

**Análise espacial da qualidade da água subterrânea na comunidade de Barreiros,  
Aratuba-CE.**

**Luana Martins da Silva Alexandre**

**RESUMO** – A água subterrânea está igualmente sujeita à contaminação e ao esgotamento, deve ser explorada de maneira sustentável e ter a potabilidade avaliada de modo a não oferecer risco à saúde da população. O objetivo do trabalho foi analisar a distribuição espacial de parâmetros de qualidade da água subterrânea na comunidade de Barreiros, Aratuba-CE. As coletas de água foram realizadas em janeiro de 2018. Os parâmetros avaliados foram temperatura, condutividade elétrica (CE), turbidez, potencial hidrogeniônico (pH), sólidos dissolvidos (STD), cloreto e a dureza. Foram avaliados 16 poços. A variabilidade espacial foi avaliada por meio de análise geoestatística utilizando o *Software Gama Designer Software (GS+)*, versão 10. A interpolação foi aplicada por meio da técnica de krigagem para construção de mapas de programa *Surfer 8.0*. Os resultados obtidos nas análises foram comparados aos valores máximos permitidos pela legislação vigente. A análise variográfica indicou que a CE e STD se ajustaram melhor ao modelo esférico; os cloretos e turbidez ao modelo linear; dureza, pH e temperatura ao modelo gaussiano. A qualidade da água subterrânea na comunidade de Barreiros apresentou inadequações nos parâmetros CE e pH. Os demais parâmetros se mantiveram dentro do permitido.

**Palavras-chave:** Variabilidade espacial. Geoestatística. Krigagem. Potabilidade.

**ABSTRACT-** Groundwater is also subject to contamination and depletion, must be exploited in a sustainable manner and be potable in a way that does not pose a risk to the health of the population. The objective of this work was to analyze the spatial distribution of groundwater quality parameters in the community of Barreiros, Aratuba-CE. The water was collected in January 2018. The evaluated parameters were temperature, electrical conductivity (CE),

turbidity, hydrogen ionic potential (pH), dissolved solids (STD), chloride and hardness. Sixteen wells were evaluated. Spatial variability was evaluated using geostatistical analysis using the Software Designer Gama Software (GS +), version 10. The interpolation was applied using the kriging technique to construct Sufer 8.0 program maps. The results obtained in the analyzes were compared to the maximum values allowed by the current legislation. The variographic analysis indicated that EC and STD fit better to the spherical model; chlorides and turbidity to the linear model; hardness, pH and temperature to the Gaussian model. The quality of groundwater in the community of Barreiros presented inadequacies in the CE and pH parameters. The other parameters were kept within the allowed limits.

**Key words:** Spatial variability. Geostatistics. Kriging. Potability.

## INTRODUÇÃO

No Brasil as águas subterrâneas têm sido utilizadas como fontes de abastecimento público e privado a fim de suprir as mais variadas necessidades nas cidades e comunidades, dentre elas a irrigação, a indústria e o consumo humano (HIRATA; ZOBY; OLIVEIRA, 2010). As águas subterrâneas possuem potencial para reduzir a restrição hídrica mediante as adversidades climáticas, a sua utilização e gestão refletem as mesmas falhas que levaram a degradação das águas superficiais (VILLAR, 2016).

Embora seja subterrânea, este tipo de água está igualmente sujeita à contaminação e ao esgotamento, tal e qual as demais fontes de água, portanto deve ser explorada de maneira sustentável e ter a potabilidade avaliada de modo a não oferecer risco à saúde da população (MOTTA *et al.*, 2014).

A escavação e revestimento inadequados dos poços (MOTTA *et al.* 2014), o destino final de esgotos domésticos e industriais (geralmente despejados em fossas e tanques sépticos); o inadequado descarte de resíduos sólidos são potenciais fontes de contaminação das águas

subterrâneas por bactérias, vírus patogênicos, parasitas, substâncias orgânicas e inorgânicas (SILVA *et al.*, 2014).

A utilização do recurso hídrico subterrâneo pressupõe a realização de estudos visando avaliar a qualidade da água, objetivando conhecer os fatores ambientais (naturais ou antrópicos) que de forma direta ou indireta afetam a qualidade da água e, com base em tais resultados, direcionar os investimentos necessários, seja para elevar os níveis de potabilidade da água ou direcioná-los para as regiões onde a água é mais potável (BRAGA, *et al.*, 2018).

Segundo Becker (2010), a qualidade da água é o que assegura um determinado uso ou conjunto de usos dessa água e é representada por características intrínsecas de natureza física, química, radioativa e biológica, geralmente mensuráveis.

Mediante a necessidade de determinar a qualidade da água, trabalhos tem utilizado como ferramenta o geoprocessamento a fim de avaliar a distribuição espacial dos atributos indicativos da potabilidade. Melo *et al.*, (2014), avaliaram a variabilidade espacial da qualidade das águas subterrâneas em Ocara utilizando Sistema de Informações Geográficas (SIG) e procedimentos geoestatísticos, e verificaram que as águas estavam impróprias para consumo humano, por terem concentrações de íons que excediam os valores máximos permitidos.

Cruz, Resende e Amorim (2010), afirmam que através dos SIG's é possível a manipulação de dados georreferenciados de forma rápida, a produção de mapas, gráficos e planilhas que possibilitem a análise do comportamento espacial de variáveis indicadoras da qualidade da água ao longo de uma determinada região de interesse.

