

## Mapeamento regional para avaliação de alternativas energéticas para sistemas isolados na amazônia: - O Estado do Amapá

*Marcos V. G. Nascimento\**

*Silvia Helena M. Pires*

*Ana Castro Lacorte*

*Paulo Cesar P. Menezes*

*CEPEL*

*Marco Aurélio dos Santos*

*José A. S. Nascimento*

*Jorge Luiz Borges*

*Emílio La Rovere*

*Ana Paula C. Guimarães*

*COPPE/PPE/UFRJ*

### **Resumo**

Este artigo apresenta a metodologia desenvolvida para a caracterização de vocações energéticas regionais e avaliação da viabilidade da utilização dos diversos sistemas de geração alternativa, utilizando a tecnologia de análise baseada em Sistemas de Informação Geográfica (SIG), bem como os primeiros resultados obtidos para o mapeamento energético do Estado do Amapá.

\*CENTRO DE PESQUISAS DE ENERGIA ELÉTRICA - CEPEL

Caixa Postal 68 007 - CEP 21 941-590 - Rio de Janeiro, RJ - Tel: (021) 598-2430 - Fax (021) 260-1340  
e-mail: vinc@fund.cepel.br

## 1.0 - Introdução

O projeto “Implantação de Sistemas de Geração Alternativa na Região Norte” tem a finalidade de analisar a viabilidade técnica, econômica e ambiental da utilização de fontes alternativas para geração de energia elétrica em substituição ao óleo Diesel nos sistemas isolados da Região Norte. Uma das etapas do projeto contempla o desenvolvimento de uma metodologia para a caracterização de vocações energéticas regionais e avaliação da viabilidade da utilização dos diversos sistemas de geração alternativa (biomassa, solar, eólica, hidráulica), utilizando a tecnologia de análise baseada em Sistemas de Informação Geográfica (SIG). Adotou-se como caso-estudo para este desenvolvimento o Estado do Amapá, constituindo um projeto denominado “*Alternativas Energéticas para Sistemas Isolados da Amazônia - o Estado do Amapá*”.

Neste artigo apresenta-se a estrutura metodológica adotada e os resultados de sua aplicação para o mapeamento energético do Estado do Amapá. Os resultados obtidos com esta aplicação são aqui apresentados para o município de Oiapoque, selecionado tanto em função das carências e potencialidades identificadas, quanto pela complexidade de seus aspectos ambientais. Situado no extremo norte do estado e distante da capital cerca de 660 km, este município abriga uma unidade de conservação e três áreas indígenas.

## 2.0 - Metodologia

A metodologia para a caracterização de vocações energéticas regionais e avaliação da viabilidade de utilização de sistemas de geração alternativa, desenvolve-se em três etapas: a) caracterização da região em estudo, no caso o Estado do Amapá, envolvendo o levantamento e mapeamento das informações relativas aos aspectos sócio-econômicos e ao sistema elétrico existente, com a finalidade de identificar as áreas carentes quanto ao fornecimento de energia elétrica; b) levantamento e mapeamento das informações relativas aos recursos existentes, visando avaliar o potencial para utilização de fontes renováveis de geração de energia elétrica; c) proposição de alternativas energéticas técnica, econômica e ambientalmente viáveis para atender às carências energéticas identificadas, ou para substituir o óleo Diesel na geração de energia elétrica.

Tendo em vista que este desenvolvimento metodológico tem como base a aplicação da tecnologia dos "Sistemas de Informação Geográfica" (SIG), para as duas primeiras etapas foram levantadas, junto ao IBGE e à CEA, as informações relativas aos aspectos sócio-econômicos e ao sistema elétrico do estado. Essas informações foram organizadas num Banco de Dados georeferenciado para elaboração dos mapas temáticos que permitiram a identificação das áreas carentes de energia elétrica. Em seguida, com base nos dados do INEMET, das estações instaladas pelo CEPEL na região e do Mapa Solarimétrico do Brasil, foi realizado o inventário das áreas do Amapá com potencial para a geração eólica e solar. Do Censo Agropecuário 95/96 -IBGE, foram levantadas as informações relativas às culturas e espécies vegetais que, seja pela sua utilização direta ou pelos rejeitos, representam um potencial para o aproveitamento energético (biomassa). Considerou-se ainda, os dados do SIPOT e da ELETRONORTE relativos ao potencial hidráulico para implantação de PCH's. Através da análise conjunta destas informações foi possível a delimitação de áreas com carência de energia elétrica e a avaliação da viabilidade de aplicação desses sistemas de geração alternativa.

