



GPT/016

21 a 26 de Outubro de 2001
Campinas - São Paulo - Brasil

GRUPO II

GRUPO DE ESTUDO DE PRODUÇÃO TÉRMICA E FONTES NÃO CONVENCIONAIS (GPT)

ANÁLISE ECONÔMICA DE UMA INSTALAÇÃO DE OSMOSE REVERSA ACIONADA POR GERADOR FOTOVOLTAICO

Paulo Cesar Marques de Carvalho*
Universidade Federal do Ceará

Francisco Fabio Damasceno Montenegro
Centro Federal de Educação Tecnológica do Ceará

RESUMO

Este artigo analisa do ponto de vista econômico um projeto pioneiro no Brasil constituído por uma unidade dessalinizadora de água salobra acionada por um gerador fotovoltaico. Utilizando tecnologia de osmose reversa, o dessalinizador possui capacidade nominal de 250l/h e foi dimensionado para atender a uma comunidade rural de 150 famílias situada no interior do Ceará. As características nominais do gerador fotovoltaico são 1,1kWp obtidas através da configuração mista de 20 módulos solares de 55Wp cada. Este gerador é responsável pelo suprimento de energia elétrica a um banco de baterias composto por 8 unidades de 100Ah. Com a análise econômica pretende-se mostrar o custo do m³ da água potável produzida pela unidade dessalinizadora acionada por gerador fotovoltaico.

PALAVRAS-CHAVE

Energia solar, economia

1.0 INTRODUÇÃO

De acordo com estudos realizados pela Associação Brasileira de Águas Subterrâneas (ABAS), pelo menos 19,5 bilhões de metros cúbicos de água poderiam ser extraídos por ano do subsolo nordestino brasileiro sem o risco de esgotamento dos mananciais. O potencial é 40 vezes maior que o explorado. Esta água, devida ser salobra, requer a utilização de algum processo de dessalinização para obtenção de água potável (1).

A osmose reversa tem ocupado uma posição de destaque no campo de dessalinização de água salobra

ou do mar. Para o seu funcionamento torna-se necessário o fornecimento de energia elétrica no local da instalação. Mas aí, depara-se com outra realidade brasileira: a deficiente eletrificação rural. Entretanto, no abastecimento de eletricidade a regiões remotas a tecnologia fotovoltaica tem provado sua viabilidade técnica e econômica.

2.0 HISTÓRICO

Com esta motivação, pesquisa foi realizada com o objetivo de projetar e implementar no campo, isto é, em condições reais de funcionamento, uma unidade de osmose reversa com capacidade nominal de 250litros/hora acionada por painéis fotovoltaicos. O projeto foi implementado na localidade de Coité-Pedreiras situada à cerca de 25km de Fortaleza. Cento e cinquenta famílias estão sendo beneficiadas com este projeto que tiveram a qualidade de suas vidas melhorada (2).

Os dados coletados da instalação que serviram de base para as análises técnica e econômica desse projeto, foram obtidos de setembro a dezembro de 2000 e janeiro de 2001:

- Setembro – novembro 2000: funcionamento da unidade de osmose reversa acionada por um motor de corrente contínua alimentado por painéis fotovoltaicos;
- Dezembro 2000: acionamento da unidade de osmose reversa usando um motor de indução trifásico alimentado pela rede elétrica convencional;

* Departamento de Engenharia Elétrica – Universidade Federal do Ceará
Cx. Postal 6001 – 60.455-760 – Fortaleza – CE
Tel: 85 288 9585 Fax: 85 288 9574 - e-mail: carvalho@dee.ufc.br

- Janeiro 2001: acionamento da unidade de osmose reversa por um motor de indução trifásico alimentado por painéis fotovoltaicos.

2.1 Acionamento da unidade de osmose reversa acionada por um motor de corrente contínua alimentado por painéis fotovoltaicos

A unidade de osmose reversa com vazão nominal de 250 litros/hora usa comercialmente um motor de indução monofásico de 3/4HP. No entanto, como o custo do motor de corrente contínua representava apenas 7% do custo do inversor necessário para acionar este motor de indução, optou-se inicialmente por não se usar o motor de indução e adotar-se o motor de corrente contínua para acionar a instalação de osmose reversa. Entretanto, através da análise dos dados oriundos da instalação, entre os meses de setembro a novembro de 2000, constatou-se que o motor de corrente contínua se mostrou inadequado para atender a produção diária de aproximadamente 1200 litros de água potável. O custo de manutenção do motor de corrente contínua inviabilizou seu emprego para produção de água potável através de osmose reversa.

