

ESTUDO DE LOCALIZAÇÃO DE UMA CENTRAL HELIOTÉRMICA DE 1 MW NA REGIÃO DO SEMIÁRIDO BRASILEIRO

Leonardo dos Santos Reis Vieira – lsrv@cepel.br

Ana Paula Cardoso Guimarães – pcardoso@cepel.br

Lauro Barde Bezerra – laurobb@cepel.br

Centro de Pesquisa de Energia Elétrica, Departamento de Tecnologias Especiais

Eduardo Torres Serra – etserra@cepel.br

Centro de Pesquisa de Energia Elétrica, Diretoria Geral

José Bione de Melo Filho – jlbionef@chesf.gov.br

Companhia Hidro Elétrica do São Francisco, SPG/DTG/DEFA Fontes Alternativas

Resumo. O objetivo deste artigo é apresentar o estudo de localização para a implantação de um projeto de uma planta solar de 1 MW com tecnologia de cilindros parabólicos. Esta planta é a primeira etapa da implantação de uma Plataforma de Pesquisa experimental em energia solar no Brasil. O projeto leva em consideração a possibilidade de futura ampliação, abrangendo novas tecnologias de geração solar. O estudo de localização se baseou nos seguintes critérios: valores calculados da irradiação direta normal, disponibilidade de água em rios próximos, proximidade e disponibilidade de linhas de transmissão e subestação e disponibilidade de infraestrutura de acesso e de serviços para a construção de uma planta. O terreno escolhido para a planta encontra-se na região do Projeto de Irrigação Pontal Sul, próximo à cidade de Petrolina – PE.

Palavras-chave: Energia Solar, Heliotérmica, Cilindros Parabólicos

1. INTRODUÇÃO

No Brasil, a região potencial para a aplicação da tecnologia heliotérmica de concentração é aquela delimitada pelo semiárido climático, onde se verificam as melhores condições de irradiação solar direta, decorrentes da baixa intensidade de nuvens e dos baixos índices pluviométricos. Contudo, outros fatores são também importantes para viabilizar a implantação de uma planta solar deste tipo, entre eles: (i) disponibilidade de recursos hídricos para o processo de geração de energia elétrica baseado no ciclo Rankine e para a lavagem de espelhos; (ii) proximidade com a rede elétrica para interligação; (iii) existência de uma infraestrutura mínima para transporte de equipamentos e para manutenção da planta.

Dentro deste contexto, no período de 1999 a 2002, foi desenvolvido um projeto denominado GERAHELIO em que um dos objetivos era a realização de um estudo para caracterização dos sítios potenciais contidos na região do semiárido (Guimarães *et al.*, 2002). Como resultado deste estudo, foram obtidos mapas mensais e anuais da distribuição espacial da irradiação direta normal na região e, ainda, foram relacionadas localidades que reúnem os requisitos necessários para a operação de uma planta de aproximadamente 30 MW interligada à rede elétrica, com tecnologia de concentração solar. Em função da potência da planta, as localidades relacionadas encontravam-se às margens do Rio São Francisco, que possui a característica de fluxo permanente - restrita a poucos rios da região.

Desde 2009, o MCTI e o MME, por meio de reuniões setoriais, estão estruturando um programa de PD&I em energia solar de alta temperatura. Foi identificada a necessidade da construção de uma planta piloto, de modo a aumentar o conhecimento no Brasil e estudar tecnologias que possam vir a ter grande potencial de aplicação no futuro. O projeto de uma planta solar com concentração consiste na primeira etapa da implantação de uma Plataforma de Pesquisa experimental para o desenvolvimento da energia solar no Brasil.

No ano de 2010, no âmbito de um Convênio do Cepel com o MME, e que contou com a participação e apoio da Chesf, o Cepel realizou um estudo para identificação das localidades mais promissoras para implantação de uma Plataforma de Pesquisa experimental em energia solar. Neste estudo foi feita uma hierarquização de várias localidades (Guimarães *et al.*, 2011). A região escolhida encontra-se próximo da cidade de Petrolina, na região do Projeto de Irrigação Pontal Sul. Em dezembro de 2010, uma proposta para construção de uma planta solar de 1 MW foi submetida à FINEP, tendo como instituição executora o Cepel, como instituição co-executora a Universidade Federal de Pernambuco – UFPE e como instituição interveniente a Secretaria de Ciência e Tecnologia do Estado de Pernambuco – SECTEC - PE.

