



Alerta: Os artigos publicados nesta seção não são avaliados por pares e não são indexados. A intenção da seção ECNT é prover um espaço para divulgação de dados e estudos de interesse local, sem caráter científico. Sendo assim, a Revista Águas Subterrâneas não se responsabiliza pelo conteúdo publicado.

Disclaimer: Articles published in this section are not peer-reviewed and are not indexed. The intention of the ECNT section is to provide a space for the dissemination of data and studies of local interest, with no scientific character. Therefore, Revista Águas Subterrâneas is not responsible for this content.

## Correlação Espacial do Alto Teor de Ferro na Água Subterrânea dos Aquíferos Sedimentar e Metassedimentar do Estado da Bahia e os atributos, Clima, Pluviometria e Litologia

### Spatial Correlation of the High Iron Content in Groundwater of the State of Bahia Sedimentary and Metasedimentary Aquifers and the attributes, Climate, Rainfall and Lithology

José Carlos Cruz do Carmo <sup>1</sup>; Iara Brandão de Oliveira <sup>2</sup> ✉

<sup>1</sup> Companhia de Engenharia Ambiental e Recursos Hídricos da Bahia - CERB, Salvador, Bahia.

<sup>2</sup> Universidade Federal da Bahia, Salvador, Bahia.

✉ jose.carmo@cerb.ba.gov.br, oliveira@ufba.br

#### Palavras-chave:

Água subterrânea;  
Estado da Bahia;  
Alta Concentração de Ferro;  
Clima;  
Pluviometria;  
Litologia.

#### Keywords

Groundwater;  
State of Bahia;  
High iron content;  
Climate;  
Rainfall;  
Lithology.

#### Resumo

Este artigo apresenta uma correlação espacial dos altos teores de ferro na água subterrânea dos aquíferos sedimentar e metassedimentar do Estado da Bahia e os atributos, clima, pluviosidade e litologia, para os poços perfurados entre 2003-2013 com vazão de teste  $\geq 1\text{m}^3/\text{h}$ . No domínio das rochas sedimentares, de 494 amostras, 152 (30,8%) apresentaram alto teor de ferro, enquanto no domínio das rochas metassedimentares, de 675 amostras, apresentaram alto teor de ferro um total de 227 (33,6%). Teores elevados de ferro limitam o uso da água subterrânea para consumo humano, principalmente nas regiões onde não há condições econômicas de efetuar, permanentemente, o tratamento para a remoção do ferro. Por isso, o entendimento de como o ferro está espacializado nesses aquíferos, e sua correlação com os atributos, clima, pluviometria e litologia é útil para a melhor prospecção deste recurso. Os resultados obtidos nos aquíferos sedimentares mostram que quanto maior a faixa pluviométrica e predomínio do clima úmido, e úmido à subúmido, verifica-se maior percentual de poços com alto teor de ferro. Nos metassedimentos, com ocorrência de clima subúmido à seco, e semiárido, e médias de pluviosidade por porção do domínio razoavelmente próximas, a presença de rochas produtoras de ferro melhor explicaram os maiores percentuais de poços com ferro alto.

#### Abstract

This paper presents a spatial correlation between the high iron content in groundwater from the sedimentary and metasedimentary aquifers of the State of Bahia, and the attributes climate, rainfall and lithology, for wells drilled in the period 2003-2013 with flow test  $\geq 1\text{m}^3/\text{h}$ . In the sedimentary rocks domain, from 494 samples, 152 (30.8%) presented high iron content, while in the metasedimentary rocks domain, from 675 presented high iron content 227 (33.6%). High levels of iron limit the use of groundwater for human consumption, especially in regions where there is no economic condition to perform the treatment for iron removal permanently. Therefore, understanding the distribution of high iron content in these aquifers and its correlation with the attributes, climate, rainfall and lithology is useful for the best prospecting of this resource. The results obtained in sedimentary aquifers show that the higher the rainfall range and the predominance of the humid, and humid to subhumid climate, the higher the percentage of wells with high iron content. As for the metasedimentary aquifer, with climate subhumid to dry, and semiarid, and reasonably close rainfall averages per sections of the domain, the presence of iron-producing rocks better explained the higher percentages of wells with high-iron content.

