

COMPARAÇÃO ENTRE BARRAGENS SUBTERRÂNEAS E SUPERFICIAIS

Pâmela M. Sobral¹; Gabryella V. Silva¹; William M. A. Silva¹; Willames A. Soares¹

RESUMO - Armazenar água em aquíferos artificiais pode ser uma alternativa capaz de suprir as necessidades de água no meio rural, principalmente no semi-árido onde as chuvas são escassas e isso prejudica o desenvolvimento agrícola nessa região. Este trabalho objetivou analisar a viabilidade das barragens subterrânea e superficial, comparando os investimentos com a construção, acúmulo e evaporação da água, impactos ambientais, a fim de descobrir qual delas se adéqua melhor para o semi-árido. Para essa análise utilizamos dados atmosféricos da cidade de Cabrobó, situada no sertão Pernambucano. Os resultados demonstram que a barragem subterrânea é uma alternativa que melhor atende as necessidades dos agricultores daquela região, pois, a água não evapora com tanta facilidade, e sobra mais espaço para o plantio ajudando assim em sua economia.

ABSTRACT: Storing water in aquifers can be an artificial alternative capable of meeting the water needs in rural areas, mainly in semi-arid where rains are scarce and this is affecting agricultural development in this region. This study aimed to examine the feasibility of underground and superficial dams, comparing the investment with the construction, evaporation and stoker water summing, environmental impacts, to find out which one fits best for the semi-arid. For this analysis used data from the atmospheric of the Cabrobó city, located in the interior of Pernambuco State, Brazilian. The results show that the underground dam is one alternative that best meets the needs of farmers in that region, because the water does not evaporate as easily, and plenty more space for planting in helping its economy.

Palavras-Chave – barragens subterrâneas, evaporação de lagos, modelos matemáticos

¹ Universidade de Pernambuco - Campus Garanhuns (UPE – FACETEG) Av. Rua Capitão Pedro Rodrigues, 105 – São José – Garanhuns – PE 55.294 – 902 willames.soares@upe.br; gabryellavasconcelos@gmail.com; pamela.nett@gmail.com; williamichel@hotmail.com

1- INTRODUÇÃO

Estudos atuais estimam que a quantidade total de água demandada pelo setor industrial no Brasil é de 139 m³/s, o que corresponde a um volume de aproximadamente 4,4 Km³/ano. O porcentual demandado pelo setor industrial e por outros setores que utilizam a água é representado por: 72% para o uso agrícola; 10% uso industrial e 18% abastecimento (SILVA, 2004).

O semi-árido é uma das regiões que menos apresenta disponibilidade hídrica em seu território. No mundo 55% de todo o seu território é delimitado como uma região árida ou semi-árida. Onde 13% deste total localizam-se no Brasil, constando que 60% desta área está no nordeste brasileiro, e por isso a sua população enfrenta sérias dificuldades, sendo necessário implantar outras formas para o desenvolvimento dessa região, como a construção de barragens superficiais ou subterrâneas (SILVA et al, 1984).

No primeiro caso, ela servirá para o consumo das espécies, para a agricultura, uso próprio, cozimento de alimentos, dentre outras utilidades. Enquanto na barragem subterrânea é uma alternativa tecnológica capaz de armazenar água da chuva por mais tempo e suplementar as necessidades de água de uma propriedade rural nos períodos secos (MOREIRA, et al. 2007).

Para construir uma barragem subterrânea tem que se selecionarem áreas em leito de rio, riacho ou linhas de drenagens naturais, de preferência em solos com profundidade da camada impermeável de no máximo 3 a 4 m e de textura média a grossa. Após essa escolha é preciso abrir trincheiras no solo para determinar a profundidade e as características do mesmo, além de detectar se o espaço escolhido possui algum lençol freático. Depois desse processo é preciso localizar a área do plantio. O passo seguinte consta de cavar uma vala que intercepte o sentido do fluxo do lençol freático até encontrar uma rocha impermeável. Em seguida fixa-se uma lona no septo, a qual será presa pela terra retirada na escavação da vala, recomenda-se colocar um enroscamento de pedras, o qual servirá para aumentar o tempo de retenção da água quando ocorre chuvas obtendo por conseqüência uma melhor recarga do aluvião (BRITO et al, 1999).

Para fixar a lona plástica recomendam-se fazer um reboco, usando barro e água, no lado jusante da valeta, para uniformizar o corte do talude e evitar perfurações no plástico, através de pontas de pedras, raízes etc. Na parte inferior, a montante deve-se abrir uma mini-valeta na camada impermeável e outra na superfície do solo, a jusante, com 20 x 20 cm, para fixar as extremidades da lona plástica, usa-se a mesma argamassa de barro utilizada no reboco. Tendo sempre muito cuidado na colocação da lona. Para não tensioná-la é preciso ter ventos leves e baixas temperaturas, evitando a sua dilatação e perfuração. E se isso chegar a acontecer deve-se fazer um remendo com a própria lona e usar a cola especial. (BRITO et al, 1999)

Apesar de ser mais vantajosa a construção dos dois tipos de barragens, nem sempre é possível, devido as condições financeiras do proprietário das terras. Por isso é importante que haja um estudo para a comparação entre as duas barragens, utilizando algumas variáveis como: volume, temperatura, textura, densidade, umidade do solo e custos. O objetivo deste trabalho é comparar os custos, impactos, vantagens e desvantagens da construção das barragens: superficial e subterrânea, por meio de modelos matemáticos utilizando dados reais da cidade de Cabrobó situada no agreste Pernambucano.

