

MEAPA – Metodologias Integradas para o Mapeamento de Energias Alternativas no Estado do Pará

Cláudio Monteiro, J. Peças Lopes,
Kowk P. Va, Helmut Herold

cmonteiro@inescn.pt
INESC – Power System Unit
Porto – Portugal

Brígida Rocha¹, Isa O. Silva², Hellen Pinheiro¹,
Sinfrônio Moraes³, Olavo Rocha¹

rocha@interconnect.com.br

¹UFPa – Departamento de Eng. Eléctrica

²UFPa – Departamento de Meteorologia

³UFPa – Departamento de Mecânica
Belém – Brasil

Resumo:

Neste trabalho é feita uma descrição sucinta do projecto MEAPA, que teve como objectivo o desenvolvimento de metodologias de apoio à integração de energias renováveis na ilha do Marajó, no Pará. Nesta comunicação serão descritas as metodologias utilizadas incluindo: construção de uma base de dados geográfica; mapeamento de recursos energéticos renováveis (solares eólicos e biomassa); avaliação de custos de transporte; estudo dos custos de electricidade produzida por vários sistemas para vários cenários de electrificação; e comparação de soluções de electrificação.

1. Introdução

Na região amazónica existe um grande número de povoações isoladas e dispersas. O abastecimento com energia eléctrica destes consumidores apresenta-se assim como um desafio à administração governamental. Para determinação das melhores opções económicas e técnicas para o fornecimento de energia eléctrica às populações dessas regiões devem então ser considerados factores geográficos e climáticos que permitam lidar simultaneamente com informação sobre **consumos**, **recursos** energéticos e **tecnologias** disponíveis. Só a manipulação destas três componentes do problema, utilizando um sistema de informação e uma metodologia adequados, permitem a escolha das tecnologias adequada às potencialidade da região.

O Projeto MEAPA (Mapeamento de Energias Alternativas para o Pará) envolveu numa primeira fase, um vasto conjunto de trabalhos em diversa áreas, passando pelo estudo e recolha de dados de base (dados meteorológicos, cartografia digital, cartografia em papel, dados estatísticos, características de tecnologia energética, tarifários de custos de transporte, etc.) até ao desenvolvimento de aplicações SIG (Sistemas de Informação Geográfica) e incluindo ainda um importante trabalho de campo para identificação da realidade do problema energético tipificando conjuntos de soluções. Numa segunda fase procedeu-se à análise dos dados recolhidos e à construção de uma base de dados geográfica onde é armazenada toda a informação devidamente normalizada. Numa terceira fase foi implementada a metodologia, tendo sido desenvolvidas aplicações de software SIG em ArcView para apoio à elaboração de planos de integração de energias renováveis.

O projecto foi desenvolvido para a SECTAM, sob uma base contratual, envolvendo a Unidade de Energia do INESC - Porto e a Universidade Federal do Pará.

Os objectivos do MEAPA exigiram então a criação de uma estrutura de informação, ferramentas, métodos, instituições e pessoas com capacidade para estudar a integração das energias renováveis no estado do Pará. Um conjunto de **informação** mais detalhada permitirá tomar as medidas correctas em termos de políticas de integração e promoção das soluções energéticas. Para que seja possível fazer estudos e planeamento destes planos de integração serão necessárias **ferramentas** poderosas com capacidade de fazer uma análise geográfica global (SIG) e obter resultados sob uma forma amigável e facilmente compreensível (Mapas). A implementação dos planos de integração e a própria utilização e gestão da informação e ferramentas disponíveis leva a que sejam elaboradas

metodologias para a obtenção e gestão dos resultados e sua utilização. Uma das maiores preocupações do projecto consiste em envolver e sensibilizar um vasto conjunto de **instituições e pessoas** relacionadas com o problema das energias renováveis por forma a garantir uma boa utilização dos resultados do projecto

Este trabalho demonstra a aplicabilidade dessa metodologia para mapeamento de recursos energéticos no Arquipélago do Marajó. A área situada na embocadura do Rio Amazonas está compreendida entre os valores de latitude 02° 30' S e 01° 00' N e entre as longitudes 47° 30' W e 52° incluindo 12 municípios numa área de aproximadamente 50680 km². Actualmente nesses municípios apenas as sedes contam com fornecimento adequado de energia eléctrica.

