

# SIGA-SOL 1.0—Descrição Geral e Metodologia

Chigueru Tiba, Naum Fraidenaich, Elielza Moura de Souza Barbosa, Ana Lúcia Bezerra Candeias, Pedro Bezerra de Carvalho Neto e José Bione de Melo Filho

**Resumo** – Este trabalho descreve o desenvolvimento de um sistema de gestão e planejamento elaborado sobre uma plataforma GIS (Geographic Information System) e destinados a tomadores de decisão sejam eles administradores, planejadores ou consultores em energia renováveis. Foi concebido para lidar com a gestão e planejamento de sistemas solar fotovoltaico, biomassa e eólico em regiões rurais do Nordeste do Brasil. O protótipo da ferramenta GIS cobre uma área de 183.500 km<sup>2</sup> e é constituído por três blocos principais: gestão dos sistemas renováveis instalados, planejamento de inserção de novos sistemas renováveis e atualização dos bancos de dados. O sistema foi desenvolvido principalmente para sistemas FV como uma possível ferramenta de suporte para gestão e planejamento do Programa de Desenvolvimento Energético dos Estados e Municípios (PRODEEM), um programa de inserção da energia solar fotovoltaica em larga escala, no meio rural, conduzido pelo Ministério de Minas e Energia do Brasil.

**Palavras-chave** – Energia Solar, Energia solar fotovoltaica, Planejamento e Gestão, PRODEEM, Sistema de Informação Geográfica.

## I. INTRODUÇÃO

### A. Identificação do Projeto

SIGA-SOL 1.0 é o produto do projeto de pesquisa e desenvolvimento intitulado: Elaboração de Modelo de Gestão por Geotecnologia para Sistemas Energéticos Rurais Utilizando Fontes Renováveis, aprovado pela ANEEL no ciclo 2001/2002 e codificado como 0048-027/2002. O suporte financeiro foi da Companhia Hidro-Elétrica do São Francisco, a entidade executora a Fundação para o Desenvolvimento da Universidade Federal de Pernambuco. A execução técnica coube ao Grupo de Pesquisas em Fontes Alternativas de Energia do Departamento de Energia Nuclear e ao Departamento de Cartografia da UFPE.

### B. PRODEEM

O Nordeste do Brasil, constituído por 8 estados, representa 18% da área total do país, é responsável por 16% da produção e tem uma população de 42.000.000 de pessoas

---

Este trabalho foi desenvolvido no âmbito do Programa de Pesquisa e Desenvolvimento Tecnológico do Setor de Energia Elétrica regulado pela ANEEL e consta dos Anais do V Congresso de Inovação Tecnológica em Energia Elétrica (V CITENEL), realizado em Belém/PA, no período de 22 a 24 de junho de 2009.

C. Tiba, N. Fraidenaich, E.M.S Barbosa e A.L. B. Candeias trabalham na Universidade Federal de Pernambuco (e-mails: tiba@ufpe.br, naumf@uol.com.br, elimsb@hotmail.com e analucia@ufpe.br)

P. B. de Carvalho Neto e J. B. de Melo Filho trabalham na Companhia Hidro-Elétrica do São Francisco (e-mails: pbezerra@chesf.gov.br e jbonef@chesf.gov.br)

(28%). Aproximadamente metade da sua área, 760.000 km<sup>2</sup>, é semi-árida onde vivem 17.000.000 de pessoas. O clima dessa região é quente e seco, com uma temperatura média anual de 27 °C e com 2500 h/ano de insolação em média. A precipitação anual varia de 400 a 80 mm, contrastando com uma evapo-transpiração de 2500 mm/ano, o que determina um período seco de mais de 7 meses. A vegetação que cobre a região semi-árida é uma floresta tropical decídua localmente conhecida como caatinga, que se desenvolve sobre um complexo mosaico de solos, figura 1. Alto nível de insolação, recursos hídricos escassos e raras chuvas, pobremente distribuídas no tempo, causam longos períodos de seca. Assim, a relativa escassez de mananciais hídricos de superfície, no semi-árido do Nordeste, tem posto em evidência a importância das águas subterrâneas. A exploração destas águas se acha limitada pela natureza dos seus terrenos, predominantemente cristalinos, pela vazão relativamente baixa (média de 3000 l/h) e principalmente pela qualidade. A grande maioria dos poços apresentam índices de salinidade superiores ao limite máximo permitido para o consumo humano, de 1000 ppm de sólidos totais dissolvidos e em muitos casos acima de 6000 ppm, limite extremo de salinidade d'água para o consumo animal. Outro fator agravante que dificulta a solução do problema de abastecimento de água é o baixo índice relativo de eletrificação rural no Nordeste.

Para enfrentar esse tipo de desafio, o governo federal estabeleceu o PRODEEM – Programa de Desenvolvimento Energético de Estados e Municípios através de um decreto Presidencial de dezembro de 1994, com os seguintes objetivos:

- Viabilizar a instalação de microsistemas energéticos de produção e uso locais, em comunidades carentes isoladas não servidas por rede elétrica, destinados a apoiar o atendimento as demandas sociais básicas;
- Promover o aproveitamento das fontes de energias descentralizadas no suprimento de energéticos aos pequenos produtores, aos núcleos de colonização e as populações isoladas;
- Complementar a oferta de energia dos sistemas convencionais com a utilização de fontes de energia renováveis descentralizadas;

