

# ***AVALIAÇÃO DE BARRAGENS SUBTERRÂNEAS EM PERNAMBUCO***

*Edmilton Queiroz de Sousa Júnior<sup>1</sup>, Eronildo Luiz da Silva Filho<sup>2</sup>, José Almir Cirilo<sup>3</sup>,  
Luciano Barbosa Lira<sup>4</sup>, Thaise Suanne Guimarães Ferreira<sup>5</sup>.*

**RESUMO:** A construção de barragens subterrâneas em Pernambuco foi iniciada a partir de algumas experiências de organizações não-governamentais e de pesquisas da Universidade Federal de Pernambuco, desenvolvidas no município de Pesqueira a partir do final dos anos 90. Cerca de 20 anos após à construção está sendo retomado o monitoramento dessas barragens e avaliados os resultados da operação neste período. Em complemento estão sendo avaliadas aluviões em todo o semiárido de Pernambuco com potencial de implementação de novas barragens subterrâneas.

**Palavras-chave:** semiárido, barragem subterrânea, tecnologias apropriadas.

**ABSTRACT:** The construction of subsurface dams in Pernambuco was initiated by some experiments of non-governmental organizations and researches of the Federal University of Pernambuco, developed in the municipality of Pesqueira from the end of the 90s. About 20 years after the construction these dams are being monitored and the results of the operation in this period are being evaluated. In addition, alluvial deposits are being identified throughout the semi-arid region of Pernambuco, considering their potential for the implementation of new subsurface dams.

**Key Words:** semi-arid, underground dam, subsurface dam, appropriate technologies

---

1 – Mestrando em Engenharia Civil, UFPE Campus Agreste. E-mail: edmiltonjr1@hotmail.com.

2 – Graduando em Engenharia Civil, UFPE Campus Agreste. E-mail: eronildo.luz.silva@gmail.com

3 – Professor Titular, UFPE Campus Agreste. E-mail: almir.cirilo@gmail.com

4 – Graduando em Engenharia Civil, UFPE Campus Agreste. E-mail: lucianolira33@gmail.com

5 – Graduando em Engenharia Civil, UFPE Campus Agreste. E-mail: thaisesuanne14@gmail.com

## **1 INTRODUÇÃO**

A região semiárida do Nordeste brasileiro sofre continuamente com as estiagens, com graves consequências para a população desta região. Comumente se aplicam duas formas de armazenamento de água: em grandes reservatórios, com capacidade de regularização plurianual mas em quantidade e localização que os tornam insuficientes para atender as demandas e em pequenos reservatórios, mais dispersos e com capacidade de regularização menor, espalhados aos milhares na região. Esses pequenos reservatórios também são conhecidos como barreiros. Por limitações técnicas e econômicas, devido à dificuldade de transporte de água, os grandes reservatórios não conseguem abastecer a população rural difusa, que se vale dos barreiros para suprir suas necessidades de abastecimento (CIRILO et al., 2008). Entretanto, devido aos altos índices de evaporação, estes barreiros não resistem às secas prolongadas. É neste ponto que se fazem necessárias as tecnologias alternativas para armazenamento de água. Uma delas é a barragem subterrânea, um obra de baixo custo e simples de implantar e operar, adequada para as condições do semiárido desde que devidamente planejadas e operadas. A barragem subterrânea se destina a armazenar água nos vazios do solo aluvial. Sendo assim, se faz necessário conhecer os locais onde existem solos com características favoráveis a instalação desta tecnologia (CIRILO et al, 2003, COSTA, 2009). O geoprocessamento auxilia a localizar e avaliar os locais propícios para instalação de barragens subterrâneas, utilizando o cruzamento de informações de solos, dados hidrológicos, população a ser beneficiada, entre outros.

## **2 OBJETIVOS**

O presente trabalho tem como objetivo apresentar o andamento da avaliação de unidades experimentais de barragens subterrâneas que estão sendo utilizadas em Pernambuco e a identificação de locais de ocorrência de aluviões propícios à instalação desse tipo de barragem em outras regiões do estado.

