



TRABALHANDO AS VARIÁVEIS DO MÉTODO GALDIT DE VULNERABILIDADE A INTRUSÃO SALINA NO CURSO INFERIOR DO RIO BACANGA, MARANHÃO, BRASIL

Bruno MARTINS¹, João Paulo Lobo FERREIRA², Ediléa Dutra PEREIRA³, Renata Maria Sousa CASTRO⁴

1. Universidade Estadual do Maranhão, Brasil, bruno.n.martins@hotmail.com, renata-maria-castro@hotmail.com

2. Laboratório Nacional de Engenharia – LNEC, Portugal, lferreira@lnec.pt

3. Universidade Federal do Maranhão/Departamento de Geociências, Brasil, edileap@ufma.br

4. Universidade Estadual do Maranhão, Brasil

RESUMO

A água é uma fonte imprescindível para o abastecimento humano e através dos tempos a busca por este recurso, tem se intensificado pela elevada procura por água de boa qualidade. A bacia do rio Bacanga, localizada inteiramente dentro dos limites do município de São Luís, mais precisamente na porção noroeste da Ilha do Maranhão, Maranhão, Brasil, demarcada pelos pares de coordenadas geográficas: 2°31'50,85"S a 2°34'34,11"S e 44°18'14,22"W a 44°28'92,00" W, possui papel singular no abastecimento público de água do município de São Luís. Neste sentido, investiga-se a relação entre a perfuração de poços tubulares e a alta exploração das águas subterrâneas no curso inferior da bacia do rio Bacanga, fato este que poderá proporcionar a intrusão da cunha salina nos aquíferos do Grupo Barreiras e Itapecuru. Para isso, se utiliza o método GALDIT proposto Chachadi e Lobo Ferreira (2001), utilizado em diversas partes do mundo, que analisa dados hidrodinâmicos de poços tubulares, para a avaliação do grau da vulnerabilidade à intrusão salina. Nesta pesquisa se descreve as atividades desenvolvidas no período de agosto de 2016 a 2018 para o emprego do Método Galdit onde foram reunidos o levantamento de banco de dados das variáveis empregada no método tais como: G – Ocorrência do aquífero, A – Condutividade Hidráulica; L – Nível piezométrico; D – Distância da Linha de Costa; I – Estado atual da intrusão salina no aquífero (Bicarbonatos/Cloretos); e T – a espessura do aquífero do curso inferior da bacia do rio Bacanga, tabulação, tratamento e análise dos dados.

Palavras-Chave: Método GALDIT; Bacia do rio Bacanga; Interpolação

1. INTRODUÇÃO

A área de estudo é a bacia do rio Bacanga, localizada no município de São Luís, na porção noroeste da Ilha do Maranhão, no estado do Maranhão, Brasil, demarcada pelos pares de coordenadas geográficas: 02°31'50.85"S a 02°34'34.11"S e 44°18'14.22"W a 44°28'92.00" W, SGR – Sistema Geodésico de Referência – SIRGAS2000. A Ilha do Maranhão, situada na porção central do Golfão Maranhense, possui rios de pequena vazão, de caráter estuarino com entrada de macro marés com amplitude de aproximadamente 7 metros em períodos de 6 em 6 horas onde se encontram as bacias hidrográficas do rio Bacanga, do Anil, do Paciência, do Tibiri, dos Cachorros e mais uma dezena de outros rios e riachos que representam um ambiente fluviomarinho em decorrência da entrada da cunha salina no continente.

O rio Bacanga que é fortemente influenciado pelas marés, as quais chegam a atingir cotas de sete metros de amplitude, condicionando a formação de uma cunha de água salgada no interior da bacia hidrográfica por ocasião das preamares (PEREIRA, 2006). Contudo, o abastecimento de água para fins de consumo humano na Ilha do Maranhão é advindos, majoritariamente, das reservas de águas subterrâneas dos aquíferos Barreiras e Itapecuru que armazenam em seus poros consideráveis volume de água doce. O conhecimento da relação entre o número de perfuração de poços tubulares e superexploração das águas subterrâneas em áreas costeiras é de fundamental importância para proteção do aquífero, para prevenir a entrada da cunha salina. Desta forma, torna-se relevante o entendimento da dinâmica subterrânea e aferir o avanço da cunha salina nos aquíferos Barreiras e Itapecuru através do método GALDIT (CHACHADI E LOBO FERREIRA, 2001) para subsidiar a gestão da água subterrânea na Ilha do Maranhão. E o levantamento de banco de dados para emprego no método GALDIT facilitará a elaboração da Carta de vulnerabilidade a intrusão da cunha salina no curso inferior da bacia do rio Bacanga. Esta pesquisa faz parte do Programa de Pós-Graduação em Geografia, Natureza e Dinâmica do Espaço

da Universidade Estadual do Maranhão, financiada pela FAPEMA.