2.2 Acionamento da unidade de osmose reversa usando um motor de indução trifásico alimentado pela rede elétrica convencional

O quarto mês de operação da instalação de osmose reversa ocorreu em dezembro de 2000. Neste mês, optou-se pelo acionamento da instalação através de energia convencional pelas seguintes razões:

- Garantir a continuidade no abastecimento de água potável à comunidade. Este aspecto demonstra o compromisso social do projeto. Para se dar um exemplo, cita-se que, diariamente, o colégio vizinho à instalação busca pelo menos oitenta litros de água potável para atender cerca de quinhentas crianças;
- Avaliar o comportamento da instalação de osmose reversa acionada por um motor de indução trifásico através de um inversor de frequência.

A decisão em se usar um motor de indução trifásico surgiu devido às características peculiares a este tipo de motor:

- Robustez;
- Fácil operação;
- Fácil manutenção e de custo desprezível;
- Não possui contatos móveis como existem no motor monofásico;
- Facilidade de aquisição no comércio local para eventual troca de motor.

A operação da instalação de osmose reversa acionada por um motor de indução trifásico alimentado pela concessionária local serviu para se constatar que:

- A instalação de osmose reversa produz água potável independente do tipo de acionamento: Motor de corrente contínua ou motor de indução;
- O conversor de frequência utilizado permite o acionamento do motor de indução trifásico usando-se uma rampa de aceleração eliminando os inconvenientes causados pela corrente de partida;
- O motor de indução trifásico com velocidade determinada através do conversor de frequência em 3000rpm, imprime à membrana de osmose reversa uma pressão em torno de 120psi;
- A uma pressão de 120psi aplicada à membrana consegue-se uma vazão média em torno de 3,8 a 4 litros/minuto de água potável;
- Poderia ser executada a implementação do projeto de um conversor CC/CC para permitir o acoplamento das baterias ao motor de indução trifásico, sem risco de inviabilidade técnica por conta do inversor de frequência.

2.3 Acionamento da unidade de osmose reversa por um motor de indução trifásico alimentado por painéis fotovoltaicos

O quinto mês de operação da instalação de osmose reversa ocorreu em janeiro de 2001. Neste mês, a instalação foi acionada por um motor de indução trifásico com suprimento de energia elétrica oriunda dos painéis fotovoltaicos.

A viabilidade técnica da utilização do motor de indução trifásico para acionamento da unidade de osmose reversa se tornou possível com a implantação dos seguintes equipamentos:

- Conversor CC/CC para elevar a tensão de 24VCC para 220VCC. Este equipamento é ligado aos terminais das baterias;
- Conversor de frequência de 750W. Este equipamento é utilizado para possibilitar a escolha da velocidade adequada a ser desenvolvida pelo motor de indução a fim de garantir à pressão aplicada a membrana de osmose reversa capaz de atender a produção diária de água potável que serve à comunidade de Coité-Pedreiras.

A Figura 1 mostra as conexões elétricas dos painéis fotovoltaicos ao motor de indução trifásico.

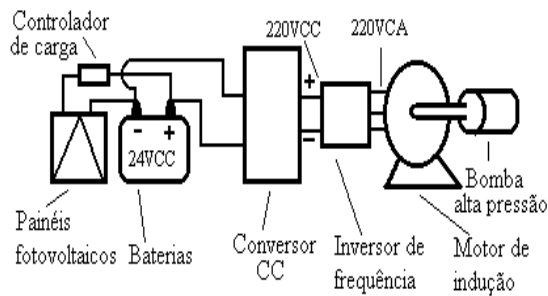


FIGURA 1: LIGAÇÕES ELÉTRICAS DOS PAINÉIS FOTOVOLTAICOS AO MOTOR DE INDUÇÃO

3.0 ANÁLISE ECONÔMICA

3.1 Introdução

O custo do capital investido na instalação de osmose reversa acionada por painéis fotovoltaicos desde a aquisição, transporte, instalação, operação e manutenção estão mostrados nas Tabelas 1 e 2.

