

I-011 - ASPECTOS ECONÔMICOS E AMBIENTAIS EM SISTEMAS DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA USANDO ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA E CAPTAÇÃO SUBTERRÂNEA

Rodrigo Delalibera Carvalho⁽¹⁾

Engenheiro Sanitarista e Ambiental pela Universidade Federal de Santa Catarina. Especialista em Mudanças Climáticas e Sequestro de CO₂ pela Universidade Positivo. Mestrando em Engenharia Ambiental pela Universidade Federal de Santa Catarina.

Ramon Lucas Dalsasso

Professor do Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental da Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC), Doutor em Engenharia Ambiental pela referida universidade.

Endereço⁽¹⁾: Campus Universitário UFSC/CTC. Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental – Sala 59 - Bairro Trindade - CEP 88040-900 - Florianópolis - Santa Catarina - Brasil - Tel: +55 (48) 3721-7755 - e-mail: rodrigodcarvalho@gmail.com

RESUMO

Nos últimos anos, a energia solar fotovoltaica tem se destacado como uma das principais alternativas para o suprimento de energia no âmbito mundial. No Brasil, a necessidade de atender a demanda energética influenciada pelo risco de racionamento, e a elevação nos preços das faturas de luz, tem ampliado a busca por essa fonte energética. Paralelamente, a dificuldade de acesso à água e energia, em comunidades isoladas, favorece a inserção da energia solar fotovoltaica, especialmente da tecnologia de bombeamento fotovoltaico.

Este estudo tem a finalidade de avaliar os fatores que influenciam nos custos de dimensionamento de um sistema de bombeamento fotovoltaico e estimar os benefícios ambientais e climáticos associados à substituição do bombeamento com energia elétrica da rede pelo uso de painéis solares.

São considerados diversos fatores e as inter-relações existentes no sistema de bombeamento fotovoltaico empregado, tais como: as características do site (temperatura, radiação solar, ângulo de incidência); as características inerentes ao sistema de energia solar empregado (painel fotovoltaico, controlador de carga e inversor), as características da bomba e do poço em função da vazão (Q), as variações do volume do reservatório e do consumo diário de água. O fator de emissão da matriz elétrica nacional será empregado para mensurar os benefícios climáticos com o uso da tecnologia.

Neste contexto, espera-se contribuir para a otimização do dimensionamento de um sistema de bombeamento fotovoltaico, considerando um conjunto de variáveis. Adicionalmente, pretende-se estimar os benefícios ambientais associados com a substituição do bombeamento energético oriundo da rede elétrica pelo uso de painéis fotovoltaicos. Assim, auxiliará na tomada de decisão para a concepção de projetos dessa natureza, além de beneficiar as comunidades com acesso à água e energia, trazendo benefícios em todas as esferas: social, ambiental e econômico.

PALAVRAS-CHAVE: Energia Fotovoltaica, Abastecimento de Água, Água Subterrânea.

INTRODUÇÃO

A gestão dos recursos água e energia são os principais desafios que a sociedade contemporânea tem enfrentado atualmente. Água e energia são fatores de saúde e de progresso para as comunidades, principalmente aquelas situadas em locais remotos. Muitas vezes, essas comunidades estão localizadas sobre reservatórios de água subterrânea de boa qualidade. A falta de conhecimentos e de recursos financeiros, aliada, muitas vezes, à falta de energia, dificulta a resolução desse problema, tal como ocorre em comunidades situadas no Norte e Nordeste do território brasileiro, destacado em FEDRIZZI (2003) e MARTINS (2001).

Portanto, torna-se de grande importância, a implantação de soluções pautadas na sustentabilidade, através de sistemas e tecnologias relacionadas à eficiência na produção de energia limpa. O melhor aproveitamento dos recursos disponíveis locais permite a obtenção de soluções alternativas de baixo custo. A concepção e

implantação de tais soluções flexíveis de adaptação são urgentes para contribuir significativamente para o balanço energético mundial, através de métodos mais econômicos, sociais e ambientalmente adequados.

Diversos estudos têm sido realizados em relação ao dimensionamento de sistemas de bombeamento fotovoltaico visando obter o aperfeiçoamento dos projetos quanto à minimização dos custos. O dimensionamento de um sistema de bombeamento fotovoltaico, basicamente consiste em definir a potência dos módulos fotovoltaicos em função da demanda de água pretendida. (NIGER, 2013)

Todavia, uma pesquisa acerca dos parâmetros que influenciam no dimensionamento pode aumentar consideravelmente o desempenho de um sistema de bombeamento fotovoltaico, a fim de alcançar a demanda necessária de água para uma comunidade isolada com o menor preço (GHONEIM, 2006).