DOI: <http://dx.doi.org/10.14295/ras.v34i3.29943>

## 1. INTRODUÇÃO

As características hidroquímicas das águas subterrâneas no seu estado natural, sem a interferência de fatores antrópicos, estão diretamente subordinadas às condições geológicas, principalmente à litologia do aquífero, do fluxo subterrâneo, da recarga, da profundidade e do tempo de permanência da água no sistema aquífero, além do clima da região (FEITOSA et al., 1997; PIVELI & KATO, 2005, Nascimento, 2008).

Dentre os muitos parâmetros que podem afetar a qualidade da água subterrânea, é muitas vezes reportado os teores elevados do ferro dissolvido (PICANÇO et al., 2002; OLIVEIRA et al., 2004, CARMO et al. 2014). O íon ferro na água causa incrustações e possibilita o desenvolvimento de colônias de bactérias ferruginosas nas redes de abastecimento, afetando a saúde humana, trazendo sabor e odor na água, manchas em roupas e utensílios, e interferência em processos industriais (HACKETT & LEHR, 1971; CUSTÓDIO & LLAMAS, 1983; RICHTER & AZEVEDO NETTO, 1991; DI BERNARDO, 1992; MENESES, 1992; FEITOSA et al., 1997; DEVLIN, 1998; ZIMBRES, 2002; SIQUEIRA et al., 2011).

O ferro é o quarto elemento mais abundante na crosta terrestre, apenas em menor quantidade que o oxigênio, silício e alumínio, sendo que os minerais mais importantes que contêm esse elemento são: magnetita ( $\text{Fe}_3\text{O}_4$ ), hematita ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ), limonita ( $\text{Fe}_2\text{O}_3\text{H}_2$ ), siderita ( $\text{FeCO}_3$ ), ilmenita ( $\text{FeTiO}_3$ ) e pirita ( $\text{FeS}_2$ ). (LEE, 1999; FEITOSA et al., 1997). E, nas águas naturais, o ferro é encontrado principalmente sob as formas de bicarbonato ferroso ( $\text{Fe}(\text{HCO}_3)_2$ ), hidróxido férrico ( $\text{Fe}(\text{OH})_3$ ) e sulfato ferroso ( $\text{FeSO}_4$ ). O ferro solúvel está associado a bicarbonatos e cloretos (DI BERNARDO, 1992, YAMAN & KAYA, 2005).

No território baiano a presença de teores elevados de ferro na água subterrânea ocorre com bastante frequência nos quatro compartimentos hidrogeológicos: sedimentar, metassedimentar, cárstico e cristalino. Carmo & Oliveira (2016) investigaram o Banco de Dados da Companhia de Engenharia Hídrica e de Saneamento da Bahia - CERB (2014), entre os anos de 2003 à 2013, encontrando que dos 3539 poços com vazão de teste  $\geq 1\text{m}^3/\text{h}$ , 940 (26,56%) apresentaram teores de ferro acima de 0,3 mg/l, limite máximo recomendado para o consumo humano pelo Ministério da Saúde, Portaria 2914/2011 (BRASIL 2011), deixando de ser instalados gerando prejuízo financeiro para o Estado.

Este trabalho estabeleceu uma correlação espacial entre os altos teores de ferro na água subterrânea dos aquíferos sedimentares e metassedimentares do Estado da Bahia com os atributos ambientais clima, pluviosidade e litologia, visando auxiliar na prospecção mais eficiente deste recurso, e minimizar perdas econômicas associadas à abandono de poços com altos teores de ferro.

## 2. CARACTERIZAÇÃO E ÁREA DE ESTUDO

### 2.1. Hidrogeologia do Estado da Bahia

A Figura 1 apresenta o mapa dos domínios hidrogeológicos do Estado da Bahia, modificado de Guerra & Negrão (1996). Neste trabalho entretanto, serão discutidos somente os domínios das coberturas detríticas, bacias sedimentares, e metassedimentos.

#### 2.1.1. Domínio das rochas sedimentares

As coberturas detríticas e as bacias sedimentares foram agrupados aqui, como o domínio das rochas sedimentares, por apresentarem comportamento hidrogeológico semelhante. No Estado da Bahia, o domínio das rochas sedimentares é representado pelas Bacias Sedimentares do Recôncavo, Tucano, Urucuia e pelas Coberturas Detríticas Tércio Quaternárias, todas apresentadas na Figura 1.

