

SIGA-SOL 1.0 – Funcionalidades

Chigueru Tíba, 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 as funcionalidades do SIGA SOL 1.0 – Sistema de Informação Geográfica Aplicada à Energia Solar. O protótipo da ferramenta GIS é constituído por três blocos principais: gestão dos sistemas renováveis instalados, planeamento de inserção de novos sistemas renováveis e atualização dos bancos de dados. O SIGA-SOL 1.0 tem no total 80 camadas de informações que permitem realizar análises espaciais sobre a gestão e planeamento com fontes renováveis de energia a nível macro-espacial (estado) e local (município). O sistema foi desenvolvido particularmente para sistemas FV como uma possível ferramenta de suporte para gestão e planeamento 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 – Sistema de Informação Geográfica, Planeamento e Gestão, Energia solar fotovoltaica, PRODEEM, Funcionalidades

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.

II. DESCRIÇÃO DO SIGA-SOL 1.0

A. Menu Principal

O SIGA SOL 1.0 é constituído de três blocos principais: Gestão, Planeamento e Atualização do banco de dados, con-

forme pode ser visto na figura 1. A gestão e o planeamento ocorrem em dois níveis: macro-espacial (estadual) e local (municipal). A atualização do banco de dados pode ser feita com a retificação, exclusão ou inserção de informações ao banco de dados associado aos sistemas energéticos já instalados.

B. Funcionalidades

A utilização de uma ferramenta SIG requer a formulação de perguntas, cujas respostas são produtos de cruzamentos de um ou mais banco de dados e/ou mapas. O resultado normalmente não é completamente conclusivo (fechado) e o produto é um conjunto de informações espaciais e/ou relatórios que quase sempre ainda vai requerer a interpretação de quem fez a pergunta. O SIGA SOL 1.0 foi construído para dar ao usuário respostas às perguntas, de caráter geral e simples, que na maioria das vezes correspondem a uma camada de informações ou perguntas complexas cujas respostas são produtos de cruzamento de diversas camadas de informações. As respostas de perguntas de caráter geral e simples são denominadas de **funcionalidades prévias** ou default e estão gravadas como sub-menus nos menus de gestão e planeamento em nível macro-espacial e local. As funcionalidades não default geradas por perguntas complexas de usuários podem ser impressas ou gravadas e poderão ser transformadas em funcionalidades prévias na próxima versão do SIGA-SOL 1.0. Outras funcionalidades prévias associadas às tarefas de atualização do banco de dados e dimensionamento simplificado de sistemas energéticos renováveis estão nos sub-menus do menu Atualização e Planeamento.

III. SIGA-SOL 1.0 - MÓDULO DE GESTÃO

As funcionalidades prévias do SIGA-SOL, gestão FV estão constituídas em três níveis: uma macro-espacial onde a unidade básica é o estado, outro local em nível de município e finalmente a possibilidade de atualização de dados de Tabelas, conforme pode ser visto na figura 2.

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)