A otimização do dimensionamento em projetos de bombeamento fotovoltaico tem como objetivo o abastecimento da demanda, minimizando os custos de investimento, porém garantindo o abastecimento de água de forma contínua e segura. Uma pequena redução de gastos em cada parte integrante do sistema pode implicar uma economia considerável no montante total do projeto. (FEDRIZZI, 2003)

Apesar de se tratar de um sistema complexo, o bombeamento fotovoltaico pode ser otimizado com a aplicação de uma abordagem sistemática e o uso de ferramentas adequadas. (DJURIN, 2011).

Nesse contexto, torna-se fundamental o conhecimento preciso das características locais e peculiares do sistema empregado, isto é, dos respectivos fatores e parâmetros, bem como das relações existentes entre esses.

Independentemente da ferramenta utilizada, para poder dimensionar um sistema fotovoltaico de abastecimento de água é preciso definir, pelo menos, os seguintes parâmetros, ainda que por estimativas: demanda de água, parâmetros do manancial, disponibilidade de radiação solar, volume do reservatório; cujas variações ocorrem em função da estação do ano, da sazonalidade do ciclo hidrológico, e do regime de bombeamento e de reposição do manancial. Nesse sentido, as simulações nas curvas típicas de consumo de água e radiação solar para definição da potência do gerador fotovoltaico e do volume do reservatório tendem a ser preponderantes para atingir o melhor custo-benefício e garantir a confiabilidade do sistema.

O presente trabalho discute a relação entre variáveis de dimensionamento de um sistema de abastecimento de água, na perspectiva de otimização dos custos de implantação, considerando a captação de água subterrânea e a utilização de Energia Solar Fotovoltaica para o bombeamento, assegurando benefícios ambientais.

São considerados diversos fatores e as inter-relações existentes no sistema de bombeamento fotovoltaico empregado, tais como: as características do site (temperatura, radiação solar, ângulo de incidência); as características inerentes ao sistema de energia solar empregado (painel fotovoltaico, controlador de carga e inversor), as características da bomba e do poço em função da vazão (Q), as variações do volume do reservatório e do consumo diário de água.

Neste contexto, pretende-se aprimorar o dimensionamento de um sistema de bombeamento fotovoltaico, minimizando os custos de implantação. Adicionalmente, a partir dos fatores de emissão do sistema elétrico nacional, almeja-se estimar os benefícios ambientais associados à substituição do bombeamento elétrico convencional pelo uso de painéis fotovoltaicos.

METODOLOGIA

Os aspectos e relações que influenciam no dimensionamento de um sistema de bombeamento fotovoltaico, são discutidos na perspectiva de um sistema sem armazenamento de energia elétrica, ou seja, sem baterias, composto, portanto, de cinco subsistemas: 1 - sistema de produção (fonte de água subterrânea); 2- sistema de transporte (bomba e tubulações); 3- sistema de geração de energia (painéis fotovoltaicos); 4 - sistema de reservação (reservatórios de água); 5 -sistema consumidor (consumo humano de água e outros usos).

Na discussão dessas relações são considerados dados de literatura e também de um sistema de abastecimento de água por bombeamento fotovoltaico, em implantação em uma área rural na cidade de Orleans, SC.

Os aspectos ambientais associados aos projetos de bombeamento solar fotovoltaico estão relacionados à contribuição positiva no balanço energético nacional por conta da redução de emissão de gases de efeito estufa. A partir dos fatores de emissão nacionais, calculados pelo Operador Nacional do Sistema Elétrico (ONS) através de ferramenta aprovada pelas Organizações das Nações Unidas, torna-se possível quantificar as emissões evitadas com o projeto e o respectivo impacto climático.