## **3 CONSIDERAÇÕES GERAIS SOBRE AS BARRAGENS SUBTERRÂNEAS**

As barragens subterrâneas são estruturas que têm como objetivo impedir o fluxo subterrâneo de um aquífero pré-existente ou criado com a construção da barreira impermeável, ficando a água armazenada no perfil do solo, o que permite a acumulação da água nas aluviões. Sua construção

consiste em escavar o depósito aluvial contido na calha do rio ou riacho, transversalmente à direção de escoamento do curso d'água até o embasamento cristalino, fazendo-se a impermeabilização da vala. Sem o barramento o solo permanece ainda saturado durante algum tempo, alimentado por águas que escoam do terreno saturado em níveis mais elevados do que a calha principal, porém este fluxo subterrâneo, em função dos gradientes hidráulicos, vai pouco a pouco percolando sub-superficialmente até o seu esgotamento. Se a água que percola pelo depósito aluvial for contida, haverá reservação da água na aluvião, elevando o nível freático, aumentando o armazenamento da água e estabelecendo condições favoráveis de captação a montante. Tais características impedem que a água do aquífero aluvial acumulada continue a escoar durante o período de estiagem, enquanto que a jusante a acumulação de água vai baixando progressivamente. As barragens subterrâneas como alternativa para a convivência com a seca no semiárido são uma opção que apresenta potencial para a dessedentação animal e agricultura, tanto de subsistência familiar como para produção de culturas em escala de geração de renda para pequenos produtores rurais. A possibilidade de armazenamento de água livre de altas taxas de evaporação e sem perda de áreas produtivas são características importantes desse tipo de tecnologia. Nos períodos de estiagens prolongadas até mesmo para abastecimento humano a água acumulada tem sido utilizada, apesar de a qualidade ser inferior a de outras fontes como cisternas e dessalinizadores.

A tecnologia usada para a construção de barragens subterrâneas no semiárido brasileiro é simples e de baixo custo (se comparado à construção de barragens superficiais), caracterizando-se como uma alternativa vantajosa por se tratar de reservas estáveis do subsolo, onde se reduz a atuação da evaporação e também a contaminação por fontes poluidoras (DUARTE, 1999). Sua construção deve estar condicionada às características físicas e hidrogeológicas favoráveis, inclusive no tocante ao controle da salinização.

Além do fornecimento da água para usos diversos, a implantação de barragens subterrâneas objetiva a utilização da área de acumulação a montante do barramento para o desenvolvimento de cultivos agrícolas. Em áreas cujas condições naturais permitam a formação de um reservatório de proporções significativas torna-se viável a realização de irrigação, sendo para isso imprescindível a utilização de técnicas agrícolas que racionalizem ao máximo a utilização da água.

Embora não existam muitos registros na literatura técnica sobre o assunto, foram identificadas algumas experiências em outros países. Segundo Kim (2017), 6 barragens subterrâneas são operadas na Correia desde a década de 80, a maioria construída no início da mesma década. Experiências na região de Boda-Kalvsvik, na Suécia, buscaram através de ferramentas GIS e sensoriamento remoto localizar possíveis áreas para a construção desse tipo de barragem (JAMALI et al, 2013). O resultado mostrou que 20% da área total estudada tem potencial para barragens subterrâneas. No sul da Índia,

na Bacia do Rio Palar, água subterrânea abastece uma estação nuclear nas proximidades, além de irrigação, indústria e usos domésticos. Estudos para implantação de uma barragem subterrânea na localidade concluíram que com a construção da barreira é possível aumentar o armazenamento e a exploração de forma significativa (SENTHILKUMAR e ELANGO, 2011).

A construção da barragem subterrânea compreende quatro etapas. A primeira é a análise do leito do curso d'água, avaliando as características do solo, sua profundidade e a geometria do curso. O barramento deve ser instalado de forma a propiciar o maior acúmulo de água possível a montante. A segunda etapa é a escavação do eixo onde será instalado o septo impermeável, que pode ser feita de forma mecânica ou manual e deve ter a profundidade máxima possível, até se encontrar o leito rochoso. A terceira etapa é a instalação do septo impermeável, o qual pode ser várias origens, mas os materiais mais comuns são a lona plástica e a argila compactada. O quarto e último passo é o fechamento da vala, que deve ser feito com o devido cuidado para não danificar o septo impermeável. (COSTA, 2009)

Geralmente, antes do fechamento da vala, é adequada a instalação de um poço amazonas visando a captação da água para irrigação, dessedentação de animais e consumo humano quando a qualidade da água é apropriada. Esse poço deve possuir uma camada drenante na base para propiciar uma melhor infiltração da água.

