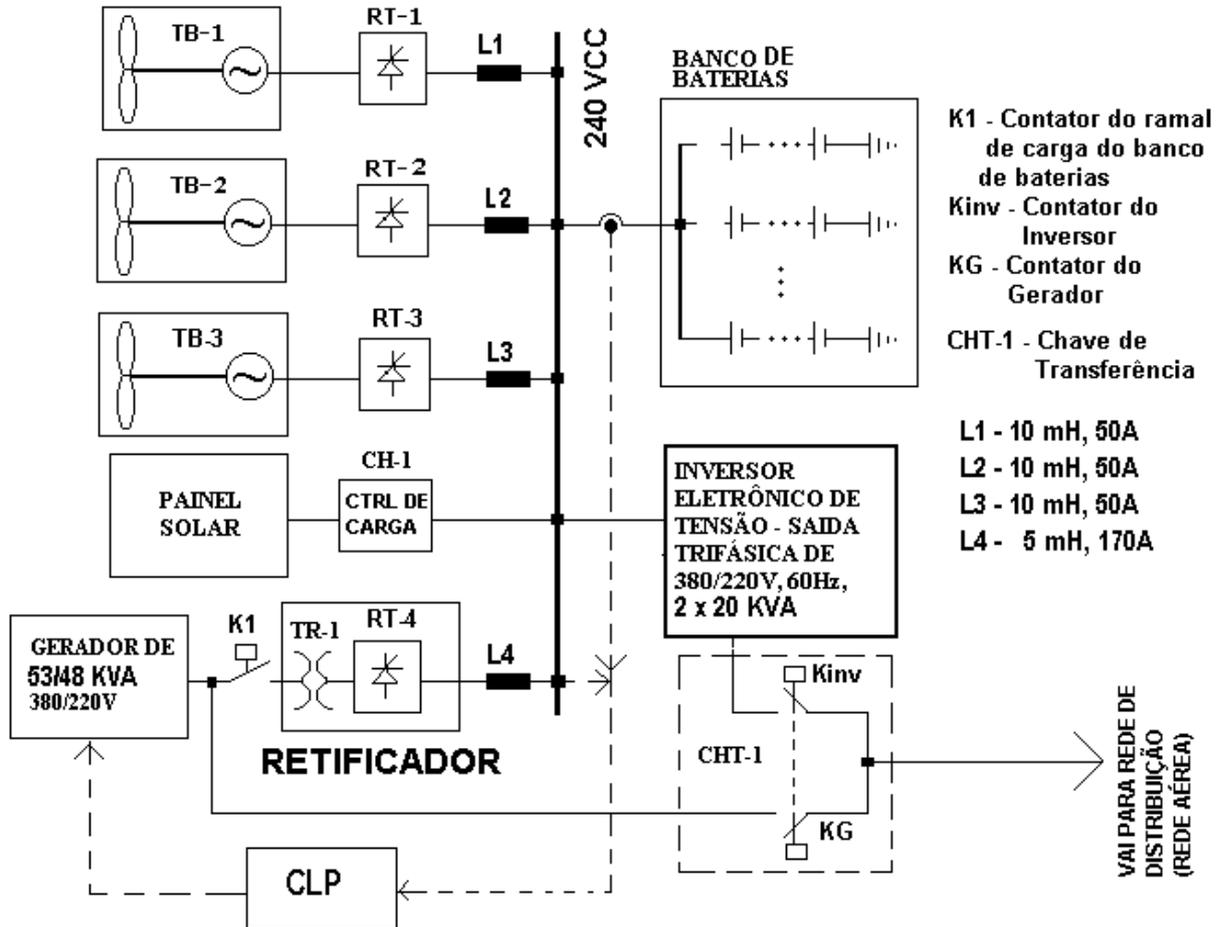


Figura 4 - Topologia do sistema em diagrama de blocos.