Figura 1. Menu principal do SIGA SOL 1.0

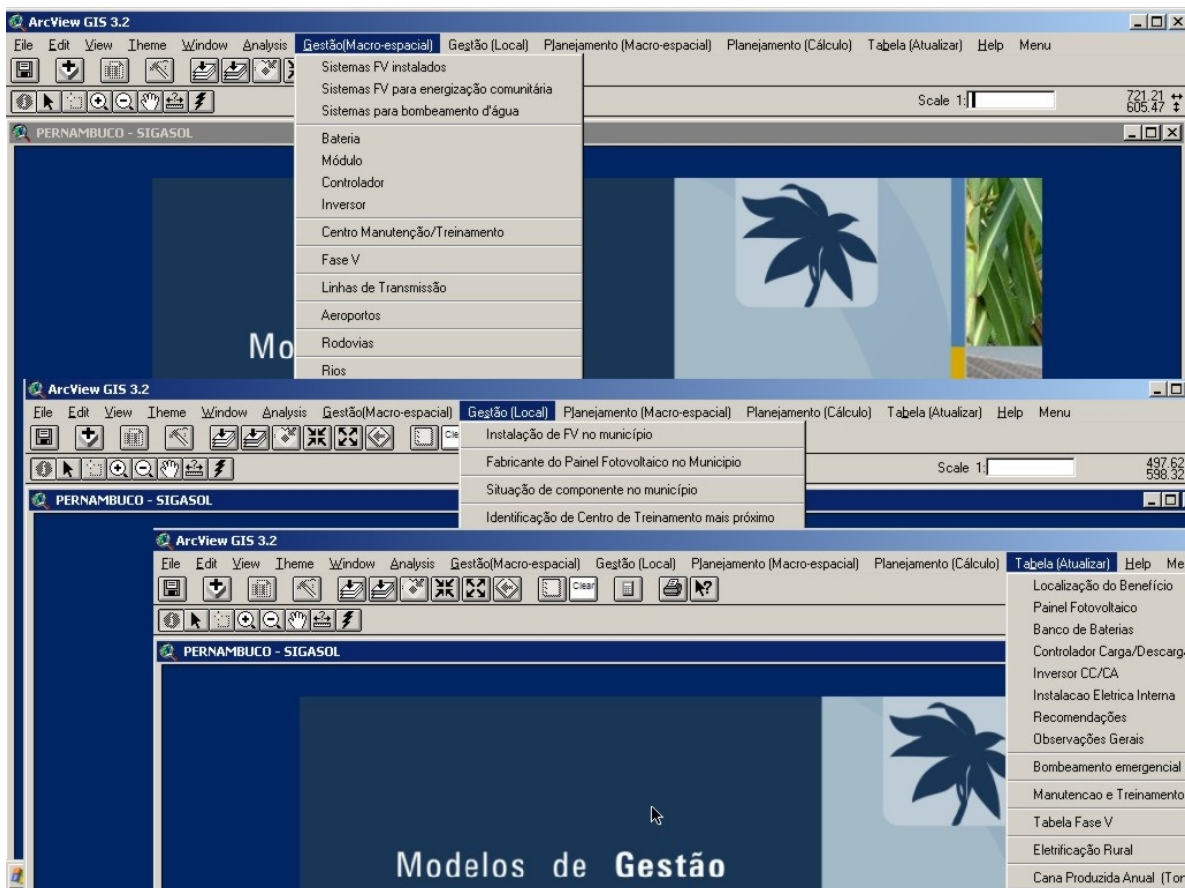


Figura 2. Funcionalidades do SIGA SOL 1.0, Módulo Gestão

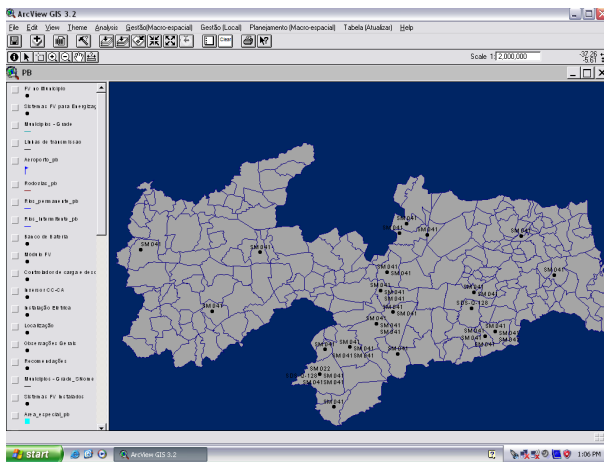
A. Funcionalidades da Gestão macro-Espacial

A gestão macro-espacial está constituída por 5 blocos distintos:

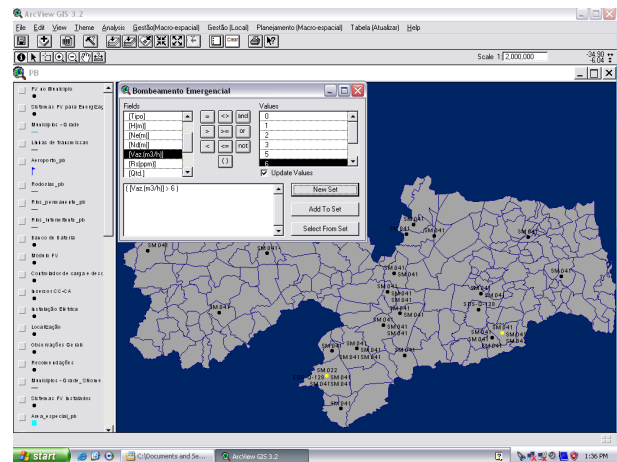
- Sistemas fotovoltaicos instalados e tipos de aplicações;
- Descrição do tipo, situação operacional, falha e modelo de todos os componentes dos sistemas fotovoltaicos instalados;
- Centro de manutenção e treinamento;
- Fase de instalação conforme PRODEEM e
- Infra-estrutura de linha de transmissão, es-

tradas e aeroportos.

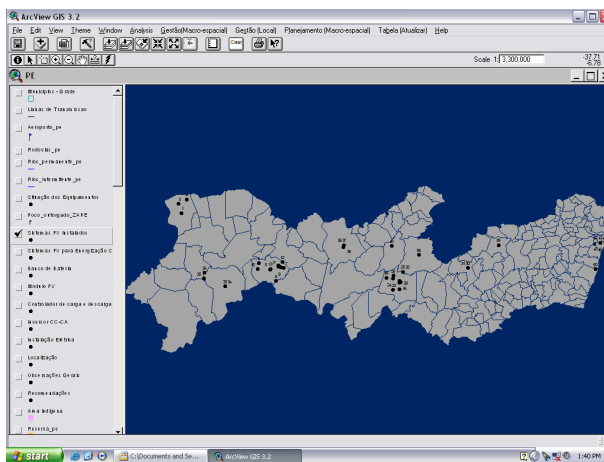
A figura 3 mostra os sistemas de bombeamento fotovoltaico instalados nos estados da Paraíba (a) e sistemas fotovoltaicos no estado de Pernambuco (c). Também mostra para cada tipo de aplicação a possibilidade de uma filtragem mais detalhada através de um menu onde podem ser escolhidos os benefícios e alguns aspectos específicos: em (b), os sistemas de bombeamento de água com vazão maior que 6 m³/h instalados na Paraíba e em (d), os sistemas de bombeamento fotovoltaico instalados em Pernambuco com alturas manométricas maiores que 30 m.



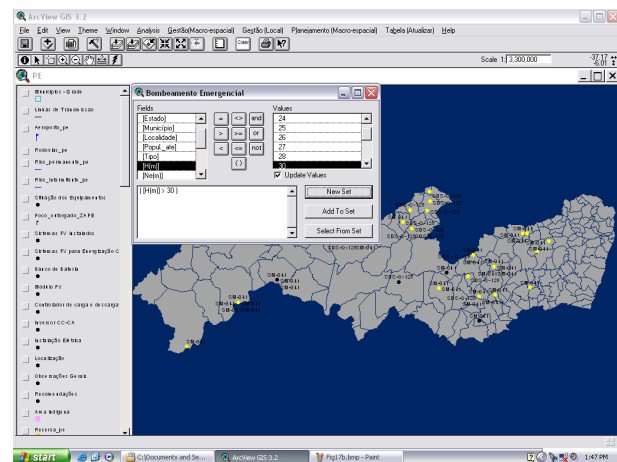
(a)



(b)



(c)



(d)

Figura 3. Funcionalidades macro-espacial do SIGA-SOL, Gestão FV, em relação aos tipos de sistemas fotovoltaicos instalados e de aplicações

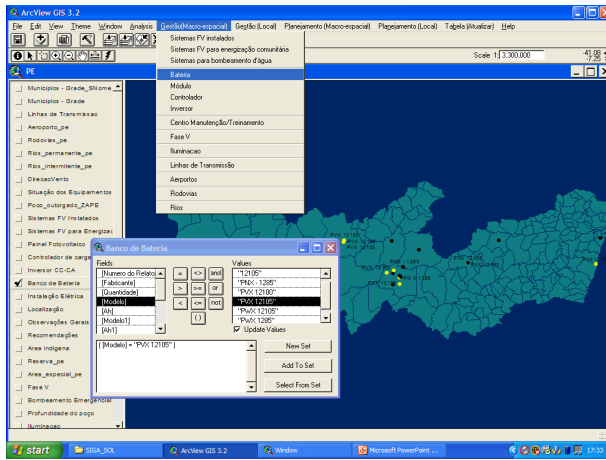
A figura 4 mostra as baterias (a) e inversores (b) instalados em Pernambuco. Adicionalmente mostra a possibilidade de uma filtragem mais detalhada através de um menu onde podem ser escolhidos os modelos específicos: em (a) as baterias de marca PVX 12105 e em (b) os inversores STAR-POWER.

