

SISTEMAS DE INFORMAÇÃO GEOGRÁFICA (SIG) PARA ENERGIAS RENOVÁVEIS

Paulo Cesar Marques de Carvalho – carvalho@dee.ufc.br

José Sérgio de Aguiar Júnior – sergioaguiarbr@gmail.com

Universidade Federal do Ceará, Departamento de Engenharia Elétrica

Sandro César Silveira Jucá – sandrojuca@cefetce.br

Centro Federal de Educação Tecnológica do Ceará, Área da Indústria

Manuel Rangel de Borges Neto – rangel@cefetpet.br

Centro Federal de Educação Tecnológica de Petrolina, Eletrotécnica

Marconi Antão dos Santos – marconi@cefetpb.edu.br

Centro Federal de Educação Tecnológica da Paraíba, Coord. de Geoprocessamento

7.1 Programas Governamentais

Resumo O uso das energias renováveis em comunidades isoladas, em detrimento da expansão da rede convencional de energia, é considerado viável em alguns casos por critérios econômicos. Nestes casos, diversas variáveis são analisadas como: potencial de expansão da demanda, distância da rede e tecnologia apropriada. Para cada tecnologia são feitas análises específicas que demandam a manipulação de bancos de dados e projeções. No Brasil, cerca de 12 milhões de pessoas não têm acesso à energia elétrica; os programas de universalização do uso da energia têm surgido de forma centralizada e, não obstante, especificidades regionais são relevadas causando, diversas vezes, descrédito aos programas. Os Sistemas de Informação Geográfica (SIG) são ferramentas com as quais se podem agrupar dados sobre recursos e demandas energéticas dos locais a serem estudados, associados a uma plataforma de conhecimento geográfico, permitindo a visualização dos resultados em forma de imagens. Possibilita, desta forma, maior segurança e agilidade nas tomadas de decisão, ou mesmo, melhorar o acompanhamento dos resultados de programas que estejam em execução. Este trabalho traz uma análise do estado da arte desta tecnologia aplicada às energias renováveis, assim como, identifica potenciais e sugere ações para aplicação em projetos e programas de disseminação e uso de energia renováveis.

Palavras-chave: SIG, energias renováveis, geoprocessamento, planejamento energético.

1. INTRODUÇÃO

Dados do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) mostram que 2,5 milhões de domicílios brasileiros (5,2%) – cerca de 12 milhões de habitantes (6,52%) - não têm acesso à energia elétrica (MME, 2004). De acordo com o MME: “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 e nas famílias de baixa renda. Cerca de 90% destas famílias têm renda inferior a três salários-mínimos e 80% estão no meio rural”.

O objetivo do governo é “utilizar a energia como vetor de desenvolvimento social e econômico destas comunidades, contribuindo para a redução da pobreza e aumento da renda familiar. A chegada da energia elétrica facilitará a integração dos programas sociais do governo federal, além do acesso a serviços de saúde, educação, abastecimento de água e saneamento” (MME,2004).

Bermann (2001) destaca a energia como uma mercadoria de importante valor político-econômico na medida em que a oferta e preços funcionam como mecanismo de regulação da atividade produtiva. Em outra análise a mercadoria energia define e assegura um determinado padrão de

qualidade de vida para as populações. Como pode ser visto na Fig. 1, a exclusão elétrica afeta o Índice de Desenvolvimento Humano (IDH) de uma região.