RESULTADOS

Num sistema de abastecimento de água por bombeamento fotovoltaico, sem armazenamento de energia, destacam-se os seguintes subsistemas e suas dependências:

- 1 – produção (depende do tipo de número de poços, além da hidrogeologia)
- 2 – transporte (depende do tipo e bomba e da altura manométrica total)
- 3 – geração (depende da radiação – padrão regional e sazonal a seguir, e dos painéis fotovoltaicos – escolha técnica)
- 4 – reservação
- 5 – consumo (depende do padrão de consumo – hábitos, demandas)

Na tabela 1 é possível visualizar possíveis relações entre os subsistemas citados e causas de variações. Observa-se, por exemplo, que variações no consumo de água afeta todos os demais subsistemas, por outro lado o consumo é independente dos demais. O subsistema geração é afetado pelo outros quatro subsistemas. Na sequência são discutidas com mais detalhes algumas dessas relações:

Tabela 1 – Relações entre subsistemas de um sistema de abastecimento de água por bombeamento fotovoltaico

		Possíveis causas
1 Produção	A	A5; A2 por D3 devido período reduzido de radiação
	D	D5; D2 por A3 devido período longo de radiação
2 Transporte	A	A5; A1;D4
	D	D5; D1;A4
3 Geração	A	A5;A2;A1
	D	D5;D2;D1;A4
4 Reservação	A	A1;D2;A5
	D	D1;A2;D5
5 Consumo	A	Mudanças de hábitos
	D	Mudanças de hábitos

A – tende a aumentar; D – tende a diminuir; 1 a 5 – número do subsistema

Consumo de água x Geração (Disponibilidade de radiação solar)

Sempre que possível, deve-se conhecer o consumo de água preexistente ao projeto e as projeções de consumo futuro da população a ser beneficiada. Isso pode ser realizado mediante aplicação de questionários e/ou instalação de medidores de vazão em algumas residências. A figura 01 exibe uma curva de consumo, médio, de uma propriedade rural, obtida por instalação de um medidor eletromagnético de vazão.

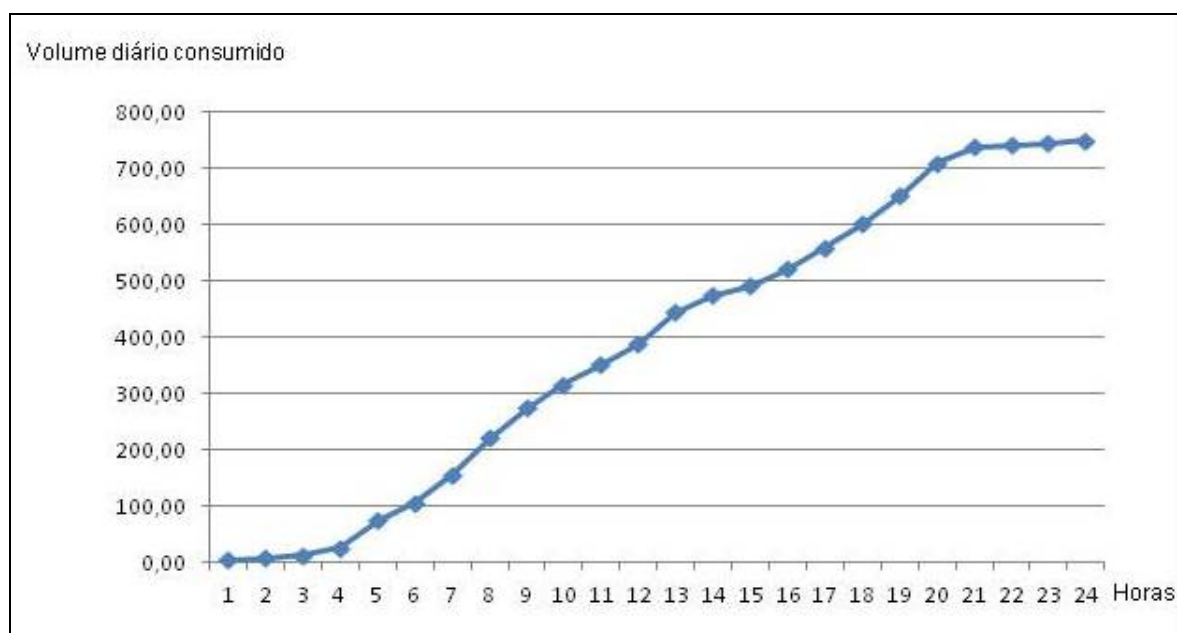


Figura 01: Curva de consumo médio diário (volume acumulado) típica de propriedade rural em Orleans, SC.