### 3.3 Localização das turbinas e casa de força

As turbinas eólicas foram estrategicamente fixadas em um ponto distante da área de maior concentração residencial da ilha, por motivos de segurança e para aproveitar o maior regime de vento disponível. Isto, por outro lado, dificultou e onerou a conexão das turbinas com a casa de controle, localizada na área habitada, onde a energia gerada pelas fontes eólico-solar e/ou diesel é destinada ao carregamento do banco de baterias e, posteriormente, após a inversão, à rede de distribuição de baixa tensão CA.

No projeto estrutural da casa de controle foi aproveitada a laje de concreto, adicionando uma projeção para as laterais e frente da casa, para a montagem dos 162 painéis solares, que formaram um telhado fotovoltaico. Para aumentar a eficiência da geração fotovoltaica, a laje foi construída com uma inclinação de 10° na direção norte. Foi também utilizada uma construção existente, ao lado da casa de controle, para a instalação do GMG.

## 4. INSTALAÇÕES DAS TURBINAS E PAINÉIS.

O terreno arenoso da ilha dificultou muito o transporte das turbinas e acessórios até o local de instalação das mesmas. O lançamento do cabeamento elétrico para interligar os aerogeradores com a casa de controle foi feito via subterrânea, com cabos diretamente enterrados, o que demandou a abertura de vala de 1 m de profundidade em média e 30 cm de largura.

Outro complicador para a instalação das turbinas (torres e aerogeradores) foi o fato dessa tarefa ter sido executada no período chuvoso (março de 2008). Devido às características topográficas do local e a movimentação das dunas no período seco anterior, as bases de fixação das torres encontravam-se completamente submersas em água ou em areia,

impossibilitando a instalação das ancoras de fixação dos cabos de aço de estaimento das torres. Foi necessário dias para abertura de valas para o escoamento da água em direção as partes mais baixas, de forma que fosse possível a visualização e o trabalho nas bases. Outro problema enfrentado pela equipe de montagem foi a falta do aplicador específico da cola de fixação dos parafusos da base (chumbador químico), disponibilizada pelo fornecedor das torres e turbinas, sendo necessário a substituição por um produto similar que apresentasse as mesmas especificações, como o uso em regiões úmidas e tempo de secagem ultra-rápido.

Com as bases descobertas e furadas para a fixação dos parafusos, foi necessário limpar e secar os furos para poder aplicar o chumbador químico, tarefa que foi realizada manualmente através de baldes, bombas manuais, esponjas e outros acessórios improvisados no local. Em seguida, uma série de eventos não previstos ocorreu, como por exemplo, os parafusos que seriam utilizados na aplicação do chumbador químico inicial não eram compatíveis com a aplicação do tipo de chumbador substituto, sendo necessárias algumas adaptações implementadas em campo. Por exemplo, foi necessário cisalhar diagonalmente a ponta de 60 parafusos de aço em uma oficina improvisada, usando lâminas de serra para metais, deixando-os em um formato que possibilitasse a mistura dos elementos que contém o kit do chumbador químico (composto cerâmico e catalisador). Por ter efeito de secagem muito rápido foi necessário fazer um adaptador para o acoplamento do parafuso modificado no mandril da furadeira, conforme ilustrados na Fig. 5a e na Fig. 5b.



Figura 5 - (a) Aplicação do chumbador químico; (b) Peça adaptada fazendo a mistura com o parafuso.

Após a fixação dos parafusos, outro desafio encontrado foi no processo de içamento da segunda turbina. Embora a base tivesse sido projetada para terreno arenoso, devido à presença de água e ao movimento de oscilação pendular da torre durante o processo de levantamento da torre, a base começou a pivotar, pondo em risco a integridade do conjunto torre mais aerogerador (Fig. 6a). Foi necessário descer a turbina e utilizar uma estratégia clássica que foi atribuir mais peso a base, colocando-se sacos de areia, como mostrado na Fig. 6b. Posteriormente, da mesma forma, foi içado a terceira turbina.



Figura 6 - (a) Base pivotando; (b) Solução para aumentar o peso da base.