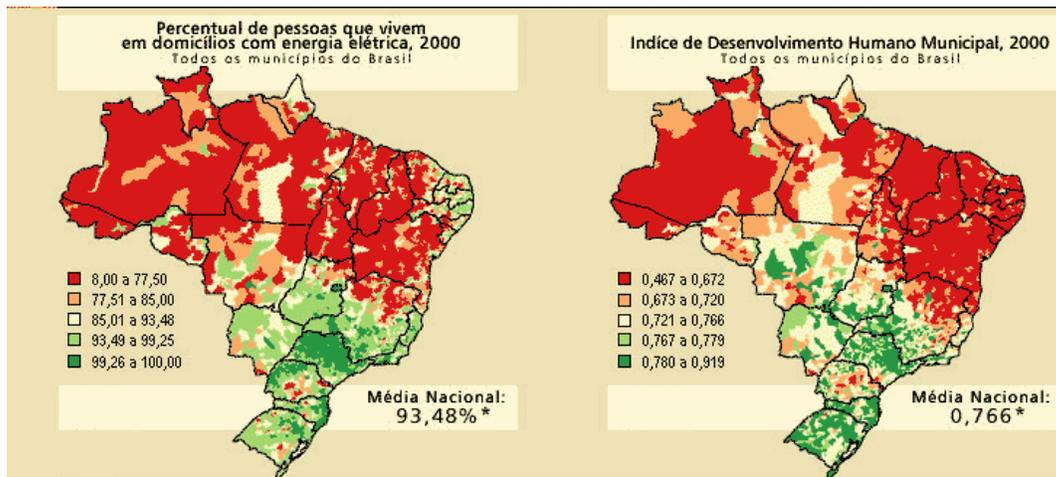


Figura 1 – Exclusão Elétrica e IDH no Brasil (MME,2004).

Durante o planejamento energético, diversas variáveis são analisadas como: potencial de expansão da demanda, distância da rede, tecnologia apropriada. Para cada um destes parâmetros são feitas análises específicas que demandam a manipulação de bancos de dados e projeções que não podem restringir-se à esfera puramente econômica. No entanto, a introdução de novas variáveis muitas vezes complexas de mensurar, como impactos ambientais e recursos naturais, tornam a tarefa mais difícil e susceptível a falhas.

Dentro do contexto dos projetos de eletrificação rural, o geoprocessamento pode ser útil de várias maneiras, destacando-se:

- localizar e identificar domicílios a serem eletrificados;
- monitorar e administrar melhor os sistemas instalados;
- definir soluções para a eletrificação economicamente mais viáveis.

Em problemas deste tipo, os SIG proporcionam grande ajuda para a escolha da solução mais adequada para o atendimento energético das áreas rurais de países em desenvolvimento (Medeiros *et al.*, 2005). Os SIG são ferramentas computacionais para Geoprocessamento que permitem realizar análises complexas, ao integrar dados de diversas fontes e ao criar bancos de dados georeferenciados (Burrough e McDonnell, 1998).

Um SIG não é apenas um sistema para produzir mapas, é uma ferramenta de análise geográfica. Segundo Monteiro (1998), SIG é um conjunto integrado de hardware, software, dados, princípios e procedimentos que se destina à recolha, processamento, análise, armazenamento e visualização de dados localizáveis geograficamente.

2. HISTÓRICO DOS SIG

Com o desenvolvimento da informática na segunda metade do século passado, tornou-se possível armazenar e representar informações em ambiente computacional, abrindo espaço para o aparecimento do Geoprocessamento. Nesse contexto, o termo Geoprocessamento denota a área do conhecimento que utiliza técnicas matemáticas e computacionais para o tratamento da informação geográfica e que vem influenciando de maneira crescente a área de geração de energia descentralizada.

Os primeiros SIG surgiram na década de 60, no Canadá, como parte de um programa governamental para criar um inventário de recursos naturais. Estes sistemas, no entanto, eram muito difíceis de usar: não existiam monitores gráficos de alta resolução, os computadores necessários eram excessivamente caros, e a mão de obra tinha que ser altamente especializada e caríssima. Não existiam

soluções comerciais prontas para uso, e cada interessado precisava desenvolver seus próprios programas, o que demandava muito tempo e, naturalmente, muito dinheiro. Além disso, a capacidade de armazenamento e a velocidade de processamento eram muito baixas. Ao longo dos anos 70 foram desenvolvidos novos e mais acessíveis recursos de hardware, tornando viável o desenvolvimento de sistemas comerciais. Também nos anos 70 foram desenvolvidos alguns fundamentos matemáticos voltados para a cartografia, incluindo questões de geometria computacional. No entanto, devido aos custos e ao fato destes sistemas ainda utilizarem exclusivamente computadores de grande porte, apenas grandes organizações tinham acesso à tecnologia.

A década de 80 representa o momento quando a tecnologia de sistemas de informação geográfica inicia um período de acelerado crescimento que dura até os dias de hoje. Até então limitados pelo alto custo do hardware e pela pouca quantidade de pesquisa específica sobre o tema, os SIG se beneficiaram grandemente da massificação causada pelos avanços da microinformática e do estabelecimento de centros de estudos sobre o assunto.