A figura 5 discrimina os sistemas fotovoltaicos instalados em Alagoas e Pernambuco mostrando as Fases de instalação conforme o PRODEEM, em (a) a Fase V na Paraíba e em (b) Iluminação em Pernambuco.

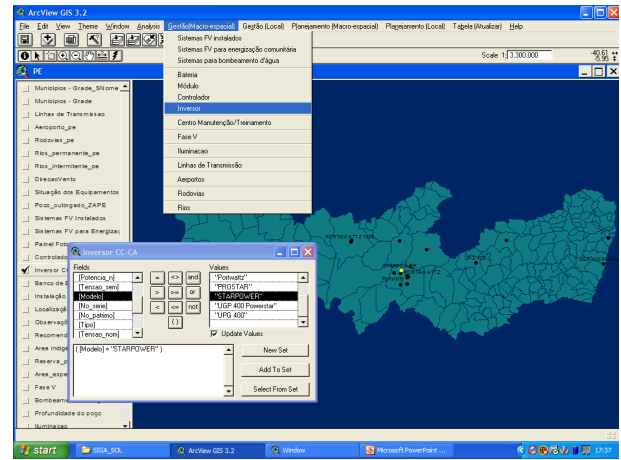
Finalmente, em nível de gestão macro espacial são mostrados os possíveis centros de treinamento e manutenção de sistemas fotovoltaicos no estado de Alagoas, Pernambuco e Paraíba. Os municípios sede foram escolhidos pela existência de centros tradicionais de difusão de conhecimentos como Universidades, CEFET, Escolas Técnicas, Institutos

agrícolas como EMBRAPA, IPA e EMATER e por localização visando uma distribuição espacial adequada. Finalmente

existem as funcionalidades referentes às infra-estruturas: linhas de transmissão, aeroporto, estradas e rios.

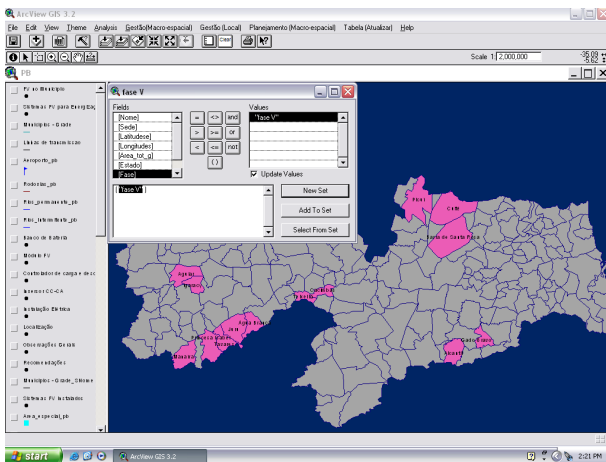


(a)

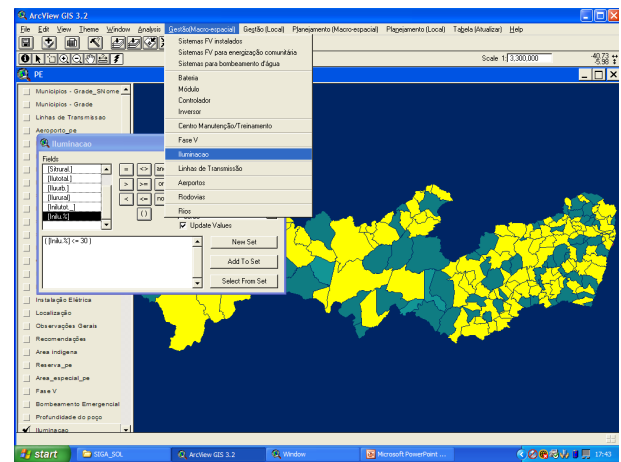


(b)

Figura 4. Funcionalidades macro-espacial do SIGA-SOL, Gestão FV, em relação aos componentes dos sistemas fotovoltaicos instalados em Pernambuco



(a)



(b)

Figura 5. Funcionalidades macro-espacial do SIGA-SOL, Gestão FV, em relação à Fase de instalação do PRODEEM

B. Funcionalidades da Gestão Local

A gestão local está conceituada em 4 blocos distintos:

- Sistemas fotovoltaicos instalados no município;
- Identificação de um determinado modelo e fabricante para cada componente;
- Identificação de um determinado modelo e fabricante de módulos fotovoltaicos;
- Situação operacional de todos os componentes dos sistemas fotovoltaicos instalados;
- Identificação do Centro de manutenção e treinamento mais próximo.

A figura 6 (a), mostra os sistemas fotovoltaicos instalados no município de Ibimirim no estado de Pernambuco e em (b) quais são os modelos de módulos fotovoltaicos foram utili-

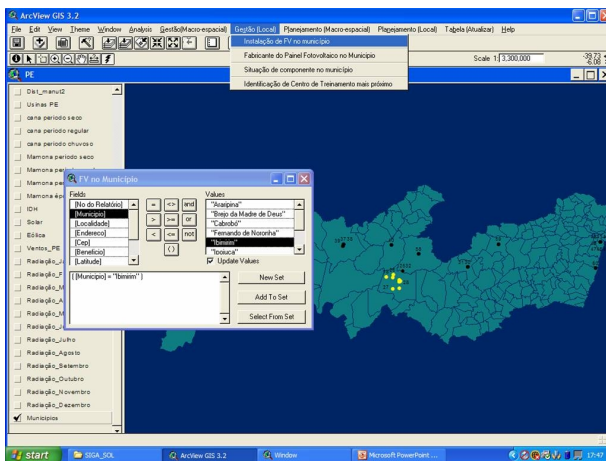
zados nos sistemas. A figura 7 (a) mostra o estado operacional dos componentes dos sistemas fotovoltaicos instalados em Pernambuco e em (b) os centros de manutenção mais próximos.