No decorrer do ano de 2011, no âmbito do mesmo Convênio do Cepel com o MME citado no parágrafo anterior, procedeu-se a contratação da empresa espanhola Solar Technology Advisors – STA, “spin-off” da Ciemat, para elaboração de um projeto conceitual e básico de uma planta solar de 1 MW, sob orientação e coordenação do Cepel. Paralelamente a estas atividades, a SECTEC obteve junto a Codevasf, responsável pelo desenvolvimento do Projeto de Irrigação Pontal localizado na proximidade da cidade de Petrolina, a cessão de um lote de terreno de 45 hectares na região para construção da planta.

Em março de 2012, foi novamente submetida à FINEP uma proposta para construção de uma planta solar de 1 MW. Esta nova proposta é uma revisão da anteriormente emitida em dezembro de 2010, incorporando as sugestões e recomendações da FINEP e o projeto básico da planta. Este artigo apresenta o estudo para definição da localização da planta piloto na região do Projeto de Irrigação Pontal Sul.

2. DEFINIÇÃO DA LOCALIZAÇÃO DA PLANTA PILOTO

2.1 Metodologia

A metodologia adotada para hierarquização de localidades e seleção da localização da planta piloto compreendeu as seguintes etapas: (i) obtenção de dados do número de horas de insolação, de mapas georeferenciados das rodovias e do recurso hídrico e de dados sócio-ambientais das áreas consideradas mais promissoras, (ii) determinação da irradiação direta normal através de modelos matemáticos, (iii) identificação e definição de critérios para hierarquização das áreas mais promissoras, (iv) hierarquização das áreas, (v) obtenção de dados adicionais nas áreas mais promissoras através de visitas técnicas e reuniões locais, (vi) diagnóstico ambiental preliminar, (vii) identificação de pontos principais nas áreas promissoras, (viii) definição da localização da planta piloto, (ix) disponibilização do terreno. As principais informações sócio-ambientais foram obtidas das seguintes instituições: IBGE, Codevasf, Chesf, Embrapa e SECTEC – PE.

Foram utilizados os softwares ARCGIS 9.3.1 para análise e geração dos mapas temáticos, tomando como suporte a base cartográfica utilizada pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística-IBGE, com mapas do IBGE com resolução de 1:1.000.000.

2.2 Resultados

Estimativa da irradiação solar. A irradiação solar direta normal (DNI) foi estimada com base em dados até 1990 do número de horas de insolação de 56 estações meteorológicas do INMET na região do semiárido. Neste estudo (Guimarães et al., 2002), foram utilizados vários modelos de estimativa, como, Bennett (1965), Liu & Jordan (1960), Nunes *et al* (1979) e Collares Pereira (citado por Duffie & Beckman, 1991). O trabalho referente à validação da metodologia foi desenvolvido para a estação de Bom Jesus da Lapa (BA). Nesta localidade foi possível obter medidas da irradiação direta e do número de horas de insolação para o mesmo período, nas estações da COELBA/CEPEL e INMET. O erro médio anual relativo foi de 7,58%, de acordo com os limites de erros de 7% a 10% apresentados na literatura para outros países (Duffie & Beckman, 1991).

Na Fig. 1 são indicadas as 56 localidades da região que fizeram parte deste estudo.



Figura 1- Localidades do semiárido com estações meteorológicas.

No gráfico da Fig. 2, a curva caracterizada por uma linha representa a distribuição das localidades com índices de irradiação maiores que 1900 kWh/m²/ano, em ordem decrescente, e as colunas correspondem aos valores do coeficiente de variação da irradiação média mensal, o qual foi calculado pela equação:

$$\text{Coef. de Variação} = \text{Desvio Padrão da Irradiação Média Mensal} / \text{Média Anual} \quad (1)$$

Observa-se que do ponto de vista exclusivo do recurso solar as localidades mais indicadas para a instalação de uma planta solar são Irecê (BA), Triunfo (PE) e Barra (BA). Entre as três, Irecê (BA) apresenta o maior índice de irradiação direta normal aliado ao menor valor do coeficiente de variação.