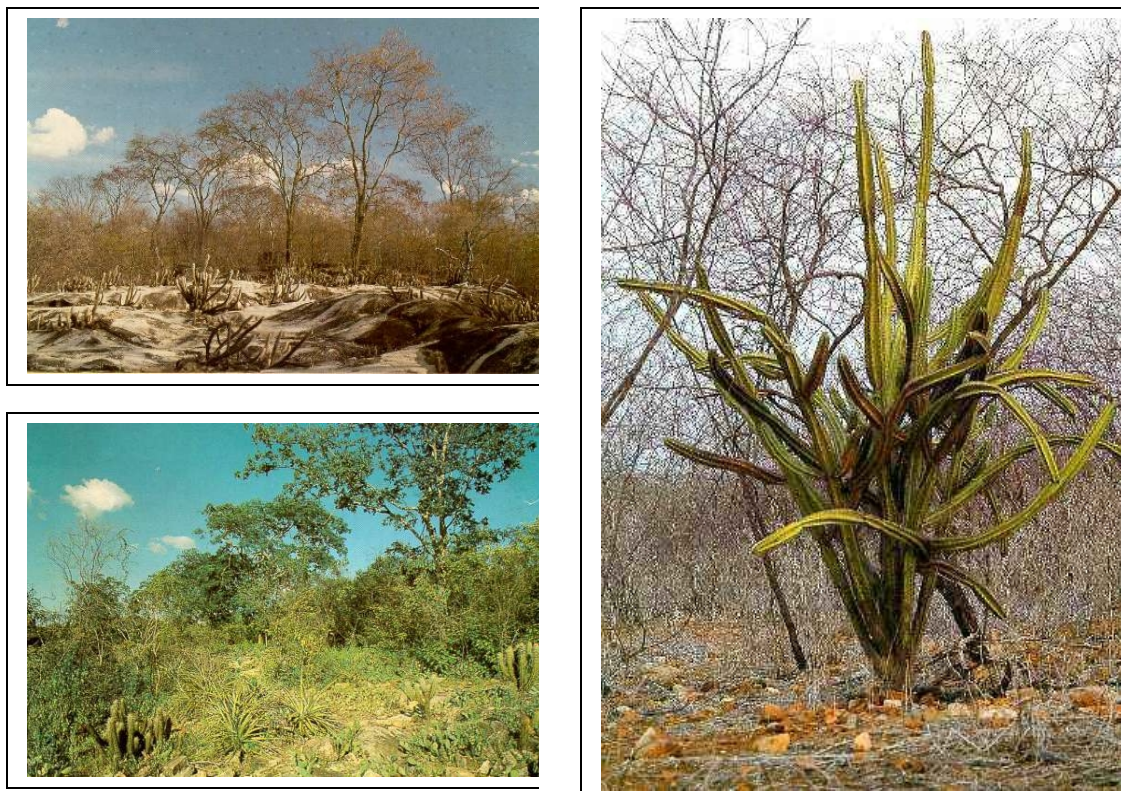


Figura 1. Caatinga em épocas seca e chuvosa e detalhes da vegetação

- Promover a capacitação de recursos humanos e o desenvolvimento da tecnologia e da indústria nacional, imprescindíveis a implantação e a continuidade operacional dos sistemas implantados.

Desde o ano de 1996 o PRODEEM já comprou e instalou milhares de sistemas fotovoltaicos espalhados pelo território nacional. Nas Fases denominadas I a V e uma especial denominada Bombeamento três tipos de sistemas fotovoltaicos autônomos foram instalados: sistemas fotovoltaicos de geração de energia elétrica (energético), sistemas fotovoltaicos para bombeamento de água e para iluminação pública. Os sistemas foram destinados unicamente para aplicações comunitárias, o que significa que devem beneficiar a qualidade de vida das comunidades como um todo, e não particularmente a apenas alguns indivíduos. O total de potência instalada dos módulos fotovoltaicos envolvidos nesse programa compreende 8956 sistemas com uma potência total de 5,2 MWe e pode ser considerado com um dos maiores programas de eletrificação rural utilizando energia solar fotovoltaica nos países em desenvolvimento. A maior parte dos sistemas fotovoltaicos foi instalado nas regiões Norte e Nordeste respectivamente 1471 e 4577 sistemas. Na região alvo deste projeto, AL, PE e PB foram instalados 905 sistemas, conforme o Atlas de Energia Elétrica do MME. A figura 2 mostra o assentamento de sem terras denominado de Gualter, no município de Canindé do São Francisco em Alagoas, após a construção do sistema de abastecimento de água todas supri-

das por energia solar fotovoltaica: o sistema de abastecimento de água, a lavanderia coletiva e o bebedouro de animais.

As figuras 3 e 4 mostram algumas outras aplicações produtivas e comunitárias com energia solar fotovoltaica: escola, iluminação pública, cerca elétrica e sistema de bombeamento de água flutuante.

Experiências acumuladas pelo PRODEEM nestes últimos dez anos mostraram os enormes desafios da gestão, planejamento, treinamento e sociológico da implantação em larga escala e em largas extensões territoriais de uma tecnologia inovadora e descentralizada como a geração fotovoltaica. As ferramentas tradicionais demonstraram as suas limitações e tornaram muito difíceis a execução de tais tarefas.

### C. O que é SIG e por que?

O SIG (Sistema de Informação Geográfica) é uma ferramenta para tratamento computacional de dados geográficos e seus bancos associados. Ele pode ser visto como um sistema de suporte à decisão que integra dados referenciados espacialmente em um ambiente de respostas a problemas. Um SIG agrupa, unifica e integra informações. Com isto torna estas informações disponíveis de forma mais acessível, e coloca as informações antigas em um novo contexto. Neste projeto, o SIG é utilizado como uma ferramenta que permite a integração e o processamento de informações oriundas de diversas fontes. A partir daí é possível utilizá-lo na elaboração de estratégias de implantação e gestão de programas de eletrificação rural supondo fontes renováveis de energia.