A colocação dos painéis sobre a laje de cobertura da casa de controle foi feita cuidando-se para não gerar pontos de infiltração de água, uma vez que os suportes dos painéis foram fixados diretamente sobre a laje, através de parafusos e buchas de expansão de nylon. Essa tarefa foi realizada preferencialmente durante a noite, devido à temperatura amena e para aproveitar a energia do gerador, diminuindo os gastos com o diesel, uma vez que esse gerador já é utilizado pela comunidade no período das 18:00 h às 22:00 h. Por exemplo, para utilizar o gerador por uma hora durante o dia eram necessários 5 litros de diesel, no entanto o gerador ficava ligado 4 horas durante a noite, evitando-se esse custo extra.

Paralelamente a esses serviços, outra equipe montou o sistema elétrico interno da casa de controle, com eletrocalhas, fez as conexões do banco de baterias e implementou todas as interconexões de cabos do sistema fotovoltaico, com os quadros de controle como ilustrado em Fig. 7a e Fig. 7b.



Figura 7- (a) Chaves dos aerogeradores; (b) Inversor

## 5. ESTADO ATUAL DO PROJETO

O sistema entrou em operação no dia 20 de julho de 2008, após instalação do quadro de transferência automática (QTA), do quadro controlador de carga (QCC), do centro de potência em corrente contínua (CPCC), do Quadro de paralelismo de inversores (QPI) e da instalação dos inversores trifásicos, permitindo que o sistema operasse de forma semi-automática. A instalação do CLP, responsável pela supervisão e monitoramento da operação do sistema, está prevista para setembro, após período de testes em modo manual. Os primeiros dois meses de operação mostraram o sistema suprido predominantemente pelas turbinas eólicas, devido ao regime de ventos que se observa nesta época do ano. A Fig. 8a mostra as turbinas em operação, enquanto que a Fig. 8b ilustra uma vista da matriz de painéis fotovoltaicos instalados na laje da casa de controle. A Fig. 9 mostra uma vista exterior da cada de controle.



Figura 8- (a) Três aerogeradores; (b) Grupo de 162 painéis.



Figura 9- Casa de Controle.

A Fig. 10 ilustra os valores iniciais de carga total observados e sua evolução. Observa-se que, apesar de ter-se uma carga estimada na ordem de 20 kW, nas primeiras semanas foi observada uma demanda máxima diária de 4 kW. Este comportamento é atribuído, principalmente, ao longo tempo que a comunidade ficou sem energia elétrica, criando hábitos que substituíam em parte a falta deste tipo de energia. No decorrer das semanas, este consumo foi crescendo, acompanhando a utilização de equipamentos elétricos velhos e recém adquiridos. Também se observou o crescimento do uso da energia durante o dia, decorrente do uso de geladeiras e da televisão, em especial por crianças.

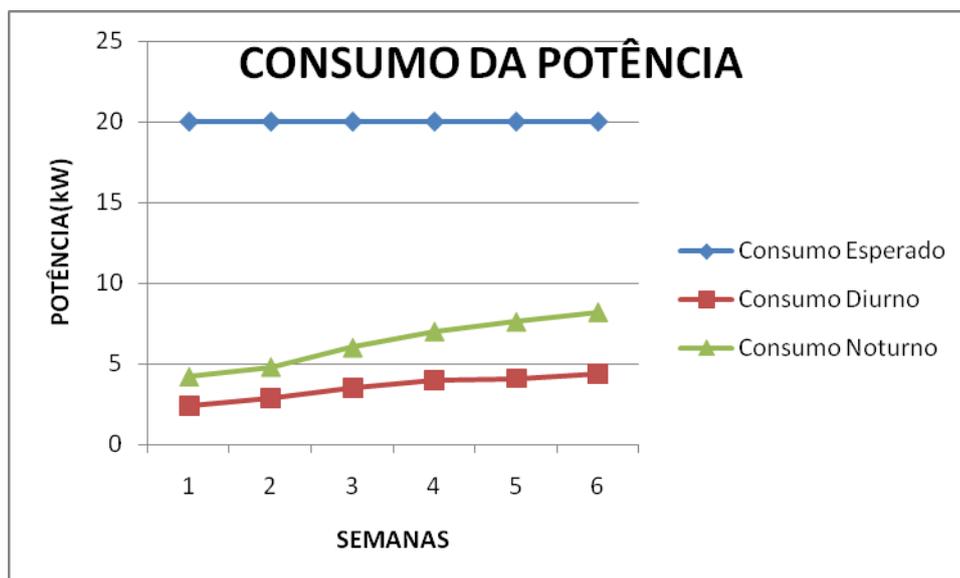


Figura 10- Gráfico que ilustra a potência consumida nas primeiras semanas de operação.