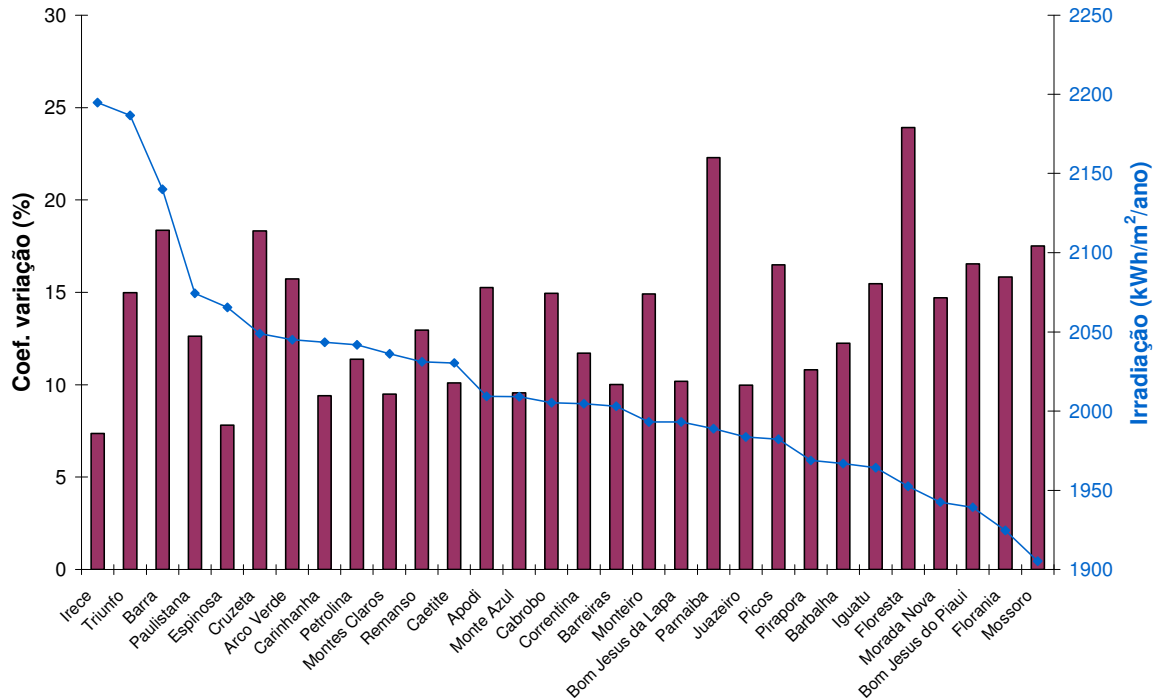


Figura 2- Estimativas da irradiação direta normal anual acumulada e coeficiente de variação da irradiação média mensal – localidades com índices de irradiação maiores que 1900 kWh/m²/ano – cálculo baseado em dados do número de horas de insolação até 1990 de estações do INMET.

Hierarquização de áreas. Para a priorização das localidades foram considerados os seguintes critérios: (i) maior índice de irradiação direta normal, (ii) menor coeficiente de variação da irradiação média mensal, (iii) inexistência de rajadas de ventos locais, (iv) menores temperaturas médias ambiente, (v) menores custos de terra nua (terreno), (vi) maior disponibilidade de água, linhas de transmissão, rodovias, aeroportos, universidades, escolas técnicas e serviços (indústrias, comércio local, rede hoteleira, etc.).

Em reunião com a participação de técnicos do Cepel e da Chesf, foram atribuídos pesos para os 12 critérios acima relacionados com base no estágio de conhecimento atual das necessidades técnicas e das restrições ambientais inerentes à construção de uma planta solar heliotérmica de concentração. Para cada localidade escolhida e para cada critério foi atribuída uma nota variando de 0 a 5. Localidades que obtiveram nota zero ($DNI < 1900 \text{ kWh/m}^2/\text{ano}$ - INMET) no critério de irradiação direta normal foram excluídas das análises. Atualmente, as localidades com índices de irradiação inferiores a 1900 kWh/m²/ano não têm sido utilizadas na construção de plantas comerciais de energia solar com concentração, dando-se preferência para tecnologias que utilizam a irradiação global e difusa nestas condições (OECD/IEA, 2010).

A priorização das localidades foi realizada com base no cálculo de um índice global para cada localidade i determinado pela expressão abaixo, onde o índice j corresponde ao critério:

$$\text{Índice}_{\text{global}_i} = \sum_{j=1}^{12} (\text{Nota}_{i,j} \times \text{Peso}_j) \quad (2)$$

A Fig. 3 mostra o peso atribuído a cada critério no cálculo do índice global e a Fig. 4 o resultado final da hierarquização com base no índice global. O resultado final mostra as regiões de Petrolina - PE e de Juazeiro - BA

como as mais promissoras. As cidades de Petrolina e Juazeiro são vizinhas, às margens do rio São Francisco, que nesta região separa os estados de Pernambuco e Bahia. Para estas localidades, decidiu-se realizar uma visita técnica para refinamento e mapeamento de pontos promissores.