O SIG é uma ferramenta valiosa para a avaliação e desenvolvimento da utilização de recursos energéticos renováveis em regiões extensas por que é uma ferramenta especial-

mente adequada para analisar as variabilidades espaciais do recurso em si assim como também para resolver problemas de gestão e planejamento de programa de instalação de sis-

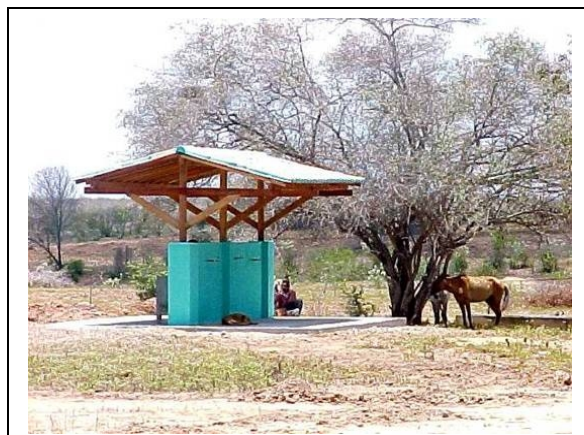


Figura 2. Assentamento de sem terras denominado de Gualter, no município de Canindé do São Francisco em Alagoas, após a construção do sistema de abastecimento de água



Figura 3. Aplicações produtivas com energia solar fotovoltaica: cerca elétrica e sistema de telefonia rural e iluminação pública.



Fig.ura 4. Aplicações comunitárias da energia solar fotovoltaica: escola e bombeamento de água com sistema flutuante..

temas descentralizados, caracterizados por uma grande dispersão espacial.

O recurso solar potencial é fortemente influenciada pela altitude, latitude e condições fitogeográficas; o recurso eólico pela rugosidade e topografia do terreno e finalmente a biomassa pela aptidão do solo e condições pluviométricas.

Por sua vez a gestão e o planejamento de sistemas de energias renováveis é uma tarefa que necessita além do conhecimento do recurso energético o conhecimento do centro de assistência técnica mais próximo, o diagnóstico das falhas mais frequentes, informações sobre as visitas técnicas preventivas e corretivas e descrição dos sistemas instalados, a proximidade a linhas de transmissão elétrica, da demanda energética, das leis que regem o uso da terra, dos índices de desenvolvimento humano e de não eletrificação elétrica, e ferramentas para o dimensionamento do tamanho dos sistemas para o local dada uma demanda, entre outras. Todas essas interrelações podem ser captadas, rapidamente quantificadas e visualizadas espacialmente pela capacidade de manejo intrínseco de um sistema SIG.

#### D. SIG e Energias Renováveis

A utilização do SIG em fontes renováveis de energia iniciada na década de 90 sofreu consideráveis progressos nessa década e como resultado várias ferramentas de suporte a decisão foram desenvolvidas [1]. As aplicações SIG desenvolvidas podem ser classificadas em três grupos: SIG como ferramenta de suporte a decisão para integração de energias renováveis em grande escala e nível regional, SIG para avaliação de geração distribuída e conectada a rede elétrica e SIG para sistema de produção descentralizada e autônoma de eletricidade.

As ferramentas SIG de suporte a decisão para integração de energias renováveis em grande escala e nível regional (Comunidade Européia) propunham a analisar: avaliação do potencial das energias renováveis (solar, eólica, biomassa e minihidráulica), sua participação em relação a energia primária regional e a redução potencial de emissão de CO<sub>2</sub> [2]; avaliação do potencial das energias renováveis e econômica para identificar regiões da Comunidade Européia onde os re-

ursos renováveis fossem competitivos com um determinado risco [3]; avaliação do potencial das energias renováveis, calcular o uso final na região e de acordo com o cenário de inserção de uma dada fonte renovável faz o seu dimensionamento e os seus impactos econômicos [4].

Os SIG para avaliação de geração distribuída, conectada a rede elétrica consideram as seguintes fontes energéticas renováveis: eólica, biomassa e solar. A maioria das aplicações SIG para energia eólica trata da localização ótima das centrais eólicas considerando o potencial do recurso, as infra-estruturas de acessos e linhas de transmissão e restrições ambientais e de uso de solos [5-7] adicionalmente [8] considera as plataformas petrolíferas, rotas de navios e linhas submarinas para estudo de localização ótima de sistemas eólicos na plataforma submarina (offshore). A referência [9] desenvolveu um estudo do uso da energia solar fotovoltaica instalada em tetos de residências nos EUA utilizando SIG. O projeto incluía uma resolução em nível de município e considerava as seguintes variáveis: irradiação solar, preço médio da eletricidade e distribuição espacial da população. Uma característica peculiar do aproveitamento da biomassa é a necessidade de transportar do seu local de corte para uma central transformadora, o que torna a proximidade geográfica da oferta determinante para o custo final da energia elétrica gerada. Na referência [10] foi desenvolvido um SIG para o Vale do Tennessee, EUA que consideram as seguintes variáveis: as características de pontos de oferta da biomassa, pontos de demandas e custos dos transportes, características técnicas das usinas, resíduos florestais ou florestas cultivadas, rede viária e limites administrativos. Voivontas [11] desenvolveu um trabalho na ilha de Creta sobre o potencial da biomassa para geração de energia elétrica. Trata-se da combinação de avaliação dos recursos (teórico e/ou disponível), o custo do transporte, a identificação dos locais ótimos para o cultivo da biomassa e a definição do tamanho da usina para determinar a sua competitividade econômica perante as fontes convencionais. Um modelo similar foi desenvolvido na Espanha [12].

SOLARGIS [13] é um SIG para eletrificação rural com fontes renováveis de energia. Ele é um paradigma de ferra-



menta GIS para este propósito tanto pela sua completeza, difusão relativamente ampla do seu uso como também pelas atualizações e aperfeiçoamentos posteriores. Os objetivos principais do seu desenvolvimento foram: a demonstração do valor da metodologia SIG para o desenvolvimento da implantação de fontes renováveis para eletrificação rural, demonstração da sua aplicabilidade em algumas regiões alvo e a construção propriamente de uma ferramenta SIG para análise do potencial de fontes renováveis [1]. A metodologia SOLARGIS pretendia obter a melhor opção de eletrificação rural, em locais isolados utilizando sistemas renováveis ou não, sendo usuário individual ou usuários conectados a uma mini-rede local. A residência isolada poderia ser eletrificada com sistemas FV, eólico, gerador a gasolina, grupo diesel ou interligada a rede. A mini-rede poderia ser suprida por grupo diesel, sistema híbrido eólico-diesel ou interligada a rede. As regiões de alto potencial são determinadas através de com-

paração de custos equivalentes de eletrificação dos sistemas energéticos considerados. Para este cálculo, com resolução de 1 km<sup>2</sup> são usadas as seguintes informações: densidade habitacional, irradiação global média anual sobre o plano coletor, velocidade média anual do vento e distância da residência a rede de energia elétrica. SOLARGIS foi aplicado em Tunis (Tunísia), Kairouan (Tunísia), Marrocos, Sicília (Itália), Andaluzia (Espanha), Murcia (Espanha), Creta (Grécia), Ilha de Santiago (Cabo Verde), Pará (Brasil) e Karnataka (Índia). A figura 5 mostra o menu principal e o resultado da competitividade econômica das diversas fontes energéticas para a eletrificação de uma região da Tunísia.