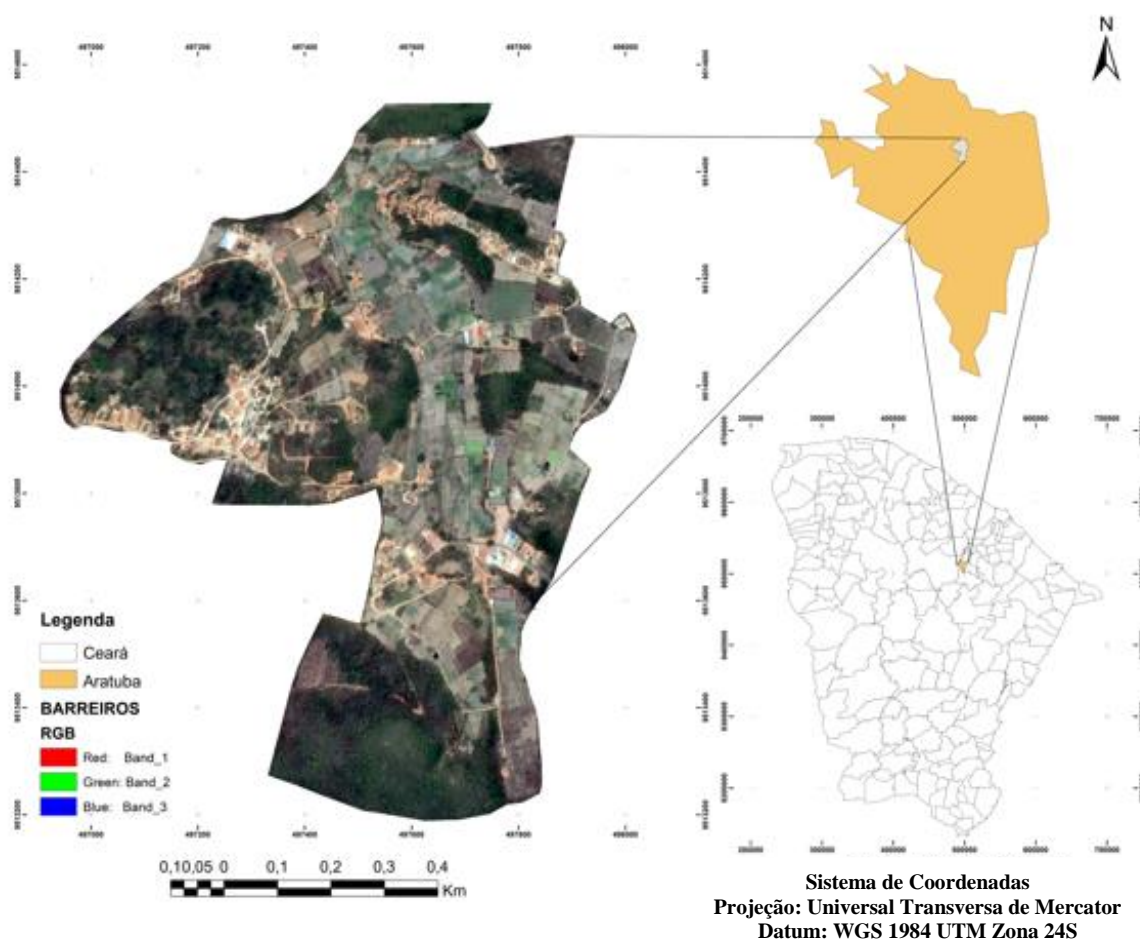
Diante do exposto, o objetivo do trabalho foi analisar a distribuição espacial da qualidade da água subterrânea por meio de parâmetros físico-químicos indicadores de potabilidade para consumo humano na comunidade rural de Barreiros, em Aratuba-CE.

## **MATERIAIS E MÉTODOS**

### **Caracterização da área de estudo**

O presente trabalho foi realizado na comunidade de Barreiros que está localizada no município de Aratuba, e está situado entre as coordenadas 4° 25' 06''S e 39° 02' 42''W, na região serrana do Maciço de Baturité, a 126 km da capital Fortaleza-CE (Figura 1). O município apresenta clima Tropical Sub-quente Úmido, temperatura média entre 24° a 26° C, pluviosidade de 1.753,1 mm e altitude de 830 m (IPECE, 2017).

Figura 1. Mapa de localização da Comunidade de Barreiros, Aratuba-CE.



A comunidade de Barreiros abrange cerca de 110 famílias e tem como principal atividade econômica a agricultura, destacando-se na produção de hortaliças. A principal fonte de água utilizada para consumo e outras atividades é proveniente de poços profundos, razão pela qual se faz necessário avaliar a qualidade da água na referida comunidade.

### Coleta e análise de dados

Inicialmente foram realizadas visitas de campo com o intuito de delinear por meio de questionário semiestruturado informações sobre em quais atividades a água era utilizada, a vazão dos poços, tamanho da área de produção, dentre outros. Posteriormente foi realizado o georreferenciamento dos poços com o auxílio do GPS (Sistema de Posicionamento Global) modelo Garmin 76scx para determinar as coordenadas geográficas.

Para a elaboração do mapa de distribuição espacial dos poços, foi utilizada uma imagem obtida através do *Google Earth Pro* de 12 de janeiro de 2019 e georreferenciada no programa ArcGis 10.1. O limite da comunidade foi elaborado por meio da cartografia social que adota o saber local associado ao do técnico para auxiliar no diagnóstico da comunidade. Os moradores da comunidade indicaram os limites para criar o mapa no software ArcGis 10.1.

As coletas de água foram realizadas no início do período chuvoso (janeiro de 2019), em recipientes Pet de 1 litro e meio previamente esterilizados com ácido clorídrico (HCl) e devidamente identificados. Antes da coleta esperou-se 15 minutos com o sistema de bombeamento ligado a fim de eliminar a água acumulada nas tubulações. Foram avaliados 16 poços. Os parâmetros avaliados foram temperatura, condutividade elétrica (CE), turbidez, potencial hidrogeniônico (pH), sólidos dissolvidos totais (STD), cloreto e dureza. A preservação das amostras, o transporte para o laboratório, foram feitas considerando as recomendações de *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater* (APHA, 1999).

No ato da coleta foram aferidos a temperatura e o pH. A temperatura foi mensurada com o auxílio de um termômetro de mercúrio com graduação de 0 a 150 °C, o pH foi determinado com o auxílio de um Phmetro portátil Modelo Akrom Kr21. Os sólidos totais dissolvidos (TDS) e a condutividade elétrica foram aferidos por meio de um aparelho multiparâmetro de bancada AZ- modelo 86505 e a turbidez foi determinada por meio do equipamento turbidímetro AP- modelo 2000.