### **3.0 - O Estado do Amapá**

#### **3.1 - Aspectos Sócio-Econômicos**

Com uma superfície territorial de 143.453 km<sup>2</sup>, correspondendo a 2,18% da totalidade do território nacional, o Amapá destaca-se entre os estados amazônicos como o estado com menor área florestal desmatada da Amazônia Legal (1,5% da área total estadual e cerca de 0,39% da Amazônia Legal). Com uma população, em 1996, de 379.459 habitantes, sendo que, deste total 87% correspondem à população urbana, o Amapá apresenta baixa densidade demográfica, com a população dispersa ao longo dos rios e nas localidades situadas às margens das principais rodovias. Os municípios de Macapá, Santana e Laranjal do Jari, por representarem as áreas de maior atração econômica, são os mais populosos. O crescimento urbano, verificando nos últimos anos, não se fez acompanhar dos investimentos necessários em infra-estrutura, rebatendo na qualidade de vida da população, que em linhas gerais, é muito precária, tanto nos termos dos equipamentos disponíveis, quanto no nível de atendimento da população. As atividades extrativas (mineral e madeireira) ainda são as de maior expressão na economia estada-

al. A agricultura, sem grande expressão econômica, é praticada com técnicas tradicionais, e a pecuária, é predominantemente extensiva, sem grande relevância para a economia estadual.

### **3.2- Aspectos da Oferta e Demanda de Energia Elétrica**

Assim como nos demais estados da Região Norte, o sistema elétrico do Amapá é constituído por um "Sistema da Capital" e por um "Sistema do Interior". O suprimento de energia ao Sistema da Capital é feito pela Eletronorte, através da UHE Coaracy Nunes e da UTE Santana que totalizam, em 1997, 91 MW instalados (cerca de 88,3% do total estadual). O "Sistema do Interior" de responsabilidade da CEA - Companhia de Energia do Amapá, é composto pelas unidades térmicas instaladas no interior do estado totalizando 12,14 MW de potência instalada, distribuídos entre 16 unidades térmicas a Diesel. O mapa 2 apresenta as características do sistema elétrico estadual.

A região atendida pelo sistema da Eletronorte abrange as áreas de maior demanda no estado, englobando a capital Macapá, e mais sete municípios próximos a esta, totalizando um consumo da ordem de 361,4 GWh, para cerca de 71.400 consumidores, em 1997. Os sistemas isolados da CEA atendem aos municípios que não são atendidos pela Eletronorte. Estas áreas consumiram um total de 31.560 MWh, para 9.983 consumidores, sendo que os maiores consumos verificam-se nos municípios de Laranjal do Jari e Oiapoque. Esse sistema opera de forma parcial e descontínua, sendo considerado precário e deficiente. Um dos principais problemas de operação reside nos custos de geração devido ao consumo específico elevado das unidades a Diesel.

### **4.0 - Identificação das Áreas Carentes de Energia Elétrica**

Para avaliar o grau de atendimento de energia elétrica nas diferentes localidades do Estado do Amapá, tomou-se como ponto de partida a metodologia adotada no âmbito do CTEM/GCPS<sup>1</sup> que adota a relação entre o número de consumidores residenciais e a população total como base de cálculo da taxa de atendimento do setor. A análise histórica destes parâmetros revela uma tendência crescente, levando à saturação deste indicador em torno de 33%, correspondente ao atendimento pleno.

<sup>1</sup> CTEM - Comitê Técnico para Estudos de Mercado

Foi utilizado como indicador para a identificação das áreas carentes de energia elétrica no estado, a taxa de atendimento por município calculada a partir da relação entre o número de consumidores residenciais do município e a população total. Para avaliar o atendimento nas sedes municipais e distritais adotou-se como indicador a relação entre o número de seus consumidores residenciais e sua população urbana.