NREL [14] é uma ferramenta SIG acessível via web que permite visualizar a irradiação solar diária, média mensal com resolução espacial de 40 km x 40 km (baixa) e alta resolu-

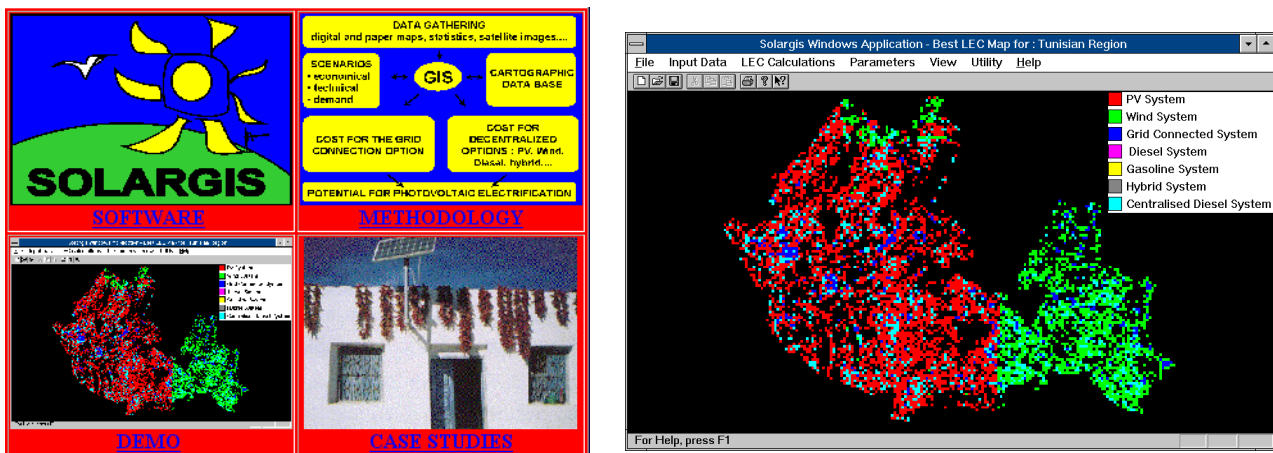


Figura 5. Menu principal do SOLARGIS e mapa de competitividade das diversas fontes energéticas para a eletrificação de uma região da Tunísia.

ção, 10 km x 10 km, para um plano coletor olhando o sul e com inclinação em relação a horizontal igual a latitude ou a irradiação solar direta normal. Da mesma forma produz estimativas da energia eólica em bases anuais, para baixa resolução (1/3 a 1/4 de grau) e alta resolução tamanho de célula de 200-1000m. Adicionalmente a ferramenta inclui a estimativa do potencial da biomassa derivada das diferentes fontes (resíduos agrícolas, lixo, resíduos florestais e florestas plantadas, entre outras).

RENEWABLE ENERGY ATLAS OF THE WEST [15] é uma ferramenta SIG acessível via web que sintetiza os dados e mapas sobre energias renováveis para onze estados americanos situados no oeste americano: Arizona, Califórnia, Colorado, Idaho, Montana, Nevada, New México, Oregon, Utah, Washington e Wyoming. Em nível regional (Oeste americano) o Atlas mostra os recursos solar, eólico, biomassa e geotérmica, o mix atual de suprimento de eletricidade, os sistemas de energias renováveis instalados e informações de políticas públicas de estímulo ao uso de energias renováveis. Também são apresentados a capacidade atual das linhas

de transmissão, uma estimativa do crescimento da carga na região, aspectos do uso do solo e impactos ambientais. Em outras seções o Atlas faz o detalhamento dessas informações em nível de estados. A figura 6 mostra alguns aspectos considerados neste Atlas, como o potencial do recurso solar e da biomassa, os sistemas renováveis instalados e a questão do uso do solo.

PV-GIS [16] é uma aplicação SIG disponibilizada em tempo real em WEB para cálculo do potencial da energia solar fotovoltaica na Europa. O usuário pode navegar sobre mapas de irradiação solar e obter a irradiância solar incidente sobre um módulo fotovoltaico posicionado com diferentes inclinações. A segunda aplicação permite a obtenção do perfil diário médio mensal para um dado mês e diferentes orientações e inclinações do módulo. Finalmente a terceira aplicação calcula a energia elétrica fotovoltaica para uma dada configuração do sistema FV e permite determinar a inclinação e orientação ótima para um sistema FV localizado em um dado lugar.

## II. DESCRIÇÃO GERAL DO PROJETO

### A. Abrangência Territorial

O protótipo da ferramenta GIS desenvolvido cobre uma área de 183.500 km<sup>2</sup> e corresponde a área somada dos estados de Alagoas, Pernambuco e Paraíba. Em uma segunda fase será estendida para 1.561.178 km<sup>2</sup> correspondente a área total da região Nordeste.

### B. Modalidade

A totalidade das ferramentas SIG desenvolvidas e descritas anteriormente em 1.3 tem como foco principal o planejamento da inserção de fontes renováveis e não trata dos problemas de gestão de um programa de inserção de energias renováveis em larga escala espacial como o PRODEEM – Programa de Desenvolvimento Energético de Estados e Municípios.