As demais análises foram realizadas no Laboratório de Química Geral I e II, do Campus das Auroras da Universidade da Integração Internacional da Lusofonia Afro-Brasileira (UNILAB). Os cloretos e a dureza foram determinados com base nos procedimentos descritos no Manual do Ministério da Saúde (FUNASA, 2014). O cloreto foi determinado pelo método de titulação com nitrato de prata ( $\text{AgNO}_3$ ), onde ajustou-se o pH entre 7 e 10 com hidróxido de sódio ( $\text{NaOH}$ ), adicionou-se 4 gotas da solução indicadora de Cromato de Potássio ( $\text{K}_2\text{Cr}_4$ ) 0,1 Mol/L e titulou-se amostra de 50 ml com a solução padrão de nitrato de prata (0,1 M) até a viragem da cor amarelo para o vermelho tijolo. Um branco foi realizado utilizando 100 mL de água de destilada com um pouco de carbonato de cálcio ( $\text{CaCO}_3$ ) e titulado com  $\text{AgNO}_3$ . Posteriormente realizou-se

$$\text{Mg/L de Cl} = (A - B) \times N \times 35.45/\text{ml da amostra} \quad (1)$$

Onde: A: ml do titulante gasto na amostra; B: ml do titulante gasto no branco; N: Normalidade do titulante.

A dureza foi determinada por meio da titulação com *Ethylenediamine tetraacetic Acid* (EDTA). Utilizou-se 20 ml da amostra, adicionou-se com o auxílio de uma pipeta 3 ml da solução tampão amoniacal pH=9 ( $\text{NH}_4\text{Cl}/\text{NH}_3$ ) e uma pitada do titulante negro Eriocromo T. Titulou-se a amostra com EDTA 0,01 M/L até a viragem da cor rosa para azul. Em seguida foram realizados os cálculos (Equação 2).

$$\text{Dureza Total em mg/L de CaCO}_3 = \text{ml de EDTA} \times 1000 \times \text{FC}/\text{ml da amostra} \quad (2)$$

Onde: ml de EDTA: Volume de EDTA gasto na titulação; FC: Fator de correção.

A padronização foi feita utilizando-se 5 ml da solução de carbonato de cálcio 0,01 ( $\text{CaCO}_3$ ) em 20 ml de água destilada. Ajustou-se o pH entre 12 e 13 com hidróxido de sódio ( $\text{NaOH}$ ) 6,0 Mol/L, adicionou-se o indicador Eriocromo T. e titulou-se com a solução de EDTA até a viragem de cor e calculou-se (Equação 3).

$$\text{FC} = v/vp \quad (3)$$

Onde: FC: Fator de correção; v= volume; vp: volume de EDTA gasto na titulação.

A qualidade da água subterrânea foi comparada conforme os padrões da Resolução da CONAMA nº 357 de 17 de março de 2005 e da Portaria do Ministério da Saúde nº 2.914/2011 que estabelece os valores máximos permitidos para consumo humano.

A variabilidade espacial foi avaliada por meio de análise geoestatística ajustando modelos teóricos aos semivariogramas experimentais utilizando o Software Gama Designer Software (GS+), versão 10. A escolha dos modelos teóricos (esférico, exponencial, gaussiano, linear) seguiu critérios adotados pelo software GS+®, que utiliza a menor soma dos quadrados do resíduo e o maior coeficiente de determinação (Equação 4).

$$\gamma(j) = \frac{1}{2(n-j)} \sum_{i=j}^{n-j} (x_i - x_{i+j})^2 \quad (4)$$

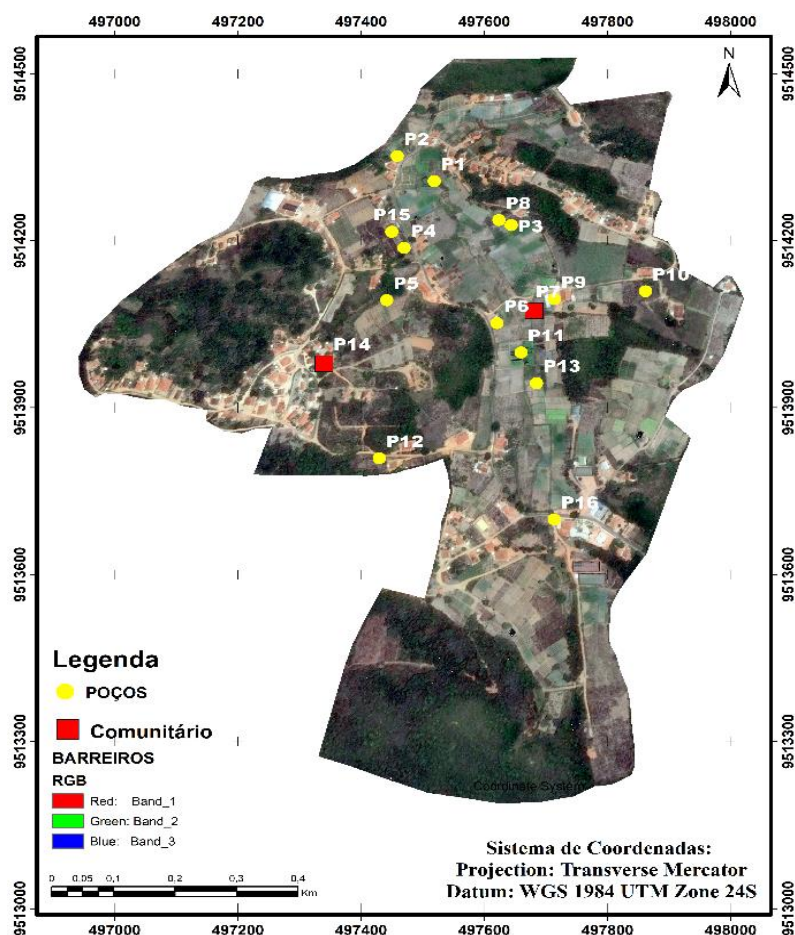
Em que  $\gamma(j)$  é o valor da semivariância experimental dos dados distantes entre si de um número h de vetores de espaçamento ou “lag”,  $x_i$  e  $x_{i+j}$  são os pares de valores medidos da variável x separados por um vetor jh,  $n - j$  é o número de pares dos valores ( $x_i - x_{i+j}$ ) separados pelo vetor jh, e x é a variável em estudo (REICHARDT; TIMM, 2012).

