

BARRAGENS SUBTERRÂNEAS NO SEMIÁRIDO BRASILEIRO: ANÁLISE HISTÓRICA E METODOLOGIAS DE CONSTRUÇÃO.

ALEXANDRE DE OLIVEIRA LIMA¹; NILDO DA SILVA DIAS²; MIGUEL FERREIRA NETO²; JOÃO EVANGELISTA J. DOS SANTOS²; PRISCILA REGINA DE A. REGO³ e FRANCISCO PINHEIRO LIMA-FILHO⁴.

¹Doutorando do Programa de Pós- Graduação em Geodinâmica e Geofísica (PPGG), Universidade Federal do Rio Grande do Norte, RN, alexandrelimarn@gmail.com

²Departamento de Ciências Ambientais e Tecnológica, Universidade Federal Rural do Semi-árido, Mossoró, RN, nildo@ufersa.edu.br, miguel@ufersa.edu.br

³Instituto Nacional de Colonização e Reforma Agrária SR.19, INCRA, RN, priscila.aragao@ntl.incra.gov.br

⁴Departamento de Geologia, Laboratório de Análises Estratigráficas, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, RN, pinheiro@geologia.ufrn.br

1 RESUMO

Existe um conjunto de tecnologias de baixo custo de construção e manutenção utilizadas no semiárido, que possibilitam o aproveitamento da água da chuva, viabilizando o seu uso para o abastecimento humano, animal e agrícola, garantindo a segurança alimentar das famílias. As barragens subterrâneas destacam-se como uma destas tecnologias alternativas. Trata-se de barragens para captação e armazenamento de água no semiárido brasileiro, difundidas com denominação geral de “barragens subterrâneas”. Existem, no Brasil, quatro métodos construtivos que armazenam água em diferentes zonas dos solos. Por isso, possuem diferente capacidade de acumulação hídrica posterior a sua efetivação. Tais diferenças precisam ser melhores compreendidas e estudadas, pois tem causado confusão terminológica quanto a sua denominação. A existência de variações nas metodologias de construção das barragens subterrâneas demonstra a grande capacidade de adaptação às variações ambientais locais e as demandas dos beneficiários. Diante disso, o objetivo deste artigo é descrever a evolução histórica dos termos utilizados para denominar a tecnologia de armazenamento de água em sub-superfície no semiárido brasileiro. Propõe ainda, uma nova sistematização e caracterização das variações dos métodos de construção a partir da divisão das barragens subterrâneas em dois grupos: submersas e submersíveis. Os modelos ASA Brasil e EMBRAPA (submersível) são indicados para atender a demanda familiar em situações restritivas do potencial de oferta de água e o modelo Costa & Melo (submersa) é mais adequado, quando demanda uma maior oferta hídrica. Não há uma metodologia ideal de construção de barragens subterrâneas, mas a que melhor se adequa à realidade ambiental do local onde se pretende construí-la e, também da realidade social da família beneficiada.

PALAVRAS-chaves: Convivência com o semiárido. Agricultura familiar. Recursos hídricos.

LIMA, A. O.; DIAS, N. S.; FERREIRA NETO, M.; SANTOS, J. E. J. dos; RÊGO, P. R. de A.; LIMA-FILHO, F. P.

UNDERGROUND DAM IN BRAZILIAN SEMIARID REGION: HISTORICAL ANALYSIS AND METHODOLOGY OF CONSTRUCTION

2 ABSTRACT

A number of low cost building and maintenance technologies employed in semi-arid regions make possible the use of rain water for human and animal consumption as well as in agriculture. Underground dams stand out as one of those alternative technologies. Equally referred to as “underground barrages”, is one of the most important among such alternative technologies and they are used to collect and store water in the Brazilian semi-arid. In Brazil there are four distinct building techniques of underground dams each storing water in a different underground layer and therefore with different water accumulation capacities after its execution. Such differences need be further studied and better understood because of the confusion regarding its actual terminology. Variations in underground dam construction techniques demonstrate its great adaptability to different environments and consumer needs. Thus, the aim of this research was to describe the historical development of the semantic usage of the terms connected to the underground water storage technology in the Brazilian semi-arid. It also proposes a new systematization and characterization of construction methods variations emerging the division of underground dams in the two groups: submerse and submersible. The ASA Brasil and EMBRAPA (submersible) models are indicated for family supply in situations of low potential water supply whereas the Costa & Melo (submerse) one is more appropriated when a greater water supply is required. There’s no ideal methodology for construct underground dams, but the one that best fits to the environmental condition of the place where it intends to be build and also social reality of the beneficiary family.