A introdução do Geoprocessamento no Brasil se deu a partir do esforço de divulgação e formação de pessoal feito pelo Prof. Jorge Xavier da Silva (UFRJ), no início dos anos 80, através da vinda ao Brasil, em 1982, do Dr. Roger Tomlinson, responsável pela criação do primeiro SIG, o *Canadian Geographical Information System* (Assad e Sano, 1998).

Hoje são disponibilizados comercialmente produtos com os quais profissionais de diversas áreas, que não a cartografia, têm acesso e os utilizam para as mais diversas aplicações, dando-lhe um aspecto multidisciplinar. Houve uma expansão tão grande nas possibilidades destes recursos que uma definição exata do que seja um SIG chega a ser um desafio proporcional ao seu potencial de utilização.

As principais características dos SIG são:

- Inserir e integrar, numa única base de dados, informações espaciais provenientes de dados cartográficos, dados censitários e cadastro urbano e rural, imagens de satélite, redes e modelos numéricos de terreno;
- Oferecer mecanismos para combinar as várias informações, através de algoritmos de manipulação e análise, bem como para consultar, recuperar, visualizar e representar o conteúdo da base de dados geo-referenciados.

Para utilizar um SIG, é preciso que cada especialista transforme conceitos de sua disciplina em representações computacionais. Após esta tradução, torna-se viável compartilhar os dados de estudo com outros especialistas (eventualmente de disciplinas diferentes). Quando se fala que o espaço é uma linguagem comum no uso de SIG, está se referindo ao espaço computacionalmente representado e não aos conceitos abstratos de espaço geográfico.

No Brasil, o INPE (Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais) desenvolveu uma solução de software que pode ser adquirido diretamente desde 1997 no endereço eletrônico do instituto. O programa foi desenvolvido utilizando a filosofia de software livre. O SPRING unifica o tratamento de imagens de Sensoriamento Remoto (ópticas e microondas), mapas temáticos, mapas cadastrais, redes e modelos numéricos de terreno. Mas ainda não há registros deste sistema sendo usado para o tema de energias renováveis (INPE, 2006).

A utilização em energias renováveis mais comum é a que avalia a irradiação solar, a velocidade do vento e o potencial de biomassa (Sorensen & Meibom 1999).

3. SIG PARA AVALIAÇÃO DE POTENCIAL DE ENERGIAS RENOVÁVEIS

Uma das aplicações de SIG mais bem sucedidas no mundo para eletrificação rural foi o SOLARGIS (Amador e Dominguez, 2005). Neste SIG, foram considerados sistemas de geração para residências isoladas (fotovoltaico, eólico, gerador a gasolina e gerador a diesel) e sistemas centralizados para conjuntos residenciais (central diesel, central eólica-diesel ou conexão com a rede elétrica).

As áreas de elevado potencial energético foram escolhidas através da análise e comparação do parâmetro Nível de Custo Elétrico (*Leveling Electric Cost*). Este parâmetro foi obtido através de va-

riáveis econômicas como o custo por kWh de cada fonte de energia e variáveis técnicas como a densidade da população rural (habitantes/km²), a radiação anual global (kWh/m²/ano), a média anual de velocidade de vento (m/s) e a distância de conexão para a rede elétrica de média tensão (km).

A aplicação do SOLARGIS tende a mostrar o melhor cenário para geração descentralizada de energia na região analisada. Um estudo de caso feito no município de Lorca na Espanha apresenta, através do menor Nível de Custo Elétrico, os melhores sistemas de geração de energia para cada km² da região, como mostra a Fig. 2 (Amador e Dominguez, 2005).

Outras aplicações do SOLARGIS foram desenvolvidas nos municípios de Kairouan, Mahdia e Monastir na Tunísia. A análise se estabeleceu em duas etapas. Uma com o uso de mapas para descobrir as áreas de elevado potencial de energias renováveis na região. Na segunda etapa, o estudo confirmou o elevado potencial das áreas selecionadas, através de mapas de maior resolução.