IV. SIGA-SOL 1.0 - MÓDULO DE PLANEJAMENTO

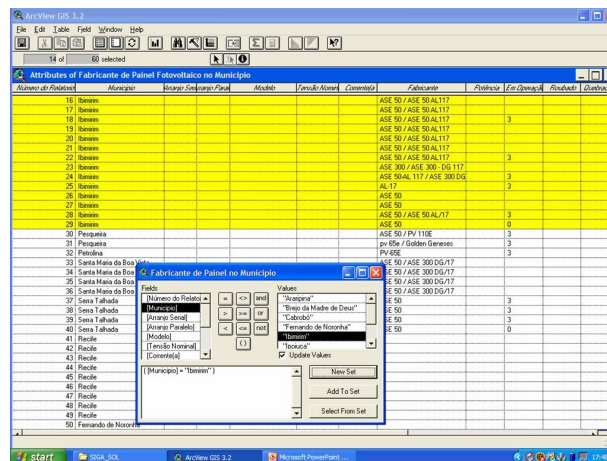
O processo de planejamento da inserção de energias renováveis em áreas rurais normalmente é uma tarefa complexa por que exige uma abordagem com múltiplos critérios: recursos energéticos, indicadores sócio-econômicos, índices de não-eletrificação rural, entre outros. Se considerarmos adicionalmente a pretensão de estimular o desenvolvimento regional mediante a inserção de sistemas energéticos para fins produtivos, há que considerar a aptidão do solo para culturas diversas e a existência de recursos hídricos. O SIGA SOL Módulo de Planejamento foi cons-

truído considerando essas condicionantes e a possibilidade de analisar as combinações possíveis de critérios definidos

pelo usuário para definição de locais para a implantação de novos sistemas renováveis de energia.

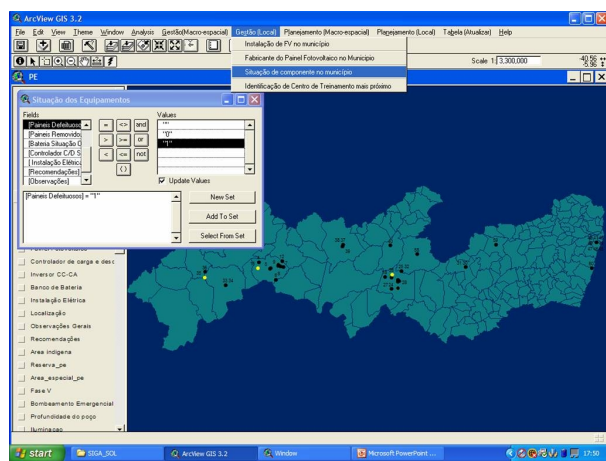


(a)

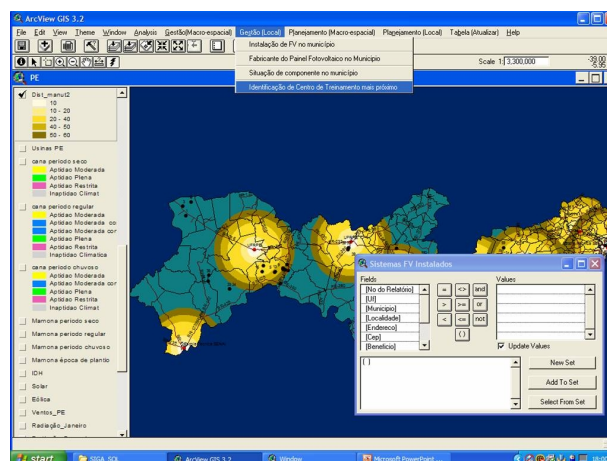


(b)

Figura 6. Funcionalidades local do SIGA-SOL, Gestão FV, (a) os sistemas FV instalados em Ibimirim-PE e (b) os modelos de módulos utilizados



(a)



(b)

Figura 7. Funcionalidades local do SIGA-SOL, Gestão FV, (a) situação operacional dos componentes dos sistemas FV instalados em Pernambuco e (b) os centros de manutenção mais próximos

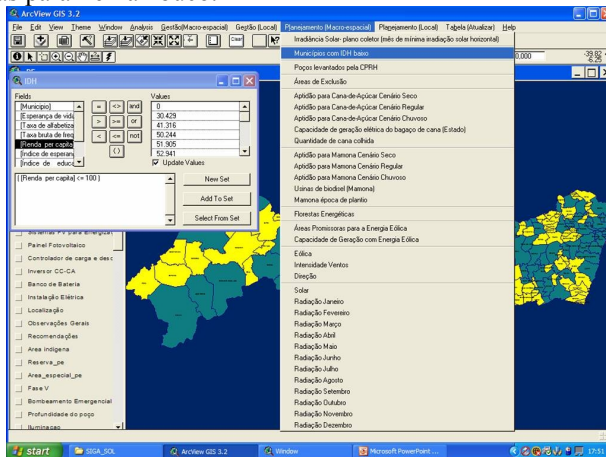
As funcionalidades do SIGA-SOL, Planejamento macro-espacial estão constituídas basicamente dos seguintes blocos:

- IDH e índice de não-eletrificação rural;
- Áreas de exclusão;
- Poços cadastrados pela Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais - Serviço Geológico do Brasil (CPRM);
- Aptidão para cana de açúcar, quantidade de cana colhida e capacidade de geração de energia elétrica com bagaço de cana;
- Aptidão para mamona, época de plantio e Usinas de biodiesel;
- Florestas Energéticas;