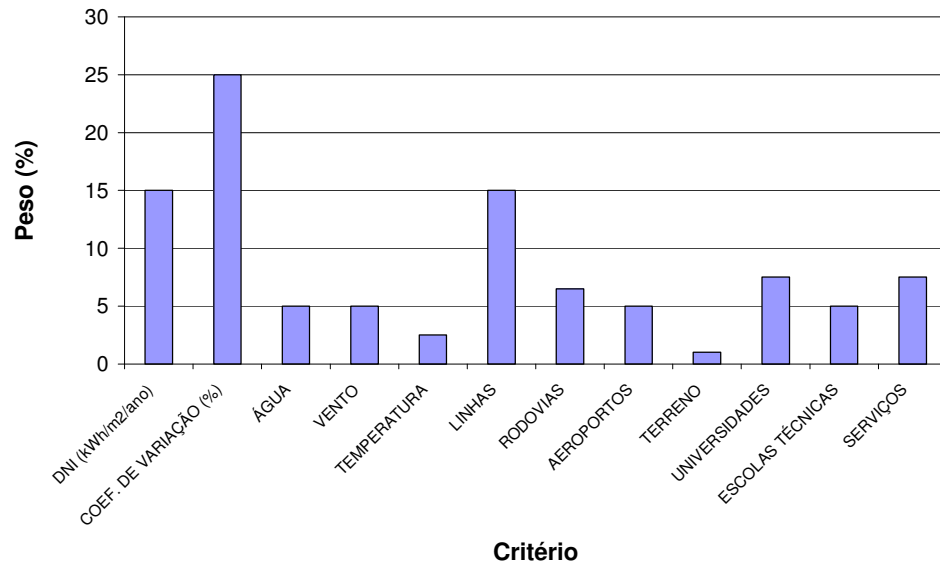


Figura 3- Peso atribuído a cada critério no cômputo do índice global.

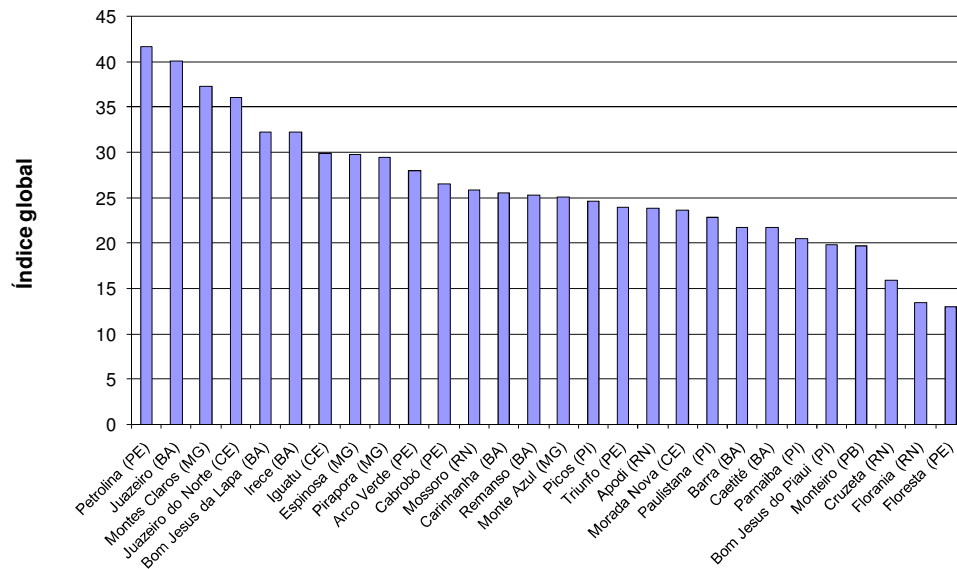


Figura 4- Resultado final da hierarquização com base no índice global.

Seleção do sítio. A identificação do local (ou sítio) exato para instalação da planta piloto exigiu o refinamento dos critérios indicados na Fig. 3 o que foi feito com base em visitas técnicas e reuniões com instituições locais, entre elas a Codevasf e a Embrapa. Segundo os técnicos destas instituições, os sítios correspondentes aos projetos de irrigação em implantação pela Codevasf seriam os mais adequados para a implantação de uma planta solar CSP. Estes locais, além da infraestrutura disponível e proximidade de subestações existentes, há vigilância permanente e disponibilidade de terrenos que poderiam ser cedidos para a construção da planta.