TABELA 1 - CUSTO DO CAPITAL PARA AQUISIÇÃO DO SISTEMA (O.R. + F.V.)

Item	Custo unitário (Reais)	Custo total (Reais)
Unidade de osmose reversa {incluindo tanques, transporte, instalação}	8.000,00	8.000,00
Gerador fotovoltaico {1,1kWp}	19,70/Wp	21.670,00
Baterias {8 unidades de 100 Ah}	100,00	800,00
Conversor CC + Inversor {750W}	2.000,00	2.000,00
Controlador de carga {2 unidades de 30A}	260,00	520,00
Motor trifásico {mancais, base, polias}	300,00	300,00
Total	-	33.290,00

TABELA 2 - CUSTOS DE OPERAÇÃO E MANUTENÇÃO DO SISTEMA (O.R. + F.V.)

Item	Período	Custo (Reais)
Substituição das baterias	1 ano	400,00
Substituição da membrana	1 ano	550,00
Filtros	1 ano	80,00
Operador	1 ano	450,00
Total	-	1.480,00

Através das tabelas 1 e 2 percebe-se que o custo total da água potável é realizado considerando-se a versão final da instalação de osmose reversa no que se refere ao tipo de acionamento, isto é, com motor de indução usando conversor CC e inversor de frequência. Os preços das tabelas 1 e 2 são aproximados e foram coletados no comércio de Fortaleza no segundo semestre de 2000.

3.2 Custo total da água potável

Existem na literatura de Engenharia Econômica vários métodos para se calcular o custo da água potável. O método utilizado neste artigo é definido como gradiente uniforme. O gradiente uniforme é, por definição, uma série de pagamentos ou reembolsos que crescem uniformemente a partir do segundo período de capitalização (3).

Para se calcular o custo total da água potável considera-se:

- Valor presente do capital de investimento, P, 33.290 Reais;
- Custo com operação e manutenção, O&M, 1.480,00 Reais (parcela fixa);
- Uma taxa de retorno anual, i, de 10%;
- A vida útil estimada do equipamento, n, é de 20 anos;
- FRC = fator de recuperação do capital;
- custo com O&M aumenta linearmente a uma taxa de 148,00 Reais por ano. 10% da parcela fixa de O&M;
- $O\&M' =$ Custo anualizado de operação e manutenção;
- Ca = Capital anual equivalente do equipamento;
- Produção anual estimada de água potável, Pd, igual a 311m³;

Equações envolvidas no cálculo:

$$FRC(n,i) = \frac{i(1+i)^n}{(1+i)^n - 1} \quad (1)$$

$$O\&M' = (0,1 \times O\&M) \frac{\{(1+i)^n - 1 - ni\}}{i[(1+i)^n - 1]} \quad (2)$$

$$Ca = [(FRC \cdot P) + O\&M + O\&M'] \quad (3)$$

Substituindo valores, tem-se

FRC = 0,12 e **O&M'** = 963,20 Reais, então

Ca = [(3.994,80) + (1.480) + (963,20)] Reais

Ca = 6.438,00 Reais

O custo total da água é dado por:

$$C_{\text{água}} = (Ca / Pd)$$

$$C_{\text{água}} = 20,70 \text{ Reais/m}^3$$

$$C_{\text{água}} = 10,51 \text{ Dólares/m}^3 \text{ (valor calculado pelo câmbio, 1 US\$=1,97 Reais).}$$

3.3 Dados comparativos do custo de água potável

A Tabela 3 mostra a discrepância de valores entre o preço da água potável produzida pela instalação de osmose reversa e os preços da água mineral e do carro pipa comercializada na comunidade de Coité-Pedreiras.