Neste documento apresentam-se assim os resultados e a metodologias do mapeamento energético, mais especificamente o mapeamento de recursos solares, eólicos e de biomassa. Também são apresentadas as metodologias utilizadas para avaliação dos custos de electricidade, apresentando alguns casos de estudo utilizados para teste. Por fim é discutida a metodologia para a comparação de sistemas, sendo adiantadas algumas sugestões sobre as melhores soluções de electrificação.

2. Construção de uma base de Informação

A recolha de dados foi uma das fases mais trabalhosa do projecto envolvendo um vasto conjunto de instituições e pessoas das mais diversas áreas como a meteorologia, estatística, cartografia, energia eléctrica, etc. Grande parte do envolvimento e colaboração destas entidades foi possível graças ao empenho e interesse que as energias renováveis despertam nestas áreas, tanto a nível científico como comercial, estratégico ou mesmo político. Assim, ao longo do primeiros seis meses do projecto foram recolhidos todos os dados disponíveis nesta região, no país e até no estrangeiro. Alguns desses dados são originários de várias fontes sob a forma de cartografia digital, cartografia em papel, imagens de satélite, estatísticas e relatórios de outros trabalhos. Um aspecto importante no pré-processamento dos dados consistiu na construção da base de dados geográfica, colocando toda a informação sobre a mesma estrutura suporte e normalizando toda a informação. As especificações desta base de informação podem ser consultadas em [1, 2].

Os dados meteorológicos foram recolhidos de todas as fontes disponíveis e para séries de medida dos últimos 30 anos. Os dados foram tratados estatisticamente pela equipa do Departamento de Meteorologia da Universidade do Pará obtendo um conjunto de informação, por estação meteorológica, de radiação global e velocidades de vento.

Para avaliar os custos relacionados com as várias soluções e electrificação foram contactados fabricantes e representantes de tecnologia por todo o mundo, obtendo assim um leque representativo de parâmetros económicos e técnicos sobre as várias tecnologias.

Na Amazônia os custos de transporte são factores de grande influência para avaliar a viabilidade da electrificação através de uma determinada tecnologia. Sendo assim, foram recolhidos dados sobre os custos de transporte para os vários trajectos, para cada meio de transporte, e para cada tipo de mercadoria a transportar.

A percepção da problemática energética da região e a recolha e confirmação de alguns dados pontuais foram realizados através de trabalhos no terreno. Alguns destes trabalhos consistiram em entrevistas com os perfeitos do município, com a população e com entidades que contribuem para a sustentação económica da região. Foram também realizados alguns trabalhos de campo dispersos pela região para recolher dados meteorológicos, confirmar localizações, avaliar custos e dificuldades de transporte e acessibilidades bem com observar a capacidade técnica de instalação, operação e manutenção na região.

3. A metodologia

A metodologia usada no Projeto MEAPA [3] foi desenvolvida em 1996 no âmbito do Projeto SOLARGIS [4], financiado pelo programa Europeu JOULE, que contou com a cooperação de equipas de investigação de diversos países europeus (Portugal, França, Reino Unido, Espanha, Itália, Grécia, Irlanda). Ainda no âmbito do Projecto SOLARGIS a metodologia foi testada em 6 regiões piloto (Cabo Verde, Andaluzia, Índia, Tunísia, Creta e Sicília). Actualmente vários países estão a desenvolver os seus planos energéticos com este tipo de software de apoio, alguns exemplos são: nos EUA [5], na Noruega [6], na Suécia [7] e na Alemanha [8]. Posteriormente à realização do projecto SOLARGIS foram realizados desenvolvimentos complementares, alguns dos quais usados no projecto MEAPA e que poderão ser consultados em [9]

Esta metodologia foi desenvolvida para ajudar entidades responsáveis pela integração das Energias Renováveis (ER). Estas entidades são por exemplo: empresas de electricidade, autoridades regionais, centros de promoção de ER, produtores independentes, consumidores, etc.

O objectivo principal deste projecto consistiu em desenvolver novas tecnologias de análise, baseadas em Sistemas de Informação Geográfica (SIG), para elaboração e acompanhamento de planos de integração de Energias Renováveis. De uma forma mais clara, pretendeu-se desenvolver uma metodologia que aplicada a grandes regiões respondesse de forma ilustrativa a algumas perguntas, tais como:

- Qual o melhor sistema para cada local?
- Quais os melhores locais para uma dada tecnologia?
- Qual o custo da electricidade produzido por cada sistema?
- Qual o mercado para cada tecnologia?
- Qual o melhor plano de electrificação para uma determinada região?

