



Spatial Distribution of Underground Dams for Agricultural Production in the Brazilian Semiarid Region

George do N. Ribeiro^{*}, Paulo R. M. Francisco^{**}, José H. S. de Sousa^{***},
João M. de Moraes Neto^{****}, José N. Silva^{*****}, Fernanda P. de Sousa^{*****},
Raimundo C. M. Rodrigues^{*****}, Rafael de F. Paashaus^{*****}

^{*}Dr. Prof. Associado, Universidade Federal de Campina Grande, UFCG, george.nascimento@professor.ufcg.edu.br

^{**}Dr. em Eng. Agrícola, Universidade Federal de Campina Grande, UFCG, paulomegna@gmail.com

^{***}Mestrando em Eng. Agrícola, Universidade Federal de Campina Grande, UFCG, hugosimplicio123@gmail.com

^{****}Dr. Prof. Titular, Universidade Federal de Campina Grande, UFCG, j.miguel.moraes@hotmail.com

^{*****}Dr. Prof. Associado, Universidade Federal de Campina Grande, UFCG, nilton@eq.ufcg.edu.br

^{*****}Enga. Agrônoma, Ministério da Integração e Desenvolvimento Regional, MIDR, fernanda.pessoa@mdr.gov.br

^{*****}Dr. Prof. Associado, Universidade Estadual do Maranhão, UEMA, calixto@cca.uema.br

^{*****}Mestrando em Engenharia e Gestão de Recursos Naturais, Universidade Federal de Campina Grande, UFCG, rafaelpaashaus@gmail.com

Received 10 November; accepted 19 December 2024.

ABSTRACT

This work aimed to identify and spatialize underground dams used for agricultural production in a semi-arid region using geotechnologies. Geographic data on the location of underground dams from various scientific sources were used. Using QGIS[®], the files were imported, geospatialized, classified and then the respective distribution maps were created. For description and evaluation, they were compared with the hydrogeology, stratigraphy of underground aquifers and their hydraulic productivity and their outcropping aquifer systems. For area calculations, the GRASS[®] plugin and zonal statistics through SAGA[®] were used. The results demonstrated that the use of geoprocessing techniques contributed to the spatialization and analysis of data. The use of the Digital Terrain Model facilitated the understanding of the location of underground dams in different geographic environments. The largest number of underground dams built in the State of Pernambuco was identified. Most of the underground dams are located under the Indifferent Fractured Basement in the Cristalino region under the Semiarid Fractured Aquifer System. Hydraulic productivity was identified as low flow, however, of great significance for the maintenance of agriculture in the semiarid region.

Keywords: rainwater harvesting, stratigraphy, aquifers, geospatialization.

Distribuição Espacial de Barragens Subterrâneas para Produção Agropecuária em Região Semiárida Brasileira

RESUMO

Este trabalho objetivou identificar e espacializar barragens subterrâneas de uso para produção agropecuária de região semiárida utilizando geotecnologias. Foram utilizados dados geográficos de localização de barragens subterrâneas de diversas fontes científicas. Utilizando o QGIS[®] os arquivos foram importados, geoespacializados, classificados e após elaborados os respectivos mapas de distribuição. Para a descrição e avaliação foi comparada com a hidrogeologia, estratigrafia de aquíferos subterrâneos e sua produtividade hidráulica e seus sistemas aquíferos aflorantes. Para os cálculos de áreas foi utilizado o plugin GRASS[®] e estatística zonal através do SAGA[®]. Os resultados demonstraram que o uso de técnicas de geoprocessamento contribuiu com a espacialização e análise dos dados. Com o uso do Modelo Digital do Terreno facilitou a compreensão da localização das barragens subterrâneas nos diversos ambientes geográficos. Foi identificado o maior número de barragens subterrâneas construídas no Estado de Pernambuco. A maioria das barragens subterrâneas encontram-se sob o Embasamento Fraturado Indiferente em região do Cristalino sob o Sistema Aquífero Fraturado Semiárido. A produtividade hidráulica foi identificada como de baixa vazão, no entanto, de grande significância para a manutenção da agropecuária na região semiárida.

Palavras-Chave: captação de água de chuva, estratigrafia, aquíferos, geoespacialização.

1 Introdução

O Semiárido do Nordeste brasileiro abriga 52% das pessoas que vivem abaixo da linha de pobreza no Brasil, com sua maioria (72%) na zona rural. Nessa região, a cada período de estiagem, milhares de pessoas não conseguem satisfazer suas necessidades de acesso à água e aos alimentos básicos (IBGE, 2009).

Conforme Schuster e Srinivasan (2004), o aproveitamento dos recursos hídricos nas regiões semiáridas do nordeste brasileiro é uma prática bastante complexa devido às peculiaridades climatológica e geológica da região, que se caracteriza pela baixa pluviosidade com irregular distribuição espacial e temporal além da composição geológica regional desfavorável à retenção de grandes volumes de água das chuvas.

De acordo com as características climáticas do semiárido, as famílias para conviverem com as adversidades do clima do Semiárido é necessário que elas disponham em seus agroecossistemas de reservatórios para armazenar a água da chuva para o período da estiagem (Silva et al., 2010). Conforme Silva et al. (2008), a adoção de tecnologias de captação e armazenamento de água de chuva contribuem com a melhoria da qualidade de vida de famílias agricultoras da região semiárida do Brasil.

Os açudes não são suficientes para o combate à seca, apesar de sua extrema importância. Nos açudes a água concentrada em períodos chuvosos não resiste às épocas de estiagem em virtude de sua exposição ao calor, tendo como consequência a evaporação da água acumulada (Cirilo, 2008).

Como forma de contribuir com novos reservatórios em zonas rurais de maneira econômica, simples e eficiente, barragens subterrâneas são propostas para impedir o escoamento das águas pluviais no solo e evitar a sua evaporação (Brito et al., 1999).

Barragem Subterrânea (BS) é uma tecnologia alternativa para a captação de água de chuva no solo, reduzindo os efeitos dos longos períodos de estiagem (Silva et al., 2008). Essa tecnologia consiste na construção de uma parede impermeável que interrompe o movimento descendente de água do solo em uma linha de drenagem, promovendo assim seu armazenamento no solo (Jamali et al., 2013). A água armazenada pode ser utilizada para cultivos agrícolas in loco, irrigar áreas circunvizinhas, ou ainda para fornecer aos animais (Silva et al., 2007).

A escolha por barragem subterrânea, frente ao represamento superficial torna-se mais

interessante em regiões semiáridas devido a diminuição da evaporação pelo armazenamento da água nos macroporos do solo (Ouerdachi et al., 2012), já que a evapotranspiração potencial no semiárido pode atingir valores superiores a 2.000 mm/ano (Lafayette et al., 2019).

Essa tecnologia de captação de água é bastante difundida em países da África e Ásia, como Mali (Forziere et al., 2008), no Kênya (Ertsen & Hut, 2008; Quilis et al., 2008), na Turquia (Apaydin, 2009) e na Arábia Saudita (El-Hames, 2011).