2. APLICAÇÃO DO MÉTODO GALDIT

Método GALDIT

O método GALDIT foi desenvolvido Chachadi e Lobo Ferreira (2001) tendo como objetivo avaliar a vulnerabilidade a intrusão marinha das regiões costeiras de clima tropical da Índia. Embora, seu objetivo original tenha sido apenas as condições do litoral indiano, seus parâmetros universais (variáveis) podem ser aplicados em qualquer aquífero costeiro.

A metodologia GALDIT utiliza seis parâmetros, considerados necessários para desenvolver um sistema de mapeamento que, segundo os seus criadores (CHACHADI & LOBO-FERREIRA, 2001), "é simples o suficiente para aplicar usando os dados disponíveis, e ainda assim capaz de fazer melhor uso dos dados disponíveis de uma maneira tecnicamente válida e útil". A adoção de um índice tem a vantagem de, em princípio, eliminar ou minimizar a subjetividade no processo de classificação (CHACHADI, 2005).

Todos os dados são manipulados com a utilização de planilha eletrônica e a ferramenta SIG (Sistema de Informações Geográficas), que são utilizados para confeccionar os mapas de tendência dos índices hidrodinâmicos dos poços tubulares georeferenciados presentes na área de estudo.

A aplicação do método consiste na atribuição de valores para as seguintes variáveis, conforme Tabela 1.

Tabela 1 - Variáveis do método GALDIT.

Parâmetro GALDIT	Valor do coeficiente de ponderação
G - ocorrência do aquífero	1
A - condutividade hidráulica	3
L - nível do piezômetro	4
D - distância da linha de costa (m)	4
I - impacto do estado atual da intrusão marinha	1
T - espessura do aquífero	2

Fonte: LNEC (2011).

Após a análise e adequação de todas as variáveis será realizado o cálculo de todos os parâmetros, através da seguinte equação:

$$\text{Índice GALDIT} = (1 \cdot G + 3 \cdot A + 4 \cdot L + 4 \cdot D + 1 \cdot I + 2 \cdot T) / 15 \quad [\text{Eq. 1}]$$

Conhecido o valor resultante do cálculo far-se-á o enquadramento da vulnerabilidade, sendo considerada vulnerabilidade elevada $\geq 7,5$; vulnerabilidade moderada 5–7,5; vulnerabilidade baixa ≤ 5 .

Desta forma, para esta pesquisa utiliza-se o método GALDIT por ser o mais adequado frente aos objetivos apresentados, haja vista que a área de estudo encontra-se totalmente inserida em um ambiente costeiro sujeito a constante entrada do prisma de maré em decorrência das marés altas chegando a atingir 7 metros. Além disso, o intenso povoamento da região implicou na construção de vários poços tubulares e cacimbas para suprir a necessidade hídrica tanto para consumo humano, quanto para o uso de importantes indústrias de minério localizadas na zona portuária de São Luís.

Para caracterização e estimativa das propriedades hidrogeológicas e hidrodinâmicas da área de estudo, como profundidade, nível estático, nível dinâmico, condutividade hidráulica, entre outros parâmetros, foram utilizados relatórios técnicos com dados hidrogeológicos dos poços tubulares fornecidos pelo banco de dados da Secretaria Estadual de Meio Ambiente e Recursos Naturais – SEMA com dados dos poços tubulares pertencentes a Companhia de Saneamento Ambiental do Maranhão - CAEMA e particulares.