Cabe ressaltar, que a demanda de água depende de inúmeros fatores, como: o uso da água, características socioeconômicas e culturais da população, climatologia local, variando grandemente em função da distância do ponto de coleta ao local de consumo. Normalmente, os meses de verão apresentam índices de consumo 50% maior quando comparados ao período do inverno. Entretanto, em épocas de menor radiação solar, a necessidade de água, geralmente, também é menor. Nesse contexto, usualmente adota-se a média dos meses do ano como referência para o dimensionamento. (BOMBEO, 2002).

Por sua vez, a radiação solar captada por uma superfície varia em função de parâmetros como a orientação da superfície em relação ao Sol, a hora do dia, o dia do ano, a latitude e as condições climatológicas. A figura 02 apresenta a média anual do total diário de radiação solar incidente no território brasileiro. A cidade de Orleans, circundada em verde, possui índice médio de radiação solar variando entre 4.500 e 4.700 W/m².dia.

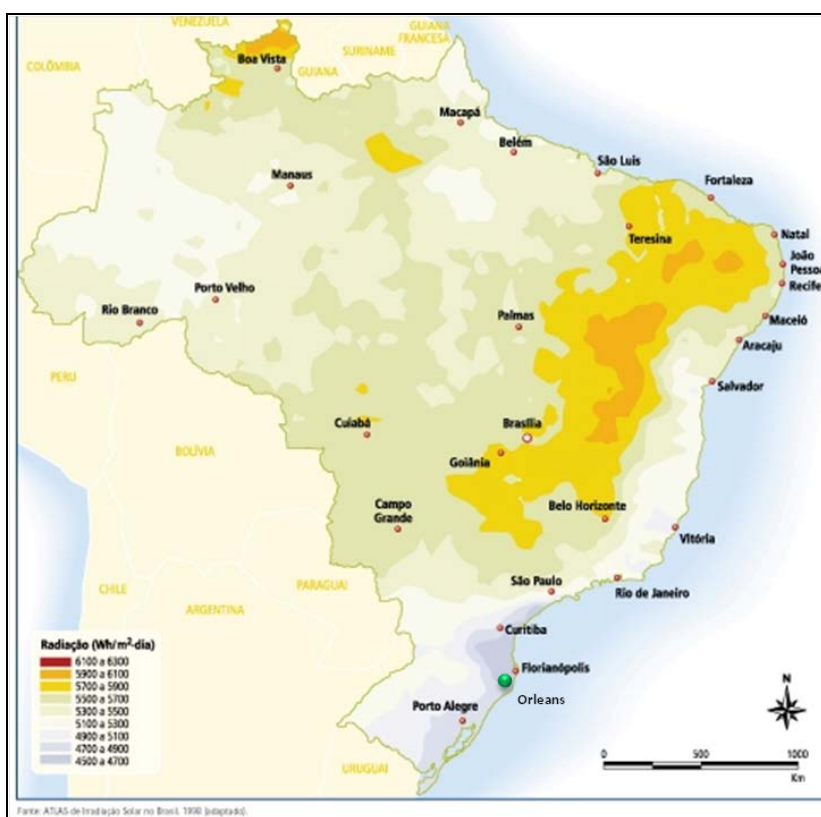


Figura 02: Mapa de disponibilidade solar no território brasileiro.

A partir de um piranômetro instalado no município foi medida a radiação solar em um dia típico de outono. A figura 03 mostra a disponibilidade e variação do recurso solar. O total de radiação solar acumulada foi de 4.200 W/m².dia, valor próximo da média apresentada na figura 02 – (4.500-4.700 W/m².dia). A diferença pode ser parcialmente atribuída à estação, que apresenta menores índices de insolação que os meses de primavera e verão.