Os três vértices do problema de integração de energias renováveis (recursos, consumo e tecnologia) só podem resolver-se eficientemente quando tratados sobre uma plataforma de conhecimento geográfico. O objectivo da metodologia consistiu em projectar a informação de recursos e de consumos, sobre uma plataforma geográfica comum considerando o contexto geográfico, estrutural, social e administrativo da região. A metodologia explorou este conjunto de informação pré-processada, encontrando mapas e outros resultados de viabilidade, técnica e económica, para cada tecnologia.

A afectação de recursos renováveis a consumos isolados é um problema de planeamento. Devido à dispersão geográfica dos recursos e dos potenciais consumos este problema torna-se extremamente complicado, sendo apenas possível o estudo de casos individuais. No entanto, o problema deve ser tratado de forma global para toda a região. As diversas tecnologias existentes competem entre si delimitando zonas de mercado em função das características dos consumos, da suficiência de recursos energéticos, e outros aspectos técnicos. A filosofia de abordagem do problema baseia-se na uniformização dos dados colocando-os na mesma plataforma de análise geográfica. Nesta plataforma o problema será abordado globalmente integrando todos os aspectos intervenientes.

A metodologia foi implementada de forma que possa ser aplicável em outras regiões, bastando para tal construir a base de dados correspondente. A elevada quantidade de parâmetros utilizada pelo modelo recomenda que o software seja utilizado por utilizadores com um conhecimento da aplicação e em especial com um bom conhecimento do software ArcView.

Todos os parâmetros do software MEAPA [10] podem ser introduzidos directamente em tabelas da base de dados. No entanto, para facilitar a utilização a operadores menos experientes, foi desenvolvido um conjunto de interfaces que limita os erros de introdução de dados.

4. O Mapeamento dos Recursos Energéticos

O mapeamento de recursos consiste em trazer para a plataforma geográfica informação sobre os recursos energéticos de cada ponto da área em estudo. Estes mapeamento consistem na interpolação ou extrapolação dos dados existentes que normalmente são séries de medidas feitas em estações meteorológicas. Existem características geográficas locais que afectam os recursos e que serão utilizados nos modelos de avaliação de recursos.

Para o mapeamento dos recursos eólicos, existe uma grande quantidade de modelos de vento baseados em métodos reconhecidos e bem documentados. Foi implementado sobre o SIG um modelo simplificado de interpolação/extrapolação de velocidades de vento baseado, nas séries de dados meteorológicos das estações, nas características próximas das estações e na rugosidade do terreno. Para o modelo desenvolvido não foram considerados os efeitos da orografia devido às características planas da região. Como resultado final obteve-se um modelo de vento, integrado no software, capaz de calcular mapas e recursos eólicos e permitindo actualizar os dados medidos nas estações ou mesmo acrescentar novas estações e assim calcular novos mapas actualizados. Estes mapas estarão automaticamente disponíveis na base de dados para a sua utilização em futuros estudos de integração.

A metodologia de mapeamento de recursos eólicos é uma metodologia bastante elaborada com capacidade para especificar dados por sector, caso estes dados estejam disponíveis. A sua eficiência é muito dependente dos parâmetros rugosidade, razão pela qual deverá ter-se o maior cuidado na sua especificação. O modelo apenas é aplicável em regiões em que a orografia não é um factor importante, tal como no Marajó. Para regiões com orografia complexa deverá ser aplicado outro tipo de metodologia, ou desenvolvidos trabalhos de investigação para completar a metodologia existente.



Figura 1 – Mapa de velocidades média anual de vento a 30 metros.

No projecto foram recolhidos e tratados todos os dados meteorológicos disponíveis. Apesar deste esforço constatamos a insuficiência de estações meteorológicas com dados fiáveis.

Este facto é especialmente preocupante na região do Marajó com características climáticas muito específicas e de difícil interpolação.