Durante os trabalhos de campo foi utilizado um GPS da marca Garmin modelo E-Trex 10 para marcação dos poços tubulares e cacimbas encontradas nas comunidades visitadas. Além disso, para registro das atividades e análise da ocupação antrópica, realizou-se um sobrevoo na área de estudo com um veículo aéreo não tripulado (VANT ou Drone, do inglês zangão), da marca DJI modelo *Phantom3 Professional*. A coleta de informações físico-química dos poços tuulares foi realizada através de sonda multiparâmetro da marca Aquaread AP800. Para mensuração do nível estático dos poços utilizou-se um medidor elétrico analógico de nível d'água. A presença da cunha salina reflete o desequilíbrio que pode existir entre a água do mar e a água doce, por alteração do

equilíbrio hidráulico em condições naturais, como resultado da atividade antropogênica já existente na zona. Chachadi e Lobo Ferreira (2001) recomendam a utilização da razão $Cl^-/[HCO_3^- + CO_3^{2-}]$ como um dos possíveis critérios de avaliação da intrusão marinha em aquíferos costeiros. Na ausência desses dados hidroquímicos se pode usar a relação Ca^{+2}/Mg^{+2} como foi utilizado por Pereira (2017), conforme com Custódio e Llamas (1976). Em ambas as equações adotadas deve-se transformar os valores de miligrama (mg/l) para miliequivalente (mEq/l).

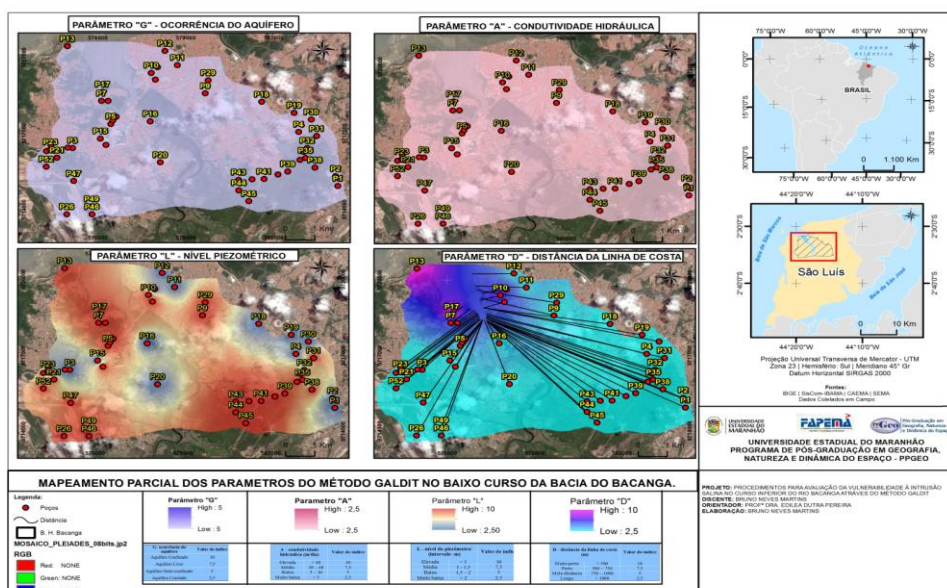
Na etapa de coleta, organização e tratamento dos dados foram empregados dois softwares: o Excel (MICROSOFT CORPORATION, 2010) para a organização das informações e cálculo de variáveis relativas ao teste de bombeamento; e o software Aquifer Win32 (Environmental Simulations, Inc., 2003) utilizado para simular o comportamento do nível da água durante os testes de bombeamento e a obtenção dos dados hidrodinâmicos como Condutividade Hidráulica (K), Transmissividade (T) e Coeficiente de Armazenamento (S) para avaliação do tipo de aquífero se livre, confinado ou semi-confinado. Os valores das propriedades hidrogeológicas do aquífero foi realida com base nos testes de bombeamento utilizando o software Aquifer Win32 que gera a curva resultados do teste de bombeamento utilizando-se o método de Papadopulos and Cooper para análise das características hidrodinâmicas de aquíferos, associada a correlações com outros poços tubulares na área, gerando os resultados do parâmetros G – Ocorrência do Aquífero e o parâmetro A – Condutividade Hidráulica. O parâmetro “L”- Nível Piezométrico(NA) para determinação foi utilizada a base topográfica do Instituto das Cidades – INCID com intervalo de 1 em 1 metro posteriormente lançadas em uma planilha em Excel cujo valor da cota altimétrica (CA) foi subtraído do nível estático (NE) dos poços tubulares ($NA=CA-NE$). Para o parâmetro “D”- Distância da Linha de Costa foi utilizada a ferramenta régua do software ArcGIS (ESRI, 2015) para aferir a distância dos poços em relação a linha de costa, destaca-se que foi usada as margens do Rio Bacanga que tem influencia fluviomarina com presença dos mangues. Quanto ao parâmetro “T”- Espessura do Aquífero foram analisados os perfis litológicos de 13 poços tubulares situados no curso inferior da bacia para a determinação da espessura do aquífero em cada poço tubular e posteriormente elaboradas as figuras ilustrativas da espessura do aquífero da área de estudo, sendo determinado a espessura do aquífero livre Barreiras. Após a obtenção dos parâmetros GALDIT foram comparados com os valores de ponderação e coeficientes propostos por Chachadi e Lobo-Ferreira (2001).