A Figura 1 ilustra as partes constituintes de uma barragem subterrânea do modelo Costa & Melo, desenvolvido na UFPE (COSTA, 2001).

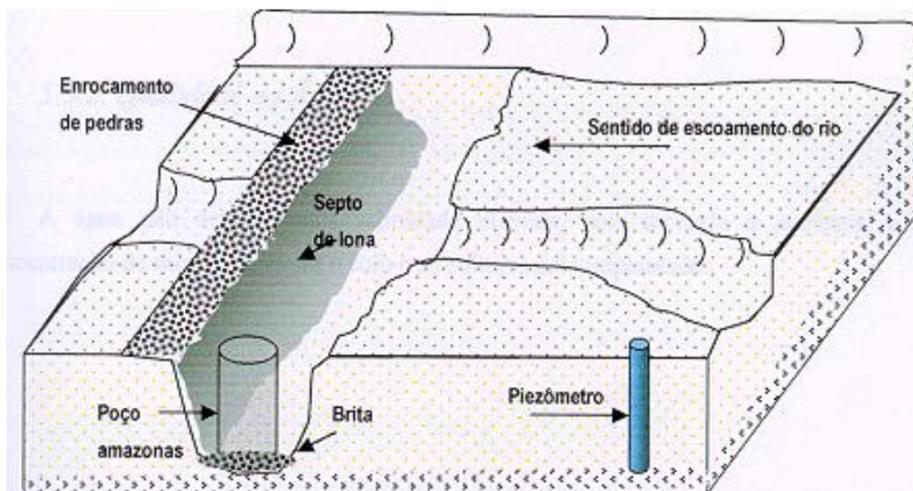


Figura 1 - Esquema de uma barragem subterrânea. (Costa, 2001)

Recomenda-se que sejam construídos dispositivos para melhorar a recarga e o fluxo da água no solo, como drenos horizontais e inclinados, inclusive na direção do poço amazonas. Outra medida

recomendada é a limitação do septo impermeável, para evitar que o nível d'água permaneça sempre elevado na região onde a evapotranspiração é mais intensa, de modo a reduzir a concentração de sais.

As três barragens que fazem parte da avaliação atual se situam no vale do riacho Mimoso, integrante da bacia do Rio Capibaribe. Este riacho se localiza no município de Pesqueira, na zona semiárida do estado de Pernambuco. As barragens em estudo são conhecidas como Fundão II, Cafundó I e Cafundó II.

Numa primeira análise a respeito do estado em que se encontram, percebeu-se que a barragem Fundão II estava inativa no tocante a atividades agrícolas irrigadas, enquanto as outras duas apresentavam esse tipo de atividade, sendo utilizadas para a produção de coentro e posteriormente de milho, em Cafundó I, e de beterraba, couve e jerimum em Cafundó II. Foi decidido proceder a recuperação da barragem Fundão II, com reconstrução do septo impermeável e instalação de piezômetros na área a montante da barragem para monitoramento, assim como para Cafundó I.. Na última barragem, Cafundó II, que dispõe de piezômetros, está sendo construída uma seção vertedora que possibilite a medição da vazão de cheia do riacho Mimoso, para auxiliar a quantificação da recarga.

#### **4 IDENTIFICAÇÃO DE ALUVIÕES PARA INSTALAÇÃO DE NOVAS BARRAGENS SUBTERRÂNEAS EM PERNAMBUCO**

A condutividade hidráulica é um parâmetro que tem por objetivo quantificar a velocidade com que o fluido percola em um solo. Este parâmetro é de suma importância para estudos contemplando o transporte de água no solo. A condutividade hidráulica saturada ( $K_s$ ) é determinada pela geometria, distribuição e continuidade dos poros (MESQUITA E MORAES, 2004). Isto implica que, entre outros fatores, solos com mais uniformidade de granulometria tem uma maior condutividade hidráulica que os de granulometria mais descontínua.

Aluviões são formações de solos cujos constituintes são transportados pelos cursos d'água e depositados em áreas nas quais o fluxo tem sua velocidade reduzida. Esses solos possuem granulometria variada, em função da velocidade do curso d'água e da sua origem. O transporte de sedimentos se inicia com a degradação das regiões mais altas e esse material é carregado por todo o percurso do rio.