De posse das bases cartográficas cedidas pela Codevasf, foram delineadas zonas de exclusão para a construção da planta. Foram consideradas as seguintes zonas de exclusão: (i) distâncias menores que 12 km de sedes municipais, (ii) distâncias menores que 4 km de outros núcleos populacionais, (iii) distâncias maiores que 15 km de vias pavimentadas e (iv) distâncias maiores que 15 km de corpos hídricos perenes. A Fig. 5 mostra a sobreposição dos mapas com a localização dos projetos de irrigação e das zonas de exclusão.

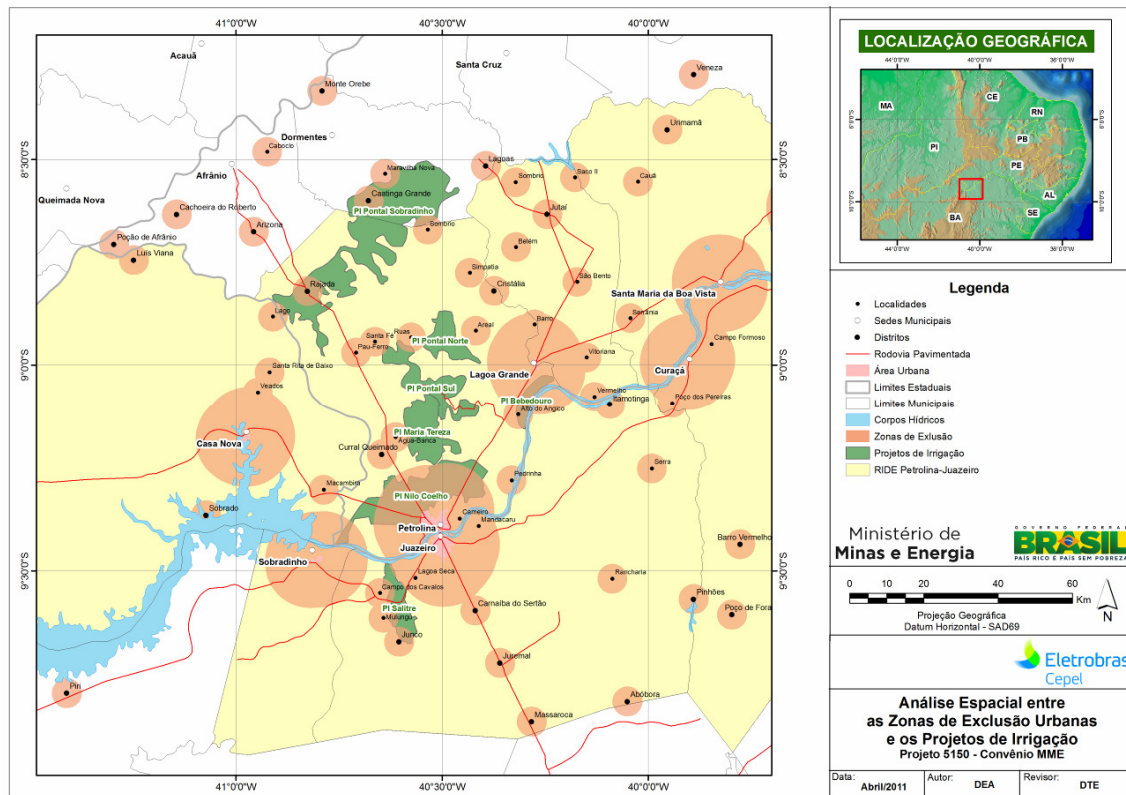


Figura 5- Sobreposição dos mapas com a localização dos projetos de irrigação e das zonas de exclusão.

Com base na Fig. 5 pode-se concluir que os projetos de irrigação Bebedouro (PE) e Nilo Coelho (PE) possuem mais de 90% de sua área em zonas de exclusão urbana. O projeto de irrigação de Pontal Sobradinho foi excluído por se localizar em uma área que não atende os requisitos mínimos de acessibilidade.

Os locais a serem privilegiados correspondem aos mais próximos das rodovias asfaltadas, dos recursos hídricos permanentes e das subestações existentes. Para tal, foram levantados pela Chesf os custos de implantação de rodovias, de adutoras e de interligação elétrica, por km.