Os resultados, apresentados no mapa 1, indicam que, de um modo geral, os municípios atendidos pela CEA apresentam taxas de atendimento semelhantes àqueles atendidos pela Eletronorte, como por exemplo, os municípios de Amapá, Calçoene e Laranjal do Jari, onde o grau de atendimento aproxima-se da capital Macapá (15,71%). Embora todas as sedes municipais sejam atendidas, existem seis (6) sedes distritais sem fornecimento de energia elétrica. Esses dados sugerem que, enquanto a população que vive nos centros urbanos são atendidas, mesmo que de forma precária, nas áreas rurais o mesmo não acontece. O grau de atendimento nestas áreas, obtido a partir da relação entre o número de consumidores rurais e a população rural, pode ser considerado, de um modo geral, nulo, exceção feita aos municípios de Macapá, Mazagão, Porto Grande e Santana, atendidos pelo Eletronorte.

Além das sedes municipais e distritais, existem, conforme o mapa estadual, IBGE - 1994, 116 localidades no Amapá, sendo que, deste total, 26 são atendidas pela CEA. Devido à ausência de informações relativas ao número de habitantes, não foi possível efetuar o cálculo da taxa de atendimento para estas localidades. No entanto, foram feitas algumas inferências a cerca do fornecimento de energia elétrica a partir do georeferenciamento destas localidades e das informações relativas ao número de consumidores, obtidas junto à CEA. A análise conjunta destas informações permitiu identificar as localidades que contam com fornecimento de energia elétrica e aquelas que não são atendidas, conforme indicado no mapa 1. Cabe observar que das 26 localidades atendidas pela CEA, devido à impossibilidade de determinar sua posição geográfica, apenas 8 foram georeferenciadas.

## **5.0 - Potencialidades Energéticas**

Para a avaliação das potencialidades energéticas, foram, inicialmente, levantados e georeferenciados os dados relativos à irradiação solar, velocidade e direção dos ventos, e localização e potencial das PCH's estimado e inventariado. No caso do aproveitamento da biomassa, considerou-se a uti-

lização dos resíduos da mandioca, por ser esta a principal cultura agrícola do estado, e pelo grande potencial de aproveitamento de seus resíduos (110%). Os mapas 2, 4 e 5 apresentam estas potencialidades.

No que se refere ao potencial eólico, devido ao número reduzido de estações e à descontinuidade nas medições, não foi possível obter uma série temporal consistente, de modo a permitir uma boa correlação dos dados, que levariam à identificação das áreas com maior ou menor potencial. Tendo em vista os valores de vento encontrados no Norte do Pará, pode-se supor que a costa do Amapá apresente um potencial eólico promissor. Entretanto, observa-se que grande extensão do litoral do estado é coberta por vegetação fluvio-marinha e solos hidromórficos, que pela análise cartográfica parecem ser inadequados para a instalação de plantas eólicas, desconsiderando a opção *offshore*.

## **6.0 - Avaliação das Alternativas Energéticas**

Para a comparação técnica, econômica e ambiental das alternativas energéticas, foi selecionado o município do Oiapoque. Este município é atendido pela CEA, através de uma unidade térmica a Diesel com capacidade instalada de 6,5 MW. A taxa de atendimento para o município como um todo é de 9,82%, sendo a da sede igual a 16%, e o atendimento rural nulo, indicando que somente alguns núcleos urbanos localizados nas proximidades da sede são atendidos. Uma das sedes distritais, Vila Velha, não tem acesso à energia elétrica. O atendimento a esse município através da extensão do sistema da ELETRONORTE, fica inviabilizado em virtude da grande distância entre o Oiapoque, localizado no extremo norte do estado, e as áreas atendidas por este sistema.