Como os solos aluviais são constituídos em sua maioria por areia com granulometria média mais elevada que a maioria dos demais solos, possuem maior condutividade hidráulica (Tabela 1), o que permite bom potencial de infiltração, sendo então o melhor tipo de solo natural a ser utilizado para a implantação das barragens subterrâneas. Deve-se também atentar quanto à presença de solos

com elevada salinidade nas redondezas, para reduzir a concentração de sais nos depósitos formados pelas barragens.

Tabela 1 – Faixas para o coeficiente de infiltração em função do tipo de solo (NBR 7229/93)

<b>Constituição provável do solo</b>	<b>Coeficiente de infiltração (litros/m<sup>2</sup> /dia ou mm/dia)</b>
Rochas, argilas compactadas	<20
Argilas de cor amarela ou marrom, medianamente compactas	20 a 40
Argila arenosa	40 a 60
Areia ou silte argiloso	60 a 90
Areia bem selecionada	>90

Com base nessas características buscou-se identificar a rede de solos aluviais que tenham potencial para construção de barragens subterrâneas em Pernambuco. Para isso foi utilizada como principal fonte de dados o Zoneamento Agroecológico de Pernambuco, desenvolvido pela EMBRAPA (EMBRAPA, 2001).

Foram utilizadas técnicas de geoprocessamento para compor as informações do presente estudo. O cruzamento das informações com outras bases de dados, em andamento, busca quantificar a capacidade de acumulação nas aluviões e a qualidade da água do ponto de vista geoquímico.

A Figura 2 ilustra as localidades com solos aluviais identificados na rede de rios do estado de Pernambuco.

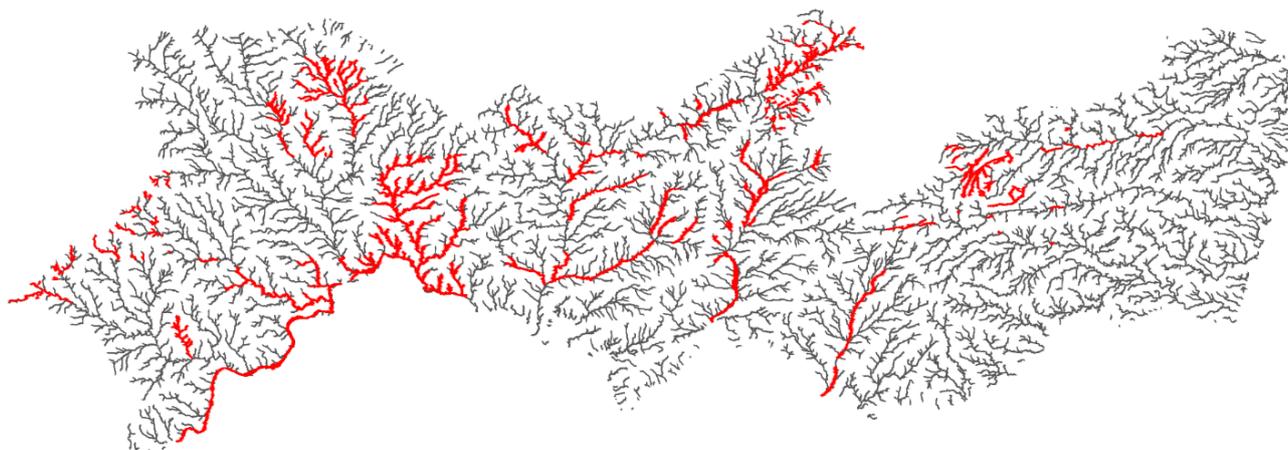


Figura 2 – Solos aluviais no estado de Pernambuco (em vermelho).

## 5 AVALIAÇÃO DA OPERAÇÃO DAS BARRAGENS SUBTERRÂNEAS

Para ilustrar o benefício que pode ser gerado por barragens subterrâneas, foram recolhidos dados da situação de algumas famílias beneficiadas. Na primeira, Fundão II, situada mais a montante, o proprietário do local afirmou que, anteriormente à existência da barragem, a água necessária para a dessedentação dos animais nos períodos de seca era comprada em carroças, com custo em torno de R\$ 10,00 por cada carroça carregada com duas bombonas de água, cada uma possuindo volume de 200 litros, totalizando 400 litros por carroça.