A sobreposição do mapa de custo associado com o mapa da Fig. 5 forneceu os sítios privilegiados que correspondem ao de menor soma dos custos de rodovias, de adutoras e de interligação elétrica (custo associado) e que não se encontram em zonas de exclusão.

Em função dos resultados dos custos associados, decidiu-se pela visitação aos seguintes sítios: (i) Projeto de irrigação Salitre (Juazeiro), (ii) Projeto de irrigação Pontal Sul (Petrolina), (iii) Projeto de irrigação Maria Teresa (Petrolina). Os locais acima listados possuem disponibilidade de água em função da existência de projetos de irrigação sob a responsabilidade da Codevasf, o que é uma das parcelas do custo total associado.

A Fig. 6 mostra a localização dos pontos visitados juntamente com o custo associado. Próximo aos projetos de irrigação citados existem três subestações da Celpe, todas de 69/13,8 kV: SE Pontal Sul I, SE Pontal Sul II e SE Massangano III.

Os pontos 1, 2, 3, 4 e 6 posicionam-se ao longo de um canal principal de irrigação enquanto que o ponto 5 é atendido por um canal secundário. Em todos os pontos visitados há uma homogeneidade na paisagem com predominância de uma vegetação de caatinga, da ausência de sulcos erosivos e de solos rasos recobertos por cascalho espaçado. No Projeto de irrigação Salitre, observou-se que o acesso é mais difícil e a infraestrutura é inferior ao observado no Projeto de irrigação do Pontal.

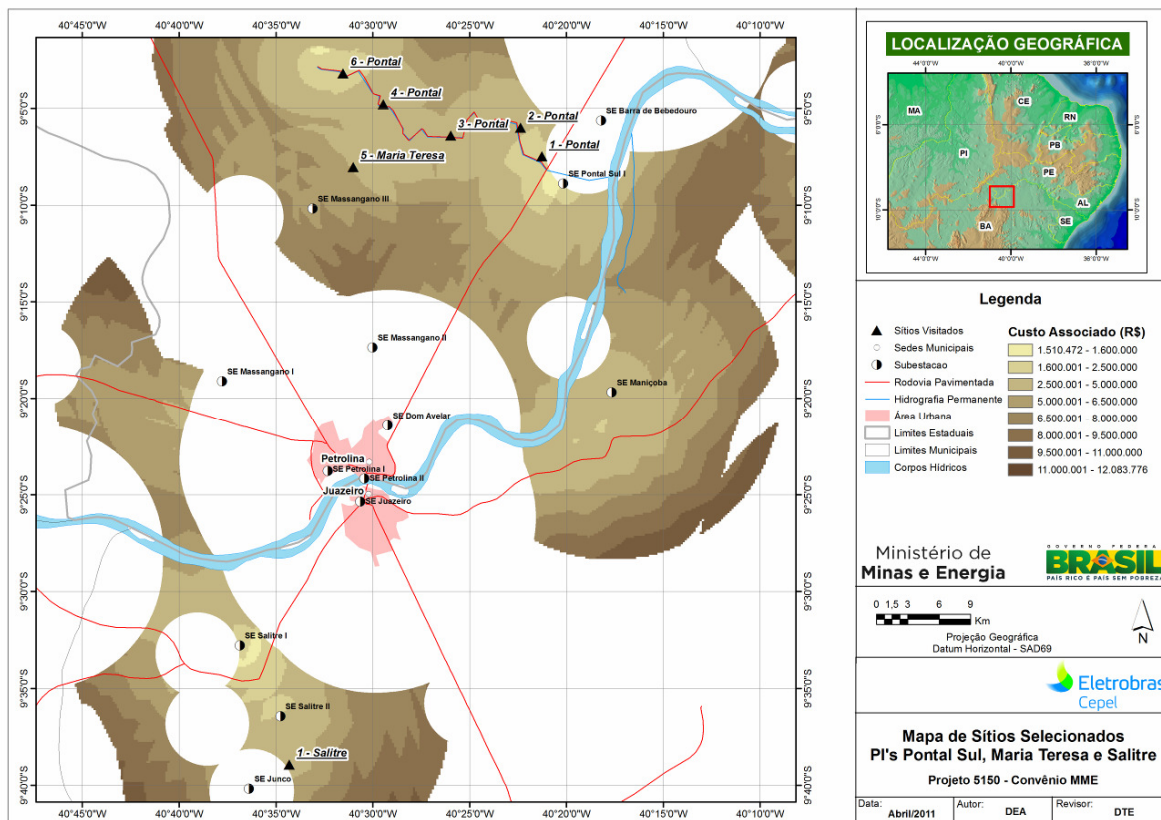


Figura 6- Pontos visitados e custos associados.