Keywords: Life in the semiarid, Rainwater, Family agriculture.

3 INTRODUÇÃO

A barragem subterrânea é uma das tecnologias alternativas de baixo custo de construção e manutenção utilizadas no semiárido para aproveitamento da água da chuva, viabilizando o seu uso para o abastecimento humano, animal e agrícola, garantindo a segurança alimentar das famílias. Várias características determinam a viabilidade e a funcionalidade dessa tecnologia, quais sejam: capacidade de adaptação aos diferentes ambientes, facilidade de replicação, baixo custo de implantação e manutenção e a facilidade de apropriação pelos beneficiários.

A barragem subterrânea é uma obra hidro-ambiental que se insere nesse contexto descrito. O seu uso busca suprir as demandas hídricas para consumo humano, animal e agrícola, especialmente em regiões árida e semiárida. Essa tecnologia de captação de água é bastante difundida no semiárido do Brasil e em países da África e Ásia, como Mali (FORZIERE et al., 2008), Kênya (ERTSEN & HUT, 2008; QUILIS et al., 2008), Turquia (APAYDIN, 2009) e Arábia Saudita (EL-HAMES, 2011).

Apesar de ser conhecida no Brasil por uma denominação geral de “barragens subterrâneas”, existem variações no seu método construtivo que interferem diretamente na sua capacidade de acumulação e na disponibilidade hídrica. Tais variações, referentes ao uso semântico-terminológico, também têm gerado problemas ao longo da sua utilização.

Essas formas de construção, conforme já foi referido, denominadas de “barragens subterrâneas” têm como principal objetivo acumular e armazenar água em diferentes zonas do

solo, mesmo que existam diferenças marcantes em termos de aspectos construtivos e capacidade de reserva hídrica.

Tais diferenças precisam ser melhores compreendidas e estudadas, pois têm causado confusão terminológica quanto a sua denominação, gerando problemas de entendimento sobre as suas potencialidades de uso. A existência de variações nas metodologias de construção das barragens subterrâneas demonstra a grande capacidade de adaptação às variações ambientais locais e as demandas dos beneficiários.

Na literatura internacional a descrição e denominação das metodologias seguem a linha proposta por Nilssen (1988). Sobre esse tema, o autor utilizou os termos ‘underground dam’ para denominação geral e ‘sub-surface dam’ e ‘sand-storage dam’, para as duas metodologias principais. A primeira variação é construída abaixo do nível do solo e intercepta o fluxo subterrâneo, formando um aquífero natural; enquanto que a segunda é construída com parede acima do nível do solo, provocando o acúmulo gradativo de sedimentos com granulometria mais grossa (fração areia), e de água sub-superficial e superficial, por um longo período, após o término das chuvas.

O objetivo deste artigo é descrever a evolução histórica do uso semântico dos termos utilizados para denominar a tecnologia de armazenamento de água em sub-superfície no semiárido brasileiro. Propõe ainda, uma nova sistematização e caracterização das variações dos métodos de construção a partir da divisão das barragens subterrâneas em dois grupos: submersas e submersíveis.

4 MATERIAL E MÉTODOS

4.1 Barragens subterrâneas: histórico e conceituação

A discussão sobre a conceituação desta tecnologia é iniciada pela análise da evolução histórica do uso semântico desse termo. De acordo com Santos & Fragipani (1978), o uso da denominação “barragem submersa” refere-se a tecnologia de interceptação do fluxo subterrâneo em rios e riachos intermitentes no semiárido. Corroborando com essa assertiva, o decreto Federal 9.256 de 28.12.1911, que criou a Inspeção de Obras Contra a Seca traz na sua finalidade quinta, a explicitação clara do termo “barragens submersas”.