A interpolação foi aplicada por meio da técnica de krigagem para construção de mapas de isolinhas no programa Sufer 8.0, a fim de verificar a variabilidade espacial da qualidade da água na área estudada.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

No mapa de distribuição espacial estão representados os 16 poços avaliados, sendo dois deles comunitários (P7 e P14), responsáveis pela distribuição de água para toda a comunidade, destacados na cor vermelha. Os outros 14 (representados pela cor amarela), se localizam em propriedades rurais distintas e foram escavados pelos próprios proprietários, sendo seu uso limitado aos proprietários e familiares (Figura 2).

Figura 2. Mapa de distribuição espacial dos poços avaliados.



A atividade agrícola é preponderante na comunidade ocupando quase que por completo sua extensão territorial, nota-se que a maioria dos poços está localizado dentro dessas áreas agrícolas. As áreas habitadas também se destacam estando distribuídas mais a oeste e ao sul da área de estudo. Observa-se manchas de vegetação nativa mais nas extremidades norte, sul e oeste da comunidade.

Segundo Vanzela, Hernandez e Franco (2010), as áreas ocupadas por matas favorecem o aumento da vazão específica em virtude da maior cobertura, estabilidade e infiltração de água no solo promoverem redução da intensidade do escoamento superficial contribuindo também para a melhoria da qualidade da água, enquanto que as áreas habitadas (área urbana e moradias rurais) e as matas degradadas, contribuem para a redução da vazão específica e da qualidade de água.



A vazão dos poços variou de 1.500 a 7.200 L h<sup>-1</sup> e o tamanho da área de produção dos agricultores variou de 0,5 a 16 ha. Quanto ao tipo de uso da água, em 37,5% dos poços, a água é utilizada nos 3 tipos de uso: consumo humano, irrigação e atividades domésticas (1, 2 e 3); enquanto que 43,7% utilizam a água tanto para irrigação como em atividades domésticas (2 e 3). Apenas um poço utiliza somente para irrigação, devido ao fato de ter sido recentemente escavado e ficar localizado em uma região distante da propriedade (Tabela 1).

Tabela 1. Localização, vazão, área de produção e tipo de uso da água subterrânea nos poços avaliados.

Poços Amostrados	Coordenadas		Vazão (L/h)	Área de produção (ha)	Tipo de Uso
	X	Y			
P1	497519	9514307	2.000	2 ha	1, 2 e 3
P2	497459	9514352	6.000	2 ha	2 e 3
P3	497644	9514228	4.000	1 ha	1, 2 e 3
P4	497470	9514187	1.500	2 ha	1, 2 e 3
P5	497442	9514093	1.800	2 ha	2 e 3
P6	497621	9514052	2.000	0,5 ha	1, 2 e 3
P7	497681	9514074	5.000	-	1 e 3 *
P8	497624	9514237	4.000	3 ha	1, 2 e 3
P9	497714	9514095	2.000	16 ha	1, 2 e 3
P10	497862	9514109	2.000	0,5 ha	2 e 3
P11	497660	9513999	1.800	1,5 ha	2 e 3
P12	497430	9513809	7.200	0,5 ha	2
P13	497685	9513944	2.500	2 ha	2 e 3
P14	497340	9513979	5.000	-	1 e 3 *
P15	497450	9514216	2.000	2,1 ha	2 e 3
P16	497714	9513699	1.500	2,5 ha	2 e 3

P: Poço; 1: Consumo Humano; 2: Irrigação; 3: Atividades Domésticas; \*Poço Comunitário.

Esses dados demonstram a relevância da água subterrânea na comunidade, suprimindo as necessidades humanas no que tange ao consumo humano e seus múltiplos usos. É importante salientar que na comunidade há dois poços comunitários que abastecem a população local, por isso é necessário monitorar a qualidade da água que está sendo distribuída. Outro fato a ser salientado é que algumas propriedades tinham de 2 a 3 poços, sendo avaliado somente um deles, a fim de se abranger um maior número de poços em áreas distintas.

Observa-se que nem todos os poços avaliados são utilizados para consumo humano, alguns moradores relatam que consomem a água quando não se dispõe de outra fonte, e

consomem preferencialmente a água das cisternas por acreditarem ser de melhor qualidade que a dos poços, mas que podem vir a utilizá-la caso seja necessário.

A média obtida para a CE foi de 501,5  $\mu$ s, resultado cinco vezes maior que o máximo permitido pela legislação, que recomenda valores de CE entre 10 e 100  $\mu$ s. O pH obteve média de 5,91, valor abaixo do recomendado pela legislação que indica valores de 6,0 a 9,0. Os demais parâmetros apresentaram médias dentro do permitido pela legislação (Tabela 2).

Tabela 2. Estatística descritiva e distribuição de frequências dos parâmetros analisados.

	CE	Cloretos	Dureza	STD	pH	Temp.	Turbidez
Média	501,5	86,63	139,57	248,43	5,91	23,18	3,11
Desvio padrão	146,26	27,78	63,78	69,88	0,20	0,65	0,34
Variância	21392,40	772,21	4068,43	4884,52	0,04	0,42	0,12
C.V. (%)	29,16	31,49	45,69	28,13	3,38	2,8	10,93
Mínimo	259	40,33	52,37	129	5,6	22,00	2,84
Máximo	758	138,91	280,93	372	6,3	24,00	4,14
Assimetria	0,38	-0,05	0,82	0,32	0,21	-0,18	1,97
Curtose	-0,83	-0,94	-0,23	-0,78	-0,94	-0,62	2,92

C.V.: Coeficiente de Variação; Temp: Temperatura

A classificação dos coeficientes de variação (CV), foi avaliado conforme Pimentel-Gomes (1985), cujos intervalos se classificam em baixo ( $CV \leq 10\%$ ); médio ( $10\% < CV \leq 20\%$ ); alto ( $20\% < CV \leq 30\%$ ); e muito alto ( $CV > 30\%$ ). De acordo com essa classificação, o baixo valor de CV dos dados de pH e temperatura representam uma pequena variabilidade desse parâmetro. As variáveis cloreto e dureza foram classificadas com variabilidade muito alta e CE e STD apresentaram variabilidade alta. O parâmetro turbidez apresentou média variabilidade espacial (Tabela 2).