Diversas pesquisas quanto a barragens subterrâneas no Semiárido vêm sendo realizadas desde 2007 pela Embrapa Solos no Estado de Pernambuco, implantando em algumas unidades, realizando diagnósticos e avaliando a sustentabilidade socioeconômica e ambiental (Nascimento et al., 2015), como também por Costa (2002), Almeida et al. (2006) e Silva (2013). Outras pesquisas quanto a diversas características de barragens subterrâneas foram elaboradas no Estado de Alagoas, por Nascimento et al. (2015), Silva et al. (2015), Rodrigues et al. (2023), Silva Júnior (2023), no Estado da Bahia por Ferreira et al. (2007), Oliveira et al. (2007), Cardoso et al. (2011), Ferreira et al. (2015), Silva et al. (2015), Nascimento et al. (2015), Silva et al. (2016), Melo et al. (2018), Matos et al. (2022), no Estado do Ceará por França et al. (2016). Outros Estados como a Paraíba, pesquisas sobre barragens subterrâneas foram elaboradas por Rabelo et al. (2004), Albuquerque (2005), Ferreira (2008), Silva et al. (2009), Ferreira et al. (2010), Silva et al. (2010), Mota et al. (2011), Oliveira Neto et al. (2013), Silva et al. (2013), Silva et al. (2014), Nascimento et al. (2015). No Estado do Rio Grande do Norte pesquisas foram elaboradas por Dantas (2009), Cunha (2016), Chianca et al. (2020), Galvão (2022).

Nos Estado do Maranhão por Barroso (2007), Almeida (2013), em Minas Gerais pela ASA (2024), em Sergipe por Lapa (2024), no Piauí pela ASA (2024).

O estudo espacial é uma poderosa ferramenta que tem contribuído cada vez mais para as pesquisas. Uma de suas aplicações é a elaboração de mapas temáticos que permitam analisar a variável em estudo e o seu comportamento no espaço. Esse artifício é cada vez mais utilizado para definir zoneamentos e, assim, identificar subáreas para traçar estratégias de manejo inovador dos recursos naturais (Ferreira et al., 2015), servindo de instrumento eficiente para todas as áreas do conhecimento que fazem uso de mapas, possibilitando integrar em uma única base

de dados, informação representando vários aspectos do estudo de uma região (Rosa & Brito 1996; Lopes et al., 2008).

De acordo com Lopes et al. (2008), o uso do Sistema de Informação Geográfica objetiva servir de instrumento eficiente para todas as áreas do conhecimento possibilitando integrar em uma única base de dados, informação representando vários aspectos do estudo de uma região.

Câmara et al. (2004a), relatam que o objetivo principal da análise espacial é mensurar atributos e relacionamentos, levando em consideração a localização espacial do fenômeno. De acordo com Rosa (2011), refere-se ao estudo da distribuição espacial de qualquer fenômeno a procura de padrões espaciais, fazendo ligação entre o domínio cartográfico e as áreas de análise aplicada, a estatística e a modelagem.

Já a estatística zonal permite estabelecer relações espaciais entre regiões de mapas distintos. As operações de transformações zonais ou por região operam sobre um mapa de origem e um conjunto de regiões delimitadas por polígonos na forma matricial ou vetorial. Isto permite materializar num Sistema de Informação Geográfica os conceitos de unidade de paisagem (Bertrand, 1981; Tricart, 1977; Tricart & Kiewietdejonge, 1992) e área-unidade (Hartshorne, 1978).

Portanto, este trabalho objetiva identificar e espacializar barragens subterrâneas de uso para produção agropecuária de região semiárida utilizando geotecnologias.

2 Material e Métodos

A área de estudo compreende a região Semiárida Brasileira com diversidade de ambientes, biomas, vegetação, elevação, solos, tipos de clima e precipitação pluviométrica. De acordo com INSA (2024), é composto por 9 estados da região Nordeste, pelo norte de Minas Gerais e pequena parte do Espírito Santo. No total, ocupa aproximadamente 12% do território nacional e abriga cerca de 28 milhões de habitantes, sendo, portanto, um dos semiáridos mais povoados do mundo.

Conforme Alvares et al. (2013), na área de estudo, o clima é formado pelos tipos Aw, As, BSh, Cfb, Cwa e Cwb. A precipitação anual varia de 150 a 1.300mm com médias oscilando entre 300 mm.ano⁻¹ e 800 mm.ano⁻¹ (Figura 1a). As temperaturas são relativamente elevadas, com média anual em torno de 28°C, apresentando máxima de até 40°C ano⁻¹. Nos dias de maiores

insolações, a temperatura pode ultrapassar os 45°C e nas áreas mais altas, pode chegar a 10 ou 15°C. A insolação média anual é de 2.800 horas com taxas médias de evaporação de 2.000 mm.ano⁻¹. A umidade relativa do ar, em geral, é de aproximadamente 50%. Nas áreas de maior altitude, as condições microclimáticas se apresentam com menores temperaturas, com médias entre 22 e 23°C ano⁻¹ e com maiores umidades (Ramalho, 2013). Quanto ao índice de aridez na região, Francisco et al. (2024) observaram que, ocorrem valores entre 0,19 a 0,31.

O Nordeste do Brasil é uma região caracterizada pela alta variabilidade espaço-temporal da precipitação (Kousky, 1979; Luiz-Silva et al., 2021) devido à atuação de diferentes sistemas atmosféricos responsáveis de influência climática na região (Medeiros et al., 2015). A região Nordeste onde se localiza o Semiárido se caracteriza principalmente pela irregularidade das chuvas e pelas altas taxas de evapotranspiração, elementos que juntos contribuem para o risco constante de escassez hídrica (INSA, 2024).

A vegetação contempla a Mata Atlântica no litoral até a Mata dos Cocais no Meio Norte, com ecossistemas como os manguezais, a caatinga, o cerrado, as restingas, dentre outros, que possuem fauna e flora exuberantes. Conforme Araújo Filho et al. (2017), em reflexo às condições climáticas, as formações vegetais dominantes no Semiárido são caducifólias e pertencem ao bioma Caatinga.

A região possui uma grande diversidade de solos em sua extensão (Figura 1c), decorrente da ampla diversidade de pedoambientes e de fatores de formação do solo. De acordo com EMBRAPA (2018), predominam os Argissolos, Cambissolos, Chernossolos, Latossolos, Luvisolos, Neossolos, Planossolos e Vertissolos, e com menor representatividade os Plintossolos, Nitossolos e Gleissolos.

Quanto a caracterização geológica (Figura 1c), a margem continental brasileira está dividida em três províncias fisiográficas distintas, a Plataforma continental Amazonas-Maranhão, incluindo a Cone Amazônico; a plataforma continental da costa norte-nordeste, abrangendo Barreirinhas, Ceará, Potiguar, Recife-João Pessoa, Sergipe-Alagoas, ao Sul bacias da Bahia e Jequitinhonha; leste-sudeste plataforma continental costeira, na qual se situam as zonas costeiras e bacias marítimas de Cumuruxatiba, Espírito Santo, Campos, Santos e Pelotas. A seção estratigráfica brasileira conta com oito unidades principais, o Escudo Brasileiro Pré-cambriana, composto por rochas metamórficas dobradas e ígneas intrusivos; e cobertura de plataforma

metassedimentar do Pré-cambriano ao Cambro-Ordoviciano, e seis sequências litoestratigráficas: duas paleozóicas, duas mesozóicas e duas cenozóicas em idade, delimitadas por discordâncias inter-regionais (Campos et al., 1974).

O território do Brasil coincide quase inteiramente com a Plataforma Sul-Americana, o

núcleo cristalino do continente. Seu embasamento é composto por antigas rochas metamórficas e ígneas e não sofreu nenhuma regeneração tectônica desde o início do Fanerozóico. Rochas sedimentares com estratificação quase horizontal cobrem este embasamento cristalino (Almeida et al., 1981).