[...] Art. 1º Continuarão a cargo da repartição federal denominada Inspeção de Obras Contra as Secas os serviços relativos aos estudos e obras contra os efeitos das secas que assolam alguns Estados do Brasil, compreendidos entre o Piauí e o norte de Minas Gerais... Art. 2º Os serviços de estudos e obras destinados a prevenir e atenuar os efeitos das secas, de que trata o artigo precedente, são os seguintes: V. Barragens submersas e outras obras destinadas a modificar o regime torrencial dos cursos de água [...]

Porém, Santos & Fragipani (1978), diferenciaram dois grupos deste tipo de acumulação hídrica: submersas e submersíveis. A primeira, consiste no barramento, no fluxo do aluvião existente, ficando o topo da parede impermeável a um metro do nível do solo. Já na segunda, existe uma parede de concreto, pedra ou cimento acima da superfície, que se forma um pequeno lago à montante. A partir do início dos anos 80, surge outra terminologia passando a ser utilizado o termo “barragens subterrâneas” para designar as construções com septo impermeável, abaixo e acima do solo. A partir deste momento, o termo “barragem

submersa” torna-se desuso.

Os primeiros textos técnicos, de ampla circulação, a utilizar essa nova denominação foram o boletim de pesquisa publicada pela EMBRAPA-CPATSA e o relatório técnico sobre a viabilidade da implantação de barragens subterrâneas nas bacias hidrográficas do rio Seridó/RN e Jaguaribe/CE (IPT, 1981). No primeiro documento há uma descrição e o manejo de três “barragens subterrâneas” sucessivas, monitoradas a partir do ano de 1982 (BRITO et al. 1999). Medeiros (2004), também utiliza o termo barragens subterrâneas, em seus estudos, ao descrever esta tecnologia como uma das alternativas para suprimento d’água no semiárido.

É de conhecimento, que na visão dos estudiosos sobre esse assunto, ainda persiste uma confusão terminológica quando se quer denominar barragens subterrâneas, barragens submersíveis, submersas (IPT, 1981). Apesar da divergência terminológica, Medeiros (2004), salienta que existe um consenso entre os teóricos sobre a sua viabilidade na mitigação das oscilações espaciais e temporais das chuvas no semiárido e a sua eficiência para melhorar a oferta hídrica.

Para tratar desse tema, nesse trabalho, adotou-se o termo ‘barragens subterrâneas’ ao designar uma obra hidro-ambiental construída em depósito aluvionares (rios e riachos intermitentes) e linhas de drenagem. A interceptação se dará através da escavação de uma vala no sentido perpendicular ao fluxo da água e a utilização de lona plástica, transversalmente colocada ao fluxo da água, com o objetivo principal de impedir, ou retardar o fluxo subterrâneo, sub-superficial e o escoamento superficial; tornando-se possível à acumulação hídrica.

O princípio básico de funcionamento é a redução do gradiente hidráulico responsável pelo deslocamento horizontal da água na bacia hidrográfica. A interceptação subterrânea e sub-superficial pode ter estrutura ao nível do solo (barragens submersas), ou possuir uma parede que acumule água sub-superficial e superficial (barragem submersível), por um curto período (geralmente de 2 a 3 meses após o período de chuvas).

Em todas as metodologias utilizadas, a água é interceptada e armazenada à montante da parede artificial (septo impermeável) e constituída por lona plástica (caso brasileiro). A capacidade de acumulação de água variará em função dos fatores como: pacote sedimentar; taxas de recarga; condutividade hidráulica, etc. Além da capacidade de armazenagem de água, outro fator determinante para o uso da água da barragem é o conteúdo de sais dissolvidos na água armazenada. Dependendo das características hidrológicas, hidrogeológicas e da disponibilidade hídrica para a população, a água das barragens subterrâneas poderá ser utilizada para diversos fins: abastecimento humano (familiar e comunitário), abastecimento animal e produção agrícola.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 Metodologias de construção de barragens subterrâneas

Na literatura nacional, Costa (2004), foi o primeiro a sistematizar e avaliar as metodologias de construção de barragens subterrâneas existentes no semiárido brasileiro. Esse pesquisador identificou três metodologias de construções de barragens subterrâneas ou tipos de barragens.