Essa variabilidade no CV possivelmente foi influenciada pela diluição natural da água na época da amostragem (início do período chuvoso). Segundo Chaves *et al.* (2015), com o aumento da precipitação pluviométrica há uma recarga na quantidade de água nos poços, assim os sais presentes nas águas são diluídos com o aumento do volume da água no poço.

Para os valores de assimetria e curtose, Reichardt e Timm (2012) afirmam que o coeficiente de assimetria ( $a_3$ ) informa se a maioria dos valores estão à esquerda, a direita ou tem

distribuição normal em torno da média aritmética. Se  $(a_3) < 0$ , a distribuição é assimétrica negativa; se  $(a_3) = 0$ , a distribuição é simétrica; e se  $(a_3) > 0$ , a distribuição é assimétrica positiva. A curtose indica o grau de achatamento de uma distribuição, se  $(a_4) < 0$  tem maior achatamento (platicúrtica); se  $(a_4) = 0$  tem achatamento médio (mesocúrtica), e se  $(a_4) > 0$  tem menor grau de achatamento (leptocúrtica).

Logo a distribuição dos valores de CE, dureza, STD e pH são classificadas como assimétricas positivas e platicúrtica, significando que a maioria dos valores se localizam à esquerda da média aritmética e com maior grau de achatamento. Os cloretos e temperatura mostraram distribuição assimétrica negativa e platicúrtica, indicando que a maioria dos valores se localizam à direita da média aritmética e também com maior grau de achatamento. Por fim, a turbidez revelou distribuição assimétrica positiva e leptocúrtica, o que denota que a maioria dos valores se localizam à esquerda da média aritmética, porém com menor grau de achatamento (Tabela 2).

O semivariogramas é uma ferramenta básica de suporte às técnicas de *krigagem*, pois o modelo de semivariogramas utilizado é a representação da estrutura de dados espaciais que serão utilizados na interpolação (CAMARGOS; FELGUEIRAS, 2006). A análise variográfica indicou que a CE e STD se ajustaram melhor ao modelo esférico; os cloretos e turbidez ao modelo linear; e dureza, pH e temperatura ao modelo gaussiano (Tabela 3).

Tabela 3. Parâmetros e modelos de semivariogramas ajustados das variáveis avaliadas.

	CE	Cloretos	Dureza	STD	pH	Temp.	Turbidez
Modelo	Esférico	Linear	Gaussiano	Esférico	Gaussiano	Gaussiano	Linear
Resíduo	413E+08	922559,0	8,21E+07	2,99E+07	0,0109	1,87	0,747
$r^2$	0,459	0,008	0,207	0,340	0,152	0,144	0,064
Proporção	0,907	0,13	0,998	0,829	0,997	0,998	0,52
Efeito Pepita	1870,00	590,26	10,00	770,00	0,0001	0,001	0,057
Patamar	20180,00	678,46	4785,00	4496,00	0,0382	0,548	0,12
Alcance	175,90	334,71	67,37	186,70	64,26	58,54	334,72

Efeito pepita (C0); patamar (C0 + C); alcance (a); proporção (C/C0+C); r<sup>2</sup>: coeficiente de correlação; Temp.: Temperatura.

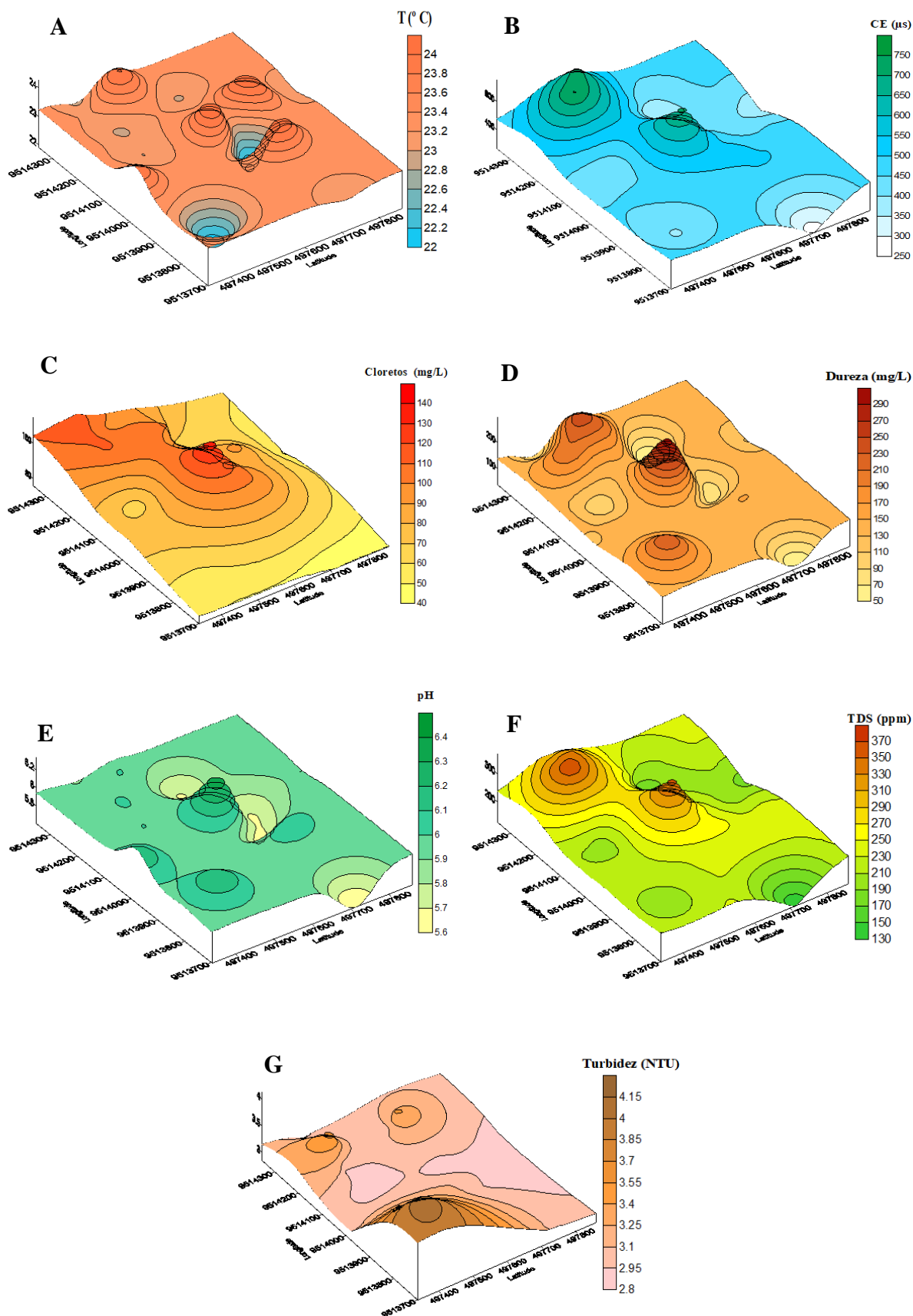
O alcance a (*range*) é a distância dentro da qual as amostras apresentam-se correlacionadas espacialmente (REICHARDT; TIMM, 2012). A temperatura apresentou menor valor de alcance (58,54 m) seguida do pH (64,26) e da dureza (67,37 m). Turbidez e cloretos apresentaram valores bem semelhantes de alcance (aproximadamente 335 m), e CE e STD valores intermediários, 175,9 m e 186,7 m respectivamente.