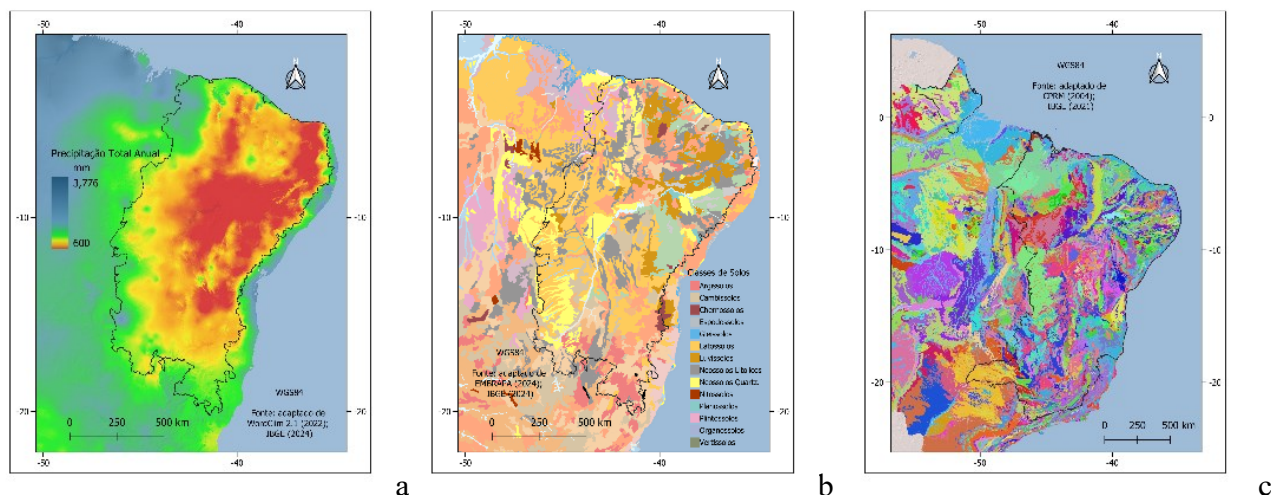


Figura 1. Precipitação total anual (a); Solos (b); Geologia (c).
Fonte: adaptado de WorldClim® 2.1 (2022); EMBRAPA (2024); CPRM (2024); INSA (2024).

Na metodologia deste trabalho foram utilizados dados geográficos de localização de barragens subterrâneas de diversas fontes científicas e disponibilizados em planilha digital. Utilizando o QGIS® 3.42.2 os dados foram importados, geoespacializados e após elaborado o respectivo mapa de distribuição, tendo como base hipsométrica o MDT Global Ensemble Digital Terrain Model 30m (GEDTM30) elaborado por Ho e Hengl (2025).

Para descrição e avaliação da distribuição das barragens subterrâneas quanto a sua localização em regiões hidrogeológicas, foi elaborado os mapas de Unidades estratigráficas de aquíferos subterrâneos, Produtividade hidráulica e de Sistema aquíferos aflorantes obtidos na Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais (CPRM, 2014) e na Agência Nacional de Águas (ANA, 2013) e recortados conforme os limites obtidos no Instituto Nacional do Semiárido (INSA, 2024).

Para os cálculos de áreas foi utilizada o plugin GRASS® 8.4.1. r.report. Após foi realizada a estatística zonal por Estado através do SAGA® 9.2.0 desenvolvido por Conrad et al. (2015).

3 Resultados e Discussão

De acordo com a Figura 2, pode-se observar a distribuição espacial das barragens subterrâneas identificadas por este trabalho, onde em sua maioria localizam-se em áreas de maiores altitudes e principalmente em drenagens secundárias contribuintes dos principais rios.

Observa-se pela Tabela 1 o total de 473 (80,44%) barragens subterrâneas identificadas, em sua maioria localizadas no Estado de Pernambuco, isto devido a Embrapa ter promovido e incentivado sua instalação e elaborado diversas pesquisas sobre as mesmas. De acordo com Almeida et al. (2006), a localização das barragens em Pernambuco, em sua maioria, foi definida com base em critérios essencialmente geológicos.

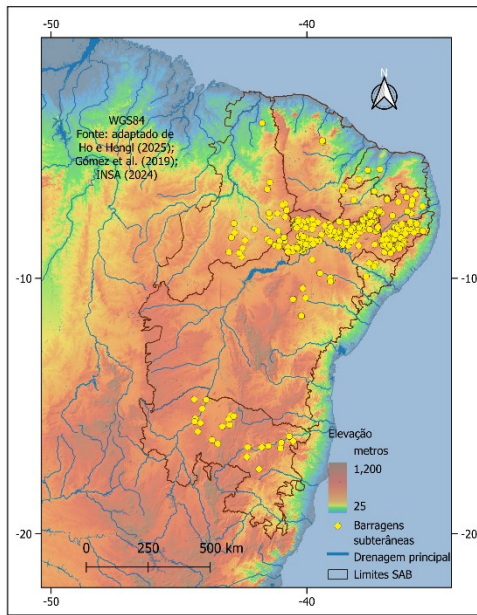


Figura 2. Distribuição espacial das barragens subterrâneas.

Fonte: adaptado de Ho e Hengl (2025); Gómez et al. (2019); INSA (2024).

Tabela 1. Distribuição espacial das barragens subterrâneas identificadas

Estado	Área (km ²)	N.º Barragem	%
Alagoas	27.830,66	7	1,19
Bahia	564.760,42	26	4,42
Ceará	148.894,44	4	0,68
Espírito Santo	5.445,10	0	0
Minas Gerais	223.410,72	23	3,91
Maranhão	27.597,56	2	0,34
Paraíba	56.467,24	23	3,91
Pernambuco	98.067,87	473	80,44
Piauí	251.755,48	22	3,74
Rio Grande do Norte	52.809,59	7	1,19
Sergipe	21.938,18	1	0,17
Total	2.184.763,85	586	100

Quanto as unidades estratigráficas de aquíferos subterrâneos (Figura 3a), observa-se que as barragens se localizam em sua maioria, sob o Embasamento Fraturado Indiferente de baixo grau, formado por basicamente granitóides, rochas vulcânicas, metavulcânicas, gnaisses, granulitos, migmatitos, xistos e quartzitos (CPRM, 2014).

Estas estão localizadas sob o Cristalino (Aquífero Fissural), como quase não existe uma porosidade primária nestes tipos de rochas, a ocorrência de água subterrânea é condicionada por uma porosidade secundária representada por fraturas e fendas, o que se traduz por reservatórios aleatórios, descontínuos e de pequena extensão.

Como a maioria destes litótipos ocorre geralmente sob a forma de grandes e extensos corpos maciços, existe uma tendência de que este domínio seja o de potencial hidrogeológico mais baixo dentre todos aqueles relacionados aos aquíferos fissurais (Bomfim, 2010).

O Sistema Aquífero Fraturado Semiárido é uma região de rochas cristalinas/fraturadas definida em função da delimitação do Semiárido Nordeste (Cardoso et al., 2012).

De acordo com a Figura 3b, estas apresentam uma produtividade hidráulica de acordo com Struckmeir e Margat (1995) classificada como baixa (geralmente baixa, porém localmente baixa - fornecimento contínuo dificilmente são garantidos), com vazão (Q) entre 0 a 10 (m/h).

No Estado do Piauí, estas estão sob a Formação Pimenteiras do grupo Serra Grande, Granular, de grau médio, de afloramento composto por folhelho e siltito, por arenito fino e grosseiro, com produtividade hidráulica classificada como baixa, com vazão (Q) <1 (m/h).