A primeira delas foi desenvolvida por pesquisadores do Centro de Produção de Tecnologia do Trópico Semiárido (CPTASA), atualmente Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA-SEMIÁRIDO). A segunda metodologia foi denominada de

modelo CAATINGA, utilizada por uma organização não-governamental, com atuação no semiárido do Estado de Pernambuco. Já a terceira é o modelo desenvolvido na Universidade Federal de Pernambuco (UFPE), proposto por Costa & Melo (2004).

No entanto, surge a necessidade de uma nova atualização sob a luz das recentes variações nas metodologias de construção das “barragens subterrâneas” encontradas no semiárido brasileiro. Com isso, busca-se conservar a denominação geral de barragens subterrâneas, mas subdividindo em dois grandes grupos: as submersas e as submersíveis.

5.2 Barragens subterrâneas submersas

Este tipo de construção das barragens subterrâneas é definido como toda estrutura que objetiva barrar o fluxo subterrâneo de um aquífero preexistente ou criado, concomitantemente, barreira impermeável (SANTOS & FRANGIPANI, 1978). Já IPT (1981), define como uma obra de engenharia civil que, por meios da construção de uma parede impermeável no seio do aluvião pré-existente, há interceptação do fluxo da água subterrânea acumulando à montante, possibilitando o seu aproveitamento.

Nesse método, também existe uma obra complementar (poço amazonas ou cacimbão), que possibilita o aproveitamento da água armazenada na zona saturada. Esse modelo é adaptado para aproveitar as águas subterrâneas em cursos d'água intermitentes (rios e riachos mais competentes), possuindo maiores pacotes sedimentares, podendo gerar boas reservas hídricas.

Desta forma, fica evidenciado que, nessa metodologia de construção de barragem subterrânea, o septo impermeável (parede que intercepta o fluxo subterrâneo), aloja-se totalmente dentro do solo, barrando apenas o fluxo subterrâneo, uma vez que permanece em contato com o embasamento cristalino, não possuindo acumulação superficial, ou acima do nível do solo. Na literatura internacional, este tipo de construção é descrita como “sub-surface dam”, uma estrutura que intercepta o fluxo subterrâneo abaixo da superfície do solo, formando um aquífero natural.

Senthilkumar e Elengo (2011) relataram o uso deste tipo de barragem subterrânea no Rio Palar e no rio Swarnamukhi, ambas na Índia. Apayain (2009) indica a utilização desta metodologia de barragem subterrânea de forma experimental no semiárido da Turquia. No Japão existem vários relatos da construção de barragens subterrâneas submersas (ISHIDA et al., 2003), tanto com o objetivo de utilização da água para irrigação, quanto para contenção de intrusão salina.

No semiárido brasileiro, este modelo de barragem subterrânea é um dos mais utilizados, sendo conhecido no Brasil como Modelo Costa & Melo. Essa forma de construção de barragens subterrâneas tem sido muito utilizada por entidades governamentais, principalmente em Pernambuco, Ceará e Rio Grande do Norte, onde já existe um número muito expressivo desse tipo de barragem.

Este método de construção possibilita a ativação do potencial hídrico dos aluviões e pode fornecer quantidades significativas de água, dependendo das características hidrogeológicas encontradas (Figura 1), servindo para abastecimento comunitário e irrigação. Costa (2004) relatou a existência de barragem subterrânea construída no município de São Mamede/PB, que possibilitou o fornecimento de $40 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$, adotando-se um regime de bombeamento de 8 horas dia^{-1} , durante 10 meses. No município de Tamboril/CE, uma barragem submersa fornece $20 \text{ m}^3 \text{ dia}^{-1}$ para o abastecimento comunitário do assentamento São José.

A limitação deste método é a necessidade da presença de corpos aluvionares mais

espessos e recargas subterrâneas suficientes para possibilitar o aproveitamento hídrico pleno. Costa (2004) recomenda a necessidade de pacotes sedimentares acima de 1,5 m de espessura, para que exista uma boa acumulação subterrânea.