2- MATERIAIS E MÉTODOS

2.1 Estudo de casos

Dois casos serão analisados: a) Barragem subterrânea versus Barragem superficial, ambas inicialmente vazias; e b) Barragem subterrânea versus Barragem superficial, ambas inicialmente cheias.

Supondo que as barragens estejam inicialmente cheia, a partir do primeiro dia já ocorre à evaporação tornando o volume final variável, sendo influenciado também pelos dias que ocorrem precipitação, nos quais o volume de água deve aumentar. Quando se constrói uma barragem ela normalmente não está cheia e sim vazia. Neste não ocorre evaporação, só ocorrendo após haver uma precipitação que permita um acúmulo de água na mesma. Calculando para ambos os casos o volume de água que restava na barragem superficial diário, após a evaporação e o acréscimo de água quando ocorre precipitação no mesmo. Observando que os cálculos foram repetidos para todos os dias do ano.

Para definir a mais vantajosa utilizaram-se critérios como: a) impactos ambientais, b) investimentos, c) volume de água e perdas por evaporação ao decorrer do ano. Pretendendo destacar a mais recomendável para o semi-árido nordestino.

2.2 Dados atmosféricos

Todos esses dados foram obtidos no site do instituto nacional de meteorologia, INMET (2010), da estação situada no município de Cabrobó – PE, a qual está localizada na latitude -8,52° longitude - 39.33°, e altitude 314,46 m, como mostra a figura 1.

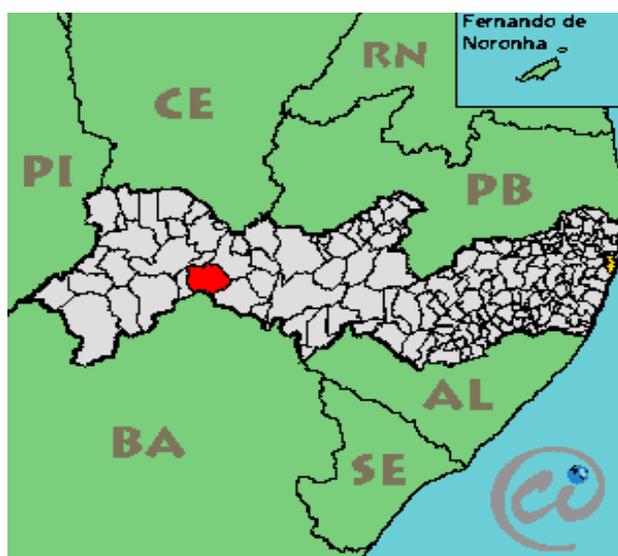


Figura 1. Localização do município de Cabrobó-PE.

Os dados atmosféricos utilizados foram a temperatura do ar (Tar, em °C), máxima (Tmáx, em °C) e mínima (Tmin, em °C), a umidade relativa (Ur, em%), a velocidade (v, em m/s) e a direção do vento (Dv, em °), a pressão atmosférica (P em hPa), a nebulosidade (N, em décimos) e a chuva (Ch, em mm). A distribuição da precipitação mensal de chuva pode ser vista na figura 2.

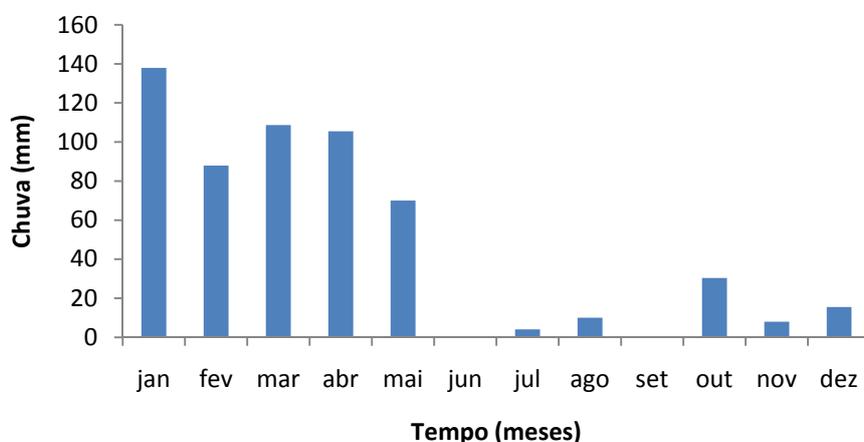


Figura 2. Gráfico da distribuição da precipitação mensal de chuva

2.3- Modelo de uma barragem subterrânea

A construção deste tipo de barragem trás determinadas vantagens como: a) Resistente à evaporação e à contaminação da água por poluentes, já que estão protegidas por uma camada superior de solo; b) Não estão sujeitas a assoreamento visto que são subterrâneas; c) Sobrarão mais