A Formação Pimenteiras localiza-se sob Bacias Sedimentares (Aquífero Poroso), em que, este domínio engloba as sequências de rochas sedimentares, muitas vezes associadas a vulcanismo, importante ou não. Neste de domínio enquadram-se nesta unidade as bacias fanerozoicas, onde os processos metamórficos não foram instalados (Bomfim, 2010).

Ao sul da região semiárida, ao norte de Minas Gerais, estas unidades estratigráficas de aquíferos localizam-se no Grupo Bambuí, unidade terrígena, Cárstica, com grau de fraturamento baixo, composta por quartzito, metapelito, ardósia, arenito, ritmito, marga, folhelho, siltito e argilito.

Estas estão localizadas sob as Formações Cenozóicas (Aquífero Poroso), em que, são definidas como pacotes de rochas sedimentares de naturezas e espessuras diversas, que recobrem as rochas mais antigas. Em termos hidrogeológicos, tem um comportamento de aquífero poroso, caracterizado por possuir uma porosidade primária, e nos terrenos arenosos uma elevada permeabilidade. A depender da espessura e da razão areia/argila dessas unidades, podem ser produzidas vazões significativas nos poços tubulares perfurados, sendo, contudo, bastante comum que os poços localizados neste domínio, captem água dos aquíferos subjacentes. Este domínio está representado por depósitos relacionados temporalmente ao Quaternário e Terciário (aluviões, coluviões, depósitos eólicos, areias litorâneas, depósitos fluviolagunares, arenitos de praia, depósitos de leques aluviais,

depósitos de pântanos e mangues, coberturas detriticas e detriticas-lateriticas diversas e coberturas residuais) (Bomfim, 2010).

O Sistema Cárstico é representado pelas unidades hidrogeológicas aflorantes, porosas e cársticas, que apresentam características físicas,

litoestratigráficas e hidrogeológicas similares (Cardoso et al., 2012).

De acordo com a Figura 3b, estas apresentam uma produtividade hidráulica classificada como baixa, com vazão (Q) entre 1 a 10 (m/h).

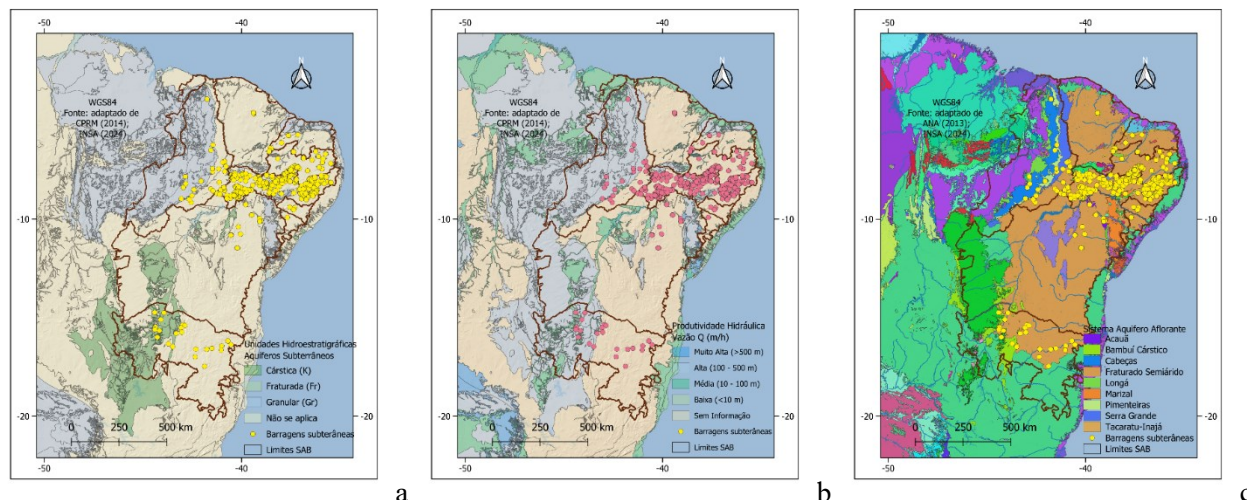


Figura 3. Unidades estratigráficas de aquíferos subterrâneos (a); Produtividade hidráulica (b); Sistema aquíferos aflorantes. Fonte: adaptado de CPRM (2014); ANA (2013); INSA (2024).

De acordo com Silva Filho et al. (2020), em Pernambuco, os solos aluviais em que geralmente são construídas as barragens subterrâneas, apresentam capacidade de acumulação de água de até 174,9 hm³.

Costa (2004), relatou a existência de barragem subterrânea construída no município de São Mamede/PB, que possibilitou o fornecimento de 40 m³h⁻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 m³dia⁻¹ para o abastecimento comunitário do assentamento São José.

De acordo com Cirilo et al. (2003), a utilização de barragens subterrâneas no Estado da Paraíba permitiu a colheita de até duas safras por ano, o que é incomum de acontecer em regiões semiáridas, em que se pratica a agricultura de sequeiro. Esse panorama mostra o quanto é importante intensificar a captação de água de chuva não só para reduzir os prejuízos por perdas de safra, como também, para elevar ainda mais a renda das comunidades rurais.

Em barragens subterrâneas a água é interceptada e armazenada à montante da parede artificial (septo impermeável), em que a capacidade de acumulação de água variará em função dos fatores como pacote sedimentar; taxas de recarga; condutividade hidráulica etc. e dependendo das características hidrológicas, hidrogeoquímicas e da disponibilidade hídrica para

a população, a água poderá ser utilizada para diversos fins.

Conforme Lima et al. (2013), diversos pesquisadores como 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. 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 Foundation, 2008). Na Índia, o governo e organizações não governamentais estão disseminando estruturas para captação e armazenamento de água da chuva sendo 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).

A viabilidade dos cultivos na barragem subterrânea dependerá das culturas selecionadas e do manejo adotado. Uma das opções que o agricultor familiar tem de manejo é o consórcio dos cultivos. A prática da consorciação em uma barragem subterrânea apresenta vantagens,

podendo-se citar, dentre outras, a maior incorporação de matéria orgânica ao solo, a menor utilização de adubos químicos e o aumento da fixação biológica de nitrogênio, principalmente com o cultivo de leguminosas (Teixeira et al., 2011; Santos et al., 2014).

Os agricultores familiares, devem priorizar o cultivo de espécies que apresentem tolerância ao estresse hídrico, como por exemplo, o feijão-caupi e o sorgo sacarino (Nascimento et al., 2011; Moreira et al., 2014). Conforme constatado por Carvalho e Pires (2008), o consórcio traz benefícios econômicos e ambientais no que se refere ao aumento da oferta de forragem, aumento na produtividade e na qualidade nutricional das forragens, além de recuperação das áreas degradadas, redução do uso de fertilizantes e melhoria nas características do solo.

4 Conclusão

O uso de técnicas de geoprocessamento contribuiu com a espacialização e análise dos dados.

Com o uso do Modelo Digital do Terreno facilitou a compreensão da localização das barragens subterrâneas nos diversos ambientes geográficos.

Foi identificado o maior número de barragens subterrâneas construídas no Estado de Pernambuco.

A maioria das barragens subterrâneas encontram-se sob o Embasamento Fraturado Indiferente em região do Cristalino sob o Sistema Aquífero Fraturado Semiárido.

A produtividade hidráulica foi identificada como de baixa vazão, no entanto, de grande significância para a manutenção da agropecuária na região semiárida.