Nos locais onde não existe um pacote sedimentar dentro da espessura, não é recomendável a construção desse tipo de barragem; tal condição é um fator limitante e excludente para milhares de famílias do semiárido.



Figura 1. Barragem subterrânea submersa com mureta de pedras. Fonte: Costa (2004).

5.3 Barragens subterrâneas submersíveis

Esse tipo de barragem subterrânea é considerada submersível porque existe uma acumulação hídrica superficial, vertendo água por sangradouros de concreto construídos artificialmente. Brito et al. (1999), definem este tipo de barragem subterrânea como aquela formada por uma parede (concreto, pedras ou terra), que se situa acima da superfície.

Com a modificação do gradiente hidráulico e a consequente saturação do perfil do solo, devido à retenção do escoamento superficial, forma-se um lago artificial na área da bacia hidráulica. A extensão da bacia hidráulica vai ser determinada pela cota de sangria do vertedouro e da declividade a montante do ponto de interceptação.

Salienta-se que gradativamente, também existirá a interceptação de sedimentos provenientes do escoamento superficial. Como o volume de água no solo é função do volume de substrato, estabelece-se uma relação de gradativo aumento do percentual da água disponível, já que, quanto maior o volume de substrato, maior a quantidade de água disponível (KLEIN, 2008).

No entanto, a saturação só existe logo após o período das chuvas, não havendo a formação de aquífero, em alguns casos. A água fica retida na zona insaturada sob pressão matricial que, por sua vez, está associado ao tamanho das partículas, sendo possível determinar o volume de água que um solo ou substrato poderá disponibilizar para as plantas.

Apesar de não formar aquífero, a existência de um lago superficial será o responsável pelo suprimento hídrico, podendo o plantio de cultivos anuais seguir a franja de umedecimento deixada na medida em que o lago superficial for diminuindo. Este sistema é o mesmo utilizado durante o secamento gradativo dos açudes, denominado de plantio de vazantes.

Esse método de construção submersível possui duas variações, que vão de pequenas barragens em riachos ou linhas de drenagem utilizadas por famílias de agricultores familiares,

até barragens de médio porte construídas de forma a possibilitar o uso da água em pequenas irrigações.

A literatura internacional, também descreve esta forma de construir barragens subterrâneas com acumulação superficial denominada por Nilssen (1988) de “sand-storage dam”. Para Quilis et al. (2008), as barragens subterrâneas submersíveis, são tecnologias bem sucedidas de armazenamento de água e uma solução promissora para fornecimento de água e segurança alimentar em outras regiões semiáridas do mundo. Essa realidade está relacionada à capacidade que este tipo de barragem subterrânea possui de acumular sedimentos ao longo dos anos de funcionamento. Esta obra hidroambiental, também é largamente utilizada em países como Etiópia, Kenya e Índia. Em Kitui, distrito do Kênia, foram construídas desde 1995, mais de 500 barragens subterrâneas (RAIN, 2008). Na Índia, o governo e organizações não governamentais estão disseminando estruturas para captação e armazenamento de água da chuva. Uma das tecnologias que vem sendo adotada são as barragens subterrâneas.

Trata-se de uma tecnologia que serve para aumentar o tempo de permanência da água no solo e maximizar o armazenamento da água que escoar durante as chuvas (RAJU & REDDY, 2006). É importante frisar que nesses países, mesmo as barragens subterrâneas de pequeno porte, são construídas de concreto (Figura 2), o que se diferencia do que é normalmente feito no caso brasileiro, que utiliza lona plástica; embora, em ambos os casos os vertedouros são construídos de concreto. No Brasil há alguns registros de barragens subterrâneas submersíveis construídas com parede de concreto como, por exemplo, na região Seridó do Estado do Rio Grande do Norte, especificamente nos municípios de Parelhas e Serra Negra do Norte.

No Brasil, essas metodologias de construção de barragem subterrânea submersível possuem três variações: a) modelo Articulação no semiárido brasileiro (ASA Brasil), b) modelo EMBRAPA e c) modelo Serra Negra do Norte. Apesar de muitas semelhanças em seu processo de construção, as diferenças existentes são suficientes para dividi-las em três metodologias distintas, já que tais diferenças irão influenciar, por exemplo, na capacidade de acumulação e suprimento de água para as famílias envolvidas.