O modelo criado para representar a barragem subterrânea possui 3 metros de profundidade (p), 20 de largura (L) e 20 de comprimento (C), estando localizada em um solo que apresenta uma porosidade (ϕ) de 0,5. Calculou-se o nível de água na barragem subterrânea, em função da evaporação diária, que foi estimada pela fórmula de GRILLI & VIDAL (1986):

$$\begin{cases} Ev = Ev_{max} e^{\alpha(z-z_0)} & Ev \leq Ev_{max} \\ Ev = Ev_{max} & Ev > Ev_{max} \end{cases} \quad (1)$$

Sendo Ev a taxa de evaporação, z a profundidade do lençol freático, Ev_{max} a evaporação máxima, α e z_0 parâmetros de ajuste. O modelo teve o solo dividido em três camadas como mostrada na figura 4.

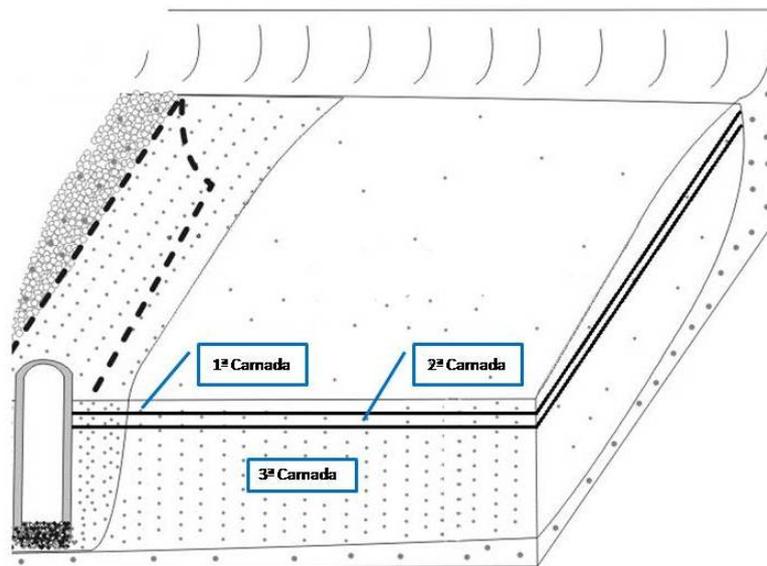


Figura 4. Perfil de uma barragem subterrânea

A primeira camada recebe maior incidência solar fazendo com que a água presente na mesma evapore com mais facilidade, na segunda camada, por ter um contato com a primeira, a temperatura pode ser transferida por meio de condução do calor. A terceira camada retém mais água, por sofrer menos influência da solarização. A água presente em uma camada só começa a evaporar quando a água da camada anterior já tem evaporado totalmente, o que dificulta esse processo nos dias que há precipitação de chuva, pois ocorre a recarga no lençol freático. Os valores de α , z_{max} e z_0 para cada camada estão apresentados na tabela 2.

Tabela 2. Valores dos coeficientes de uma barragem subterrânea

CAMADA DO SOLO	ESPESSURA	α	$Ev_{m\acute{a}x}$	Z_0
1º	de 0 a 10 cm	0,01	3,90	0,22
2º	de 10 a 20 cm	0,01	1,90	0,24
3º	de 20 cm a 3m	0,01	1,54	0,25

Para calcular a área evaporada ($A Ev$), utilizou-se:

$$AEv = \frac{LC}{10^3} Ev \quad (2)$$

O volume da barragem no final do dia foi determinado pelo balanço hídrico, utilizando as chuvas, a evaporação e o volume inicial. A nova profundidade do lençol freático (Z_1) foi calculada em função do volume final, por meio de:

$$Z_1 = \frac{V}{200} \quad (3)$$

2.4- Modelo de uma barragem superficial:

A função desta barragem é, primordialmente, o armazenamento da água da chuva, a qual foi raciocinada em um terreno com determinada declividade, para possibilitar o levantamento de um “paredão”, não permitindo assim, o escoamento da água. O modelo utilizado para representar a barragem superficial foi construído na forma trapezoidal, com as seguintes dimensões: 20 m de largura (C), 20 m de comprimento na parte superior (S), 10 m de comprimento na parte inferior (s), e 3 m do ponto que apresenta maior profundidade (P), como mostra a figura 5. Apresentando um custo pouco acessível para produtores de pequeno porte, como pode ser visto na tabela 3. A água deste reservatório estará sujeita às seguintes situações: Intensa evaporação, em função da intensidade da insolação, o que a torna pouco útil ou mesmo inviável em regiões áridas e semi-áridas, onde a evaporação é intensa e pode causar uma grande perda d’água destes reservatórios.

Além disso, a utilização da água para a irrigação pode provocar a salinização do solo e estão mais sensíveis à contaminação. Em contra partida este tipo de barragem tem maior capacidade de acumulação de água, sendo útil na criação de peixes e criadouros.