No método geoestatístico, a área de influência das amostras na interpolação é indicada pelo alcance dos semivariogramas. Já nos métodos de inferência espacial é comum que a extensão de influência das amostras seja colocada de modo arbitrário (CAMARGOS; FELGUEIRAS, 2006). Segundo Salgueiro e Montenegro (2008), a geoestatística dispõe de interpoladores eficientes, capazes de estimar valores de variáveis em pontos que não foram amostrados. Pode, então, se consagrar como ferramenta poderosa para gerar com precisão superfícies interpoladas.

Botega *et al.* (2013), avaliando a variabilidade espacial de atributos do solo encontraram valores de alcance variando de 116 m para Ca<sup>2+</sup> a 910 m para a variável argila, segundo esses autores isso demonstra que este atributo (argila), dentre os atributos que compõem a textura do solo, foi o que apresentou menor variabilidade e maior continuidade espacial, garantindo melhor precisão nas estimativas em locais não amostrados.

A distribuição espacial de CE, cloretos, dureza, TDS e dureza apresentaram distribuição espacial com predomínio de dois picos de maiores intensidades na região noroeste em direção a região central, caracterizados por valores superiores a 700 (µs) para CE, 310 ppm para TDS, 110 mg L<sup>-1</sup> para cloretos e 190 mg L<sup>-1</sup> para dureza, sendo que esta última variável também apresentou pico na região sudoeste. Os menores valores desses 4 parâmetros estão localizados na região Sudeste e Leste (Figura 3B, 3C, 3D e 3F),

Figura 3. Mapas de distribuição espacial dos parâmetros indicativos da qualidade da água pelo método da krigagem, Temperatura (A), Condutividade Elétrica (B), Cloretos (C), Dureza (D), pH (E), TDS (F) e Turbidez (G).



Os STD estão relacionados diretamente com a condutividade elétrica (ARAÚJO; OLIVEIRA, 2013), quanto maior a concentração de íons numa água, maior será a sua condutividade elétrica, multiplicando-se o seu valor por um fator variando de 0,55 a 0,75 pode-se obter uma estimativa para o valor de STD de uma água (SANTOS, 2000), o que justifica tais parâmetros terem tido o mesmo comportamento na distribuição espacial.

O mapa de temperatura apresentou picos distribuídos na região central e noroeste com temperaturas variando entre 22 e 24° C, sendo as mais baixas na região central e a sudoeste do mapa (Figura 3A). O pH apresentou um pico na região central e outro mais moderado a sudoeste do mapa, valores baixos de pH são encontrados na posição sul-sudoeste e também na região mais central do mapa (Figura 3E).

O mapa de turbidez apresentou um padrão espacial diferente dos demais, apresentando um pico na região sudoeste e valores mais moderados a noroeste e nordeste da área avaliada, essa alteração pode ter sido decorrente da área ter sido desmatada e queimada recentemente para implantação de área agrícola.

A tabela 4 apresenta os valores encontrados nas análises e o valor permitido pela legislação no que concerne ao consumo humano. Os cloretos, a dureza e STD foram avaliados com base na Portaria nº 2.914 de 12 de dezembro de 2011, que dispõe sobre os procedimentos de controle e de vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade. Os valores de referência para turbidez e pH serão baseados de acordo com A resolução nº 357, de 17 de março de 2005 dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências. Para CE e temperatura adotou-se os valores recomendados pelo Manual lançado pelo Ministério da Saúde (2006), que trata da vigilância e do controle da qualidade da água para consumo humano.

Tabela 4. Parâmetros físico-químicos da qualidade da água subterrânea e Valor Máximo Permitido

Amostras	Parâmetros						
	CE ( $\mu\text{s}$ )	Turbidez (NTU)	Físicos Temperatura ( $^{\circ}\text{C}$ )	STD (mg/L)	Químicos pH	Dureza (mg/L)	Cloretos (mg/L)
P1	715	3,03	24	326	6,0	233,33	97,27
P2	580	2,93	23	292	5,9	99,99	116,12
P3	358	3,46	23	180	5,7	61,9	62,53
P4	635	2,91	23	318	6,0	161,89	104,22
P5	410	2,9	23	205	6,0	99,99	62,53
P6	725	2,96	24	364	6,3	280,93	138,91
P7	451	2,84	23	228	5,8	123,8	69,48
P8	476	2,97	23	243	5,7	109,51	104,22
P9	435	2,96	24	221	5,7	123,8	97,27
P10	349	2,88	23	177	5,9	109,51	48,64
P11	515	3,09	22	259	5,7	99,99	104,22
P12	390	4,14	22	189	6,2	223,8	55,59
P13	527	2,96	24	256	6,0	123,8	97,27
P14	441	3,02	24	216	6,2	128,56	76,43
P15	758	3,65	23	372	6,0	199,98	111,17
P16	259	3,11	23	129	5,6	52,37	40,33
VMP*	10 -100	40	20 a 30	1000	6,0 a 9,0	500	250

P – Poço; VMP – Valor Máximo Permitido; NTU- Unidade Nefelométrica de Turbidez.