À leste do estado, tem-se a Bacia do Recôncavo com cerca de 10.500 km<sup>2</sup> de área, composta pelos sistemas aquíferos; Sergi, Ilhas e São Sebastião/Marizal, de grande capacidade de produção, com poços tubulares de 450 m de profundidade e vazões superiores a 350 m<sup>3</sup>/h.

Também à leste tem-se a Bacia Sedimentar do Tucano, com cerca de 30.000 km<sup>2</sup> de área, dividida em três sub-bacias: Tucano Sul, Tucano Central e Tucano Norte. Também tem como principais sistemas aquíferos o Sergi, Ilhas e São Sebastião/Marizal. Devido a grande extensão territorial desta Bacia, a mesma apresenta a maior reserva de água subterrânea do Estado.

Na região oeste do estado, o aquífero Urucuia ocupa uma área aproximada de 120.000 Km<sup>2</sup>, sendo 80% no território baiano. Tem alta potencialidade hidrogeológica, confirmada pelas elevadas vazões de seus poços e excelente qualidade de suas águas.

As coberturas detríticas dividem-se em coberturas rasas e profundas, ocorrendo em aproximadamente 15% da área do Estado (88.273 km<sup>2</sup>). As coberturas rasas são depósitos detríticos formados pelas areias de dunas, aluviões e outros, de pequenas espessuras.

As coberturas profundas são constituídas pelos sedimentos da Formação Barreiras que ocorrem no extremo sul do Estado, podendo alcançar até 150 metros de espessura. Apresenta potencialidade hidrogeológica média a alta, e seus poços profundos apresentam vazões superiores a 50m<sup>3</sup>/h.

### 2.1.2. Domínio das rochas metassedimentares

A Bahia tem aproximadamente 15% de sua área (84.300 km<sup>2</sup>) mapeada como metassedimentos, apresentados de forma agregada na Figura 1. Entretanto, o sistema aquífero das rochas metassedimentares é representado no Estado pelas regiões da Serra de Jacobina, da Chapada Diamantina, do Espinhaço Setentrional e da Faixa Araçuaí. Essa região tem precipitações pluviométricas médias de 690 mm/ano (em Morro do Chapéu) à 1200 mm/ano (em Lençóis).

A região da Serra de Jacobina apresenta associações de rochas quartzíticas e metapelíticas do Grupo Jacobina, Greenstone Belt de Mundo Novo e intrusões máficas-ultramáficas, que se estende por 200Km na direção norte-sul.