O SIGA-SOL (Sistema de Informação Geográfica Aplicado a Energia Solar) é uma metodologia baseada em SIG para gestão e planejamento de programa de inserção de fontes renováveis de energia. O SIGA-SOL tem a capacidade de realizar análises macro-espacial (em nível de estado) e local (município) tanto para gestão com também para o planejamento da inserção de sistemas energéticos renováveis, conforme pode ser visto na figura 7.

### C. Fontes Energéticas

As fontes energéticas consideradas neste projeto foram solar, eólica e biomassa. Estas fontes energéticas renováveis são abundantes na região, adequadas à geração distribuída e impacta tanto na qualidade de vida como também na geração de rendas e empregos na região, particularmente no caso da mamona com a inserção da agricultura familiar na cadeia produtiva do biodiesel.

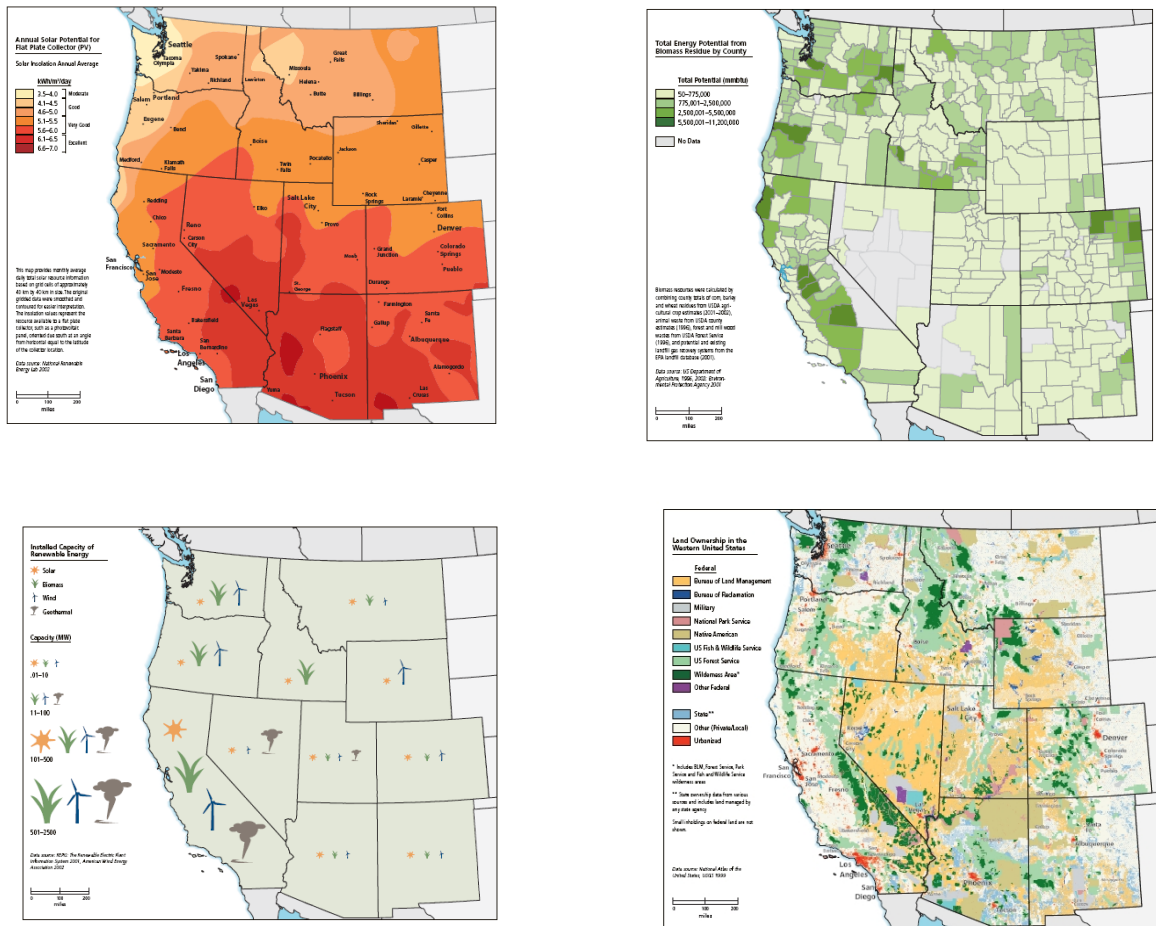


Figura 6. Potencial do recurso solar e da biomassa, os sistemas renováveis instalados e a questão do uso do solo.

## III. METODOLOGIA

O desenvolvimento da metodologia do SIGA-SOL incluiu diversas etapas que podem ser vistas esquematicamente na figura 8 onde é mostrado o fluxograma do desenvolvimento

do módulo SIG PLANEJAMENTO. As grandes etapas do desenvolvimento do módulo de planejamento da inserção de energias renováveis podem ser vistas da esquerda para direita e representam:

- Coleta de dados brutos sobre recursos energéticos renováveis, infra-estruturais, sócios econômicos, demográficos, índices de não-eletrificação, aptidão para determinadas culturas, sistemas energéticos renováveis instalados, poços existentes, entre outros;
- Elaboração de um banco de dados geográficos padronizado, isto é, com dados uniformizados e referenciados;
- Elaboração de banco de dados com dimensionamento de sistemas FV energéticos e para bombeamento de água; estimativa de eletricidade gerada por bagaço de cana; estimativa de eletricidade gerada pelo vento e aptidão climática para culturas de biomassa;
- Criação de um sistema que permite cruzar informações segundo regras ditadas por res-

trições geográficas, técnicas, sociais ou administrativas. O cruzamento é uma filtragem geográfica que permite uma resposta de uma dada indagação do usuário e

- Finalmente é feito o estudo dos melhores locais para inserção de uma determinada tecnologia energética renovável conforme alguns critérios pré-estabelecidos pelo usuário.