Os resultados para eletrificação rural no Norte de Marrocos e na Ilha de Santiago em Cabo Verde mostraram que para áreas com grande densidade demográfica localizadas perto da rede elétrica, seria mais apropriado uma extensão da rede elétrica existente. Além disso, a análise mostrou que em lugares com alto potencial eólico e grande densidade demográfica, os sistemas híbridos eólico-diesel também seriam viáveis. Os sistemas isolados seriam lucrativos somente em regiões isoladas e com uma baixa densidade demográfica.

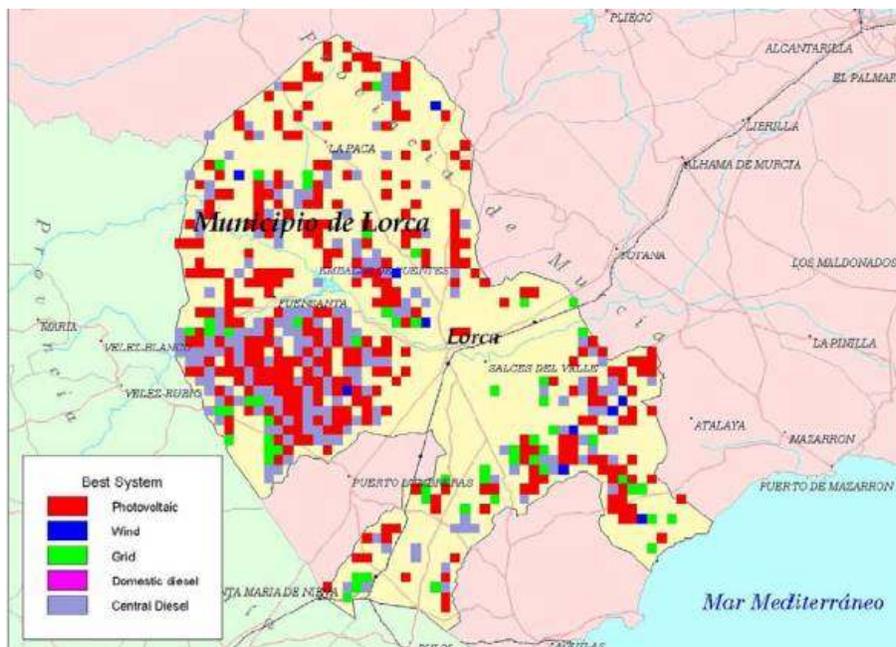


Figura 2 - Melhores sistemas de geração por km² no município de Lorca

Além do SOLARGIS, outros métodos de SIG foram aplicados em projetos de eletrificação rural. Lopez *et al.* (1997) apresentaram um trabalho em que se utilizou uma ferramenta SIG para verificar a viabilidade econômica do uso de sistemas fotovoltaicos para comunidades isoladas em comparação à expansão da rede, em Córdoba na Espanha. Voivodantas et al (1998) apresentam ferramentas para análise de viabilidade econômica da utilização de sistemas eólicos na Grécia.

Uma outra aplicação muito interessante de SIG é o PVGIS (Photovoltaic Geographical Information System). O PVGIS é uma pesquisa, demonstração e instrumento de suporte político para a avaliação geográfica do recurso de energia solar no contexto da gerência integrada da geração distribuída da energia e sua base de dados possui informações da Europa, África e sudeste asiático (PVGIS, 2006). Fig. 3 mostra a média anual de irradiação obtida por meio do PVGIS para Europa