Com base no levantamento realizado conclui-se que no projeto de irrigação Pontal Sul os custos associados são menores. Assim, optou-se por excluir os pontos 1 (Salitre – carência de vias asfaltadas) e 5 (Maria Teresa - existência de um depósito de lixo irregular, presença de um núcleo populacional com escola e posto de saúde e abastecimento por um canal secundário). Desta forma, os terrenos do Pontal Sul, localizado no município de Petrolina (PE), são os mais indicados para a instalação da planta piloto.

Com base neste estudo, a SECTEC-PE, em contato com a Codevasf, conseguiu a cessão de um lote de terreno de 45 hectares na região para construção da planta. Estima-se que a área total necessária para a implantação da planta piloto, já prevendo a sua expansão futura seja de 15 hectares. O lote cedido (Lote 01) está localizado às margens do canal principal do Projeto de Irrigação Pontal Sul e encontra-se representado por um retângulo na cor branca na Fig. 7. Próximo à borda inferior direita do terreno há um ponto de tomada d'água e na lateral esquerda há um acesso adicional não pavimentado.

As coordenadas geográficas do lote cedido encontram-se na Tab. 1.

Tabela 1. Coordenadas geográficas dos vértices do polígono do terreno cedido.

ID	Longitude	Latitude
1	-40.445819°	-9.102242°
2	-40.438080°	-9.102969°
3	-40.437860°	-9.107193°
4	-40.437915°	-9.107247°
5	-40.437934°	-9.107409°
6	-40.438234°	-9.107408°
7	-40.445421°	-9.107190°
8	-40.445940°	-9.105226°
9	-40.446042°	-9.103390°

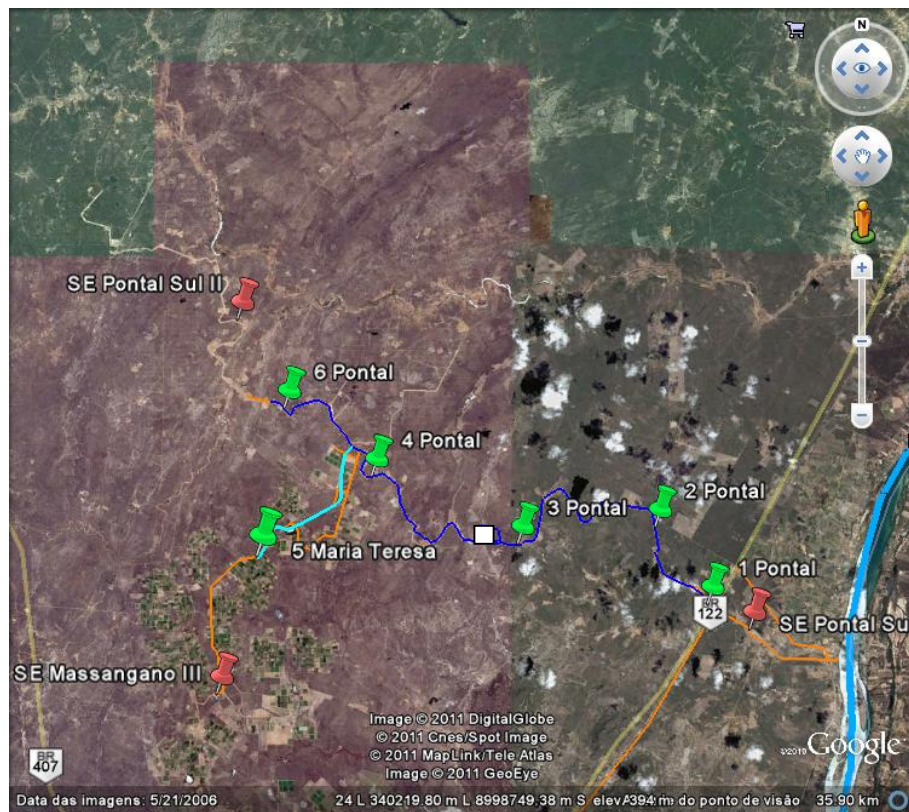


Figura 7- Localização do terreno da planta cedido pela Codevasf – Lote 01 – Projeto de Irrigação Pontal Sul.

A Fig. 8 mostra uma fotografia do local no ponto 3, próximo ao lote cedido pela Codevasf. Observa-se que o terreno é bastante plano, portanto propício para a construção de uma planta heliotérmica.