O módulo GESTÃO tem a mesma estrutura do módulo PLANEJAMENTO, porém, com diferentes bases de dados geográficos e dos resultados. O banco de dados geográficos nesse caso contém informações detalhadas sobre os sistemas FV instalados pelo PRODEEM Fases I a V e Emergencial cujos campos são definidos no Relatório Técnico de Revitalização de Sistemas Energéticos e Informações sobre a Disponibilidade de Recursos Energéticos. Os resultados permitem a identificação de tipos de equipamentos, tipos de bene-

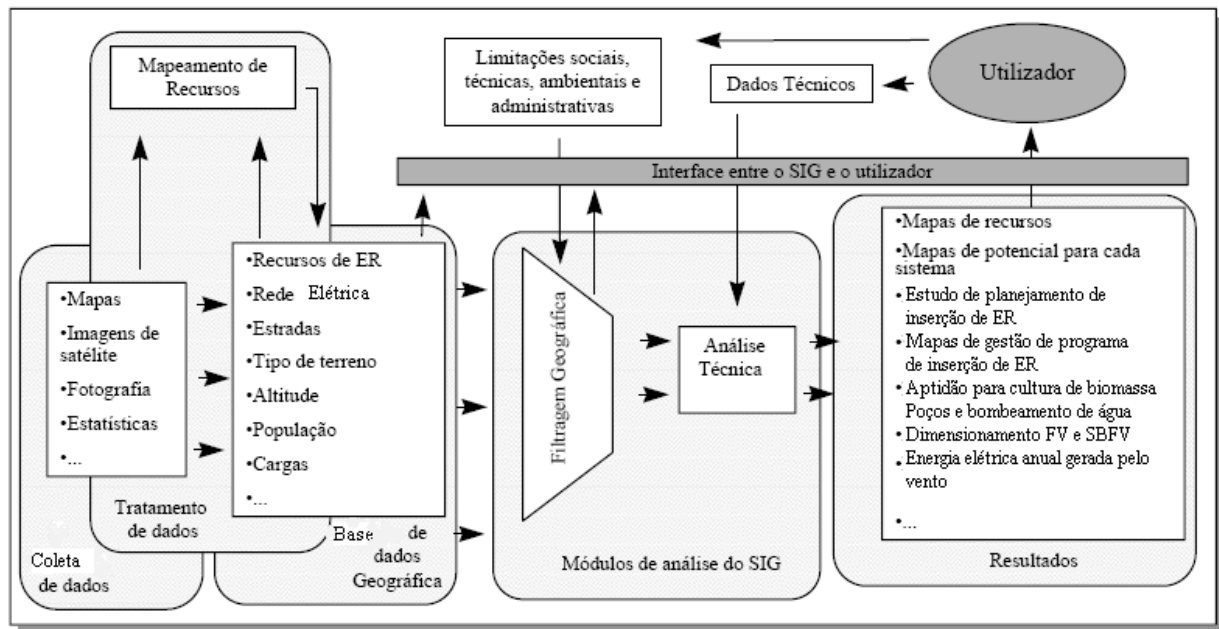


Figura 8. Fluxograma do desenvolvimento do projeto

fícios, fase de instalação, mau funcionamento, distância do centro de manutenção mais próximo, entre outros.

#### IV. BANCO DE DADOS DO SIG

As seguintes informações foram coletadas e identificadas e analisadas: potencial de recurso solar, eólico e biomassa, informações sócios econômicas, cartas geográficas, dados de infra-estruturas (estradas, rede elétrica, entre outros), recursos hídricos (poços subterrâneos), aptidão climática e de solos, núcleos passíveis de se tornarem centro de treinamento e assistência técnica (escolas técnicas, agrícolas, universidades) e finalmente o mapeamento das instalações solares existentes. As principais fontes de informações em cada categoria estão comentadas, embora nem todas tenham sido utiliza-

das. Os dados utilizados onde possível foram migrados automaticamente, caso contrário digitados e convertidos em banco de dados ACCESS.

##### A. Potencial do Recurso Solar

As informações de referência sobre o tema estão contidas basicamente em 02(dois) Atlas de Irradiação solar publicados no Brasil em anos recentes:

- Atlas Solarimétrico do Brasil – Grupo FAE/DEN/UFPE; CRESESB-CEPEL; CHESF-ELETOBRAS – ISBN – 85-7315-188-9 [17]

- Atlas de Irradiação Solar do Brasil – INMET/LABSOLAR-UFSC [18]

O Atlas Solarimétrico do Brasil é um instrumento dedicado ao conhecimento e exploração do recurso solar no Brasil. Pretende-se, que seja uma ferramenta que outorgue confiabilidade aos projetos de sistemas solares, seja disponibilizando as informações mediante um extenso Banco de dados interativo (com mais de 500 estações localizadas no Brasil e nas regiões limítrofes dos países vizinhos), como também pela inclusão de um moderno instrumento de cálculo da radiação solar incidente em planos com diferentes inclinações ou com acompanhamento do Sol em 1 ou 2 eixos. A distribuição espacial da radiação solar diária, média mensal e anual incidente, sobre o Brasil é apresentada em 13 mapas coloridos, juntamente com os procedimentos metodológicos utilizados para a harmonização das informações e elaboração dos mapas.

O Atlas de Irradiação Solar do Brasil é uma edição conjunta do Instituto Nacional de Meteorologia, órgão do Ministério da Agricultura e do Abastecimento e do Laboratório de Energia Solar do Departamento de Engenharia Mecânica da Universidade Federal de Santa Catarina. Trata-se da consolidação de dados sobre a irradiação solar diária, média mensal para o Brasil, apresentados em mapas e gráficos a fim de municiar estudos sobre energia solar e dermatologia, entre outras finalidades. É baseado em interpretação de imagens de satélites aferidos por algumas estações terrestres de alta qualidade.

### B. Potencial do Eólico

As informações de referência sobre o tema estão contidas basicamente em 02(dois) Atlas Eólicos publicados no Brasil em anos recentes:

- Atlas do Potencial Eólico Brasileiro – Carmargo Schubert; True Wind Solutions; CRESEB/CEPEL/ELETOBRAS [19]
- Wind Atlas for the Northeast Region of Brazil (WANEB 1.0, 1998) [20]

O Atlas do Potencial Eólico Brasileiro tem abrangência nacional e o seu objetivo básico é fornecer informações para os tomadores de decisão na identificação de áreas mais promissoras para o aproveitamento eólico-elétrico. O Atlas apresenta mapas temáticos que representam os regimes médios (bimensais) de vento (velocidade, direções predominantes e parâmetros estatísticos de Weibull) e fluxos de potência eólica na altura de 50 m, na resolução de 1 km x 1 km, para todo o Brasil.