Para o parâmetro CE observou-se que, 100% das amostras apresentaram valores acima do permitido pela legislação (10 - 100  $\mu\text{s}$ ), sendo os maiores valores encontrados nos poços P1, P6 e P15 que ficaram acima dos 700  $\mu\text{s}$  (Tabela 4).

A condutividade é a expressão numérica da capacidade de uma água conduzir a corrente elétrica, indica a quantidade de sais existentes na coluna d'água e, portanto, representa uma medida indireta da concentração de poluentes, em geral, níveis superiores a 100  $\mu\text{S}/\text{cm}$  indicam ambientes impactados (CETESB, 2009).

Os parâmetros turbidez e temperatura se encontraram dentro do permitido, a turbidez variando de 2,9 (P5) a 4,14 NTU (P12) e a temperatura variando entre 22 e 24  $^{\circ}\text{C}$ . O parâmetro STD também se manteve dentro da normalidade, sendo o maior valor encontrado no P15 (372 mg/L) e menor no P16 (129 mg/L) (Tabela 4).

A turbidez de uma amostra de água é o grau de atenuação de intensidade que um feixe de luz sofre ao atravessá-la devido à presença de sólidos em suspensão, tais como partículas

inorgânicas (areia, silte, argila) e detritos orgânicos, tais como algas e bactérias, plâncton em geral etc (CETESB, 2009). O P12 se localiza em região recentemente desmatada e queimada para implantação de área agrícola, o que pode ter acarretado esse valor de turbidez mais elevado em relação aos demais poços.

O potencial hidrogeniônico (pH) é um parâmetro indicativo do grau de acidez ou alcalinidade do meio (VASCONCELOS et al., 2013). O pH apresentou valores abaixo do permitido pela legislação em 50% dos poços analisados, 31,25% obteve valor 6,0 ficando no limite do mínimo permitido e somente 18,75% obteve valores acima de 6,0 (Tabela 4).

Segundo Franca *et al.* (2006), o valor do pH é influenciado pela dissolução do ácido carbônico ou pelo intemperismo de rochas e da erosão de áreas agrícolas com uso de corretivos e fertilizantes. Muitos poços ficavam localizados dentro de áreas agrícolas ou próximos a áreas habitadas, o que pode ter influenciando a redução do pH. Vanzela, Hernandez e Franco (2010), encontraram resultados semelhantes em relação ao pH, os autores verificaram tendência de redução nos valores, provocada pelas áreas agricultadas, por matas degradadas, moradias rurais e estradas rurais.

A dureza ficou dentro do permitido em todos os poços avaliados variando de 52,37 mg/L no P16 a 280 mg/L no P6 (Tabela 4). A dureza da água é expressa em mg/L de carbonato de cálcio ( $\text{CaCO}_3$ ) e pode ser classificada em: mole ou branda (< que 50 mg/L de  $\text{CaCO}_3$ ); dureza moderada (entre 50 mg/L e 150 mg/L); dura (entre 150 mg/L e 300 mg/L); e muito dura (> que 300 mg/L) (BRASIL, 2006).

Segundo essa classificação, 68,7% dos poços apresenta água com dureza moderada e os outros 31,3% água dura. Segundo Queiroz e Oliveira (2018), a dureza é causada por carbonatos e bicarbonatos de cálcio e magnésio e representa a capacidade da água em consumir sabão. Pode ser classificada em temporária, quando provocada pelo cálcio e magnésio, ou permanente,



devido à presença de cloretos, nitratos e sulfatos. Quando temporária, pode ser eliminada por uma simples fervura.

Somente os parâmetros CE e pH estiveram em desconformidade com a legislação vigente para o consumo humano e podem está diretamente relacionada à atividade agrícola praticada na região.

Recomenda-se que mais estudos sejam realizados na comunidade a fim de determinar outros parâmetros primordiais na qualidade da água como nitrato, ferro, sulfatos e análise microbiológica. De acordo Queiroz e Oliveira (2018), o monitoramento da qualidade da água deve ser contínuo e com estudos mais abrangentes, investigando outras variáveis importantes para definição da potabilidade. Tendo em vista que a agricultura é atividade preponderante na região e que esta é suprida pela água subterrânea, a qualidade da água para irrigação também deve ser avaliada.

### **CONCLUSÕES**

1. O uso da geoestatística, a partir da krigagem, permitiu identificar a distribuição espacial dos parâmetros indicativos da qualidade da água avaliados, podendo subsidiar tomadas de decisões quanto ao manejo e gestão do recurso hídrico subterrâneo.
2. A qualidade da água subterrânea nos poços avaliados apresentou inadequações nos parâmetros CE e pH. Os demais parâmetros se mantiveram dentro do permitido pela legislação.

### **AGRADECIMENTOS**

À senhora Maria das Graças Roque (Dona Gracinha), presidente da Associação dos Pequenos Agricultores de Barreiros, que foi de fundamental importância, pela infindável disposição em colaborar com a pesquisa e por ser a mediadora entre mim e os produtores locais.

À Universidade da Integração Internacional da Lusofonia Afro-Brasileira (UNILAB), ao Instituto de Desenvolvimento Rural (IDR), pelo apoio durante o desenvolvimento da pesquisa.