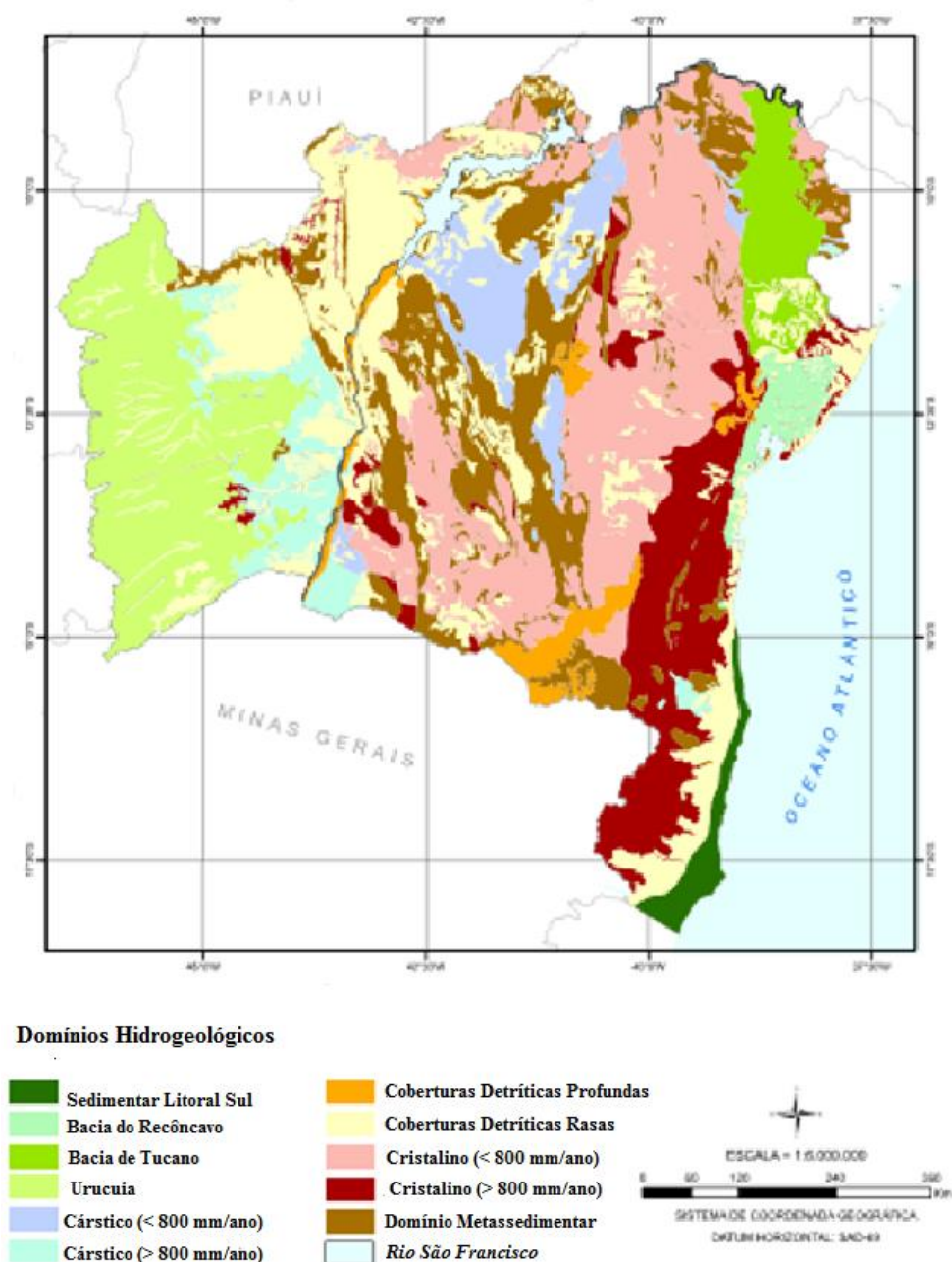
Na região da Chapada Diamantina, passando pelos municípios de Jussiape, Ibitiara, chegando até ao sul de Caculé, numa faixa de 100 Km, ocorrem os Greenstone Belts, associações metavulcanossedimentares com ocorrências comprovadas de derrames ultramáficos; basaltos; derrames máficos a félsicos e; ocorrências de camadas de formações ferríferas bandadas.

O flanco leste da Serra do Espinhaço Setentrional apresenta sequência metavulcanossedimentar numa faixa de aproximadamente 70 Km, no sentido norte-sul, desde o município de Caetité (norte) até Licínio de Almeida (sul), inclinando-se na direção do município de Jacaraci. Essa sequência vêm se destacando pelas recentes descobertas de importantes depósitos de minério de ferro economicamente exploráveis.

No extremo sul dos metassedimentos ocorre a Faixa Araçuaí, região dos municípios de Cordeiros, Piripá, Cândido Sales, Encruzilhada, Itambé, Itapetinga e Macarani. O ferro aí presente pode estar vinculado a uma extensa faixa de xistos micáceos, intercalados de rochas calcossilicáticas, metarenitos e xistos grafitosos não mais pertencentes aos metassedimentos dos Grupos Espinhaço e Chapada Diamantina.

Os metassedimentos formam aquíferos livres de natureza fissural e fraturada, similarmente aos aquíferos cristalinos. Diferenciam-se destes, entretanto, por vazões mais elevadas e por menor salinização de suas águas, em parte, devido à sua composição litológica rica em quartzo, e por ocorrerem em regiões de topografia e pluviosidade elevadas (Oliveira et al. 2007).

Figura 1 – Mapa dos domínios hidrogeológicos do Estado da Bahia. Fonte: Bahia, 2003, mod. Guerra & Negrão 1996.



## 2.2. Clima do Estado da Bahia

A Figura 2 apresenta o mapa dos tipos de clima do Estado da Bahia. O clima é um dos atributos ambientais associados ao alto teor de ferro na água subterrânea dos domínios hidrogeológicos sedimentar e metassedimentar. Segundo a classificação Thornthwhite, existem cinco tipos de climas básicos no Estado da Bahia: úmido, úmido a subúmido, subúmido a seco, semiárido e árido, todos estes presentes na região de interesse deste estudo.