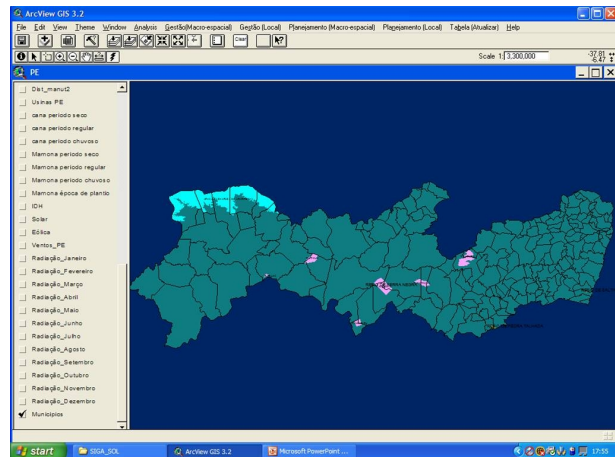
- Direção e intensidade do vento, áreas promissoras e capacidade de geração de energia elétrica com vento e
- Irradiação solar mensal, no plano horizontal e irradiação solar no plano do coletor no mês de mínima irradiação.

A figura 8 (a) mostra os municípios de Pernambuco com renda per capita menor que US\$ 100. O sub-menu IDH permite obter mapas com outros 8 indicadores sociais adicionais. As informações sobre o IDH foram extraídas do IBGE (2005). As áreas de exclusão são definidas como áreas indígenas, reservas ecológicas e áreas de preservação especial. São consideradas de exclusão quando se quer localizar sistemas energéticos convencionais ou sistemas energéticos renováveis de grande porte. No caso de localização de sistemas renováveis de pequeno porte tais áreas devem ser considera-

das de prioridade máxima. A figura. 8 (b) mostra essas áreas para Pernambuco.



(a)



(b)

Figura 8. (a) Municípios de Pernambuco com renda per capita menor que US\$ 100 e (b) áreas de exclusão

A figura 9 mostra todos os poços subterrâneos cadastrados pela CPRM no estado de Pernambuco. Uma filtragem mais detalhada possibilita escolher subconjuntos de poços

por finalidade e profundidade, entre outros. Em amarelo, por exemplo, poços com profundidades maiores que 30 m.

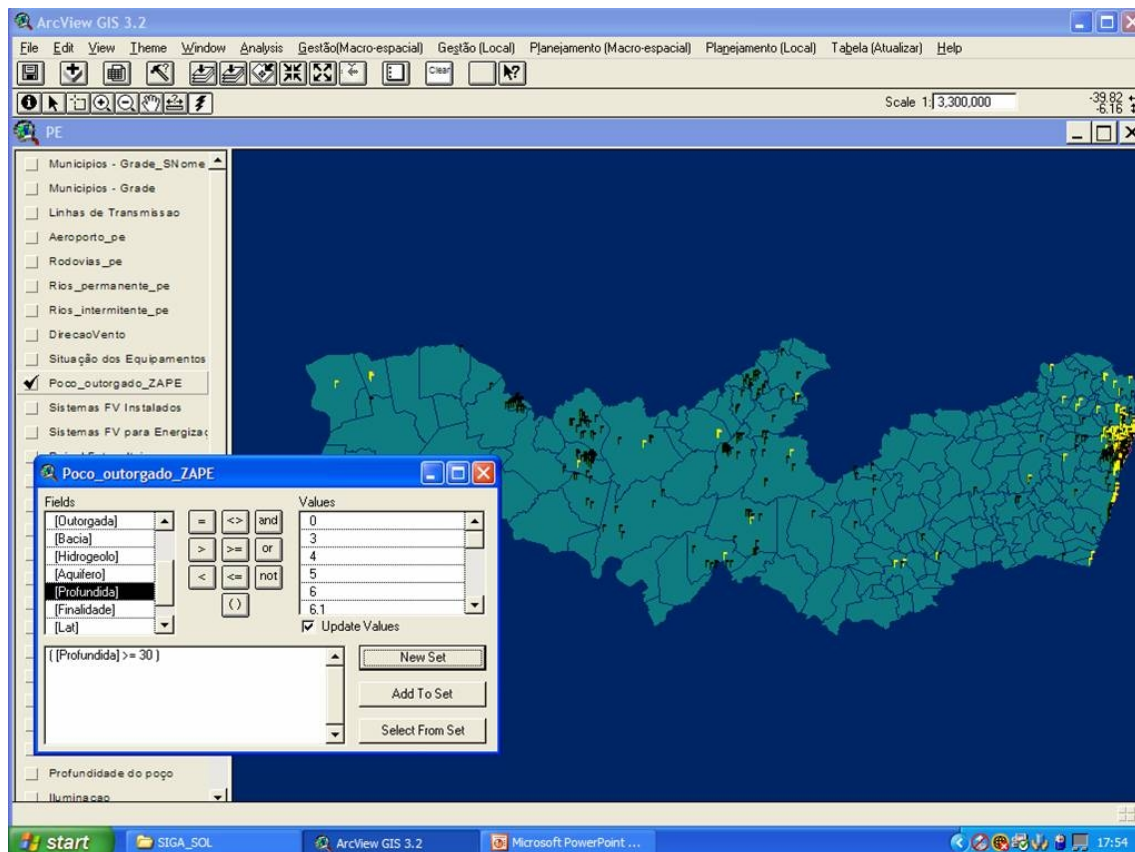


Figura 9. Funcionalidades do SIGA-SOL, Macro-Planejamento FV, localização de todos os poços com profundidades maiores que 30 m no estado de Pernambuco.

A figura 10 mostra a esquerda a aptidão para cultura de cana de açúcar em período seco. À direita, utilizando a mesma convenção a aptidão para a cultura de mamona. A fi-

gura 11 mostra a velocidade do vento, média anual e a direção prevalectente dos ventos, à direita. Finalmente, a figura 12 mostra a irradiação solar no plano horizontal para os me-

ses onde ocorrem o mínimo (julho) e o máximo (novembro) para o estado de Pernambuco.