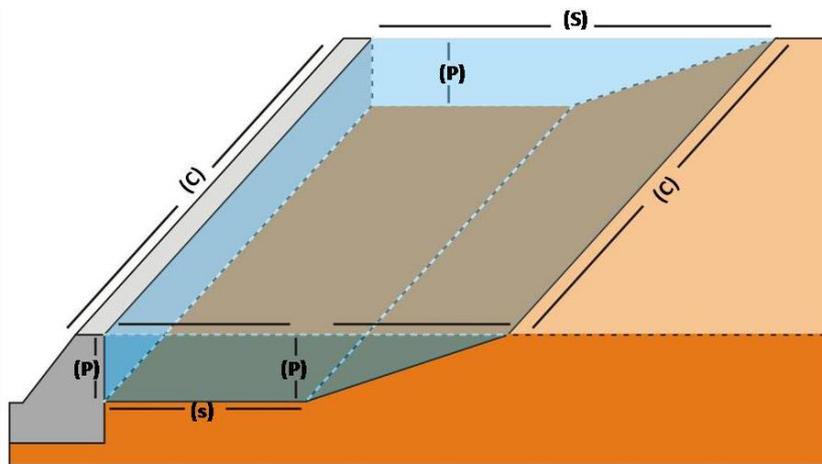


Figura 5. Perfil de uma barragem superficial

Tabela 3: Valor estimado para a construção de uma barragem superficial

Descrição		Quantidade	Valor Unitário	Valor total do item
Mão de obra para construção	3 func/dia	20	R\$ 90,00	R\$ 1.800,00
Areia	Caminhão	5	R\$ 100,00	R\$ 500,00
Cimento	unid	70	R\$ 20,00	R\$ 1.400,00
Pedras	unid	3500	R\$ 0,50	R\$ 1.750,00
			Total =	R\$ 5.450,00

Para calcular qual a capacidade líquida que este reservatório suporta utilizamos a fórmula a seguir:

$$A = \frac{(S+s) \times P}{2} \quad V = \frac{(S+s) \cdot P}{2} \cdot c \quad (4)$$

A Evaporação (EL , em mm/dia) foi calculada utilizando a seguinte fórmula (PEREIRA *et al.*, 1997):

$$EL = (0,015 + 0,00042T + 10^{-6}z)[0,8Rs - 40 + 2,5 Fu(T - Td)] \quad (5)$$

Onde T é a temperatura média diária ($^{\circ}C$), z a altitude local (em m), e u a velocidade do vento (m/s). A temperatura do ponto de orvalho (Td) em $^{\circ}C$, foi obtida por:

$$Td = \frac{237,3 \log\left(\frac{ea}{0,61}\right)}{7,5 - \log\left(\frac{ea}{0,61}\right)} \quad (6)$$

Sendo ea a pressão parcial de vapor, determinada por:

$$ea = \frac{esUR}{100} \quad (7)$$

Sendo es a pressão de saturação, a qual foi calculada pela fórmula abaixo, e UR é a umidade relativa do ar.

$$es = 0,61e^{\frac{17,27T}{237,3+T}} \quad (8)$$

A irradiância solar na superfície da água (Rs , em W/m^2), foi calculada por:

$$Rs = Ra (0,85 - 0,047 C) \quad (9)$$

Sendo Ra a radiação extraterrestre (W/m^2), calculada da seguinte forma:

$$Ra = 37,586dr(\omega s \sin \varphi \sin \delta + \cos \varphi \cos \delta \sin \omega s) \quad (10)$$

Onde φ é a latitude e δ a declinação solar, calcula por:

$$\delta = 0,4093 \sin\left(\frac{2\pi}{360}J - 1,405\right) \quad (11)$$

Sendo J o dia do calendário Juliano. O ângulo solar horário (ωs) e a distância relativa Terra-Sol (dr) foram calculadas, respectivamente, pelas fórmulas:

$$\omega s = \arccos(-\tan \varphi \tan \delta) \quad (12)$$

$$dr = 1 + 0,033 \cos\left(\frac{2\pi}{365}J\right) \quad (13)$$

Para calcular o novo espelho d'água (Y) utilizou-se:

$$Y = 0,22V + 200 \quad (14)$$

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

3.1 Barragem Subterrânea versus Barragem Superficial, ambas inicialmente cheia:

Nas figuras 6 e 7 apresentam-se o volume de água disponível ao decorrer do ano em uma barragem subterrânea e em uma barragem superficial, respectivamente. Observando que por ser uma região de longos períodos de estiagem e de altas temperaturas esse tipo de barragem é considerado um meio de armazenar água para todo o ano.