Assim sugere-se que sejam realizados esforços para a realização de campanhas de medida complementares e recolha de dados meteorológicos. Do nosso trabalho e das dificuldades sentidas estamos em condições de sugerir vários locais essenciais para a realização de medidas, são eles por ordem de interesse: Chaves, Breves, Soure, Anajás, Afuá Ponta de pedras, Santa Cruz do Arari.

Do mapeamento dos recursos eólicos da ilha são bastante bons na zona NE da ilha (classificado com 7 numa escala de 0 a 10). Em alguns meses do ano (Fevereiro, Março e Abril) estes recursos são muito escassos o que impede confiança em sistemas eólicos completamente autónomos. Na zona NW da ilha os recursos eólicos são bastante baixos (3 na escala de 0 a 10), em alguns casos insuficientes para o aproveitamento energético.

Da mesma forma foram criados módulos de software SIG para interpolar valores de radiação global e criar mapas de recursos solares. A metodologia utilizada nestes módulos é baseada em avançados modelos de interpolação (kriging) disponíveis no SIG. Na Figura 2 é apresentado o mapa de radiação global anual obtido com estas metodologias.

Deste mapeamento concluímos que os recursos solares na ilha do Marajó poderão ser classificados como médios, na escala mundial de recursos (4 numa escala de 0 a 6), existindo valores ligeiramente superiores na zona leste da ilha. Também se observam valores mais baixos de radiação nos meses chuvosos (Fevereiro, Março e Abril).

Os mapas de recursos de biomassa foram calculados baseados em mapas de vegetação e de resíduos em que o utilizador especifica um conjunto de características do aproveitamento destes recursos e obtém um mapa de recursos energéticos e custos para o seu aproveitamento bem como as características geográficas da exploração destes recursos.



Figura 2 – Mapa da média anual para a radiação global (kWh/m²/dia).

Os mapas de recursos de biomassa estão condicionados pela pré-definição dos pontos de concentração e definição da filosofia de colecta de biomassa, pontos onde será consumida

a biomassa, em torno dos quais são mapeadas as áreas exploradas para alimentar um determinado consumo.

5. Custo de Transporte

Na região da Amazônia os custos de transportes desempenham um papel fundamental na viabilidade de determinadas soluções de electrificação. Para mapear estes custos desenvolveu-se uma ferramenta de software SIG com o qual o utilizador poderá calcular os vários cenários de custo de transporte.

A software permite ao utilizador definir como dados de entrada:

- tipo de mercadoria a transportar tais como equipamento, pessoas, combustível ou biomassa;
- os várias origem do transporte e destinos intermédios;
- custo de transporte para os vários trajectos aéreos e fluviais;
- ou custos de transporte através de estradas, rios ou através dos vários tipo de vegetação e terreno.

Como resultado obtêm-se um mapa do custo mínimo para chegar com a mercadoria transportada até cada um dos locais da região de estudo. Estes cenários de transporte são utilizados para o cálculo da viabilidade dos sistemas, incluindo-o no custo de instalação (transporte de sistema e técnicos) custo de operação (transporte de combustível ou de biomassa) e de manutenção (transporte de peças e técnicos).

Como exemplo apresentamos na Figura 3 um mapa de custo de transporte para técnicos especialistas com origem em Belém e Macapá.



Figura 3 – Mapa de custo de transporte para um técnico especializado.

Ao longo do projecto concluímos que, para a ilha do Marajó os custos de transporte são uma das componentes de custo mais importantes. Neste projecto foram utilizados parâmetros gerais para os diversos meios de transporte, estes valores foram indicados por empresas de transporte e por utilizadores habituais destes meios. Verificou-se que estes parâmetros variam muito de local para local não seguindo um tarifário fixo. Como a metodologia de transporte está preparada para atribuir custos específicos a cada um dos elementos geográficos, sugerimos que seja realizado um levantamento exaustivo destes custos e que seja atribuídos custos específicos a cada via de transporte (estrada, rio ou zona de vegetação) e a cada tipo de mercadoria a transportar.

6. Cálculo do Custo de Energia

A viabilidade de um sistema de electrificação é avaliada através do Custo de Electricidade (LEC-*Levelized Electric Cost*), sendo através destes mapas de LEC que são comparadas as várias soluções.