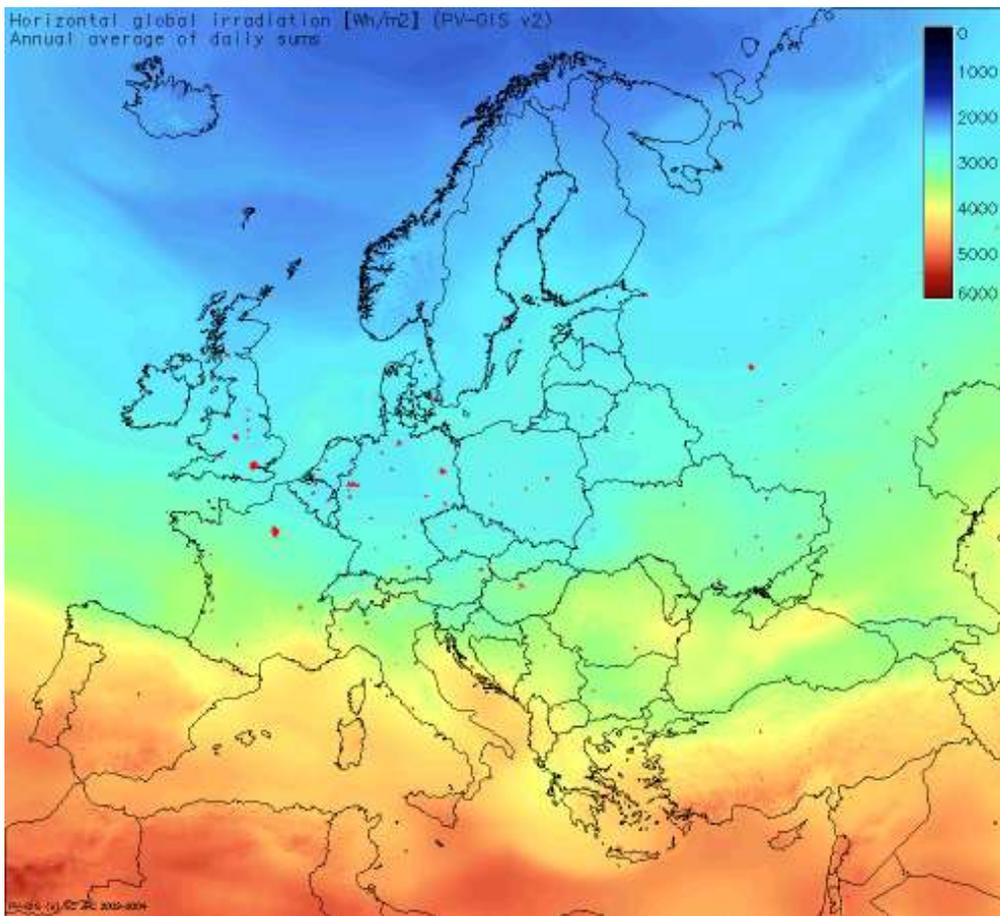


Figura 3 – Média anual de irradiação obtida por meio do PVGIS para Europa

4. SIG PARA AVALIAÇÃO DE ENERGIAS RENOVÁVEIS NO BRASIL

4.1 Metodologia para o levantamento de potencial energético (ENERGIS)

O Centro de Pesquisas de Energia Elétrica (CEPEL) desenvolve desde 2001 o sistema ENERGIS para o Departamento de Sistemas Isolados das Centrais Elétricas Brasileiras S.A. (Eletrobrás). A primeira versão do sistema foi operacionalizada em junho de 2004 e constitui-se em um SIG especificamente voltado para auxiliar a tomada de decisão no âmbito do planejamento do atendimento de energia elétrica nos sistemas isolados da região norte do Brasil (Medeiros *et al*, 2005).

O estado do Amazonas foi selecionado como área de estudo piloto para a aplicação do sistema ENERGIS. A principal forma de aquisição de informações espaciais foi a partir de bases cartográficas digitais já desenvolvidas por órgãos governamentais brasileiros. As principais fontes de dados foram:

- Sistema Nacional de Informações Sobre Recursos Hídricos (HIDROGEO), desenvolvido pela Agência Nacional de Águas (ANA);
- Sistema de Bases Cartográficas do Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais (IBAMA);
- Bases Cartográficas do Sistema de Vigilância da Amazônia (SIVAM) e Sistema de Proteção da Amazônia (SIPAM), fornecidas pela Secretaria de Estado do Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável do governo do estado do Amazonas.

Foram utilizadas também as Cartas Internacionais ao Milionésimo (CIM) do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), para aquisição de informações complementares à base cartográfica.

Várias informações de localização indeterminada foram trabalhadas e analisadas para que estivessem em condições de serem incorporadas ao banco de dados. Dentre as principais fontes destacam-se: Companhia Energética do Amazonas (CEAM), Instituto Nacional de Colonização e Reforma Agrária (INCRA), Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA), Serviço Geológico do Brasil (CPRM), Secretarias Estaduais e Municipais.