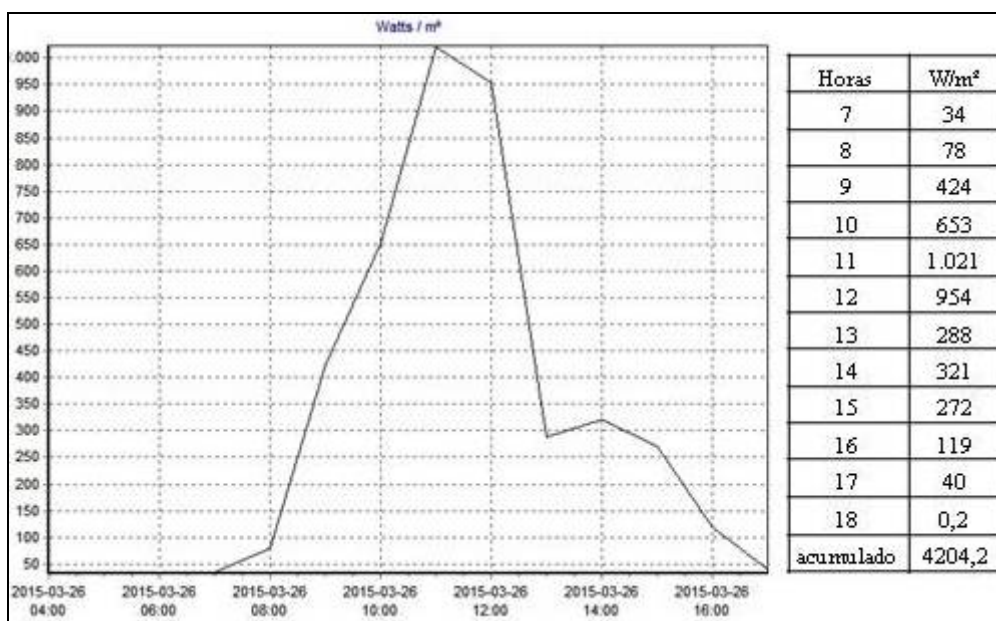


Figura 03: Disponibilidade e variação de recurso solar em Orleans / SC.

Outro parâmetro importante a ser observado é o ângulo de inclinação dos módulos fotovoltaicos. Para uma demanda regular ao longo do ano, deve-se optar pela inclinação próxima a latitude do site; no entanto, para otimizar a radiação solar nos meses de inverno, os módulos devem facear o norte verdadeiro com inclinação, em relação à horizontal, de latitude mais 10° ou 15°. SE a demanda de água for mais acentuada no verão, o dimensionamento deverá maximizar a irradiação no plano das placas para esse período específico. (MARTINS, 2001)

Potência do gerador, sistema de bombeamento e volume do reservatório

O dimensionamento de um sistema de bombeamento prossegue por definir a potência de pico do gerador fotovoltaico, selecionar a motobomba e o tipo de controlador eletrônico eventualmente necessário. Para isso é necessário, conforme já mencionado, conhecer as necessidades de água, as características do poço, as alturas manométricas envolvidas, as características da insolação local e outras circunstâncias do projeto.

As necessidades de água devem ser levantadas como em um sistema convencional, levando-se em conta que quanto maior é a quantidade de água bombeada maiores serão os custos, principalmente do gerador fotovoltaico.

É importante que sejam levantadas as características do poço, principalmente o nível estático e dinâmico, e as capacidades de fornecimento de água para as épocas mais críticas do ano, confrontando-as com as necessidades de água da comunidade.

A partir de determinada quantidade de irradiação diária ($W/m^2.dia$) e das características da fonte de água (vazão de recarga do poço e altura manométrica total), dimensiona-se um sistema tal que permita o abastecimento da demanda (vazão diária) para determinado número de dias de autonomia (capacidade do reservatório). Assim, deve-se definir a posição do reservatório e calcular as alturas manométricas envolvidas para os diversos níveis de água do poço.

O volume do reservatório deve ser a relação entre o consumo previsto e o suprimento garantido pelo potencial energético, mas estará também relacionado à existência de outras fontes de água no local. A autonomia do sistema estará vinculada ao tipo de utilização que se fará da água (consumo humano, produção animal, irrigação, lazer, etc.).

Relações entre o sistema de bombeamento, potência do gerador e reservatório

Os parâmetros básicos para selecionar o sistema de bombeamento são a altura manométrica (metros de coluna de água) e a vazão de água (m^3/dia). A escolha do conjunto motobomba deve ser feita em função da configuração técnica escolhida, dos volumes de água envolvidos, das alturas manométricas, das características do poço, etc. Além disso, deve-se dar preferência a produtos robustos que apresentem comprovada confiabilidade técnica no campo, em detrimento de produtos mais baratos e que não assegurem essas características.