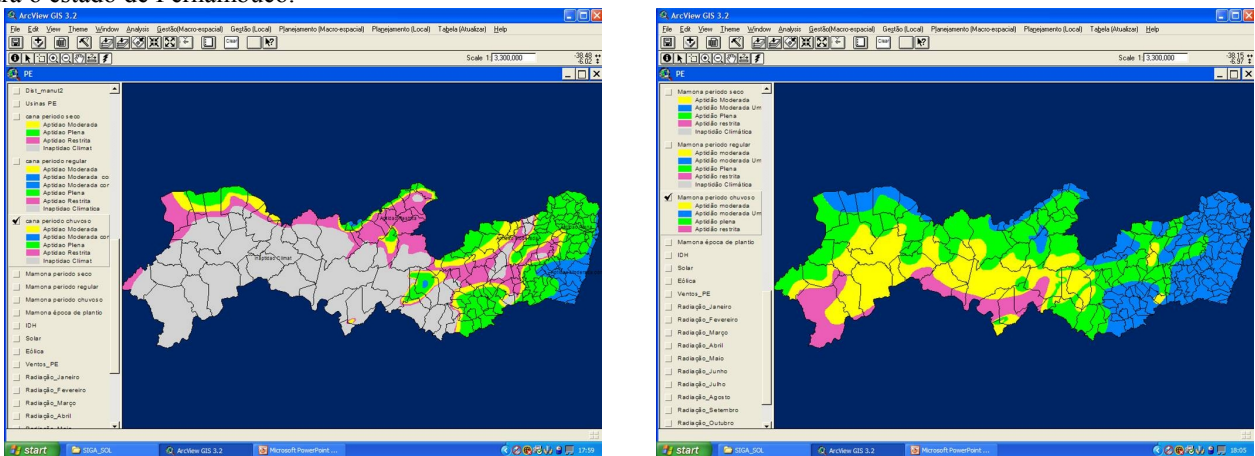


Figura 10. Funcionalidades do SIGA-SOL, Macro-Planejamento FV, aptidão para a cultura da cana de açúcar e mamona para o estado de Pernambuco

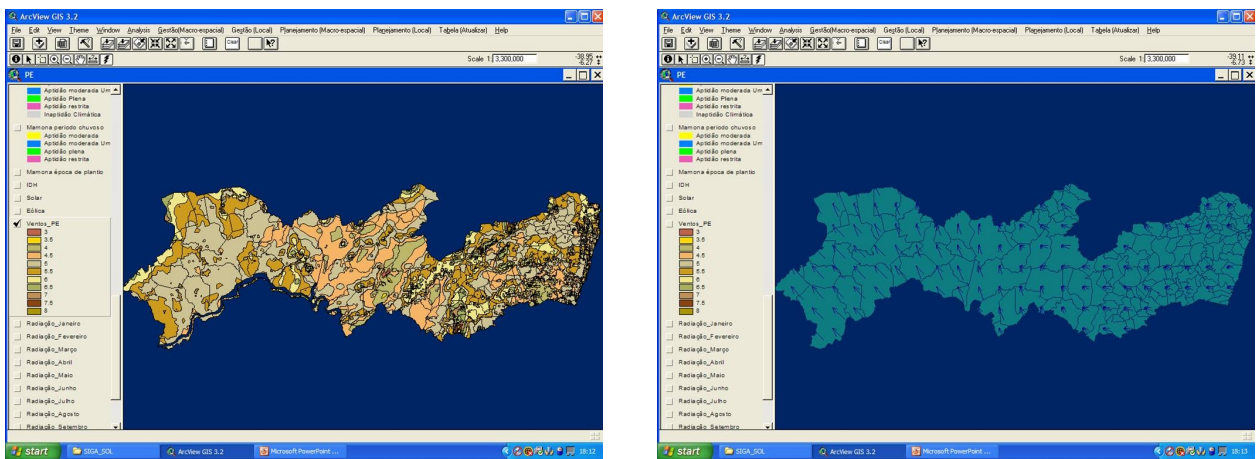


Figura 11. Funcionalidades do SIGA-SOL, Macro-Planejamento FV, velocidade do vento, média anual e a direção prevalecente dos ventos

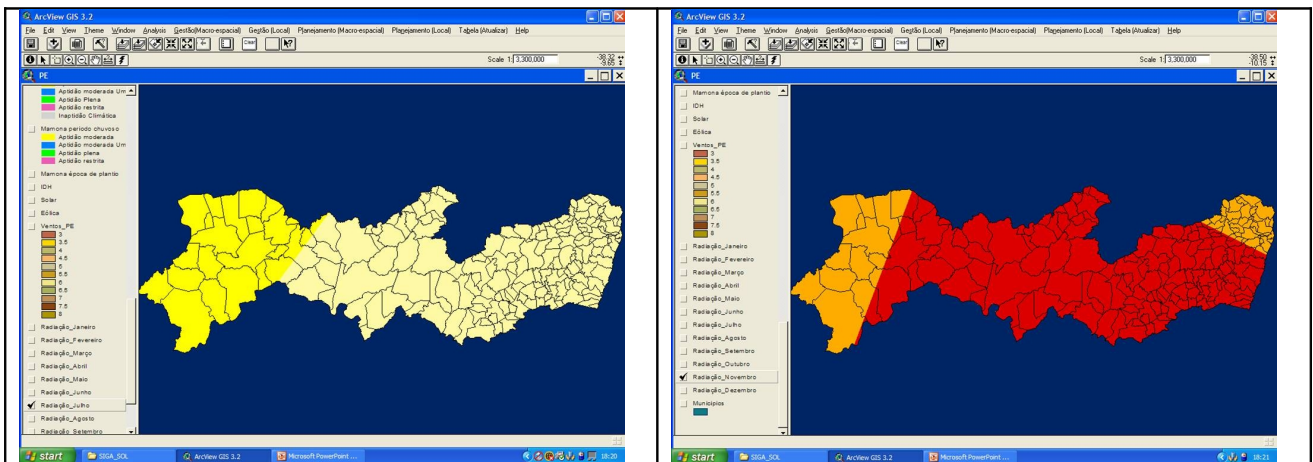


Figura 12. Funcionalidades do SIGA-SOL, Macro-Planejamento FV, Irradiação solar para os meses de julho e novembro para o estado de Pernambuco.