Os trabalhos de campo realizados na área de estudo serviram para a validação de vários dados obtidos a partir de fontes secundárias e para a incorporação de novas informações obtidas com o auxílio de aparelhos de GPS (*Global Position System*) que foram adicionados ao banco de dados (CEPEL, 2004).

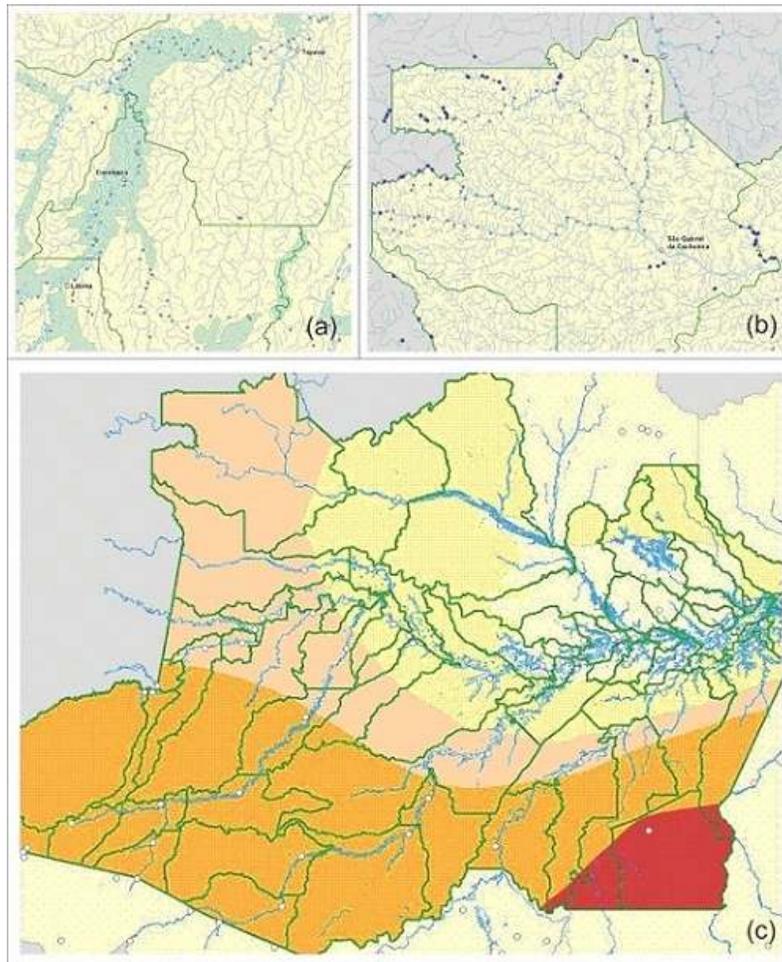


Figura 4 - Exemplos de aplicações do sistema ENERGIS 1.0

O sistema ENERGIS 1.0 pode ser usado para avaliar o grau de isolamento de núcleos populacionais, tais como: vilas, povoados, comunidades e aldeias. Através da escolha de uma localidade é possível ter acesso a algumas informações, tais como: o nome, a população residente e a quantidade de domicílios que existe no local.

Na Fig. 4 é possível observar outros três exemplos de aplicações do sistema ENERGIS 1.0. As Fig. 4a e 4b referem-se aos potenciais de geração de energia elétrica existentes em regiões do estado do Amazonas.

Pode-se verificar a existência de uma grande área (de cor verde) propícia à ocorrência de espécies oleaginosas (importantes para a geração a partir de biomassa) entre as cidades de Lábrea e Tapauá, localizadas na bacia do rio Purus (Fig. 4a).

A Fig. 4b mostra o representativo potencial hidrelétrico (pontos azuis) existente na região conhecida como Cabeça do Cachorro, no município de São Gabriel da Cachoeira, noroeste do estado do Amazonas.

A Fig. 4c foi desenvolvida a partir do preço do litro de óleo diesel pago pela CEAM em cada município amazonense. Com estes dados foi possível realizar uma análise geoestatística e produzir uma interpolação para se mapear o comportamento espacial destes valores, a cor mais escura representa os maiores valores (Medeiros *et al.*, 2005).