O clima úmido é encontrado no limite oeste do Estado numa faixa com 20 à 80 km de largura e chuvas médias anuais de 1.300 à 1.600 mm; bem como na maior parte do litoral, numa faixa de 18 à 65 km de largura, e chuvas variando de 1.400 à 2.600 mm anuais. O clima úmido à subúmido é encontrado em faixas contíguas às do clima úmido, com índice pluviométrico entre 1.000 à 1.400 mm. Nesse clima as temperaturas médias anuais são de 22 à 24°C. O clima subúmido à seco apresenta-se paralelo à faixa atlântica, contornando a Chapada Diamantina e nas bordas dos Chapadões Ocidentais. As temperaturas médias variam de 24 à 25°C e a precipitação média anual varia de 800 a 1.200 mm, decrescendo na direção do centro do Estado.

O clima semiárido ocorre em praticamente 70% do Estado da Bahia, apresentando altas temperaturas, com médias mínimas acima de 25°C e precipitações inferiores a 800 mm anuais, e alcançando valores abaixo de 600 mm em algumas regiões. O clima árido é encontrado

no extremo norte do Estado, com as maiores temperaturas e as menores precipitações, entre 300 e 500 mm, concentradas em apenas três meses do ano.

**Figura 2** – Mapa dos Tipos de Climas do Estado da Bahia, modificado de Bahia, 2003.



### 2.3. Ferro na Água Subterrânea do Aquífero Sedimentar e Metassedimentar do Estado Da Bahia

Os dados utilizados neste estudo, tanto para os teores de ferro na água subterrânea do aquífero sedimentar e metassedimentar do Estado da Bahia, quanto para a localização geográfica dos poços, foram obtidos no Banco de Dados Hidrogeológicos da CERB – Companhia de Engenharia Hídrica e de Saneamento da Bahia. As análises físico-químicas foram realizadas no Laboratório do Departamento de Engenharia Ambiental da Escola Politécnica (LABDEA-UFBA) e no Laboratório de Química do SENAI-CETIND. Os métodos utilizados e os limites de detecção tem base no Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater (APHA 1998) e nas normas publicadas pela ISO (International Standardization Organization), tendo sido realizados no período de perfuração do poço, de 2003 à 2013.

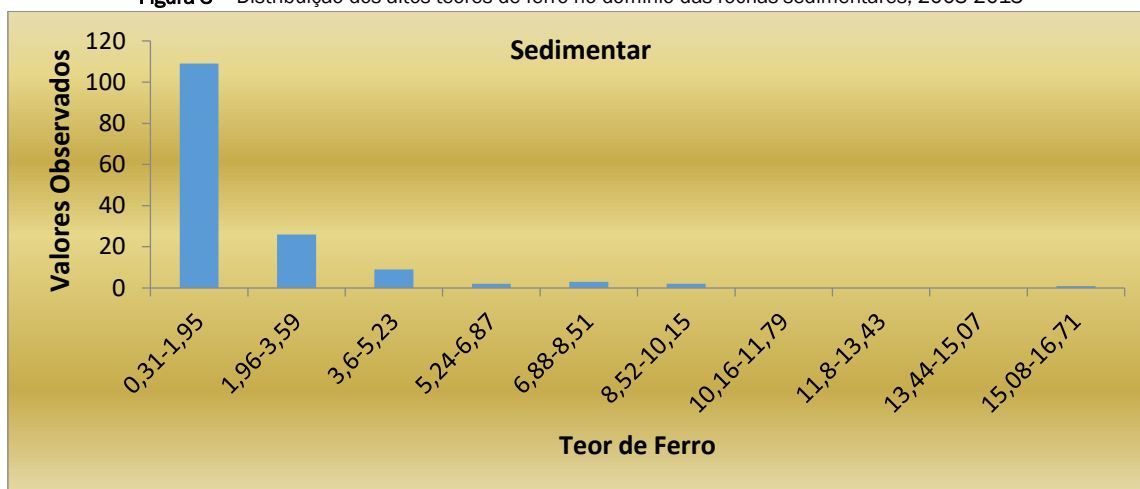
Estabeleceu-se o período de 2003-2013, como intervalo da pesquisa, devido ao número significativo de poços tubulares perfurados neste período, além de serem todos georreferenciados. Escolheu-se a vazão de teste de bombeamento  $\geq 1\text{m}^3/\text{h}$ , por ser uma condição normalmente exigidas para a implantação de sistemas simplificados de abastecimento de água subterrânea.