O Wind Atlas for Northeast of Brazil – WANEB 1.0 – descreve e mapeia o recurso eólico para o Nordeste do Brasil e objetiva a ser um instrumento que permita realizar a análise de locação e a locação propriamente para turbinas eólicas. O WANEB 1.0 embora tenha uma cobertura espacial muito menor que o Atlas Eólico Brasileiro tem informa-

ções bem mais detalhadas o que permite uma avaliação mais precisa da produção de uma turbina eólica.

### C. Potencial da Biomassa

As principais referências sobre o assunto sejam, pela abrangência, detalhamento e completeza estão contidas basicamente em 02 (dois) CD ROM publicados no Brasil em anos recentes:

- Zoneamento da Aptidão Florestal do Nordeste do Brasil – ZAF-NE- CHESF/GeoSoluções [21]
- Zoneamento Agroecológico do Nordeste do Brasil - Diagnóstico e Prognóstico – EMBRAPA/SOLOS – ISSN 1517-5219 [22]

O Zoneamento da aptidão florestal do Nordeste do Brasil – ZAF-NE é uma ferramenta GIS que possibilita a correlação e a interação entre um banco de dados contendo as características edáficas, climáticas e cadastrais dos solos do Nordeste e; diversos outros mapas da Região (divisões administrativas, estradas e rodovias, rede elétrica, principais cidades, bacias hidrográficas, etc.), constituindo-se numa ferramenta de planejamento extremamente poderosa. O ZAF-NE permite planejar uma floresta energética cruzando dados do clima e dos solos do Nordeste, com informações acerca das espécies florestais com maior probabilidade de adaptação à região e resultar uma primeira avaliação do potencial de produção de energia elétrica a partir de madeira.

O Zoneamento Agro ecológico do Nordeste do Brasil denominado de ZANE DIGITAL é uma ferramenta SIG que abrange a região Nordeste do Brasil além da parte do Norte de Minas Gerais (incluída no polígono das secas) e tem como meta caracterizar e analisar espacialmente os diversos ambientes, em função da diversidade dos recursos naturais e socioeconômicos, em substituição a divisão tradicionalmente adotada, baseada principalmente na estrutura fisiográfica regional. Essa nova abordagem dividiu a Região em 20 grandes Unidades de Paisagem, que agrupam 172 Unidades Geoambientais. Foi identificada também uma segunda ferramenta muito mais detalhada e específica do que o ZANE para o estado de Pernambuco denominado ZAPE DIGITAL [23].

### D. Recurso Hídrico

Do ponto de vista de interesse desse projeto aos recursos hídricos são os recursos hídricos subterrâneos, ou seja, poços. O Serviço Geológico do Brasil dispõe, desde 1997, do Sistema de Informações de Águas Subterrâneas –SIAGAS [23]. Um levantamento específico e atual para o Nordeste do Brasil foi realizado pelo CPRM em parceria com PRODE-EM-MME e merece destaque. Trata-se do Cadastro da Infra-Estrutura Hídrica do Nordeste [24] que cuja ênfase é para as fontes de abastecimento por água subterrânea localizadas no semi-árido do Nordeste que engloba os estados do Piauí, Ceará, Rio Grande do Norte, Paraíba, Pernambuco, Alagoas, Sergipe, Bahia e norte de Minas Gerais e Espírito Santo.



Embora com múltiplas finalidades, este Projeto visa atender diretamente as necessidades do PRODEEM no que se refere à indicação de poços tubulares com condições de receber sistemas de bombeamento por energia solar.

### E. Informações Geográficas e Sócio-econômicas

As informações geográficas (mapas políticos e físicos), sócio-econômicas e demográficas utilizadas neste projeto são do IBGE [26-35].

### F. Infra-estruturas

O mapeamento da rede elétrica na região Nordeste do Brasil foi o elaborado pela CHESF [36] em escala 1:2.000.000 com projeções futuras até 2007. É um mapa com locação de usinas geradoras, subestações transformadoras e linhas transmissora de 34,5 a 500 kV, além da base cartográfica que compreende: rios, represas, vias rodoviárias e ferroviárias, aeroportos e portos, Cidades, vilas e povoados.

### G. Instalações FV Existentes

As informações das Fases I a V e da Fase Emergencial de bombeamento de água FV dos sistemas FV instalados pelo PRODEEM [37-40] foram introduzidos em um banco de dados cujos campos foram definidos pelos formulários da Fase de Revitalização do PRODEEM e conhecidos como:

- Módulo I – Perfil sócio econômico e energético
- Módulo II – Informações sobre o sistema FV

### H. Núcleos de Treinamento

Os possíveis núcleos de treinamento (virtuais, pois ainda não existem) foram escolhidos nas localidades onde existam Universidades, CEFETs, Escolas Técnicas ou Agrícolas, ou escolas de segundo grau de referência, sejam públicas ou privadas. Adicionalmente preocupou-se com uma distribuição espacial adequada. A listagem de todas as universidades e escolas técnicas (particulares ou públicas) pode ser encontrada no portal do MEC.

## V. AGRADECIMENTOS

Agradecemos ao Conselho Nacional de Pesquisa (CNPq), Centrais Elétricas Brasileiras S.A. (ELETROBRAS), Companhia Hidro Elétrica do São Francisco (CHESF) e Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pelo apoio aos projetos de pesquisas em energia solar que propiciaram meios materiais e ambiente científico para a realização dessa pesquisa.