Referências

Albuquerque, W.G. 2005. Avaliação da umidade natural do solo em sucessivas barragens subterrâneas no Riacho Angico, pertencente a Região do Médio Paraíba. 41f. Estágio Supervisionado. Relatório Final. (Engenharia Agrícola). Universidade Federal de Campina Grande. Campina Grande.

Almeida, E. 2012. Econometria Espacial Aplicada. Alínea: Campinas. 498p.

Almeida, F.F.M.; Hasui, Y.; Neves, B.B.B.; Fuck, R.A. 1981. Brazilian structural provinces: An introduction. *Earth-Science Reviews* 17(1-2) 1-29.

Almeida, J.B. 2013. A qualidade de águas superficiais e subterrâneas na Bacia do Rio da Prata/São Luís Maranhão sob efeito da ação antrópica. 122f. Tese (Doutorado em Física). Centro de Ciências. Universidade Federal do Ceará. Fortaleza.

Almeida, T.A.; Montenegro, S.M.G.L.; Leitão, T.E.; Montenegro, A.A.A. 2006. Análise preliminar da vulnerabilidade e contaminação de área sob cultivo agrícola com barragem subterrânea no semiárido. In: Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas, 14, 2006, Curitiba. Anais....Curitiba.

Alvares, C.A.; Stape, J.L.; Sentelhas, P.C.; Gonçalves, J.L.M.; Sparovek, G. 2013. Köppen's climate classification map for Brazil. *Meteorologische Zeitschrift* 22(6) 711-728.

ANA. Agência Nacional de Águas. Coordenação de Águas Subterrâneas. Gerência de Águas Subterrâneas. Sistema Aquífero Aflorante. 2013. Disponível em: <https://metadados.snirh.gov.br/geonetwork/srv/api/records/3ec60e4f-85ea-4ba7-a90c-734b57594f90>. Acesso em: 15 de maio de 2025.

Anselin, L. 1995. Local Indicators of Spatial Association-LISA. *Geographical Analysis*, Columbus 27(2) 93-115.

Anselin, L. 1998. Exploratory Spatial Data Analysis in a Geocomputational Environment. In: Longley, P.A.; Brooks, S.M.; McDonnell, R.; MacMillan, B. *Geocomputation a Primer* Chichester. John Wiley & Sons Ltd. p.77-94.

Apaydin, A.M. 2009. Groundwater dam: an alternative model for semi-arid regions of Türkiye to store and save groundwater. *Environment Earth Science* 59 339-345.

Araújo Filho, J.C.; Araújo, M.S.B.; Burgos, N.; Marques, F.A. Solos da Caatinga. 2017. In: Curi, N.; Ker, J.C.; Novais, R.F.; Vidal-Torrado, P.; Schaefer, C.E.G.R. (ed.). *Pedologia: solos dos Biomas Brasileiros*. Viçosa, MG: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo. p.227-260.

Zoneamento Agroecológico do Estado de Alagoas: Levantamento de Reconhecimento de Baixa e Média Intensidade dos Solos do Estado de Alagoas - Relatório Técnico. Recife: Embrapa Solos - UEP Recife; Maceió, AL: Secretaria de Estado da Agricultura e Desenvolvimento Agrário de Alagoas. 245p.

ASA. Articulação Semiárido Brasileiro. Disponível em: <https://antigo.asabrazil.org.br/mapatecnologias/> Acesso em: dezembro de 2024.

Barroso, S.L. 2007. Caracterização físico-química e microbiológica das águas do rio Pericumã em

- Pinheiro-MA utilizada na irrigação. 93f. Dissertação (Mestrado em Agroecologia). Universidade Estadual do Maranhão. São Luís.
- Bertrand, G. 1981. Paisagem e Geografia Física Global: Esboço Metodológico. Caderno de Ciências da Terra, 13. Instituto de Geografia-USP. São Paulo.
- Bomfim, L.F.C. 2010. Mapa de domínios/subdomínios hidrogeológicos do Brasil em ambiente SIG: concepção e metodologia. In: Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas e Encontro Nacional de Perfuradores de Poços, 16 e 17, 2010, São Luís. Anais...São Luís.
- Brito, L.T.L.; Silva, D.A.; Cavalcanti, N.B.; Anjos, J.B.; Rego, M.M. 1999. Alternativa para aumentar a disponibilidade de água no semi-árido. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental 3 111-115.
- Câmara, G.; Monteiro A.M.; Carvalho, M.S. 2004a. Análise Espacial e Geoprocessamento. In: Análise espacial de dados geográficos. (eds.) Fuks, S.D.; Carvalho, M.S.; Câmara, G.A.M.V. Divisão de Processamentos de Imagens. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. São José dos Campos, Brasil.
- Câmara, G.; Carvalho, M.S.; Cruz, O.G.; Correa, V. 2004b. Análise espacial de áreas. In: Druck, S.; Carvalho, M.S.; Câmara, G.; Monteiro, A.V.M. (eds.). Análise Espacial de Dados Geográficos Brasília: EMBRAPA. 216p.
- Campos, A.C.P.; Viola, D.V.; Cunha-Filho, M.; Vilar, G.; Van-Der-Linden, V. 2013. Identificação da existência de padrão espacial aleatório na distribuição dos pacientes portadores de deficiência física decorrente de doença genética DAAACD de Pernambuco. Revista Brasileira Biom. 31(4) 598-616.
- Campos, C.W.M.; Ponte, F.C.; Miura, K. 1974. Geology of the Brazilian Continental Margin. In: Burk, C.A.; Drake, C.L. (eds). The Geology of Continental Margins. Springer, Berlin, Heidelberg.
- Cardoso, F.B.F.; Almeida, L.; Gonçalves, M.V.C.; Oliveira, F.R.; Nascimento, F.S.N.; Ferreira, A.N.P.; Gaspar, M.T.P. 2012. Mapa das áreas aflorantes dos aquíferos e sistemas aquíferos do Brasil. In: Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas e Encontro Nacional de Perfuradores de Poços, 17 e 18, 2012, Bonito. Anais...Bonito.
- Cardoso, L.B.; Silva, M.S.L.; Mota, C.L.; Silva, L.S.; Parahyba, R.B.V.; Ferreira, G.B.; Oliveira Neto, M.B.; Cunha, T.J.F. 2011. Atributos químicos de solos da área de plantio de barragens subterrâneas do semiárido da Bahia. In: Congresso Brasileiro de Ciência do Solo, 33, 2011, Uberlândia. Anais...Uberlândia.
- Carvalho, G.G.P.; Pires, A.J.V. 2008. Leguminosas tropicais herbáceas em associação com pastagens. Archivos de Zootecnia 57 103-113.
- Chianca, C.G.C.; Batista, R.O.; Silva, C.K.; Souza, A.A. 2020. Qualidade da água de barragens subterrâneas do município de Caraúbas/RN. Brazilian Journal of Development 6(2) 7444-7456.
- Cirilo, J.A. 2008. Políticas públicas de recursos hídricos para o semi-árido. Estudos Avançados 22 61-82.
- Conrad, O.; Bechtel, B.; Bock, M.; Dietrich, H.; Fischer, E.; Gerlitz, L.; Wehberg, J.; Wichmann, V.; Böhner, J. 2015. System for Automated Geoscientific Analyses (SAGA) v.2.1.4. Geosci. Model Dev. 8 1991-2007.
- Costa, C.T.; Puerari, E.M.; Castro, M.A.H. 2002. Barragem subterrânea: a experiência do Estado do Ceará. In: Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas, 12, 2002, Florianópolis. Anais...Florianópolis.
- Costa, M.R. 2002. Avaliação do potencial de aproveitamento de reservatório constituídos por barragens subterrâneas no semi-árido brasileiro. 198f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil). Centro de Tecnologia e Geociências. Universidade Federal de Pernambuco. Recife.
- Costa, W.D. 2004. Barragens subterrâneas: conceitos básicos, aspectos locais construtivos. In: Cabral, J.J.S. et al. (Org.). Água subterrânea: aquífero costeiro e aluviões, vulnerabilidades e aproveitamento. v.1. Recife: Editora Universitária da UFPE. p.13-59.
- CPRM. Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais. Diretoria de Geologia e Recursos Minerais. Mapa Geológico do Brasil. 2014. Disponível em: <https://rigeo.sgb.gov.br/handle/doc/24909>. Acesso em: 9 de maio de 2025.
- CPRM. Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais. Diretoria de Geologia e Recursos Minerais. Sistema Aquífero Aflorante. 2014. Disponível em: <https://metadados.snirh.gov.br/geonetwork/srv/api/records/4de151f5-6d20-4e87-b49c-c9b0ea65440c>. Acesso em: 9 de maio de 2025.
- Dantas, L.C.A. 2009. Avaliação das barragens subterrâneas no regime de um curso d'água na região do semi-árido do RN. 112f. Dissertação (Mestrado). Programa de Pós-Graduação em Engenharia Sanitária. Centro de Tecnologia. Universidade Federal do Rio Grande do Norte. Natal.