TABELA 3 – PREÇOS DA ÁGUA UTILIZADA PELA COMUNIDADE DE COITÉ PEDREIRAS

Água	20litros (Reais)
Osmose reversa	0,41
Água mineral (comércio local)	3,00
Água carro pipa - comunidade	1,00

4.0 CONCLUSÕES

As conclusões apresentadas são baseadas em experiências adquiridas no planejamento, instalação, operação e manutenção de uma unidade de osmose reversa acionada por painéis fotovoltaicos. A operação da unidade de osmose reversa foi acompanhada por cerca de cinco meses por sensores que viabilizaram a análise técnica e econômica do sistema formado por uma unidade de osmose reversa e um gerador fotovoltaico. Dos aproximados cinco meses de operação, em um deles, a unidade de osmose reversa foi acionada pela concessionária local. Esta atitude possibilitou a avaliação da performance da unidade de

osmose reversa diante de um suprimento de energia elétrica proveniente de uma fonte considerada estável.

As principais conclusões são:

- a manutenção dos instrumentos e equipamentos é indispensável para garantir a vida útil destes e a exatidão das medições;
- o motor de corrente contínua suportou apenas quatro manutenções corretivas em três meses de funcionamento. Na última delas, o motor teve o induzido queimado. A queima desta peça inviabilizou totalmente a manutenção corretiva, pois se tornou impossível recuperá-lo. A perda dos condutores e do coletor foi integral;
- funcionando com 15% de sobrecarga, sobretudo em alta rotação, cerca de 3300rpm, a vida útil das escovas do motor de corrente contínua é reduzida a aproximadamente 70 horas de operação;
- o uso de um motor de indução trifásico para acionamento da unidade de osmose reversa tornou o sistema (osmose reversa + gerador fotovoltaico) mais confiável, mais estável e com maior rendimento;
- a relação entre a energia consumida para dessalinizar água salobra e o volume de água potável é dada por: Em setembro, usando o motor de corrente contínua, 4,16kWh/m³ ao passo que em janeiro usando-se o motor de indução trifásico, obteve-se cerca de 0,68kWh/m³. Uma diferença, portanto, em torno de 84%;
- a estratégia de operação onde se tem o motor de indução trifásico funcionando entre 2700 a 3000rpm, 120psi aplicada a membrana de osmose reversa, taxa de recuperação em torno de 25% e uma produção média de 3,8 litros/minuto com quatro a cinco horas diárias de funcionamento, é possível duplicar a produção de água potável mensal com relação ao mês de setembro. Neste mês, através do motor de corrente contínua se conseguiu a maior produção de água potável, cerca de 12560 litros; a estratégia de operação da unidade de osmose reversa e do sistema fotovoltaico é fator imprescindível para garantir o êxito de um projeto dessa natureza. Uma estratégia de operação inadequada pode levar a redução brusca da vida útil de membranas de osmose reversa, filtros e baterias, e com isso, onerar toda a instalação e o custo final da água; é indispensável a participação da comunidade para garantir o êxito de um projeto como este. Deve-se trabalhar a conscientização das pessoas para evitar o desperdício de água potável e conservar os equipamentos;
- o custo da água potável produzida pela unidade de osmose reversa acionada por painéis fotovoltaicos usando motor de indução trifásico é 20,70 Reais/m³;

- o custo da manutenção da instalação de osmose reversa acionada por painéis fotovoltaicos usando motor de corrente contínua num período de dois anos é cerca de 250% maior que a manutenção usando motor de indução trifásico no mesmo período de tempo;
- a unidade de osmose reversa acionada por painéis fotovoltaicos usando motor de indução trifásico mostrou-se técnica e economicamente viável para atender comunidades situadas em regiões carentes de energia elétrica convencional e que dispõem de água salobra;
- A água produzida pela unidade dessalinizadora tem tido uma excelente aceitação por parte da comunidade, com isto elevando a qualidade de vida da população. Na conjuntura anterior ao projeto uma parcela da população, formada quase sempre por mulheres e crianças, utilizava parte significativa de seu tempo no transporte de água potável retirada de fonte localizada cerca de 2km da comunidade.

5.0 BIBLIOGRAFIA

- (1) Carvalho, P.: Água potável via energia solar; Ciência Hoje, vol. 27, n°158, março 2000
- (2) Carvalho, P.; Montenegro, F.: Experiências adquiridas na implementação da primeira instalação de osmose reversa acionada por painéis fotovoltaicos do Brasil; 3º Encontro de Energia no Meio Rural – Campinas (setembro de 2000)
- (3) Camargo, I.: Noções básicas de engenharia econômica: aplicações ao setor elétrico; Brasília, FINATEC, 1998