Quanto maior o volume do reservatório, a tendência é diminuir a potência dos conjuntos motobombas, permitindo bombear a uma taxa menor, porém por um tempo maior, mesmo assim diminuindo a capacidade dos painéis fotovoltaicos. Essa relação, se otimizada, pode resultar na redução de custos do sistema. Outro aspecto importante é altura manométrica total do sistema, afetada pelas posições relativas dos diferentes elementos do sistema de transporte. Quanto maior o deslocamento vertical da água maior a quantidade de energia necessária. Quanto maior a profundidade da água e a elevação do reservatório, menor será a quantidade de água bombeada, ou então maior e mais dispendioso será o gerador solar. A distância horizontal entre o ponto de captação da água e o reservatório também é importante. Quanto maior é esta distancia, maior é a perda de energia exigindo um gerador solar com maior capacidade de geração.

De modo geral, a forma mais adequada para seleção da motobomba, do controlador/inversor e da capacidade do gerador fotovoltaico é trabalhar com as curvas dos fabricantes de motobombas específicas para sistemas fotovoltaicos.

ASPECTOS ECONÔMICOS E AMBIENTAIS

É muito importante que as considerações econômicas sejam criteriosamente avaliadas ao se projetar um sistema de bombeamento para uma aplicação específica. Deve-se levar em conta não apenas o investimento inicial, mas também os gastos de operação e manutenção e também as características específicas do local, do poço e da comunidade. É importante também que seja avaliada a infraestrutura necessária para manter o poço em funcionamento.

Um dos maiores gastos associados está atrelado aos módulos fotovoltaicos, em torno de 40% dos custos totais. Entretanto, os preços são altamente variáveis dependendo do mercado (CAMPANA, 2013). O preço do gerador solar é praticamente proporcional à área das placas fotovoltaicas, que por sua vez é proporcional à quantidade de energia necessária para o trabalho de bombeamento. Portanto quando o sistema está localizado em um local muito nublado, quando se requer muita água com uma grande elevação de altura (altura manométrica), a viabilidade dos sistemas fotovoltaicos diminui em relação às demais alternativas (bombeamento elétrico e a diesel). Uma forma prática para uma avaliação prévia é multiplicar a vazão pela altura. Os sistemas são tão mais viáveis quando o produto matemático do volume a ser bombeado diariamente (m³/dia) pela altura de elevação da água (adução + recalque em metros) for inferior a 500 m⁴/dia. (ALVARENGA, 2014)

A viabilidade econômica da instalação de um sistema fotovoltaico depende do custo de produção de eletricidade cobrir as despesas suplementares em relação ao sistema de atendimento convencional. No caso de instalações em comunidades isoladas as despesas de produção de eletricidade, utilizando um sistema fotovoltaico, geralmente são comparadas com os custos relacionados à expansão da rede elétrica convencional. Assim, devem ser observando os critérios técnicos a serem adotados, tais como: a distância do consumidor em relação à linha de distribuição e o número de domicílios a serem atendidos. (CUNHA, 2006)

O Brasil possui uma matriz energética comparativamente “limpa”, com baixos níveis de emissões de gases de efeito estufa por unidade de energia produzida ou consumida. Entretanto, a demanda brasileira por eletricidade tem crescido mais rapidamente que a produção de energia primária, resultando no acionamento das usinas termelétricas, aumentando o fator de emissão de CO₂ pela geração de energia elétrica no país.

Os Fatores de Emissão de CO₂ resultantes da geração de energia elétrica verificada no Sistema Interligado Nacional (SIN) do Brasil são calculados a partir dos registros de geração das usinas despachadas de modo centralizado pelo Operador Nacional do Sistema Elétrico (ONS) e, em especial, nas usinas termelétricas.

A sistemática de cálculo dos fatores de emissão de CO₂ foi desenvolvida em cooperação entre o Ministério da Ciência e Tecnologia (MCT) e o Ministério de Minas e Energia (MME), tendo como base as diretrizes da metodologia ACM0002 e a respectiva ferramenta “*Tool to calculate the emission factor for an electricity system*” aprovada pelo Conselho Executivo do MDL, entidade ligada às Organizações das Nações Unidas (UNFCCC, 2015).

Seguindo essa sistemática, desde 2006, os Fatores de Emissão de CO₂ passaram a ser calculados pelo ONS para o SIN, e disponibilizados para consulta pública por meio do endereço eletrônico do Ministério de Ciência, Tecnologia e Inovação. (MCTI, 2015). A tabela 2 relaciona os anos e os respectivos fatores de emissão.

Tabela 2: Média anual dos fatores de emissão do SIN.