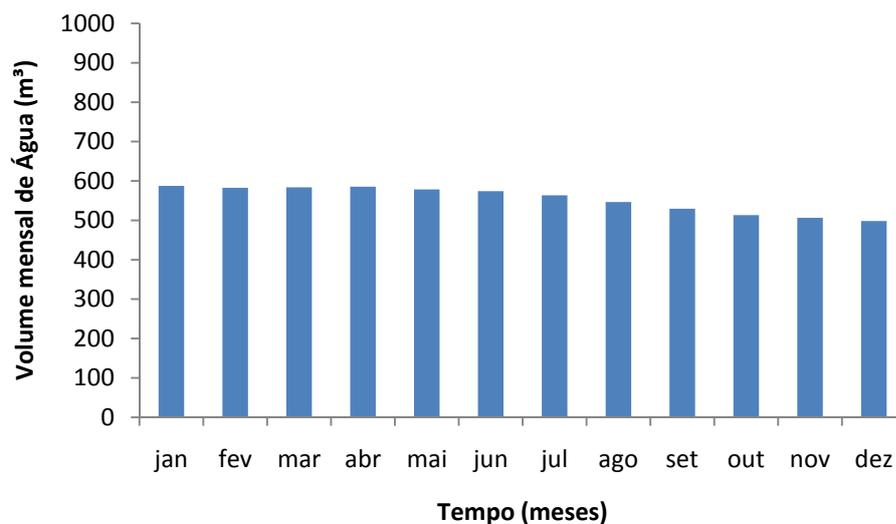


Figura 6. Volume Mensal de Água da barragem Subterrânea

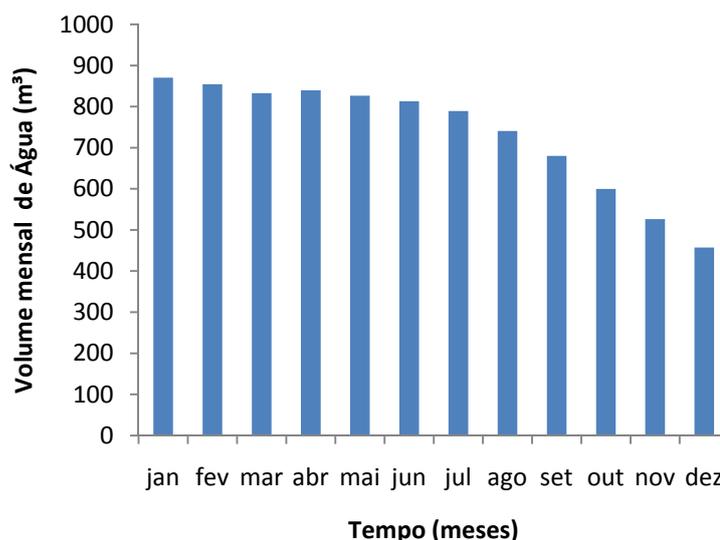


Figura 7. Volume Mensal de Água da barragem Superficial

Observa-se que o volume de água da barragem subterrânea é menor que da superficial, isso ocorre porque mesmo que ambas as barragens tenham as mesmas dimensões a água da barragem subterrânea tem que disputar espaço com a terra. Já a água da barragem superficial o espaço que tem é só para ela. Nota-se também que no primeiro semestre não houve variação na diminuição de água entre as duas, por causa da quantidade de chuva que houve neste período. Quanto ao segundo semestre a barragem subterrânea se manteve quase que constante, já a barragem superficial diminuiu o seu volume de água a aproximadamente a metade, pois como as suas águas ficam desprotegidas a incidência solar atua diretamente nela.

Apesar de a barragem subterrânea suportar menor volume de água comparada a barragem superficial, chegando a uma diferença de 34%. A mesma apresenta melhores resultados em relação à superficial, pois evapora apenas 17% enquanto a superficial evapora 45% de seu volume inicial. Ressaltando que o percentual de evaporação da barragem subterrânea é para o solo totalmente descoberto e que ele será reduzido porque terá uma camada de vegetação no solo que geralmente diminui a incidência de radiação solar no mesmo.

Nas figuras 8 e 9 apresentam-se a evaporação de água no decorrer do ano em uma barragem subterrânea e em uma barragem superficial, respectivamente. Nota-se que no primeiro mês a barragem subterrânea evapora mais do que a barragem superficial, pois como as barragens estão cheias, o nível do lençol freático está alto, por isso evapora com muita facilidade, como consequência da temperatura que o solo adquire durante o dia.

Com relação ao mês de Fevereiro a água evaporada da barragem subterrânea corresponde a 18% do volume inicial, enquanto a superficial evapora apenas 6%. Já no mês de setembro a

subterrânea apresentou uma evaporação de 8,5% e a superficial de 11%. O que é considerável já que quanto menor for a quantidade de água maior será a evaporação da mesma para uma barragem superficial, enquanto na subterrânea ocorre o inverso pois estará mais protegida do calor por causa da profundidade do lençol freático.

É perceptível que nos meses de maior precipitação pluviométrica as barragens apresentam maior evaporação, pois mais água em seus reservatórios. Isto é comprovado já que os meses maior precipitação foi janeiro, abril e março constatando assim, que no primeiro semestre, o qual houve maior precipitação também houve maior evaporação de água nas barragens.