Figura 8- Fotografia do terreno próximo ao Lote 01 – Projeto de Irrigação Pontal Sul.

3. CONCLUSÕES

A localização para a implantação de um projeto de uma planta solar de 1 MW com tecnologia de cilindros parabólicos foi definida com base em um estudo de priorização que levou em consideração diversas variáveis, dentre as quais se destacam o nível de irradiação solar direta normal, o regime de ventos, a topografia, a disponibilidade de água, a infraestrutura das localidades, as condições de acesso aerorodoviário, a proximidade de subestações para conexão à rede e apoio técnico e logístico.

De acordo com os critérios citados foi calculado um índice global, cujos valores foram utilizados para a hierarquização das localidades. A irradiação direta normal (anual acumulada) estimada na região de Petrolina é 2041,84 kWh/m², semelhante ao valor encontrado no sul da Espanha, onde estão instaladas diversas plantas experimentais e comerciais com tecnologia de concentração solar. O coeficiente de variação estimado para a irradiação direta normal estimado é de 11,37 %. Embora com relação à irradiação direta normal a ao coeficiente de variação o estudo tenha indicado a existência de outras localidades com valores mais adequados, Petrolina se destaca em todos os outros critérios adotados para abrigar uma planta experimental desta natureza., o que lhe garantiu o maior índice global.

Para a identificação dos melhores sítios áreas dentro da região de Petrolina, foram realizadas diversas reuniões locais com técnicos do Cepel, Chesf, Codevasf e Embrapa Semiárido. Através do resultado de um estudo georeferenciado detalhado foram escolhidos sítios correspondentes ao projeto Pontal Sul coordenado pela Codevasf. Próximo a esses sítios, a Codevasf cedeu um terreno de 45 ha onde deverá ser implantada a planta piloto juntamente com uma estação meteorológica completa para monitoramento contínuo dos parâmetros atmosféricos locais.

Agradecimentos

Os autores agradecem ao MME pelo suporte financeiro no âmbito do convênio 721906/2009 firmado com o Cepel e à Codevasf pelo apoio técnico durante todas as visitas a campo em ambas as localidades, Petrolina (PE) e Juazeiro (BA). Agradecem também à Secretaria de Ciência e Tecnologia do Estado de Pernambuco pelo seu apoio institucional e obtenção da licença prévia para instalação da planta piloto no Projeto Pontal Sul, próximo à cidade de Petrolina - PE.

REFERÊNCIAS

- Bennett, I., Monthly maps of mean daily insolation for the United States, Solar Energy, 1965
- Guimarães, A.P.C., Cheroto, S., Menezes, P.C.P., Junior, A.L.V, Nascimento, M.V.G, 2002. Caracterização dos sítios potenciais na região do semi-árido brasileiro para implantação de Sistema Piloto Heliotérmico de Geração Elétrica. Relatório Técnico DG/1105/02 CEPEL, Projeto Gerahelio.
- Guimarães, A.P.C., Vieira, L.S.R, Menezes, P.C.P, Melo Filho, J.B., 2011. Hierarquização de localidades visando à implantação de uma plataforma heliotérmica de demonstração no Brasil, Relatório Técnico Cepel 13975/2011.
- Liu, B.H., & Jordan, R.C., The interrelationship and characteristic distribution of direct, diffuse and total solar radiation, Solar Energy, 1960
- Nunes, G.S. et al., Estudo da distribuição de radiação solar incidente sobre o Brasil, Revista Brasileira de Armazenamento, 1979
- OECD/IEA, 2010. Technology Roadmap, Concentrating Solar Power.

LOCATION STUDY FOR THE IMPLEMENTATION OF A 1 MW PARABOLIC TROUGH SOLAR POWER PLANT IN THE BRAZILIAN SEMIARID REGION

Abstract. *The aim of this paper is to present the location study for the implementation of a 1 MW parabolic trough solar power plant. This plant is the first step for the development of an Experimental Research Platform in solar energy in Brazil. The project takes into account the possibility of future expansion for the inclusion of new solar generation technologies. The location study was based on the calculated values of direct normal irradiance and the availability of: i) water from nearby rivers; ii) transmission lines and substations; iii) infrastructure iv) access and services for the construction of the plant. The chosen site is in the region of the South Pontal Irrigation Project, near the city of Petrolina - PE.*

Key words: *Solar Energy, Concentrated Solar Power, Parabolic Trough*