Figura 2. Processo de escavação manual e funcionamento de barragem subterrânea no Kênia, África. Fonte: Rain (2008).

5.4 Modelo submersível ASA Brasil

Esse modelo de construção de barragem subterrânea submersível - denominado de

ASA Brasil - é largamente utilizado pelas Organizações Não Governamentais (ONG'S), estruturadas sob a forma de uma rede denominada Articulação no Semiárido Brasileiro (ASA).

Costa (2004) denominou esse modelo de CAATINGA em alusão a ONG Caatinga localizada em Ouricuri/PE, sertão de Pernambuco, que foi uma das pioneiras na difusão deste tipo de tecnologia no semiárido. Assim, esse modelo foi adaptado da proposta de construção utilizada pela ONG Caatinga, que atualmente faz parte da rede da ASA (Figura 3). Nesse método, após a escavação da vala, colocação da lona plástica e do aterramento, é construída uma parede acima do solo para armazenamento superficial (por isso se enquadra dentro do método submersível).

Além dessa parede que torna possível a acumulação de água subterrânea, nesse método também é construído um vertedouro para possibilitar a continuidade do escoamento após o local de construção. Segundo Lima et al. (2007), esse sangradouro é dimensionado em função da competência do riacho (volume de água que passa durante a maior cheia), sendo recomendado tamanhos de 6, 10 e 15 m de comprimento. Caso o rio ou riacho, seja muito forte, recomenda-se a construção de mais de um sangradouro. O mesmo autor sugeriu os seguintes cuidados na construção dos sangradouros: a) identificar com o proprietário da terra o local onde passa a água com mais força, b) construir um sangradouro fora do local aterrado (parte de fora da barragem), e c) chumbar a lona dentro da parede de tijolo (a altura do sangradouro deve ser de acordo com o nível da água).



Figura 3. Barragem subterrânea construída seguindo o modelo Asa Brasil com acumulação superficial de água. Assentamento Santo Agostinho- Caraúbas/RN.

Como assessorio complementar, recomenda-se a construção de um poço amazonas para retirada de água para usos diversos. Diferentemente do poço amazonas que é recomendado na metodologia Costa & Melo, nesse caso, recomenda-se deixar o último anel do poço amazonas acima da cota de sangria da barragem para evitar que o poço não fique submerso quando a barragem estiver cheia e sangrando.

As ONGs que atuam com a proposta de construção deste tipo de barragens subterrâneas, dentro do programa P1+2, tem por objetivo a implementação de tecnologias de convivência com o semiárido associado a um programa de acesso à terra pela reforma agrária. Por meios desse programa, no período de 2007 e 2011, foram construídas 407 barragens subterrâneas submersíveis no semiárido brasileiro. Porém, em função da sua grande utilização nos estados da PB, RN, BA, CE, PE e MG, é certo que o número deste tipo de barragem subterrânea seja bem mais expressivo.

5.5 Modelo submersível EMBRAPA

A metodologia de construção estudada pela EMBRAPA Semiárido, desde os anos 80,

possui muitas similaridades com a metodologia difundida pela ASA. Fala-se da existência de um sangradouro ou vertedouro para escoamento do excesso de água durante as chuvas, mesmo que esses sangradouros possuam designer e formatos diferenciados.

Neste modelo, a principal função da barragem subterrânea é a criação de uma área úmida que poderá ser aproveitada com cultivo agrícola (Figura 4). Como forma de potencializar esta umidade na bacia hidráulica, recomenda-se a utilização de cordões de contorno para aumentar o tempo de permanência da água na barragem.

Uma vantagem deste método é a possibilidade de ampliação das áreas de construção de barragens no semiárido, já que este tipo de barragem subterrânea submersível pode ser construída fora de área aluvional, sendo, portanto, locais mais argilosos. É nessa realidade, que essa metodologia funciona a partir da interrupção do escoamento superficial em pequenas áreas de captação e posterior infiltração, que gerará áreas propícias para o cultivo de gêneros alimentares.