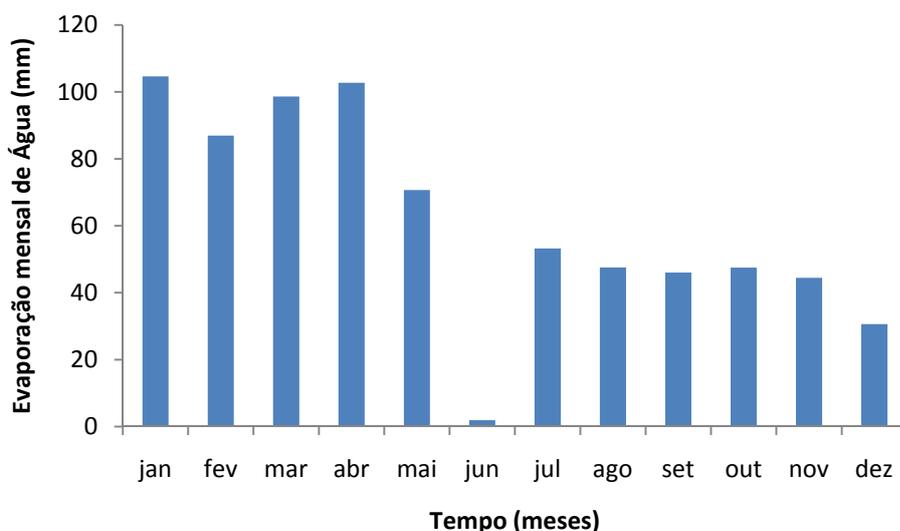


Figura 8. Gráfico da Evaporação Mensal de Água da barragem Subterrânea

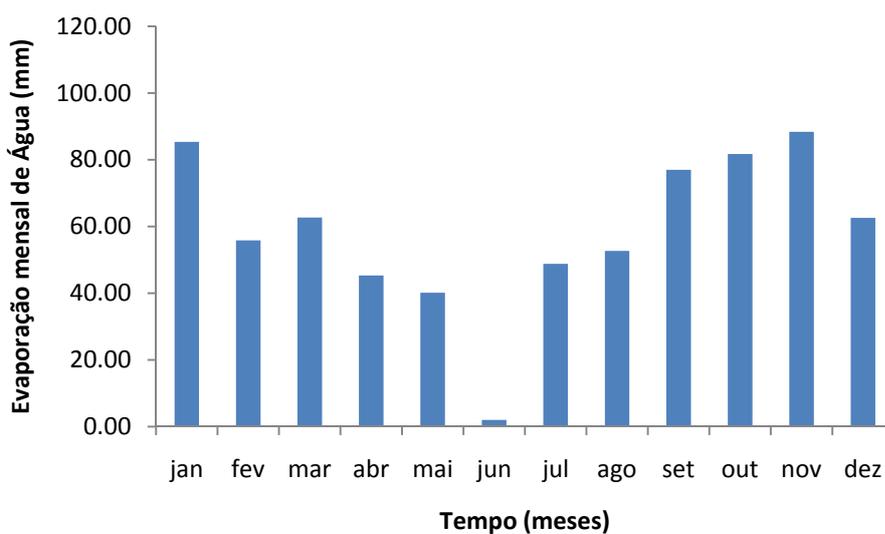


Figura 9. Gráfico da Evaporação Mensal de Água da barragem Superficial

3.2 Barragem Subterrânea versus Barragem Superficial, ambas inicialmente vazias:

As figuras 10 e 11 apresentam os volumes finais de água mensalmente presente nas barragens subterrânea e superficial, respectivamente.