4.2 Metodologias integradas para o mapeamento de energias alternativas no estado do Pará (MEAPA)

Na seqüência da aplicação do SOLARGIS da metodologia em várias regiões do mundo, surgiu o interesse de implementação no estado do Pará por apresentar várias comunidades isoladas sem acesso à energia elétrica. O projeto surgiu com a parceria entre a Universidade Federal do Pará (UFPA) e o Instituto de Energia de Portugal (INESC) propondo a transferência da metodologia considerando como região piloto a Ilha de Marajó. No âmbito do projeto MEAPA foram complementadas algumas das metodologias como Biomassa e outras foram melhoradas como o sistema fotovoltaico, eólico e híbrido (Monteiro *et al.*, 1998).

Os objetivos do projeto MEAPA foram:

- construir uma base de informação geográfica para apoiar o planejamento energético da região;
- desenvolver metodologias integradas para dimensionamento e avaliação de soluções de eletrificação;
- implementar a metodologia em um SIG;
- mapear os recursos energéticos na ilha do Marajó (Solar, Eólico, Biomassa).

Segundo Monteiro *et al.* (1998), um conjunto de informações detalhadas possibilitou às entidades responsáveis tomar as medidas corretas em termos de políticas de integração e promoção das soluções energéticas. Para que seja possível fazer estudos e planejamento destes planos de integração são necessárias ferramentas poderosas como SIG com o intuito de fazer uma análise geográfica global e obter resultados sob uma forma amigável e facilmente compreensível. A implementação dos planos de integração e a própria utilização e gestão da informação e ferramentas disponíveis leva a que sejam elaborados métodos para a obtenção e gestão dos resultados e sua utilização.

4.3 Outras experiências e aplicações

Schneider *et al.* (2001) avaliou o potencial da utilização da biomassa para a região Nordeste do Brasil, levando em consideração além dos aspectos edafoclimáticos e ocupação do solo, a densidade populacional e suas médias de crescimento.

Sordi *et al.* (2004) analisou o potencial técnico de produção de energia a partir dos resíduos produzidos pela avicultura de corte no Oeste do Paraná.

Ávila *et al.* (2002) avaliou áreas propícias para instalação de pequenas centrais hidrelétricas (PCH) na Bacia São Francisco, no município de São Desidério, no extremo oeste do estado da Bahia.

Zanbon *et al.* (2003) utilizou-se da tecnologia SIG para avaliar a viabilidade de instalações de novas termelétricas no estado de São Paulo.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O SIG é uma importante ferramenta para o desenvolvimento das energias renováveis no Brasil, haja vista as dimensões territoriais do país, aspectos culturais e diversidade de recursos naturais. O SIG permite que a informação seja tratada o mais próximo da realidade, oferecendo diversas alternativas e cenários do ponto de vista econômico, político, social e ambiental.

Os recursos do SIG, combinados com as energias renováveis, têm sido utilizados de forma modesta no Brasil em face ao potencial existente. As principais barreiras são: a difusão das tecnologias do uso de SIG, o acesso aos bancos de dados gerais no Brasil e a utilização de um padrão de metodologia que possa ser adotado por todos os setores envolvidos.

Sugere-se um projeto em escala nacional para formação de uma rede de intercâmbio e colaboração, que envolva todas as instituições e pesquisadores interessados no tema energias renováveis, a fazer uso de soluções em software-livre como o SRING desenvolvido pelo INPE.

Identificar as características físicas e o potencial das diferentes fontes de geração descentralizada de energia significa, antes de tudo, apontar as possibilidades de crescimento equilibrado de uma região. Para tal, é necessário conceber, construir e manter um sistema integrado de informações geográficas, que tenha por meta principal informar as características específicas das microrregiões com o intuito de incentivar investimentos e contribuir para o desenvolvimento sustentável da região.