De outra parte, por não existir sedimentos com boa permeabilidade, e predominar material argiloso, esses locais não são bons aquíferos, o que torna dispensável o uso de poços amazonas ou cacimbões. Estas características e o formato do sangradouro são as principais diferenças do modelo EMBRAPA, em relação ao da ASA BRASIL.

Esses dois métodos, apesar de armazenar menores quantidades de água em função da sua construção em área com menores permeabilidades, quando comparado ao modelo Costa & Melo, possibilitam às famílias a oportunidade de plantarem arroz e outros cultivos alimentares como: macaxeira, batata e feijão com aproveitamento do espelho de água formado, ou em forma de vazantes.



Figura 4. Barragem subterrânea submersível, modelo EMBRAPA, com cordões de contorno na bacia hidráulica.

A limitação destes métodos é que a sua construção não é indicada para locais onde exista um fluxo muito forte de água (rios competentes). No entanto, é justamente nesses locais que existem as maiores condições de acúmulo hídrico, por existir um maior pacote sedimentar (aluviões), com boa permeabilidade. Outra limitação é a baixa quantidade de água armazenada, quando comparada com a metodologia Costa & Melo. Porém, analisando os tipos de barragens submersíveis, em relação à capacidade de armazenamento, pode-se inferir que a metodologia ASA BRASIL possui, em geral, maior capacidade de aporte hídrico.

5.6 Modelo submersível Serra Negra do Norte.

Essa metodologia de barragem subterrânea submersível tem como característica seu porte maior, possuindo grandes vertedouros de concreto e sua capacidade de acumulação hídrica superficial e subterrânea. É o modelo de barragem subterrânea mais caro em termos de custo de construção por exigir estudos topográficos e estruturas de concreto que suporte rios competentes. Outra característica é que a sua construção é de forma sequenciada, possibilitando a perenização de trechos de rios intermitentes.

Apesar de já ser conhecida há muito anos no Sertão do RN, esse formato sequenciado de barramentos foi primeiramente realizado no município de Serra Negra do Norte/RN, por isso leva o seu nome. Nesse município, as barragens foram construídas de forma sequenciada, possibilitando a perenização de um trecho de mais de 5 km do rio Espinharas. Atualmente, estão sendo construídas em outros municípios no Estado do RN, como no Rio Umari (Figura 5), entre os municípios de Umarizal, Caraúbas e Campo Grande PE (Rio Pajeú).

Em termos construtivos, mesmo dentro de cada modelo apresentado, não existe um padrão no que concerne a sua profundidade máxima. É certo que esta característica é inerente a realidade de cada local em que esta tecnologia será construída, que por sua vez, é fortemente influenciada pelo pacote sedimentar depositado pelo rio ou riacho e irregularidades do embasamento cristalino (rochas ígneas e metamórficas). Com relação à altura da parede de interceptação que fica acima do solo (no caso das barragens submersíveis), esta altura é determinada quando da sua construção, levando-se em consideração os seguintes critérios: área a ser inundada (mesmo que só por um curto período após o término das chuvas) e condição topográfica encontrada. Entre as barragens submersíveis, o modelo Serra Negra do Norte é a que possui as maiores alturas por serem construídas de concreto.



Figura 5. Barragem subterrânea submersível sucessiva modelo Serra Negra construída no leito do rio Umari, Umarizal, RN. (Foto: Alexandre de Oliveira Lima).

6 CONCLUSÕES

A proposta de construção de barragens subterrâneas constitui numa alternativa para captação e armazenamento de água no semiárido brasileiro. Essa proposta tem como foco principal, atender a demanda difusa e as famílias dispersas nas comunidades rurais.

A existência de variações nas metodologias de construção das barragens subterrâneas demonstra a grande capacidade de adaptação às variações ambientais locais e as demandas dos beneficiários. Há uma complementaridade entre os métodos de construção de barragens

subterrâneas o que amplia as possibilidades de efetivação de um amplo programa de construção deste tipo de obra hídrica no semiárido brasileiro.