Do ponto de vista das potencialidades, o Oiapoque é o maior produtor estadual de mandioca, apresenta altos valores de radiação solar, e a cerca de 40 km das áreas de concentração populacional, no rio Cricou, existe um local com potencial para implantação de uma PCH (Roque de Souza Pennafort), com 6 MW de potência nominal, como pode ser observado nos mapas 2, 4 e 5. Com relação ao potencial eólico, além da carência de informações já citada, no caso do Oiapoque deve ser ainda mencionada a existência de uma Unidade de Conservação que abrange toda a faixa litorânea do município, e de terras indígenas situadas no seu interior, que se configuram como restrições tanto para a implantação de aerogeradores como da rede de transmissão necessária para levar a energia até a área de maior concentração da população. (Ver Mapa 3)

Os custos de geração para cada uma dessas alternativas energéticas foram estimados e comparados com os custos de geração da unidade térmica existente. Nesta comparação econômica, utilizou-se o método das mínimas receitas requeridas (EPRI). Considerou-se uma taxa de juros de 15% a.a., 20 anos de operação, 2% de seguro e 38% de imposto no dinheiro próprio.

**Biomassa:** Considerou-se a produção total de mandioca no município (4419 ton/ano), com aproveitamento de resíduos da ordem de 110% e poder calorífico de 3000 kcal/kg. Foram feitas duas hipóteses: um total de 1000kW instalados operando cerca de 10 horas por dia (f.c.=40%); e um total de 550 kW instalados operando 17 horas por dia (f.c.=70%). O custo da geração, considerando a eficiência de 20% na conversão, foi estimado em:

- custo de investimento: R\$ 1300/kW
- custo do transporte da mandioca: R\$ 2,33/MBTU (considerado como custo do combustível)
- distância à sede municipal: 20km e 50 km.

**TABELA 1 - Estimativa dos Custos de Geração: Resíduos da Mandioca**

Custos (R\$/MWh)				
	550kW		1000kW	
	20 km	50 km	20km	50km
<b>Capital</b>	52,00	52,00	92,00	92,00
<b>Combustível</b>	39,00	99,50	39,00	99,50
<b>O&amp;M</b>	10,00	10,00	10,00	10,00
<b>Custo Total</b>	102,00	161,50	141,00	201,00

**PCH:** Foi considerada a implantação da usina Roque de Souza Pennafort, localizada no rio Cricou, distando cerca de 40 km da sede municipal, com potência nominal igual a 6 MW e fator de capacidade de 78%. O custo da rede foi estimado em R\$ 44.000,00/km e o custo de investimento em R\$ 3.600,00/kW, obtendo-se os seguintes custos para geração de energia:

- Custo de Capital: R\$ 140,50/MWh
- Custo de O&M: R\$ 5,80/MWh
- Custo Total: R\$ 146,30/MWh

**Solar:** Grande parte do município situa-se na região correspondente a valores de radiação global média anual de 5000 Wh/m<sup>2</sup>/dia. Para a latitude

das localidades de Oiapoque e Clevelândia do Norte estes valores são de 5490 Wh/ m<sup>2</sup>/dia. Este nível de radiação não é adequado para projetos termosolares, mas poderia ser utilizado para fotovoltaicos. Os custos da energia para sistemas fotovoltaicos são: R\$1.827,00/MWh e R\$1.182,00/MWh, obtidos considerando-se R\$16.200,00/kW instalado e fator de capacidade igual a 25%. O segundo valor não incorpora seguro e impostos, tendo em vista a possibilidade de sua aplicação para atender a demandas sociais.

**Grupo Gerador Diesel:** Considerou-se a instalação de um novo grupo gerador com capacidade suficiente para atender à sede municipal, rendimento de 30% (» 0,27 l/kWh), fator de capacidade igual a 40%, e custo de instalação de R\$ 600,00/kW. Foi feita a estimativa do custo do Diesel, incluindo o transporte a partir de Macapá para todo o estado (mapa 6), tendo sido estimado para Oiapoque (660km) o custo de R\$0,57/l. Obteve-se o seguinte custo para a geração de energia:

Custo Total:	R\$ 231,00/MWh
Custo de combustível	- R\$ 179,00/MWh
Custo de investimento	- R\$ 42,00/MWh
Custo de O&M	- R\$ 10,00/MWh