- El-Hames, A.S. 2001. Determination of the transiente water table rise behind constructed underground dam. *Arabic Journal Geoscince*, 10 1-8.
- EMBRAPA. 2018. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Sistema Brasileiro de Classificação de Solos-SiBCS. (org) Santos, H.G.; Jacomine, P.K.T.; Anjos, L.H.C.; Oliveira, V.A.; Lumberras, J.F.; Coelho, M.R.; Almeida, J.A.; Araújo Filho, J.C.; Oliveira, J.B.; Cunha, T.J.F. 5. ed. rev. e ampl. Brasília, DF: Embrapa. 356p.
- EMBRAPA. 2025. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Ministério do Desenvolvimento e Assistência Social. Inclusão Produtiva no seu município. GeoWeb MDS. Cisternas e Outras Tecnologias Sociais de Acesso a Água. Disponível em: <https://mapas.cnpm.embrapa.br/mds/>. Acesso em: 13 de março de 2025.
- 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.
- Ferreira, D.J.L. 2008. Avaliação de capacitação e instalação de barragens subterrâneas, poços amazonas e bapucosas em três municípios do Semi-árido Paraibano. 58f. (Relatório de Estágio Supervisionado) Curso de Bacharelado em Engenharia Agrícola, Centro de Tecnologia e Recursos Naturais, Universidade Federal de Campina Grande. Campina Grande.
- Ferreira, G.B.; Mendonça, C.E.S.; Chaves, V.C.; Gava, C.A.T.; Silva, M.S.L.; Petreire, V.G. 2007. Barragem subterrânea: uma alternativa sustentável para a agricultura familiar no semi-árido brasileiro. *Revista Brasileira de Agroecologia* 2(2) 1620-1624.
- Ferreira, G.B.; Silva, M.S.L.; Costa, M.B.B.; Moreira, M.M.; Gava, C.A.T.; Mendonça, C.E.S.; Chaves, V.C. 2010. Carbono orgânico total em solos sob influência de barragens subterrâneas no semiárido da Paraíba, Brasil. In: Reunião Brasileira de Fertilidade do Solo e Nutrição de Plantas, 29, 2010, Guarapari. Anais...Guarapari.
- Ferreira, G.B.; Silva, M.S.L.; Moreira, M.M.; Ferreira, G.B.; Freitas, M.J.; Silva, T.E.S. 2015. Avaliação de indicadores sociais em agroecossistemas com barragens subterrâneas no semiárido Baiano, Brasil. In: Congresso Latinoamericano de Agroecologia, 5, 2015, La Plata. Anais...La Plata.
- Ferreira, L.L.N.; Oliveira Júnior, R.F.; Arruda, L.E.V.; Vale, C.N.C.; Lemos Filho, L.C.A. 2015. Dependência espacial da qualidade da água para irrigação em reservatório superficial do semiárido. In: INOVAGRI Internacional Meeting, 3, 2015, Fortaleza. Anais...Fortaleza.
- 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.
- França, F.M.C.; Pinheiro, J.C.V.; Carvalho, R.M. 2016. Barragem subterrânea no Semiárido do Ceará: caracterização e análise da viabilidade econômica. *Parc. Estrat.* 21(42) 17-44.
- Francisco, P.R.M.; Sousa, J.H.S.; Ribeiro, G.N.; Silva, J.N. 2024. Mapping of climate variables in the Northeast Region and the States of Minas Gerais, Maranhão and Amapá using WORDCLIM®2 Spatial Modeling. *Journal of Hyperspectral Remote Sensing* 14(1) 895-910.
- Galvão, B.L. 2022. Qualidade da água para consumo humano de barragens subterrâneas em áreas rurais do semiárido potiguar. Artigo Científico (Graduação). Centro de Tecnologia. Engenharia Civil. Universidade Federal do Rio Grande do Norte. Natal.
- Gómez, J.; Schobbenhaus, C.; Montes, N.E. 2019. Geological Map of South America 2018 Scale 1:5000000. Commission for the Geological Map of the World (CGMW). Colombian Geological Survey and Geological Survey of Brazil. Paris.
- GRASS-GIS. Geographic Resource Analysis Support System. 2024. Disponível em: <http://grass.osgeo.org>.
- Hartshorne, R. 1978. Propósitos e Natureza da Geografia. São Paulo, HUCITEC/EDUSP.
- Hem, J.D. 1970. Study and Interpretation of the Chemical Characteristics of Natural Waters. U. S. Geol. Survey. Water Supply Paper 1473. 363p.
- Ho, Y.; Hengl, T. 2025. Global Ensemble Digital Terrain Model 30m (GEDTM30) (Versão v20250130). Data set. Zenodo. Disponível em: <https://zenodo.org/records/14900181>. Acesso em: 21 de abril de 2025.
- Hyndman, R.J.; Fan, Y. 1996. Sample Quantiles in Statistical Packages. *The American Statistician* 50(4) 361-365.
- IBGE. 2009. Censo Agropecuário 2006. Agricultura familiar. Primeiros Resultados. Brasil, Grandes Regiões e Unidades da Federação. Brasília/Rio de Janeiro: MDA/MPOG.
- IBGE. 2021. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Malhas Territoriais. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/geociencias/organizac>