### 2.3.1. Ferro na água subterrânea do domínio das rochas sedimentares

Das 494 análises de água de poços perfurados de 2003-2013 neste domínio, 152 (30,8%) apresentaram alto teor de ferro e foram utilizados neste estudo. A Figura 3 mostra a distribuição dos altos teores de ferro por intervalo de classe, neste domínio hidrogeológico.

Figura 3 – Distribuição dos altos teores de ferro no domínio das rochas sedimentares, 2003-2013



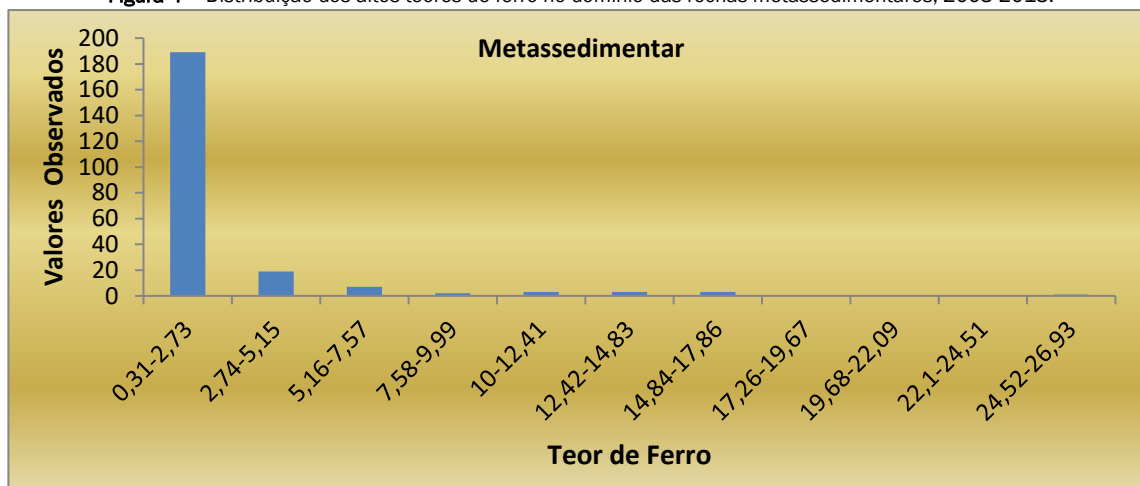
Fonte: Autor

Por outro lado, das 152 amostras com alto teor de ferro, 109 (71,7%) estão na classe 0,31 mg/l - 1,95 mg/l, ou seja, grande concentração de amostras na primeira classe, tendo entretanto, registro de concentração de ferro de até 16,71 mg/l.

### 2.3.2. Ferro na água subterrânea do domínio das rochas metassedimentares

Das 675 análises de água dos poços perfurados de 2003-2013 neste domínio, 227 (33,6%) apresentaram alto teor de ferro. A Figura 4 mostra a distribuição dos altos teores de ferro por intervalo de classe, do domínio hidrogeológico das rochas metassedimentares.

Figura 4 – Distribuição dos altos teores de ferro no domínio das rochas metassedimentares, 2003-2013.



Fonte: Autor

Além do maior percentual de amostras com alto teor de ferro no domínio hidrogeológico das rochas metassedimentares, comparado ao sedimentar, das 227 amostras com alto teor de ferro, 189 (83,3%) estão na classe 0,31 mg/l - 2,73 mg/l, ou seja, maior concentração de amostras na primeira classe, com concentração de ferro de até 26,93 mg/l, superior ao encontrado no domínio sedimentar.