REFERÊNCIAS

- Assad, E.D., Sano, E.E. 1998. *Sistemas de Informações Geográficas - Aplicações na Agricultura*. Brasília, EMBRAPA.
- Amador, J., Domínguez, J. 2005. Application of geographical information systems to rural electrification with renewable energy sources. *Renewable Energy*, vol. 30, pp.1897-1912.
- Ávila, C.J.C. P., Carvalho Júnior, O.A., Guimarães, R.F., Bentancurt, J.J.V. 2002. Uso de ferramentas SIG para inventário preliminar de potenciais remanescentes. In *anais do 4º Encontro de Energia no Meio Rural. AGRENER-2002*. Campinas-SP.
- Bermann, C. 2001. *Energia no Brasil: para quê? Para quem? Crise e alternativas para um país sustentável*, Livraria da Física.
- Burrough, P. A., McDonnell, R.A. 1998. *Principles of geographical information systems*, Oxford University Press.
- CEPEL – Centro de Pesquisas de Energia Elétrica, 2004. *Potencialidades de Utilização de Fontes Alternativas para o Atendimento de Energia Elétrica no Interior do Estado do Amazonas*. Relatório Técnico CEPEL DP/DEA – 32695/04, 49p., Rio de Janeiro.
- INPE - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. 2006. Disponível em <<http://www.dpi.inpe.br/spring>>
- Lopez, F.J.A. Lopez, R. Pinto A.L. 1997. Territorial competitiveness of stand alone photovoltaic systems versus grid electricity supply a method and study based on geographical information systems. *Solar Energy*. Vol 01. n 2. pp107-118.
- Medeiros, A.M., Menezes, P.C.P., Mattos, G., Bonatto, F., Damazio, J.M., Soares, D.F., Vieira, E.R., Dart, R. 2005. *Sistema de Informação Geográfica Para o Planejamento Energético e Ambiental dos Sistemas Isolados da Região Norte do Brasil*, XVIII Seminário Nacional de Produção e Transmissão de Energia Elétrica, Curitiba.
- MME – Ministério de Minas e Energia, 2004. *Programa Luz para Todos*. Disponível em <<http://www.mme.gov.br/luzparatodos>>
- Monteiro, C., Lopes, J., Rocha, B., et al. 1998. *Estudos de Integração de Energias Renováveis para a Produção Descentralizada de Eletricidade no Marajó*, Fórum Permanente de Energias Renováveis, Recife.
- PVGIS, 2006. Disponível em <<http://re.jrc.cec.eu.int/pvgis/pv/>>
- Schneider, L.C., Kinzig, A.P., Larson, E.D., Solórzano L.A. 2001. Method for spatially explicit calculations of potential biomass yields and assessment of land availability for biomass energy. *Agriculture, Ecosystems and Environment*. Vol 84 pp 207-226.
- Sordi, A. Souza, S.N.M., Magalhães, E.A. 2004. Estimativa do potencial de geração de energia elétrica proveniente do uso de resíduos da avicultura de corte na mesoregião do oeste do Paraná. *Energia na Agricultura*. Viçosa-MG. vol 12. n4. pp316-321.
- Sorensen, B., Meibom, P. 1999. GIS tools for renewable energy modeling. *Renewable Energy*. vol. 16. pp1262-1267

- Zambon, K.L., Carneiro, A.F.M., Silva, A.N.R., Negri, J.C.2003. Ferramenta de apoio de decisão na localização de usinas termoelétricas utilizando SIG. In anais do 17º Seminário Nacional de Produção e Transmissão de Energia Elétrica XVII SNPTEE. Uberlândia - MG
- Voivondantas, D. Assimacopoulos, D., Mourelatos, A., Corominas, J. 1998. Evaluation of renewable energy potential using a GIS decision support system. Renewable Energy, Vol. 13, No. 3, pp. 333-344.

GEOGRAPHICAL INFORMATION SYSTEMS APPLIED TO RENEWABLE ENERGY SOURCES

***Abstract.** The use of renewable energy sources in isolated households, avoiding the grid expansion, is considered viable in some cases due to economic criteria. Many aspects are considered: demand expands potential, distance of grid and appropriated technology. Each technology needs specifics analysis and demands handling databanks and projections. In Brazil ca. 12 millions people have no electric energy access; the universality electric energy programs works in a centralized way and usually regional specificities are not considered, and sometimes causes discredit to the programs. Geographical Information Systems (GIS) are tools that aim to join resource and energetic demands data about the places that will be analyzed, joining a framework of geographical information, and provides the results disposed in images. GIS allow safety and agility in taking decisions or even enhancing the results monitoring to on going programs. This paper brings an analysis of the state of art of this technology applied to renewable energy, identifies the potentials and suggests actions to apply in project and programs to renewable energy spread and uses.*

Key words: GIS, renewable energy, geoprocessing, energy planning.