- ao-do-territorio/malhas-territoriais/15774-malhas.html. Acesso em: 10 de abril de 2024.
- INSA. 2024. Instituto Nacional do Semiárido. O Semiárido Brasileiro. Disponível em: <https://www.gov.br/insa/pt-br/semi-arido-brasileiro>. Acesso em: janeiro de 2025.
- 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.
- Jamali, I.A.; Olofsson, B.; Mörtberg, U. 2013. Location suitable sites for the construction of subsurface dams using GIS. *Environment Earth Science* 70 2511-2525.
- Kousky, V.E. 1979. Frontal influences on northeast Brazil. *Monthly Weather Review* 107 1140-1153.
- Kvam, P.H.; Vidakovic, B. 2007. *Nonparametric statistics with applications to science and engineering*. New York: Wiley. 441p.
- Lafayette, F.B.; Montenegro, S.M.G.L.; Coutinho, A.P.; Soares, W.; Antonino, A.C.D.; Silva, B.B.; Rabelo, A.E.C.G.C. 2019. Experimentation and modeling of soil evaporation in underground dam in a semiarid region. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos* 24 e2.
- Lapa, W.S. 2024. Viabilidade técnica de implantação de barragem subterrânea em Poço Redondo-SE. 23f. Trabalho de Conclusão do Curso (Graduação em Engenharia Agrônoma). Departamento de Engenharia Agrônoma do Sertão. Universidade Federal de Sergipe. Nossa Senhora da Glória.
- Lee, S.; Wolberg, G.; Shin, S. 1997. Scattered data interpolation with multilevel bsplines. *IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics* 3(3) 228-244.
- Lilliefors, H.W. 1967. On the Kolmogorov-Smirnov test for normality with mean and variance unknown. *Journal of the American Statistical Association* 62(318) 399-402.
- Lima, A.O.; Dias, N.S.; Ferreira Neto, M.; Santos, J.E.J.; Rego, P.R.A.; Lima-Filho, F.P. 2013. Barragens subterrâneas no semiárido brasileiro: análise histórica e metodologias de construção. *Irriga* 18(2) 200-211.
- Lopes, L.B.; Teixeira, A.S.; Andrade, E.M.; Aquino, D.N.; Araújo, L.F.P. 2008. Mapa da qualidade das águas do rio Acaraú, pelo emprego do IQA e geoprocessamento. *Revista Ciência Agrônoma* 39(3) 392-402.
- Luiz-Silva, W.; Oscar-Júnior, A.C.; Cavalcanti, I.F.A.; Treistman, F. 2021. An overview of precipitation climatology in Brazil: space-time variability of frequency and intensity associated with atmospheric systems. *Hydrological Sciences Journal* 66(2) 289-308.
- Luzardo, A.J.R.; Castañeda Filho, R.M.; Rubim, I.B. 2017. Análise espacial exploratória com o emprego do Índice de Moran. *GEOgraphia* 19(40) 162-179.
- Matheron, G. 1971. *The theory of regionalized variables and its applications*. Paris, Le Cahiers du Centre de Morphologie Mathématique de Fontainebleu. 211p.
- Matos, V.C.; Silva, A.S.; Rios, M.L. 2022. Caracterização química do solo de barragens subterrâneas nos municípios de Mirangaba e Senhor do Bonfim-BA. *Revista Macambira* 6(1) e061003.
- Medeiros, R.M.; Francisco, P.R.M.; Matos, R.M.; Santos, D.; Saboya, L.M.F. 2015. Diagnósticos das flutuações pluviométricas no Estado da Paraíba. *Revista Brasileira de Geografia Física* 8(4) 1017-1027.
- Melo, R.F.; Oliveira, A.R.; Anjos, J.B.; Santana, Í.L.O.; Silva, M.R.B. 2018. Caracterização da qualidade de água de poços em barragens subterrâneas no semiárido da Bahia. In: Congresso Internacional das Ciências Agrárias, 3, 2018, João Pessoa. Anais...João Pessoa.
- Moran, P.A.P. 1950. Notes on Continuous Stochastic Phenomena. *Biometrika* 37(1) 17-23.
- Moreira, L.R.; Anjos, R.S.R.; Ervilha, J.D.C.; Vidigal, J.G.; Coutinho, P.H.; Miranda, G.V. 2014. Fenotipagem de sorgo sacarino para tolerância ao estresse hídrico por meio de características morfológicas. *Vértices* 16(3) 87-95.
- Mota, C.L.; Silva, M.S.L.; Ferreira, G.B.; Moreira, M.M.; Cunha, T.J.F. 2011. Qualidade do solo e da água em áreas de barragens subterrâneas. In: Congresso Brasileiro de Agroecologia, 7, 2011, Fortaleza. Anais...Fortaleza.
- Nascimento, A.F.; Silva, M.S.L.; Marques, F.A.; Oliveira Neto, M.B.; Parahyba, R.B.V.; Amaral, A.J. 2015. Caracterização geoambiental em áreas de barragens subterrâneas no Semiárido brasileiro. Embrapa Solos. 54p. (Documentos/Embrapa Solos, 180).
- Nascimento, A.F.; Silva, M.S.L.; Marques, F.A.; Oliveira Neto, M.B.; Parahyba, R.B.V.; Amaral, A.J. 2015. Barragens Subterrâneas: parâmetros locais, localização na bacia hidrográfica, área de captação e tipos de solo. In: Congresso Brasileiro de Ciência do Solo, 35, 2015, Natal. Anais...Natal.
- Nascimento, S.P.; Bastos, E.A.; Araújo, E.C.E.; Freire Filho, F.R.; Silva, E.M. 2011. Tolerância

- ao déficit hídrico em genótipos de feijão-caupi. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental* 15(8) 853-860.
- Oliveira Neto, M.B.; Silva, M.S.L.; Cunha, T.J.F.; Parahyba, R.B.V.; Ferreira, G.B. 2013. Identificação de geoambientes e solos de duas barragens subterrâneas em municípios do estado da Paraíba. In: *Reunião Nordestina de Ciência do Solo*, 1, 2013, Areia. Anais...Areia.
- Oliveira, A.K.C.; Silva, M.S.L.; Mendonça, C.E.S.; Ferreira, G.B.; Chaves, V.C.; Silva, D.J. 2007. Avaliação qualitativa da água de barragens subterrâneas no semi-árido nordestino brasileiro *Revista Brasileira de Agroecologia* 2(2) 1402-1404.
- Ouerdachi, L.; Boutaghane, H.; Hafsi, R.; Tayeb, T. B.; Bouzahar, F. 2012. Modeling of Underground Dams Application to Planning in the Semi-Arid Areas (Biskra, Algeria). *Energy Procedia* 18 426-437.
- 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.
- Rabelo, J.L.; Schuster, H.D.M.; Srinivasan, V.S. 2004. Efeitos hidráulicos devido às barragens subterrâneas em aquíferos aluviais numa região semi-árida da Paraíba. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos* 9(3) 1-17.
- Rain Foundation. 2008. A practical guide to sand dam implementation water supply. Relatório Técnico. 112p. Disponível em: https://www.bebuffered.com/downloads/PracticalGuidetoSandDamImplementation_April_2011.pdf. Acesso em: 16 de maio de 2025.
- 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.
- Ramalho, M.F.D.J.L. 2013. A fragilidade ambiental do Nordeste brasileiro: o clima semiárido e as imprevisões das grandes estiagens. *Sociedade e Território* 25(2) 104-115.
- Rodrigues, T.F.; Londres, V.R.; Marques, F.A.; Nascimento, A.F.; Silveira, H.L.F.; Oliveira Neto, M.B.; Vasques, G.M.; Tavares, S.R.L.; Silva, M.S.L. 2023. Distribuição espacial de atributos químicos e granulométricos dos solos de barragens subterrâneas no sertão de Alagoas. In: *Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos*, 25, 2023, Aracaju. Anais...Aracaju.
- Rosa, R. 2011. Análise espacial em geografia. *Revista da ANPEGE* 7(1) 275-289.
- Rosa, R.; Brito, J.L.S. 1996. Introdução ao geoprocessamento: Sistema de Informações Geográficas. Universidade Federal de Uberlândia. 142p.
- Rstudio. 2023. Posit Software. Disponível em: <https://posit.co/download/rstudio-desktop/>.
- SAGA. System for Automated Geoscientific Analyses. 2024. Disponível em: <https://saga-gis.sourceforge.io/en/index.html>. Acesso em: 24 de janeiro de 2024.
- Santos, E.R.; Salgado, F.H.M.; Santos, W.R.; Ferraz, E.C.; Silva, A.R. 2014. Consorciação de milho e feijão-caupi para produção de espigas verdes e grãos verdes em Tocantins. *Revista Nucleus* 11(2) 291-300.
- Schuster, H.D.M.; Srinivasan, V.S. 2004. Uma investigação dos efeitos hidráulicos de barragens subterrâneas em um aquífero aluvial na região semi-árida da Paraíba. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos* 9(3) 55-68.
- 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.
- SGB. Serviço Geológico do Brasil. Mapa Hidrogeológico do Brasil. 2014. Disponível em: <https://geosgb.sgb.gov.br/geosgb/downloads.html>. Acesso em: 9 de maio de 2025.
- Silva Filho, E.L.; Caetano, T.O.; Ferreira, T.S.G.; Cirilo, J.A.; Vasconcelos, R.S.; Albuquerque, T.B.V. 2020. Avaliação do potencial de aproveitamento de aluviões para a construção de barragens subterrâneas no semiárido pernambucano. *Revista Brasileira de Geografia Física* 13(5) 2402-2416.
- Silva Júnior, A.F. 2023. Estratégias socioecológicas e econômicas em agroecossistemas com barragens subterrâneas no semiárido do Estado de Alagoas. 15f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Agronomia). Universidade Federal Rural de Pernambuco. Recife.
- Silva, J.P.; Bezerra, C.E.; Ribeiro, A.A. 2020. Avaliação da qualidade da água armazenada em cisternas no semiárido Cearense. *Brazilian Journal of Biosystems Engineering* 14(1) 27-35.
- Silva, M.S.L.; Ferreira, G.B.; Moreira, M.M.; Santos, J.C.P.; Oliveira Neto, M.B.; Cunha, T.J.F.; Parahyba, R.B.V. 2010. Caracterização química e física de solos das áreas de plantio/captação de barragem subterrânea. In: *Reunião Brasileira de Fertilidade do Solo e Nutrição de Plantas*, 29, 2010, Guarapari. Anais...Guarapari.
- Silva, M.S.L.; Ferreira, G.B.; Lucena, A.M.A.; Oliveira Neto, M.B.; Parahyba, R.B.V.; Santos,