V. SIGA-SOL 1.0 - MÓDULO DE CÁLCULO

No processo do planejamento de inserção de sistemas energéticos renováveis, após a definição mediante uma abordagem com múltiplos critérios (recursos energéticos, indica-

dores sócio-econômicos, índices de não-eletrificação rural, entre outros) das localidades a serem beneficiadas, é necessário um dimensionamento dos sistemas energéticos. O

- sistema fotovoltaico autônomo;
- sistema fotovoltaico interligado à rede;
- sistema de bombeamento fotovoltaico dadas a demanda e profundidade do poço;
- sistema de bombeamento fotovoltaico dada a capacidade e profundidade do poço;
- energia elétrica anual gerada por bagaço de cana de açúcar e
- energia anual gerada pela energia do vento.

A. Sistemas Fotovoltaicos Energéticos

Os sistemas energéticos fotovoltaicos autônomos foram dimensionados com a metodologia descrita em detalhes em [1] considerando que:

- O arranjo está posicionado faceando o norte e inclinado em relação a horizontal de um ângulo igual à latitude local mais 15°;
- A irradiação solar diária, média mensal no plano horizontal, mínima durante o ano (pior mês);
- São dados: a demanda diária, irradiação solar diária média mensal no plano do coletor, potência nominal do módulo e a sua tensão máxima, tensão do barramento do banco de baterias e a capacidade e tensão de cada bateria;
- Outros dados default: eficiência da bateria e do inversor, profundidade de descarga da bateria e número de dias de armazenamento necessários, fatores de penalidade (derating): para a potência e tensão do módulo em relação à operação diária e para o módulo em relação à temperatura;
- Resultados: Número total de módulos do arranjo, número de módulos em série, capacidade do banco de baterias e número de baterias em série.

A figura 13 (a) mostra o menu para o dimensionamento simplificado de um sistema FV autônomo. O programa permite dimensionar um sistema FV para qualquer município dos três estados, dadas a demanda, as características elétricas do módulo, da bateria e do banco de baterias.

Para os sistemas interligados a rede o procedimento acima é repetido excluindo as baterias.

B. Sistemas de Bombeamento de Água Fotovoltaico

Os sistemas de bombeamento fotovoltaicos foram dimensionados com a metodologia descrita em detalhes em (TIBA et al, 1998) considerando que:

- O arranjo está posicionado faceando o norte e inclinado em relação a horizontal de um ângulo igual à latitude local mais 15°;

SIGA SOL permite realizar os dimensionamentos ou cálculos simplificados dos seguintes sistemas:

- A irradiação solar diária, média mensal no plano horizontal mínimo durante o ano (pior mês);

A estimativa do tamanho do arranjo fotovoltaico foi feita para duas situações distintas: a) dada a profundidade do poço e a demanda diária da comunidade e b) dada a capacidade do poço e a sua profundidade. No primeiro caso supõe-se que a capacidade do poço é muito grande e sempre suprirá a demanda diária solicitada. Os dados de entrada e default e a seqüência de cálculos são dados abaixo.

- São dados: a demanda diária ou capacidade do poço, irradiação solar diária média mensal no plano do coletor, potência nominal do módulo e a sua tensão máxima, altura de recalque, eficiência da motobomba e inversor;
- Outros dados default: fatores de penalidade (derating): para a potência e tensão do módulo em relação à operação diária, para o módulo em relação à temperatura e perdas por fricção no circuito hidráulico;
- Resultados: Potência hidráulica necessária, Potência entregue por cada módulo e número de módulos necessários.

A figura. 13 (b) mostra o menu para o dimensionamento simplificado de um sistema de bombeamento de água FV. O programa permite dimensionar um sistema FV para qualquer município dos três estados, dadas a demanda, as características elétricas do módulo e da profundidade do poço

C. Energia Elétrica Anual Gerada por uma Turbina Eólica

Para valores de $2 < k < 3$, fator de forma de Weibull, a relação entre a velocidade média do vento \bar{v} e o fator de escala C pode ser aproximada por:

$$\bar{v} = 0.9C \quad \rightarrow \quad C = 10\bar{v} / 9 \quad (1)$$

Em bases anuais o fator de forma $k \sim 2.5$ para os estados de AL, PE e PB, conforme, [2]. A estimativa simplificada da energia elétrica gerada por uma turbina eólica em bases anuais foi feita com a metodologia descrita em detalhes em [3] cuja seqüência está sintetizada abaixo:

Dados de entrada

Curva de Potência da turbina:

Tabela de potência x velocidade média ($W_j \times V_j$), para velocidade variando de 4 a 25 m/s em intervalo

de um m/s

Velocidade média anual: \bar{v} (m/s) (mapa georreferenciado)

Cálculos

Distribuição acumulada de Weibull

$$P(V) = \exp\left\{-\left(\frac{0.9V}{\bar{v}}\right)^{2.5}\right\} \quad (2)$$

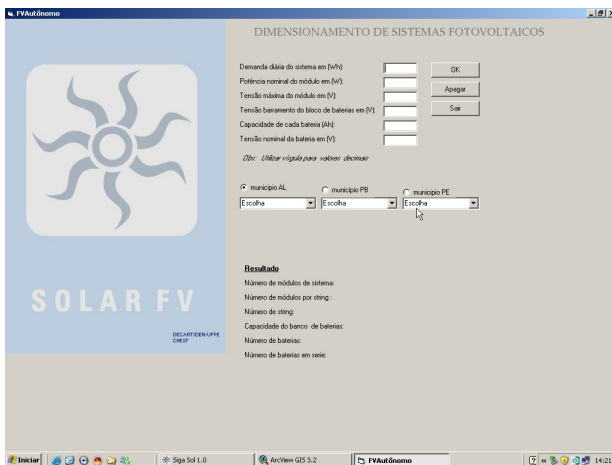
$$P(V_1 < V < V_2) = \exp\left\{-\left(\frac{0.9V_1}{\bar{v}}\right)^{2.5}\right\} - \exp\left\{-\left(\frac{0.9V_2}{\bar{v}}\right)^{2.5}\right\} \quad (3)$$

$$P(V_i < V < V_{i+1}) = P_i, \quad V_i = 3.5 \text{ m/s}, \dots, V_n = 25.5 \text{ m/s}$$