Ano base	Fator de Emissão Médio Anual (tCO ₂ / MWh)
2009	0,0246
2010	0,0512
2011	0,0292
2012	0,0653
2013	0,0960
2014	0,1355

Assim, os projetos que ofertam energia elétrica para a rede ou que reduzem ou eliminam o consumo de energia da rede devem utilizar o fator de emissão de CO₂ associado à rede para calcular as reduções obtidas com a implantação do projeto.

Os projetos de bombeamento solar fotovoltaico dispensam o uso de energia elétrica oriunda da rede, e também a utilização de combustíveis fósseis, evitando novas emissões de dióxido de carbono (CO₂). Neste contexto, ao analisar comparativamente o cenário de prática comum (bombeamento elétrico) com o sistema de bombeamento fotovoltaico, torna-se possível quantificar as emissões evitadas, por meio dos fatores de emissão de CO₂.

Um dos maiores ganhos econômicos e ambientais se refere à diminuição de cabeamento para transmissão de eletricidade. Assim, ocorre uma diminuição nos impactos ambientais (menos desmatamento, menor interferência no solo, o que contribui para a manutenção dos mananciais de água).

CONCLUSÕES

O estudo das relações entre os subsistemas do bombeamento fotovoltaico conduz a otimização no dimensionamento de projetos dessa natureza, trazendo benefícios econômicos e ambientais. É importante atentar para o fato de que tanto o sub quanto o superdimensionamento podem ser prejudiciais, o primeiro por implicar uma deficiência no serviço e o segundo, por resultar em maior custo de investimento e facilitar o desperdício da água.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. ALIGAH, 2011. Design of Photovoltaic Water Pumping System and Compare it with Diesel Powered Pump. Jordan Journal of Mechanical and Industrial Engineering. Volume 5, Number 3, June 2011
2. ALVARENGA, Carlos Alberto. Bombeamento de água com energia solar fotovoltaica, 2014. Disponível em: www.solenerg.com.br ; Acesso em 9 de agosto de 2014.
3. CAMPANA, 2013 - Dynamic modelling of a PV pumping system with special consideration on water demand. Pietro Elia Campana; Hailong Li; Jinyue Yan.
4. CUNHA, José Luiz de Paula Alves. Eletrificação de edificações rurais isoladas utilizando energia solar fotovoltaica. 2006. Monografia – Pós Graduação em Fontes Alternativas de Energia da Universidade Federal de Lavras.
5. DJURIN, B. GLASNOVIC, Z., MARGETA, J. PV Power for urban Water Supply. International Journal of Energy Science. IJES, Vol.1 Nº 3 2011 PP.131-139;
6. FEDRIZZI, Maria Cristina. Sistemas fotovoltaicos de abastecimento de água para uso comunitário: lições apreendidas e procedimentos para potencializar sua difusão. 174 p., 2003. Tese (Doutorado) – Programa Interunidades de Pós-Graduação em Energia da Universidade de São Paulo.
7. GHONEIM, 2005 - Design optimization of photovoltaic powered water pumping systems. Energy Conversion and Management. A.A. Ghoneim
8. INPE. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. Atlas Brasileiro de Energia Solar.2006. Disponível em: <http://www.ccst.inpe.br/wp-content/themes/ccst-2.0/pdf/atlas_solar-reduced.pdf>; Acesso em 19 de agosto de 2014;
9. JIRNYI, A. Using the Solver add-in in MS Excel 2007. Kellogg office of research, 2011. Disponível em: <http://www.kellogg.northwestern.edu/researchcomputing/docs/UsingExcelSolver.pdf> ; Acesso em 20 de Agosto de 2014;
10. MCTI - Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação. Disponível em: http://mcti.gov.br/index.php/content/view/72764/Fatores_de_Emissao_de_CO_sub_2_sub_pela_geracao_de_energia_eletrica_no_Sistema_Interligado_Nacional_do_Brasil.html
11. Martins, P.C. Bombeamento Solar. IV Simpósio de Hidrogeologia do Nordeste, 2001.
12. NARVARTE, L. LORENZO, E. Patrones de consumo de agua en sistemas rurales de bombeo fotovoltaico, 2002.
13. UNFCCC - United Nations Framework Convention on Climate Change - Methodological Tool approved by CDM Executive Board – " Tool to calculate the emission factor for an electricity system". Disponível em: <https://cdm.unfccc.int/.../tools/am-tool-07-v4.0.pdf>. Acesso em 10 de Agosto de 2014;