- J.C.P.; Cunha, T.J.F. 2009. Limitações e potencialidades de classes de solos para locação de barragens subterrâneas no semiárido do Nordeste. In: Congresso Brasileiro de Ciência do Solo, 32, 2009, Fortaleza. Anais...Fortaleza.
- Silva, M.S.L.; Ferreira, G.B.; Moreira, M.M.; Pinto, M.R.B.; Araújo, A.H.R.C. 2013. Avaliação de atributos físicos do solo da área de plantio de barragens subterrâneas. In: Reunião Nordestina de Ciência do Solo, 1, 2013, Areia. Anais...Areia.
- Silva, M.S.L.; Nascimento, A.F.; Silveira, H.L.F.; Marques, F.A.; Oliveira Neto, M.B.; Parahyba, R.B.V. 2015. Variabilidade espacial de atributos físicos e químicos de solos em áreas de plantio de barragem subterrânea. In: Congresso Brasileiro de Ciência do Solo, 35, 2015, Natal. Anais...Natal.
- Silva, M.S.L.; Oliveira Neto, M.B.; Ferreira, G.B.; Moreira, M.M.; Mendes, A.M.S.; Cunha, T.J.F.; Santos, J.C.P.; Parahyba, R.B.V.; Anjos, J.B.; Matias, J.A.B.; Rocha, J.C. 2010. Atributos físicos e químicos de solos em áreas de barragens subterrâneas no Agreste e no Planalto da Borborema, Estado da Paraíba. Embrapa, Recife. 10p. (Circular Técnica 47).
- Silva, M.S.L.; Oliveira Neto, M.B.; Ferreira, G.B.; Parahyba, R.B.V.; Leite, A.P.; Santos, J.C.P.; Cunha, T.J.F. 2008. Aspectos técnicos e sociais sobre barragem subterrânea. In: Fertbio, 2008, Londrina. Anais...Londrina.
- Silva, M.S.L.; Oliveira Neto, M.B.; Ferreira, G.B.; Rocha, J.C.; Anjos, J.B.; Parahyba, R.B.V.; Chaves, V.C. 2009. Caracterização do solo em barragens subterrâneas no Estado da Paraíba. In: Congresso Brasileiro de Agroecologia, 6, 2009, Curitiba. Anais...Curitiba.
- Silva, M.S.L.; Parahyba, R.B.V.; Oliveira Neto, M.B.; Leite, A.P.; Santos, J.C.P.; Cunha, T.J.F.; Moreira, M.M.; Ferreira, G.B.; Anjos, J.B.; Melo, R.F. 2010. Potencialidades de classes de solos e critérios para locação de barragens subterrâneas no Semiárido do Nordeste brasileiro. Embrapa, Recife. (Circular Técnica 45).
- Silva, M.S.L.; Anjos, J.B.; Ferreira, G.B.; Cunha, T.J.F.; Parahyba, R.B.V.; Oliveira Neto, M.B.; Santos, J.C.P. 2008. Caracterização de atributos do solo em áreas de barragem subterrânea no semi-árido brasileiro. Rio de Janeiro, Embrapa Solos. 26p. (Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento).
- Silva, M.S.L.; Mendonça, C.E.S.; Anjos, J.B. 2007. Barragem subterrânea: água para produção de alimentos. In: Brito, L.T.L.; Moura, M.S.B.; Gama, G.F.B. (Org.) Potencialidades da água de chuva no semiárido brasileiro. Petrolina-PE: Embrapa Semi-Árido. p.121-137.
- Silva, S.N.; Siqueira, E.C.; Dantas, M.C.A.M.; Gurjão, K.C.O.; Maracajá, P.B. 2014. Manejo sustentável de área de barragem subterrânea no município de São José da Lagoa Tapada alto sertão da Paraíba. Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável 9 (3) 115-122.
- Silva, T.E.S.; Ferreira, G.B.; Silva, M.S.L.; Almeida, C.A.; Mota, C.L. 2015. A divisão do trabalho em agroecossistemas com barragens subterrâneas no semiárido baiano. Cadernos de Agroecologia 10(3).
- Silva, V.J. 2018. Proposta de um sistema de captação de águas pluviais no Centro de Ciências Agrárias, Campus II, UFPB. 36f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Ciências Biológicas). Centro de Ciências Agrárias. Universidade Federal da Paraíba. Areia.
- Struckmeier, W.F.; Margat, J. 1995. Hydrogeological Maps - A Guide and a Standard Legend. International Association of Hydrogeologists, Int. Contrib. to Hydrogeol. 17. 177p.
- Teixeira, I.R.; Silva, G.C.; Timossi, P.C.; Silva, A.G. 2011. Desempenho agrônômico de cultivares de feijão-comum consorciado com mamona. Revista Caatinga 24 55-61.
- Tricart, J. 1977. Ecodinâmica. Rio de Janeiro. IBGE-SUPREN.
- Tricart, J.; Kiewietdejonge, C. 1992. Ecogeography and Rural Management: A Contribution to the International Geosphere-Biosphere Programme. Essex. Longman Scientific & Technical.