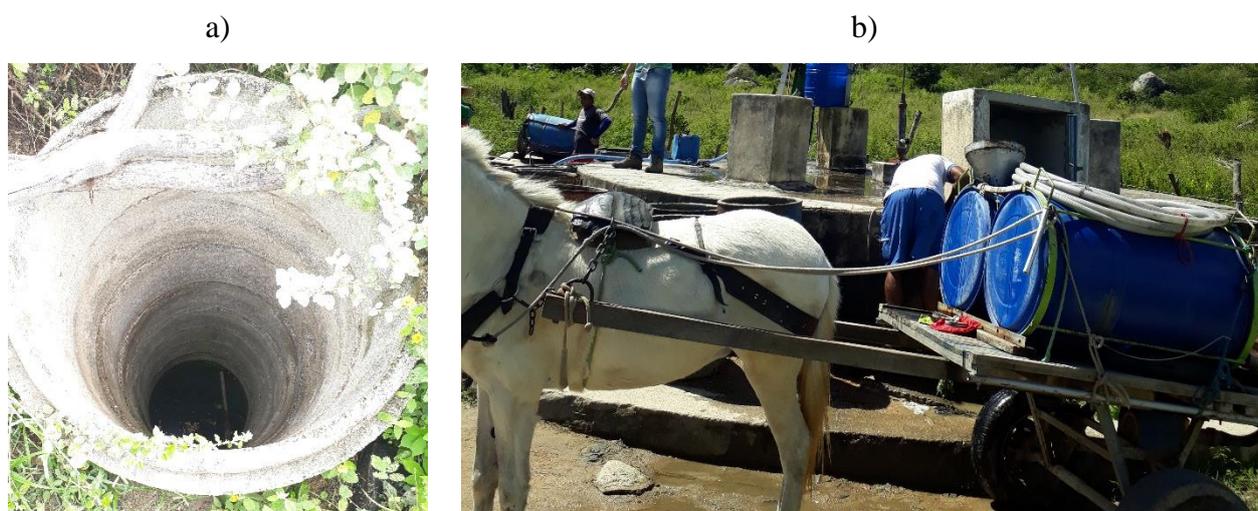


Figura 2 – a) Poço amazonas na barragem Cafundó II. b) Exemplo de carroça utilizada para abastecimento na região das barragens.

Em um ano de inverno normal, a barragem, apesar de não se encontrar em perfeitas condições de funcionamento, garante o abastecimento das criações de gado bovino de duas famílias, gerando a economia apresentada na Tabela 2:

Tabela 2 - Economia mensal devido a barragem Fundão II.

<i>Família</i>	<i>Animais</i>	<i>Consumo</i> <i>(Carroças/dia)</i>	<i>Economia diária</i> <i>(R\$)</i>	<i>Economia mensal</i> <i>(R\$)</i>
1	12	3	30,00	900,00
2	20	5	50,00	1.500,00

A água também é utilizada para o cultivo de diversas frutas para consumo próprio da família. Retirando o equivalente a uma carroça por dia, a família colhe mamão, caju, abacaxi, manga e coco.

Já a barragem Cafundó II, encontrada em 2018 com maior volume de água armazenada e em melhores condições, atende a várias famílias, chegando-se a ter cerca de 200 animais mantidos pela

água retirada das barragens. Além disso, nas proximidades da barragem, uma família produz coentro e beterraba em escala para comercialização. Entre quatro e seis pessoas trabalham no cultivo em cada safra. A média de produção e os valores de renda obtida com a colheita são mostrados nas Tabelas 3 e 4, observando-se que esses valores podem variar em função do mercado.

Tabela 3 - Produção e colheita de coentro estimada pelo produtor na barragem Cafundó II.

Cultura	Valor de venda (R\$/m <sup>2</sup> )	Tempo de colheita (dias)	Produção média (m <sup>2</sup> )	Rendimento total (R\$)
Coentro	2,00 - 20,00	40	500	1000,00 - 10000,00

Tabela 4 - Produção e colheita de beterraba estimada pelo produtor na barragem Cafundó II.