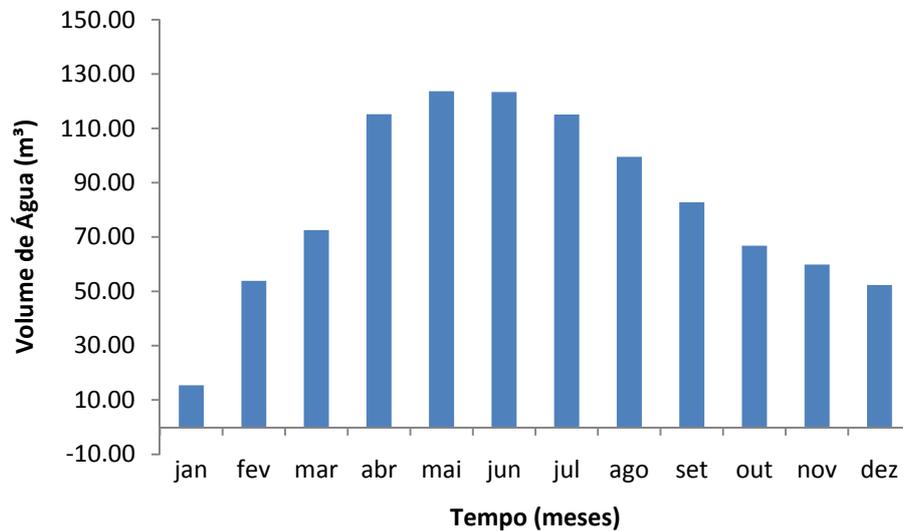


Figura 10. Volume Final de Água na Barragem Subterrânea Mensal

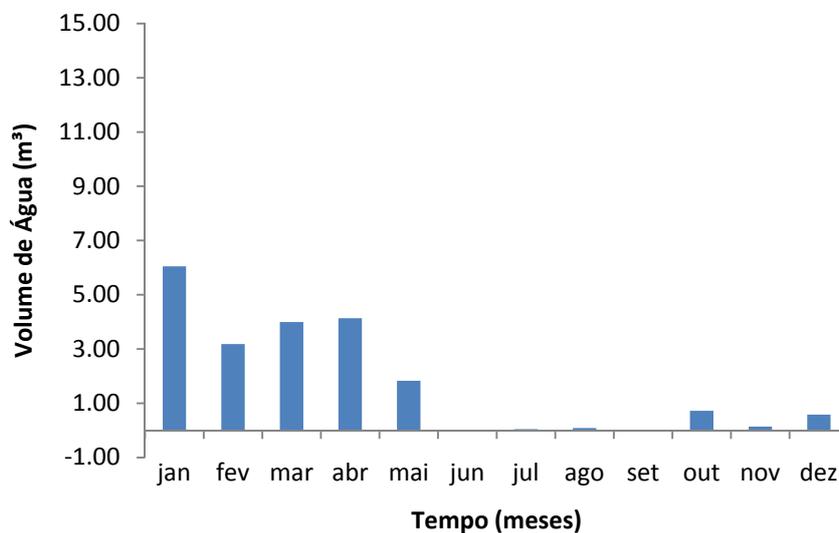


Figura 11. Volume Final de Água na Barragem Superficial Mensal

Percebeu-se que a barragem subterrânea armazena água para todo o ano, havendo chuva ou não, ressaltando que no período sem precipitação pluviométrica a quantidade de água presente na mesma é pouca em relação aos meses que apresentam precipitação.

Já a barragem superficial para ter água é preciso que ocorra precipitação, se não a mesma não terá água armazenada para todo o ano, exceto se houver uma série de dias chuvosos que possibilitem encher todo o reservatório.

Isto pode ser facilmente observado pela comparação entre as figuras 10 e 11. Pois no primeiro semestre do ano de 2009 houve precipitações que viabilizaram um armazenamento de água, o qual não foi suficiente para encher nenhuma das duas barragens. Enquanto no segundo semestre, quase não houve precipitação, sendo registrada uma precipitaçãozinha melhor no mês de outubro, sendo justamente neste mês que a barragem superficial também apresenta determinado volume de água.

As figuras 12 e 13 apresentam a evaporação mensalmente no período de um ano, para as barragens subterrâneas e superficiais, respectivamente. Nota-se que em ambas a evaporação no primeiro mês é alta.