Há um alto grau de satisfação e orgulho por parte da comunidade, assim como uma demanda crescente das ilhas vizinhas para ter acesso a energia elétrica. Há uma boa disposição a pagar pela energia assim como o interesse da própria comunidade assumir a gestão do sistema. A definição do modelo de gestão foi intencionalmente adiada, de forma a se ter mais elementos de juízo que possam auxiliar na decisão de qual será o mais apropriado para ser implementado.

## 6. CONCLUSÃO

Um projeto híbrido de energia sustentável pode ser feito através de modelos ou projeto piloto, mas devem considerar as particularidades do local de execução do projeto, tais como o solo, período chuvoso, incidência solar e eólica, entre outros fatores. Mesmo tendo havido um ótimo planejamento é inevitável o surgimento de problemas

inesperados quando da implementação do sistema, de modo que a equipe deve estar pronta para inovar e resolver contingências com os recursos disponíveis. Projetos desse tipo, geralmente são aplicados em locais de difícil acesso, o que diminui a chance de substituição instantânea de algum componente do sistema, portanto deve ser pensado visando à robustez, a eficiência, a durabilidade e a confiabilidade.

Deve-se sempre ter em mente que o pós-projeto deve ser auto sustentado, ou seja, a comunidade deve gerar os recursos necessários para manter o sistema em operação, assim como possuir recursos adicionais para serviços de manutenção da rede, banco de baterias, quadros de controle ou mesmo a compra do diesel para eventual uso.

Analisando a questão social do projeto, vale explicitar que as mudanças na comunidade atendida tendem a melhorar no aspecto da qualidade de vida, como acesso a educação e saúde. Estes ganhos devem ser priorizados como a principal causa da instalação do sistema de geração de energia elétrica. Os demais aspectos, como o crescimento do consumo de energia e a demanda reprimida são apenas conseqüências de se ter acesso à energia elétrica. Na Fig. 11 é demonstrada a satisfação de um morador da Ilha de Lençóis ao consumir a energia em sua casa.



Figura 11- Morador utilizando energia.

## 7. REFERÊNCIAS

- Agência Nacional de Energia Elétrica – ANEEL. 2004. Portaria 38/2004  
Ministério de Minas e Energia – MME. 2003. Resolução 223/2003  
Poppe, M. K. 2002. Universalização do acesso à energia no Brasil: Características, oportunidades e desafios. Disponível em: [http://www.cgu.rei.unicamp.br/energia2020/papers/paper\\_Poppe.pdf](http://www.cgu.rei.unicamp.br/energia2020/papers/paper_Poppe.pdf).  
Saavedra, O. R.; OLIVEIRA, S. H. de ; MATOS, J. G. de, Revista Inovação, São Luís, v. 02, p. 32 - 34, 2006. Energia Solar e Eólica como vetor de desenvolvimento de comunidades isoladas no Maranhão: O Projeto da Ilha dos Lençóis.

### **Abstract.**

*This paper describes the development of the project “ Sistema Híbrido de Geração Elétrica Sustentável para a Ilha de Lençóis, Município de Cururupu – MA” there are related the installation procedures that have already been done and the future’s one as well the natural, human and technological challenges involved. There’s a detailed description of the project topology illustrated by diagrams and figures of the system components. Is approached the organization and logistic of transport showing the joined difficulties caused by the distance of the place where the project is executed in relation to the urban centers. The particularities of the wind turbines installation in an arenaceous land and with raised degree difficulties for the transport and installation of the equipment are also shown.*

**Keywords:** wind energy; Photovoltaic energy; hybrid system.