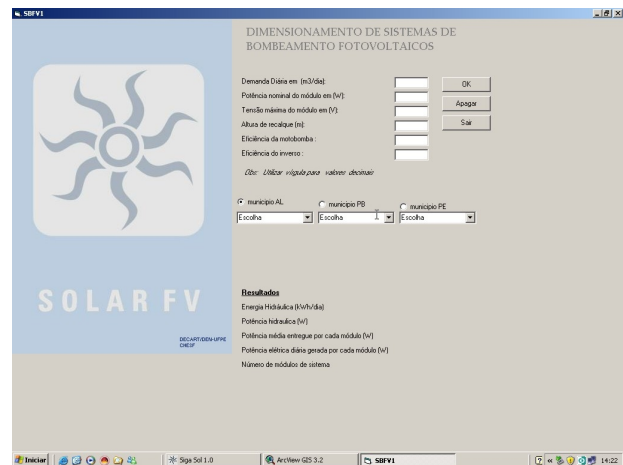
Energia elétrica gerada anualmente

$$E = 8760 \sum_{i=1}^{22} W_i P_i \quad (4)$$

A figura 14 (a) mostra o menu para o cálculo da energia elétrica gerada por uma turbina eólica. O programa permite o cálculo para dois modelos de turbinas default (outras podem ser acrescentadas) e para todos os municípios dos três estados.



(a)

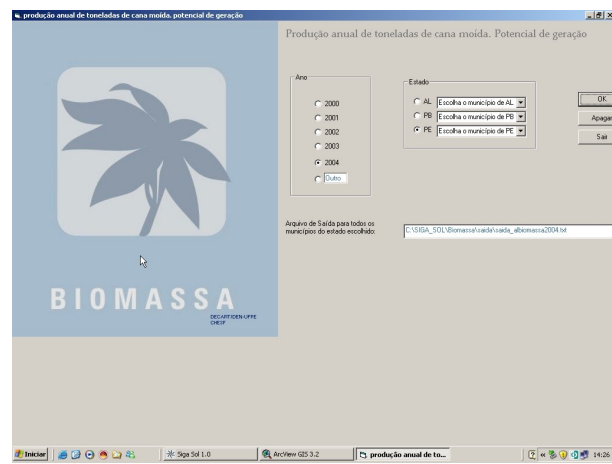


(b)

Figura 13. (a) menu para dimensionamento simplificado de sistema FV autônomo e (b) menu dimensionamento simplificado de sistema de bombeamento de água FV.



(a)



(b)

Figura 14. (a) menu para cálculo da energia elétrica anual gerada por uma turbina eólica, (b) menu para o cálculo da energia elétrica anual gerada por bagaço de cana

D. Energia Elétrica Anual Gerada por Queima de Bagaço de Cana

O potencial de produção de eletricidade com a utilização do bagaço de cana pode ser vista na Tabela I onde estão relacionadas à energia elétrica gerada por tonelada de cana moída,

a tecnologia atual existente, a melhor tecnologia existente e a tecnologia futura. As abreviaturas usadas na Tabela são: Contrapressão (CP), Condensação com extração de vapor (CEV), Gaseificação de biomassa integrada a turbina a gás (BIG-TG).

Tabela I. Energia elétrica gerada por tonelada de cana moída, em função da tecnologia utilizada

Fonte Informação	Potencial de produção de energia elétrica (kWh/te)					
	21 bar (CP) ¹	42 bar (CEV)	60 bar (CEV)	80 bar (CEV) ²	80 bar (CP)	BIG GT ³
Curso DEFA-CHESF [4]	5	-	-	60	-	250
VI Seminário Int. de Geração Distribuída [5]	0-10	-	-	57-69	-	200-300
Rel. BAL001 -Usina Caeté [6]	-	65	83-92	-	40-60	-
Adotado no projeto	5	-	-	63	-	250

1 Situação atual sem alteração significativa nas usinas e produção por safra.

2 Tecnologia existente com alterações nos processos das usinas e produção por safra.

3 Tecnologia em desenvolvimento com alterações nos processos das usinas e produção ano todo.

A figura 14 (b) mostra o menu para o cálculo da energia elétrica anual gerada por bagaço de cana. O programa permite o cálculo para três tecnologias diferentes de co-geração, safras de diferentes anos, e para todos os municípios dos três estados.

VI. 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.

VII. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] Tiba, C., Fraidenraich, N. e Barbosa, E. M. S. (1998) Instalação de sistemas fotovoltaicos para residências rurais e bombeamento de água, ISBN 85-7315-118-8, Ed. Universitária da UFPE, Recife, Pernambuco.
- [2] O. C. Amarante, O. C., M. Brower, M., J. Zack, e A. Leite de Sá, A. (2001) Atlas do potencial eólico brasileiro, MME –ELETROBRAS-CEPEL.
- [3] RETScreen (2007) Photovoltaic projects analysis, www.retscreen.net, Acesso em Abril de 2007.
- [4] A. C. Leão, A. C. (2005) Biomassa, Curso DEFA-CHESF.
- [5] I. Macedo, I. (2003) VI Seminário Internacional de Geração Distribuída, INEE-WADE, Rio de Janeiro, RJ.
- [6] Usina Caeté (1997) Sistemas de co-geração de vapor e energia elétrica, Rel. BAL 001-1L0040-VerB.