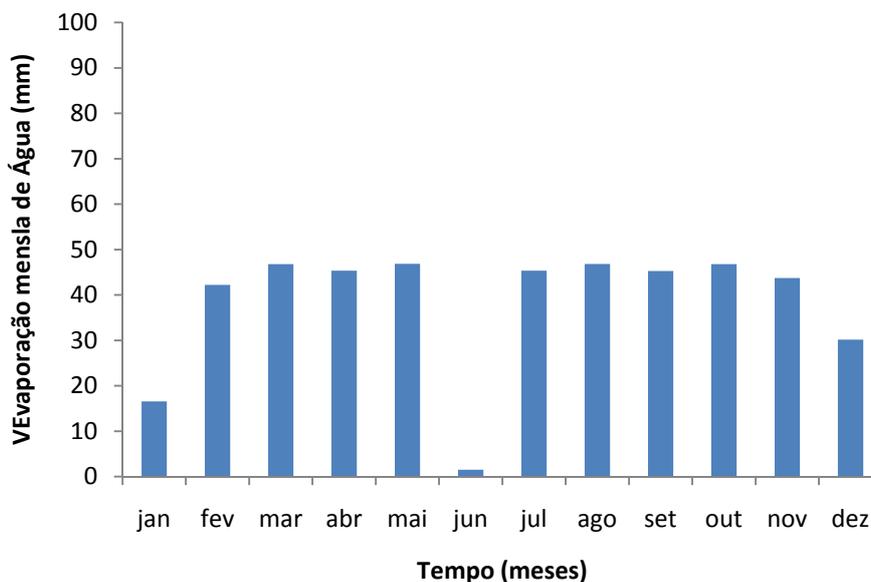


Figura 12. Evaporado mensalmente da barragem subterrânea

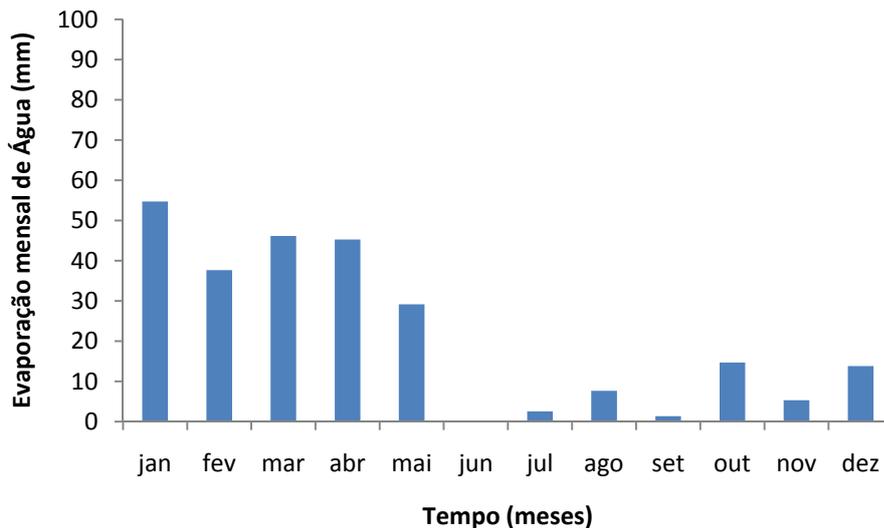


Figura 13. Evaporação mensalmente da barragem superficial

No mês de janeiro a barragem subterrânea evapora aproximadamente 30% a menos do que a barragem superficial, já no mês de maio a barragem superficial evapora quase 62% a menos do que a barragem subterrânea e, isso acontece porque o volume de água em cada reservatório é diferente, sendo que a subterrânea tem no fim do mês um volume de quase 130m^3 enquanto a superficial apresenta um volume de $1,83\text{m}^3$.

Comparando a evaporação das duas barragens no mês de setembro, porque é um mês que não houve precipitação pluviométrica, logo, nota-se que a barragem subterrânea apresentou uma evaporação de 77% a mais que a barragem superficial, porque a subterrânea apresenta um volume de aproximadamente 90m^3 enquanto a superficial não apresenta nenhum volume de água.

A construção de uma barragem subterrânea provoca impactos ambientais como, por exemplo, o aumento de argila e a diminuição de areia presente no solo, os quais são quase nada, porque em oito anos o percentual registrado para ambos é de 2% em Petrolina - PE (SILVA, et al. 1997) o que significa dizer que são valores quase que desprezíveis. Existindo outro fator que é a morte de animais como a minhoca, o que não é tão bom, pois esse tipo de anelídeo tem a capacidade de tornar a terra fofa e fértil para o plantio, um problema que pode ser facilmente solucionado, com a adubação do solo.

Os impactos ambientais causados pela construção de uma barragem superficial são dentre eles a imigração de animais que utilizavam a área como habitat podendo alguns não se adaptar, e morrerem, salinização do solo, diminuição da área do plantio e uma tendência do aumento de doenças provocadas pela água parada, o que pode ser facilmente solucionado criando peixes no

reservatório, entretanto como no nosso modelo, alguns meses do ano a barragem permanece com pouco volume de água ou como em alguns meses sem água, não seria possível criar peixes, aumentando assim a probabilidade do aumento de doenças.

Analisando a questão financeira, o investimento em uma barragem superficial é de aproximadamente R\$ 5.450,00 enquanto uma barragem subterrânea custa em média de R\$ 1.605,00 nos dias atuais, sendo assim, a barragem subterrânea é mais barata do que uma barragem superficial quase 71%.

4- CONCLUSÕES

Observando os critérios de evaporação da água, impactos ambientais e investimento percebeu-se que a barragem subterrânea se sobressai em relação à superficial, pois em todos os critérios avaliados ela apresentou melhores resultados. Desta forma para o agricultor de região semi-árida do nordeste é indicado que se construa barragens subterrâneas, pois desta maneira o mesmo estará garantindo o sustento de sua família para todo o ano, havendo precipitação pluviométrica ou não.

5- REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.

BRITO, L. T. L., SILVA, D. A., CAVALCANTI, N. B., ANJOS, J. B., REGO, M. M., 1999. Alternativa Tecnológica para aumentar a disponibilidade de Água no semi-árido, Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, vol. 3, n. 1, p 111-115.

GRILLI, A. and E. Vidal (1986). "Evaporación desde salares: metodología para evaluar los recursos hídricos renovables. Aplicación en las Regiones I y II." Revista de Ingeniería Hidráulica de Chile, n.1, v.2, p. 155- 168.

INMET 2010. Disponível em <http://www.inmet.gov.br>

MOREIRA, M. M., 2007. Avaliação dos impactos da barragem subterrânea em duas propriedades de agricultura familiar agroecológica no sertão da Paraíba. ed. Rev. Bras. de Agroecologia: Vol.2.

PALMIER, L. R., CARVALHO, F. R., 2003. Barragens subterrâneas: a experiência do estado de minas gerais.

PEREIRA, A. R.; VILLA NOVA, N. A.; SEDIYAMA, G. C. (1997). Evapo(transpi)ração. Piracicaba: FEALQ, 183 p.

REBOUÇAS, A. C., BRAGA, B., TUNDISI, J. G., 2006. Águas Doces no Brasil. 3 ed., Editora Escrituras- São Paulo.

SILVA, M. S. L., LOPES, P. R. C., ANJOS, J. B., SILVAM, A. S., BRITO, L. T. L., PORTO, E. R., 1997. Exploração Agrícola em Barragem Subterrânea. Petrolina, PE, Embrapa-Centro de Pesquisa Agropecuária do Trópico Semi-Árido (CPATSA).

SILVA, A. S.; SOARES, J. M.; PORTO, E. R., 1984. Tecnologias de baixo custo para convivência do homem com a seca. Petrolina, PE, EMBRAPA-CPATSA, 37p il.

SILVA, C. T., 2004. Tópicos Básicos Sobre Gestão de Recursos Hídricos- parte 1: Recursos Hídricos no Brasil e no mundo, Curso Sobre Gerenciamento de Bacias Hidrográficas.