O LEC é o valor do custo equivalente da electricidade fornecida à carga e expresso em \$/kWh. Este valor é calculado em função dos diversos custos intervenientes, sendo estes convertidos numa renda anual constante a pagar ao longo do tempo de vida do equipamento. O LEC resulta do quociente entre estes custos anuais e a energia efectivamente fornecida à carga. Este cálculo é precedido por um correcto dimensionamento do sistema por forma a fornecer o consumo especificado.

No projecto MEAPA os sistemas estudados foram: sistemas fotovoltaicos; sistema eólicos; geradores Diesel, a gasolina ou outros combustíveis e sistemas híbridos de vários tipos.



Figura 4 – Mapa de custo de electricidade para um sistema híbrido para alimentar consumos de 18MWh/ano.

O processo de cálculo de LEC difere substancialmente de sistema para sistema, no entanto, podemos de uma forma simplificada explicar o processo de cálculo através da seguintes passos:

- Dimensionar a potência do sistema função do cenário de consumo considerado e dos recurso energético do local.
- Estimar os custos de instalação, operação e manutenção tendo em conta os custos de transporte até ao local.
- Estimar os custos externos associados a impactos ambientais e ao não fornecimento de energia por deficiências do sistema.
- Calcular um equivalente anual do custo total tendo em conta o tempo de vida de cada um dos componentes do sistema.
- Calcular o custo médio da energia produzida (\$/kWh) dividindo os custos anuais pela energia anual fornecida à carga.

Este processo de cálculo é realizado em cada um dos milhares de locais da região de estudo produzindo um mapa do custo da electricidade produzida pelo sistema.

Para cada mapa de custo é necessário definir os parâmetros do cenário de consumo, os parâmetros relacionados com o sistema, os parâmetros económicos e os parâmetros relacionados com os recursos e com os custos de transporte. Desta forma podem ser realizados uma infinidade de estudos. Na Figura 4 apresentamos o custo de electricidade para um dos estudos realizados. Neste exemplo foi considerado um sistema híbrido Diesel eólico e fotovoltaico, em que o Diesel está dimensionado para alimentar 100% da carga e

as componentes eólica e fotovoltaicas estão dimensionadas para alimentar 50% do consumo.

Os estudos de competitividade entre os diversos sistemas foram realizados por comparação dos mapas de LEC. Desta forma foram criados mapas definindo as zonas de potencial para cada sistema. Como exemplo apresentamos na Figura 5 um mapa de comparação de sistemas eólicos, Diesel e Fotovoltaicos para um consumo de 1500 kWh/ano.



Figura 5 – Comparação de sistemas para um consumo de 35 MWh/ano.

Dos estudos realizados concluímos que pequenos consumos, com valores inferiores a 500 kWh/ano, deverão ser alimentados por sistemas fotovoltaicos, sendo este o sistema economicamente mais viável para aplicações com esta dimensão. Para valores de consumo superiores, e tendo em conta os actuais preços, os sistemas fotovoltaicos deixam de ser competitivos na ilha do Marajó. Admitimos que nos próximos 10 anos se prevê uma diminuição importante dos preços, alterando-se a situação de competitividade destes sistemas.

Os sistemas híbridos Diesel/eólicos ou simplesmente eólicos com reserva Diesel mostraram ser uma boa solução para a zona NE da ilha, com especial ênfase para locais mais isolados em que o custo de transporte de combustível é muito caro. Os estudos indicam um bom potencial para a integração de uma componente eólica no actual sistemas Diesel, nas principais cidades do NE, sendo uma boa solução para a resolução dos seus problemas energéticos destas cidade. Para a confirmação da viabilidade destas soluções deverão ser efectuados estudos específicos para cada cidade incluindo campanhas de medida meteorológicas, e estudos complementares de simulação de exploração dos sistemas em regime estacionário e dinâmico para as redes eléctricas existentes. As cidades que consideramos com bom potencial são: Soure, Salvaterra, Chaves, Santa Cruz do Arari e Cachoeira do Arari.

Curiosamente as regiões com bons recursos de biomassa surgem nas cidades com menores recursos eólicos, o que complementa e estende a integração de recursos renováveis a toda a ilha. Não temos dúvida quanto ao elevado potencial dos recursos de biomassa em toda a zona SW e W da ilha, especialmente nos locais onde existam resíduos resultantes da extracção madeireira. Devido a questões tecnológicas, a potencialidade da biomassa é importante especialmente para sistemas de média dimensão alimentando as

idades do Marajó, com potência da ordem dos 2 MW. A avaliação dos custos de electricidade produzidos por um sistema deverá ser estudada individualmente tendo em conta as especificidade da tecnologia e a sua adequação às características locais.