## VI. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] J. D. Bravo, (2002) Los sistemas de información geográfica em la planificación e integración de energías renovables, ISBN 84-7834-434-9, Editorial CIEMAT, Madrid, España
- [2] D. Bourges, (1996) A geographical information system for large scale integration of renewable energies into regional energy markets, Renewable Energy Development European Conference and APAS-RENA Contractors Meeting, EDIFIR, Florencia.
- [3] A. Rialhe, (1996) Epure project: economical potential use of renewable energy, Renewable Energy Development European Conference and APAS-RENA Contractors Meeting, EDIFIR, Florencia.
- [4] D. Diakoulaki, (1996) Implementing large scale integration of renewable a pilot study for operational plans and policies (REPLAN), 107-115.
- [5] D. Voivontas, D. Assimacopoulos, and A. Mourelatos, (1998) Evaluation of renewable energy potential using a GIS decision support system, Renewable energy, Vol. 13, No. 3, 333-344.
- [6] C. Petit, (1995) Winds of change. GIS helps site wind farms in France. GIS Europe, Godmanchester (Huntington), GeoTec media, pags. XVII-XVIII.
- [7] S. M. J. Baban, and T. Parry, (2001) Developing and applying a GIS-assisted approach to locating wind farms in the UK, Renewable Energy, Vol. 24, No. 1, 59-71.
- [8] H. Matthies, (1994) An assessment of the offshore wind potential in the EC, EWEC94, Greece, 111-115.
- [9] C. H. Marnay, (1997) Estimating the environmental and economics effects of widespread residential PV adoption using GIS and NEMS, Ernest Lawrence Berkeley National Laboratory, University of California, EEUU Report, LBNL-41030, UC-1321.
- [10] C. H. Noon, and M. J. Daly, (1996) GIS-based biomass resource assessment with BRAVO, Biomass and Bioenergy, Vol. 10, No. 2-3, 101-109.
- [11] D. Voivontas, (2001) Assessment of biomass potential for power production: a GIS based method, Biomass and Bioenergy, Vol. 20, 101-112.
- [12] IBERINCO (1998) Oportunidades para la production de energia a partir de biomasa en La Rioja (España) y La Toscana (Italia), ALTENER pilot projects, Contract No. XVII/4, 1030/Z/98-214.
- [13] SOLARGIS TEAM (1996) Solargis handbook, Comision Europea, Direccion General XII, Bruselas.
- [14] NREL (2007), Dynamic maps, GIS data and analysis tools, [www.nrel.gov/gis/maps](http://www.nrel.gov/gis/maps), Acesso em abril -2007.
- [15] RENEWABLE ENERGY ATLAS OF THE WEST (2007), [www.energyatlas.org](http://www.energyatlas.org), Acesso em abril -2007.
- [16] M. Suri, T. A. Huld, and E. D. Dunlop, (2005) PV-GIS: a web-based solar radiation database for the calculation of PV potential in Europe, International Journal of Sustainable Energy, Vol. 24, No. 2, 55-67.
- [17] C. Tiba, N. Fraidenraich, F. J. M. Lyra, A. M. B. Nogueira e H. G. Grossi (2003) Atlas solarimétrico do Brasil, CD ROM, ISBN 85-7315-188-9, MME-ELETROBRAS-CEPEL-CHESF.
- [18] INMET (1998) Atlas de irradiação solar do Brasil, INMET-LABSO-LAR.
- [19] O. C. Amarante, M. Brower, J. Zack, and A. Leite de Sá, (2001) Atlas do potencial eólico brasileiro, MME -ELETROBRAS-CEPEL.
- [20] WANEB (1998) Wind ATLAS FOR THE Northeast region of Brazil, em CD ROM, ANEEL-CBEE, Recife, Pernambuco.
- [21] ZAF-NE (2002) Zoneamento da aptidão florestal do Nordeste do Brasil: Sistema de Informações Geográficas, Contrato AS-I-92.2001.4620.00, Diretoria de Engenharia de Construção, CHESF.
- [22] ZANE (2001) Zoneamento agroecológico de Pernambuco, ISSN 1517-5219, EMBRAPA-SOLOS e EMBRAPA SEMI-ÁRIDO.
- [23] ZAPE - Zoneamento Agroecológico do Estado de Pernambuco/Fernando Barreto Rodrigues e Silva ...[et al.]. Recife: Embrapa Solos - Unidade de Execução de Pesquisa e Desenvolvimento - UEP Recife; Governo do Estado de Pernambuco (Secretaria de Produção Rural e Reforma Agrária), 2001. CD-ROM.- (Embrapa Solos. Documentos; no. 35).
- [26] IBGE (2003) Atlas do censo demográfico 2000.
- [27] IBGE (2003) Base cartográfica integrada digital do Brasil ao milionésimo, ISBN 85-240-3693-1.
- [28] IBGE (2003) Cartograma municipal dos setores censitários, AL, BA, PB, PE e SE.
- [29] IBGE (2003) Malha de setor censitário rural digital do Brasil.

- [30] IBGE (2003) Malha do setor censitário rural digital do Brasil: em 2000, Vol. 33, CD ROM.
- [31] IBGE (2004) Atlas de Saneamento, ISBN 85-240-3166-2, CD ROM.
- [32] IBGE (2004) Indicadores de desenvolvimento sustentável, ISBN 85-240-3727-X.
- [33] IBGE (2005) Perfil dos municípios brasileiros, ISBN 85-240-3808-X.
- [34] IBGE (2005) Produção agrícola municipal: cereais, leguminosas e oleaginosas, CD ROM.
- [35] IBGE (2005) Síntese de indicadores sociais, ISBN 85-240-3796-2.
- [38] PRODEEM (1998) PRODEM- Fase bombeamento FV Emergencial ,1998-2000
- [36] CHESF (2000) Mapa do Sistema Elétrico – Região Nordeste
- [37] CHESF (2004) Plano de Revitalização e capacitação PRC- PRODEEM, Sistemas Instalados.
- [39] PRODEEM (2003) Relatório Técnico Aferição dos sistemas na Fase V do PRODEEM, MME/PNUD, INSTITUTO XINGÓ.
- [40] SCTMA-PE (1994) Programa Eldorado – Rel. Técnico