## REFERÊNCIAS

- APHA. AWWA. WPCF. Standard Methods for the examination of water and wastewater. 21 ed. Washington, 1999.
- ARAÚJO, M. C. de; OLIVEIRA, M. B M. de. Monitoramento da qualidade das águas de um riacho da Universidade Federal de Pernambuco, Brasil. **Revista Ambiente & Água**, v. 8, n. 3, p. 247-257, 2013.
- BECKER, H. **Controle analítico de águas**. Versão 4. Universidade Federal do Ceará. Fortaleza. 2010. 84 p.
- BOTTEGA, E. L. *et al.* Variabilidade espacial de atributos do solo em sistema de semeadura direta com rotação de culturas no cerrado brasileiro. **Revista Ciência Agronômica**, v. 44, n. 1, p. 1-9, 2013.
- BRAGA, E. S. *et al.* Avaliação da qualidade de águas subterrâneas localizadas no litoral, serra e sertão do Estado do Ceará destinadas ao consumo humano. **Águas Subterrâneas**, v. 32, n. 1, p. 17-24, 2018.
- BRASIL. Conselho Nacional do Meio Ambiente -CONAMA. **Resolução CONAMA Nº 357 de 17 de março de 2005**. Brasília-DF: 2005. 23 p. Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências.
- BRASIL. Ministério da Saúde: Fundação Nacional de Saúde – FUNASA. **Manual de controle da qualidade da água para técnicos que trabalham em ETAS**. Brasília, 112 p., 2014.
- BRASIL. Ministério da Saúde. **Portaria Nº 2.914, de 12 de dezembro de 2011**. Brasília-DF: 2011. 34 p. Dispõe sobre os procedimentos de controle e de vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade.
- BRASIL. **Vigilância e controle da qualidade da água para consumo humano**. Brasília: Ministério da Saúde, 2006. 212 p.

CAMARGOS, E. C. G.; FELGUERAS, C. A. Curso de Fundamentos de Geoestatística. INPE. São José dos Campos, 2006.

CETESB - Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental. Qualidade das Águas Interiores no Estado de São Paulo. Série Relatórios. Apêndice A -Significado Ambiental e Sanitário das Variáveis de Qualidade das Águas e dos Sedimentos e Metodologias Analíticas e de Amostragem, p.19-20, 2009.

CHAVES, A. D. C. G. *et al.* Condutividade elétrica, pH e a relação adsorção de sódio nas águas de poços do município de Pombal-PB. **Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável**. v. 10, n. 1, p. 06-12, 2015.

CRUZ, M. A. S.; RESENDE, R. S., AMORIM, J. R. A. Análise da Distribuição Espacial de Parâmetros de Qualidade das Águas Subterrâneas para Irrigação no Semi-árido do Estado de Sergipe. **RBRH – Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 15 n. 2, p. 105-113, 2010.

FRANCA, R. M.; FRISCHKORN, H.; SANTOS, M. R. P.; MENDONÇA, L. A. R.; BESERRA, M. C. Contaminação de poços tubulares em Juazeiro do Norte-CE. **Engenharia sanitária e ambiental**, v. 2, n. 1, p. 92-102, 2006.

HIRATA, R.; ZOBY, J. L. G.; OLIVEIRA, F. R. Água subterrânea: reserva estratégica ou emergencial. *In*: BICUDO, C. E. M.; TUNDISI, J. G.; SCHEUENSTUHL, M. C. B. (Org.). **Águas do Brasil: análises estratégicas**. São Paulo: Instituto de Botânica, 2010. Cap. 9. p. 149-161.

Instituto de Pesquisa e Estratégia Econômica do Ceará - IPECE. **Perfil Municipal - Aratuba**. Fortaleza, CE: Governo do estado do Ceará, 2017.

MELO, D. C. M. *et al.* Estudo da variabilidade espacial da qualidade das águas subterrâneas no município de Ocara – Ceará. **Revista de Geologia**, v. 27, n. 1, p. 53-66, 2014.

MOTTA, J. G. *et al.* Qualidade da Água Subterrânea na Região do Médio Vale do Itajaí – SC. **UNOPAR Cient Ciênc Biol Saúde**, v. 16, n. 4, p. 283-291, 2014.

PIMENTEL-GOMES, F. Curso de Estatística Experimental. 12. ed. Piracicaba: Livraria Nobel, 1985. 467 p.

QUEIROZ, T. M.; OLIVEIRA, L. C. P. Qualidade da água em comunidades quilombolas do Vão Grande, município de Barra do Bugres (MT). *Eng Sanit Ambient*, v. 23 n. 1, p. 173-180, 2018.

REICHARDT, K.; TIMM, L. C. Solo, planta e atmosfera: conceitos, processos e aplicações. 2. ed. Barueri: Manole, 2012. 500 p.

SANTOS, A. C. Noções de Hidroquímica. In: FEITOSA, F. A. C.; MANOEL FILHO, J. (Org). **Hidrogeologia: Conceitos e aplicações**. 2. ed. Fortaleza: CPRM, LABHID-UFPE, 2000. Cap. 5, p. 81-108.

SALGUEIRO, J. H. P. B.; MONTENEGRO, S. M. G. L. Análise da distribuição espacial da precipitação na bacia do rio Pajeú em Pernambuco segundo método geoestatístico. **Revista Tecnologia**, v. 29, n. 2, p. 114-175, 2008.

SILVA, D. D. *et al.* Falta de saneamento básico e as águas subterrâneas em aquífero freático: região do Bairro Pedra Noventa, Cuiabá (MT). *Eng. Sanit. Ambient*, v. 19, n. 1, p. 43-52, 2014.

VANZELA, L. S.; HERNANDEZ, F. B. T.; FRANCO, R. A. M. Influência do uso e ocupação do solo nos recursos hídricos do Córrego Três Barras, Marinópolis. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 14, n. 1, p. 55–64, 2010.

VASCONCELOS, N. S. *et al.* Qualidade das águas subterrâneas de área irrigada da comunidade de Pau Branco em Mossoró (RN). **Revista HOLOS**, v. 1, n. 29, p. 47-65, 2013.

VILLAR, P. C. As águas subterrâneas e o direito à água em um contexto de crise. **Ambiente e Sociedade**, v. 19, n. 1, p. 83-102, 2016.