Os custos de operação das turbinas hoje existentes foram estimados para servir de base para a comparação. Para o custo de operação, foi considerado o custo do Diesel R\$ 0,57/l, incluindo transporte, e utilizados os seguintes indicadores de operação fornecidos pela CEA:

- consumo diesel = 0,86 l/kWh
- fator de capacidade = 40%

O custo atual da energia, considerando a parcela do combustível, foi estimado em R\$ 576,00 /MWh

Analisando os resultados apresentados na tabela 2, observa-se que todas as alternativas consideradas, com exceção da geração solar, levam a custos inferiores àqueles da geração hoje existente no município.

**TABELA 2 - Custos de Geração das Alternativas Energéticas**

CUSTO DE GERAÇÃO (R\$/MWh)						
	Mandioca		PCH	Solar	Grupo Diesel	Turbina existente
	20 km	50 km				
Capital	52,00	52,00	140,50	1827,00	42,00	-
Combustível	39,00	99,50	-		179,00	576,00
O&M	10,00	10,00	5,80		10,00	-
Total	102,00	161,50	146,30	1827,00	231,00	576,00

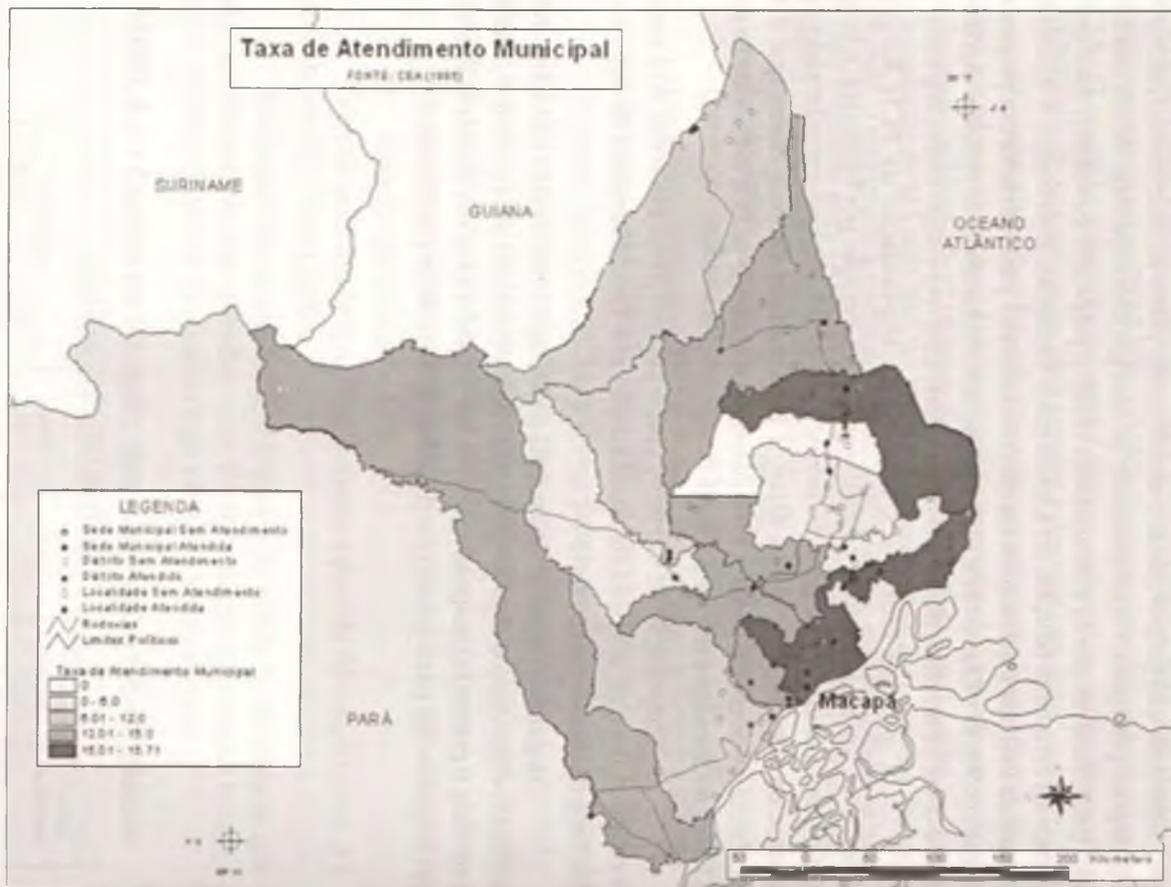
O aproveitamento dos resíduos da mandioca aparece como o mais promissor, e tanto mais quanto menor forem as distâncias para o transporte destes resíduos. A capacidade estimada a partir da produção total do município, apesar de não proporcionar o atendimento pleno da sede municipal, trará vantagens por reduzir a necessidade de energia dieselétrica. A sua utilização para atendimento às comunidades rurais e pequenos povoados, mais próximos da área de produção, será ainda mais vantajosa. Entretanto, é necessário ainda investir no desenvolvimento de sistemas para geração em pequena escala (<50kW). Outro fator restritivo ao aproveitamento de resíduos agrícolas, é o baixo rendimento das lavouras verificado no estado como um todo.