7. Conclusão

Para concluir, é importante deixar a mensagem de que é necessário a implementação de políticas energéticas de forma que estas tecnologia estejam disponíveis e acessíveis, económica e tecnicamente, aos seus utilizadores.

As soluções de electrificação do Marajó envolvem custos elevados. É devido ao facto de todas as soluções serem caras que algumas soluções renováveis são mais competitivas apesar dos seus recursos não serem excelentes. Devido aos problemas económicos dos habitantes do Marajó, acentuados pelo seu isolamento, é necessário promover políticas de incentivo para que a integração das energias renováveis seja uma realidade.

A experiência desenvolvida neste e em outros projectos leva-nos a concluir que antes de definir as políticas energéticas a seguir é necessários identificar os problemas e as soluções disponíveis através da realização de estudos e planos energéticos. Quando os planos energéticos incluem energias renováveis é essencial fazer o mapeamento dos recursos energéticos e a viabilidade da sua utilização. É este mapeamento de recursos energéticos, e ferramentas para futuros estudos, que o MEAPA fornece como resultado para que seja utilizado pelas **Agências de Energia** nos seus planos directores.

A metodologia descrita poderá apoiar estas entidades definindo as áreas de viabilidade para cada um dos sistemas. Com esta ferramenta será possível avaliar os custos de investimento e consequentemente, avaliar a aceitabilidade por parte das populações. Com a ajuda destas simulações, é possível ainda alterar os parâmetros no modelo, correspondentes a incentivos, e observar as alterações nos resultados.

As **empresas de electricidade** poderão usar a metodologia para fazer estudos comparativos entre soluções isoladas de ER e soluções convencionais, tais como avaliar as potencialidade de integração no seu sistema de produção renovável.

Para que os **fabricantes e comerciantes** invistam em determinadas tecnologias e regiões, é necessário que sejam apoiados por estudos que garantam a viabilidade destes investimentos, permitindo-lhes quantificar o seu mercado.

Com os resultados do Projeto será possível divulgar aos potenciais **compradores e utilizadores** de pequenos sistemas de energias renováveis qual o melhor sistema para o lugar e consumo em causa. Obviamente, estas informações deverão ser adquiridas em centro de divulgação de energia renováveis tais como as agências de energia.

Referências

- [1] INESC, "Projecto MEAPA – Especificação de Dados", Janeiro, 1998
- [2] INESC, "Projecto MEAPA - Relatório de Progresso", Julho, 1998
- [3] INESC/UFPa, "MEAPA – Metodologias Integradas para Mapeamento de Energias Renováveis no Estado do Pará", Relatório final, Portugal, 1999
- [4] SOLARGIS, "Guidelines for elaboration of regional Integration Plans for Decentralized Electricity Production with Renewable Energies", The SOLARGIS Handbook, July, 1996
- [5] Brower, M. Tennis, M. Denzler E., Kaplan M., "Powering the Midwest: Renewable Electricity for the Economy and Environment", A report by the Union of Concerned Scientists", 1993
- [6] Illum, K. "SESAM, the Sustainable Energy Systems Analysis Model". Aalborg University Press, Denmark, 1995
- [7] Energimyndigheten, Naturvårdsverket, Boverket. "Locala Uppvarmningsstrategier". Statens energimyndighet, Stockholm, Sweden, 1998
- [8] Gabrel, W. "Pilotprojekt Warmeatlas Schleswig-Holsteing" Energieagentur Schleswig-Holstein, Kiel, Germany, 1997
- [9] Monteiro, C. "Integração de Energias Renováveis na Produção Descentralizada de Electricidade Utilizando SIG", Dissertação de mestrado, FEUP, Setembro 1996
- [10].INESC, "Projecto MEAPA – Manual de utilização do software MEAPA", Abril, 1999

Agradecimentos: Os autores estão gratos à SECTAM – Secretaria de Estado de Ciência Tecnologia e Meio Ambiente, do estado do Pará, pelo financiamento proporcionado; e ao CEPEL por alguns dados disponibilizados.