O método Costa & Melo é indicado para corpos aluvionares maiores, mais espessos e, conseqüentemente, com grandes quantidades de água armazenada, podendo atender a demanda comunitária. Já, os modelos ASA Brasil e EMBRAPA são mais indicados para atender a demanda familiar em situações restritivas, em termos de oferta água. Essas metodologias contribuem para o aumento e o teor de água armazenado, possibilitando cultivos de gêneros alimentares. O modelo Serra Negra do Norte é o tipo submersível com maior capacidade de acumulação hídrica.

Não há uma metodologia ideal de construção de barragens subterrâneas, mas a que melhor se adéqua à realidade ambiental do local onde se pretende construí-la e, também, da realidade social da família beneficiada. A melhor escolha será aquela que reúna os aspectos construtivos dentro da realidade ambiental e social da família rural e que seja capaz de atenuar o seu problema de suprimento hídrico e de segurança alimentar.

7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- APAYDIN, A. M. 2009. Groundwater dam: an alternative model for semi-arid regions of Turkey to store and save groundwater. **Environment Earth Science**, 59:339-345.
- 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**, 3:111-115.
- COSTA, W.D. **Barragens subterrâneas: conceitos básicos, aspectos locais construtivos**. In: CABRAL, J.J.S. et al (Org.). *Água subterrânea: aquífero costeiro e aluviões, vulnerabilidades e aproveitamento*. Recife: Editora Universitária da UFPE, 2004, v.1, p.13-59.
- EL-HAMES, A. S. 2001. Determination of the transiente water table rise behind constructed underground dam. **Arabic Journal Geoscince**, 10:1-8.
- ERTSEN, M.; HUT, R. 2008. Two waterfalls do not hear each other. Sand-storage dams, science and sustainable development in Kenya. **Physics and Chemistry of the earth**, 34:14-22.
- FORZIERI, G.; GARDENT, M.; CAPARRINI, F.; CASTELLI, F. 2008. A methodology for the pre-selection of suitable sites for surface and underground small dams in arid areas: A case study in the region of Kidal, Mali. **Physics and Chemistry of the Earth**, 33:74-85.
- INSTITUTO DE PESQUISA TECNOLÓGICA – IPT. **Levantamento das potencialidades para implantação de barragens subterrâneas no Nordeste: bacias dos Rios Piranhas-Açu RN e Jaguaribe CE**. São Paulo: IPT, 1981. 56 p. (Relatório 14887).
- ISHIDA, S.; KOTURU, M.; ABE, E.; FAZAL, M. A.; TSUCHIHARA, T.; IMAIZUMI, M. 2003. Construction of subsurface dams and their impacts on the environment. **Materials and Geoenvironment**, 50:149-152.

- KLEIN, V. A. **Física do Solo**. Passo Fundo, RS: Universidade de Passo Fundo, 2008. 212 p.
- LIMA, A. O. **Manejo sustentável da água: construindo barragens subterrâneas**. 2. ed. Natal: Visão Mundial. 45 p, 2007.
- MEDEIROS, J. A. **Barragens subterrâneas: base de sustentação para do homem rural seridoense**. UFRN: Natal, 129 p, 2004 (Dissertação de Mestrado).
- QUILIS, R. O.; HOOGMOED, M.; ERTSEN, M.; FOPPEN, J. W.; HUT, R., VRIES, A. 2008. Measuring and modeling hydrological processes of sand-storage dams on different spatial scales. **Physics and chemistry of the earth**, 2:289-298.
- RAIN. A practical guide to sand dam implementation water supply. **Relatório técnico**. 2008. 39.p
- RAJU, N.J.; REDDY, T.V.K.; MUNIRATHNAM, P. 2006. Subsurface dam to harvesting rainwater. A case study of the Swarnmukhi river basin, Southern India. **Hydrogeology Journal**, 14:526-531.
- SANTOS, J. P.; FRANGIPANI, A. Barragens Submersas - Uma Alternativa para o Nordeste Brasileiro. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA DE ENGENHARIA, 2, São Paulo, SP. **Anais**, ABGE, v.1, p.119-126, 1978.
- 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**. 9:917-928.