Cultura	Valor de venda (R\$/kg)	Tempo de colheita (dias)	Produção média (kg)	Rendimento total (R\$)
Beterraba	0,30 - 1,00	60	8000	2400,00 - 8000,00

Na Figura 3 pode-se observar a cultura de beterraba desenvolvida área desta barragem no primeiro semestre de 2018.



Figura 3 - Cultura de beterraba realizada na área de Cafundó II.

Considerando que somente as propriedades rurais que dispõem de barragens subterrâneas apresentaram água nas aluviões nos trechos represados que geraram os benefícios citados, observa-se sua importância para a geração de renda familiar.

O monitoramento ao longo do período de operação das barragens entre 2009 e 2018 foi interrompido. Tendo em vista o período de seca extrema ocorrida entre 2011 e 2017, quando não houve recarga, a água acumulada nas aluviões controladas pelas barragens subterrâneas foi naturalmente exaurida. Medições pontuais retomadas mostram níveis de sais da mesma ordem ou

pouco superiores aos observados até 2009, não conclusivos porque as amostras foram coletadas já no final do período de produção de 2018, após utilização mais intensa da água. A continuidade do monitoramento deverá permitir conclusões mais seguras.

## 6 CONCLUSÕES

De forma geral, a barragem subterrânea é uma alternativa que se mostra capaz de suprir a demanda de água no meio rural, principalmente quanto à produção agrícola e animal, criando a possibilidade de geração de renda durante todo o ano, porém faz-se necessário o controle e acompanhamento do uso da água, tanto nos aspectos qualitativos quanto quantitativamente.

O auxílio técnico após à construção da barragem é importante para que o agricultor não desperdice a água acumulada com horários e técnicas inadequadas de irrigação ou ainda com o plantio de culturas inadequadas. A locação adequada para o represamento e o manejo correto da barragem também pode evitar a salinização do solo, evitando a perda de produtividade.

Passados 20 anos após à construção das barragens no riacho Mimoso, distrito de Mutuca, município de Pesqueira, as intervenções feitas continuam a apresentar-se como relevantes e positivas para a região.

## 7 REFERÊNCIAS

CIRILO, J. A. (2008). Políticas Públicas de Recursos Hídricos para o Semiárido Brasileiro. *Estudos Avançados*, v. 63, p. 61-82.

CIRILO, J. A.; COSTA, M. R.; ABREU, G. H. F. G. BALTAR, A M.; AZEVEDO, L. G. (2003). Soluções para o suprimento de água de comunidades rurais difusas no semiárido brasileiro: avaliação de barragens subterrâneas. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v.8, n.4, p.5-24.

COSTA, M.R. (2009). Sustentabilidade Hídrica e Qualidade das Águas: Avaliação das Estratégias de Convivência com o Semiárido. **Tese de Doutorado**, UFPE, Departamento de Eng. Civil, Programa de Tecnologia Ambiental e Recursos Hídricos, 2009.

COSTA, W. D. (2001). Barragem subterrânea: uma obra de redenção no semi-árido. **Águas Subterrâneas**.

DUARTE, R. (1999). A Seca Nordestina de 1998-1999: Da crise Econômica a Calamidade Social. Recife, **SUDENE (PE)**, 162p.

EMBRAPA. ZAPE: Zoneamento Agroecológico de Pernambuco. Disponível em: <<http://www.uep.cnps.embrapa.br/zape/>>. Recife, 2001. Acesso em: 08 de maio de 2018.

MESQUITA, M. G. B. F.; MORAES, S. O. (2004). A dependência entre a condutividade hidráulica saturada e atributos físicos do solo. **Ciência Rural**, v.34, p.963-969, 2004.

KIM, Jong-Tae; KIM, Man-II; CHOO, Chang-Oh; JOEONG, Gyo-Cheol. (2017). Validity evaluation of a groundwater dam in Oshipcheon River, eastern Korea using a SWAT–MODFLOW model. **Environ Earth Sci**, 76:769.

JAMALI, I. A.; OLOFSSON, B. O.; MORTBERG, U. (2013). Locating suitable sites for the construction of subsurface dams using GIS. **Environ Earth Sci**, 70:2511–2525.

SENTHILKUMAR; M; ELANGO, L. (2011). Modelling the impact of a subsurface barrier on groundwater flow in the lower Palar River basin, southern India. **Hydrogeology Journal**, 19: 917–928.