A geração hidráulica, a partir da implantação da PCH Roque Pennafort, apresenta custos compatíveis com a geração por biomassa, e bem inferiores aos custos da geração térmica existente, mesmo considerando os custos da transmissão. Além disso, a proximidade da sede municipal e a potência disponível, tornam esta alternativa atraente para a substituição do Diesel no atendimento a esta sede.

A implantação de um novo grupo gerador, mais eficiente, só é mais vantajosa do que a opção de manutenção em funcionamento da unidade térmica existente no município.

A geração a partir de energia solar, apresenta custos elevados. No entanto, estes custos têm apresentado comportamento decrescente e, tendo em vista o potencial mapeado, devem ser considerados em análises futuras, principalmente para o meio rural de baixa densidade populacional.

MAPA 1 – Taxa de Atendimento Municipal



MAPA 2 – Sistema Elétrico do Amapá



MAPA 3 – Áreas de Preservação do Estado do Amapá



## MAPA 4 – Média Anual de Radiação Global – Amapá



## MAPA 5 – Produção Municipal de Mandioca – Amapá



MAPA 6 - Mapa do Custo de Diesel



## **7.0 - Considerações Finais:**

As análises apresentadas referem-se à primeira etapa do desenvolvimento do projeto, sendo fundamentadas em dados secundários. A utilização da tecnologia de SIG como ferramenta de análise básica para o desenvolvimento da metodologia, permitiu uma visão espacial das carências e potencialidades energéticas no estado, facilitando a definição de estratégias para o planejamento do atendimento energético das localidades isoladas. Foi possível avaliar para cada município alternativas diferenciadas de oferta de energia a partir de sua base de recursos naturais.

Essas análises, entretanto, têm caráter indicativo, devendo ser complementadas com trabalhos de campo, visando o aprimoramento da base de dados e o envolvimento das comunidades nas decisões. Esses primeiros resultados alcançados demonstram que o desenvolvimento metodológico é adequado à análise de vocações energéticas regionais, sugerindo que os desafios colocados para o planejamento do suprimento energético da região Amazônica, poderão ser melhor equacionados através da utilização deste modelo.

## **8.0 - Bibliografia**

- (1) NASCIMENTO, M.V.G. et all. *Implantação de Sistemas de Geração Alternativa na Região Norte*, XIV Seminário Nacional de Produção e Transmissão de Energia Elétrica. Belém, 1997
- (2) PPE/COPPE/UFRJ. *Caracterização Energética e Sócio-Econômica do Estado do Amapá*. Rel. Tec.1, Rio de Janeiro,1998.
- (3) PPE/COPPE/UFRJ. *Banco de Dados Sócio-Econômico e Energético do Estado do Amapá* - Rel.Tec.2, Rio de Janeiro,1998.
- (4) EPRI. *Technical Assessment Guide - EPRIP-6587-L, Vol.1, Revisão 6, 1989*