2.1. Modelo de Interpolação para Elaboração dos Mapas das variáveis hidrodinâmicas e de Vulnerabilidade

Modelos de interpolação de dados são amplamente usados e desenvolvidos pelo mundo todo, por exemplo, auxiliam na análise de dados climáticos, de elevação e declividade e outros. O objetivo da interpolação espacial é criar uma superfície que modela os fenômenos amostrados da melhor maneira possível. Para fazer isso, começa-se com um conjunto de medidas conhecidas e, usando método de interpolação, se estima os valores desconhecidos para a área (UFES, 2017). Dentre os métodos de interpolação de dados temos o Inverso do Quadrado da Distância (IDW) e Krigagem (Ordinária e Universal), por exemplo. O modelo Inverso do Quadrado da Distância (IDW) considera o conceito de autocorrelação espacial. A Krigagem aplica sofisticados métodos estatísticos que consideram as características únicas de seus conjuntos de dados, medindo distância entre todos os possíveis pares de pontos, utilizando a informação para modelar a autocorreção espacial para a superfície particular que se deseja interpolar.

Fig.1. Mapa Comparativo dos fatores naturais e hidrodinâmicos dos poços tubulares do curso inferior da bacia do rio Bacanga – São Luís-MA.

14.º SILUSBA



3. CONCLUSÕES

O método GALDIT, apresentou-se como uma ferramenta completa e fundamental para a avaliação da vulnerabilidade à intrusão salina em aquíferos costeiros, isso foi possível, graças as suas variantes que permitem uma análise minuciosa do aquífero estudado, como por exemplo, os coeficientes K; S; T que demonstram um diagnóstico da área de estudo, assim como os dados de análises físicos-químicos dos poços tubulares. A conjugação dos conhecimentos da hidrogeologia com o geoprocessamento dos dados auxiliam no entendimento da relação da geologia com o espaço geográfico, possibilitando assim uma análise espacial, o que permite uma visão holística do fenômeno.

Assim como em outros métodos que visam avaliar a vulnerabilidade do aquífero, o modelo de interpolação espacial a ser utilizado ainda é uma questão a ser debatida, uma vez que o modelo geomatemático a ser utilizado influencia significativamente no resultado do método. O estudo possibilitou a análise de um fenômeno silencioso, mas presente diuturnamente, por se tratar de um ambiente sensível e com uma exploração de água constante.

4. AGRADECIMENTOS

À FAPEMA, pelo auxílio concedido à pesquisa durante certo período e ao Programa de Pós-Graduação em Geografia, Natureza e Dinâmica do Espaço – PPGeo da Universidade Estadual do Maranhão - UEMA

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

CHACHADI, A.G. Seawater Intrusion Mapping Using Modified GALDIT Indicator Model-Case Study in Goa. Jalvigyan Sameeksha, 20, 2005.

_____; LOBO-FERREIRA, J.P. Sea Water Intrusion Vulnerability Mapping of Aquifers Using GALDIT Method. Proceedings of the Workshop on Modelling in Hydrogeology, Anna University, Chennai, 143-156, 2001.

PEREIRA, E. D. Avaliação da vulnerabilidade natural à contaminação do solo e aquífero do reservatório Batatã - São Luís (MA). 141 f. Tese (Doutorado) - Programa de Pós-Graduação em Geociências e Meio Ambiente, Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, 2006