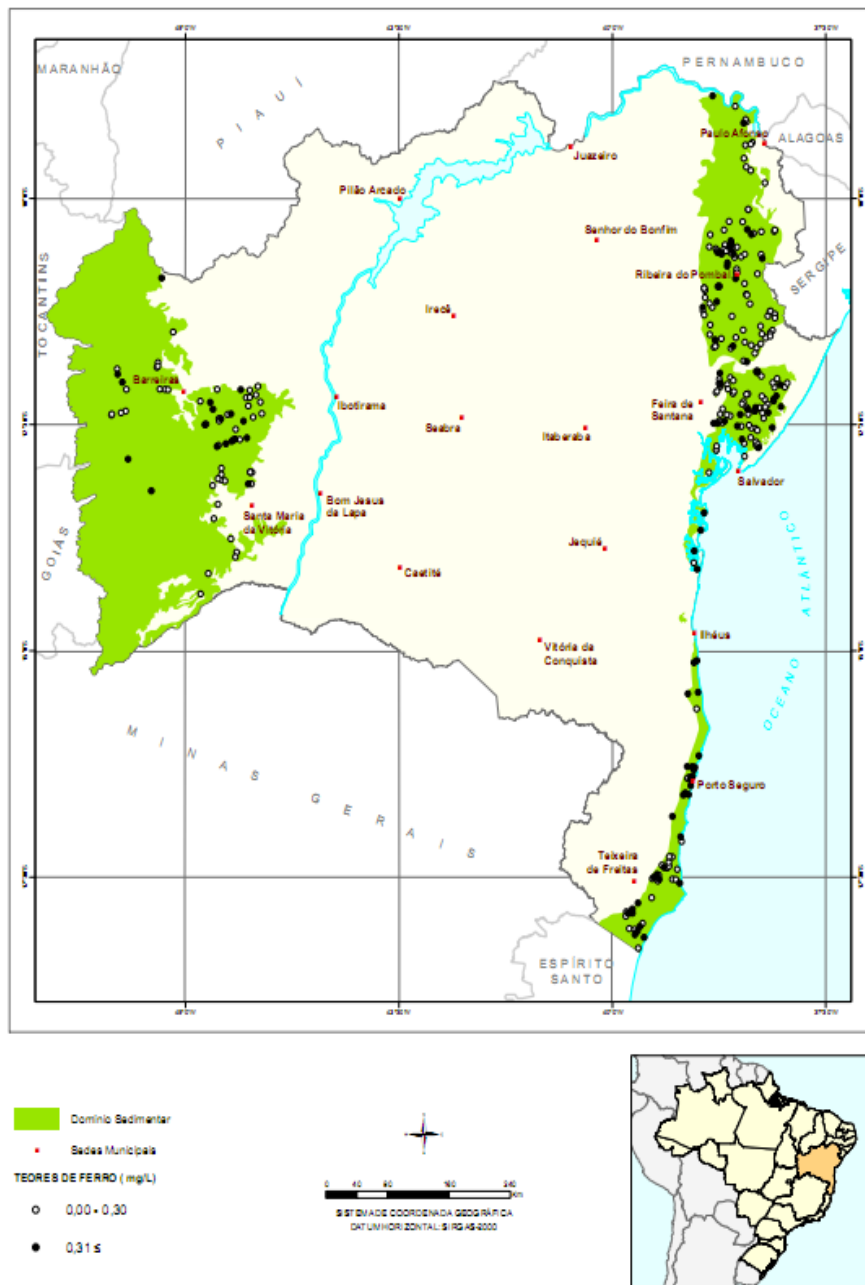
## 3. ESPACIALIZAÇÃO DO TEOR DE FERRO EM MAPAS DO DOMÍNIO SEDIMENTAR E METASSEDIMENTAR DO ESTADO DA BAHIA E DISCUSSÃO

Para a elaboração dos mapas foram utilizadas as seguintes folhas geológicas publicadas pela CPRM em escala ao milionésimo: SC24 Aracajú, SD24 Salvador, SE24 Rio Doce, SC23 São Francisco e SD23 Brasília. A espacialização dos dados utilizou o software de geoprocessamento ArcGis 9.3 para edição dos Shapefile.

### 3.1 Mapa dos Teores de Ferro no Domínio das Rochas Sedimentares

O mapa da Figura 5 apresenta a localização dos poços com teores de ferro abaixo e acima de 0,3 mg/L e vazão  $\geq 1,0\text{m}^3/\text{h}$ , no domínio hidrogeológico das rochas sedimentares do Estado da Bahia.

Figura 5 – Distribuição dos teores de ferro no domínio das rochas sedimentares, 2003-2013.



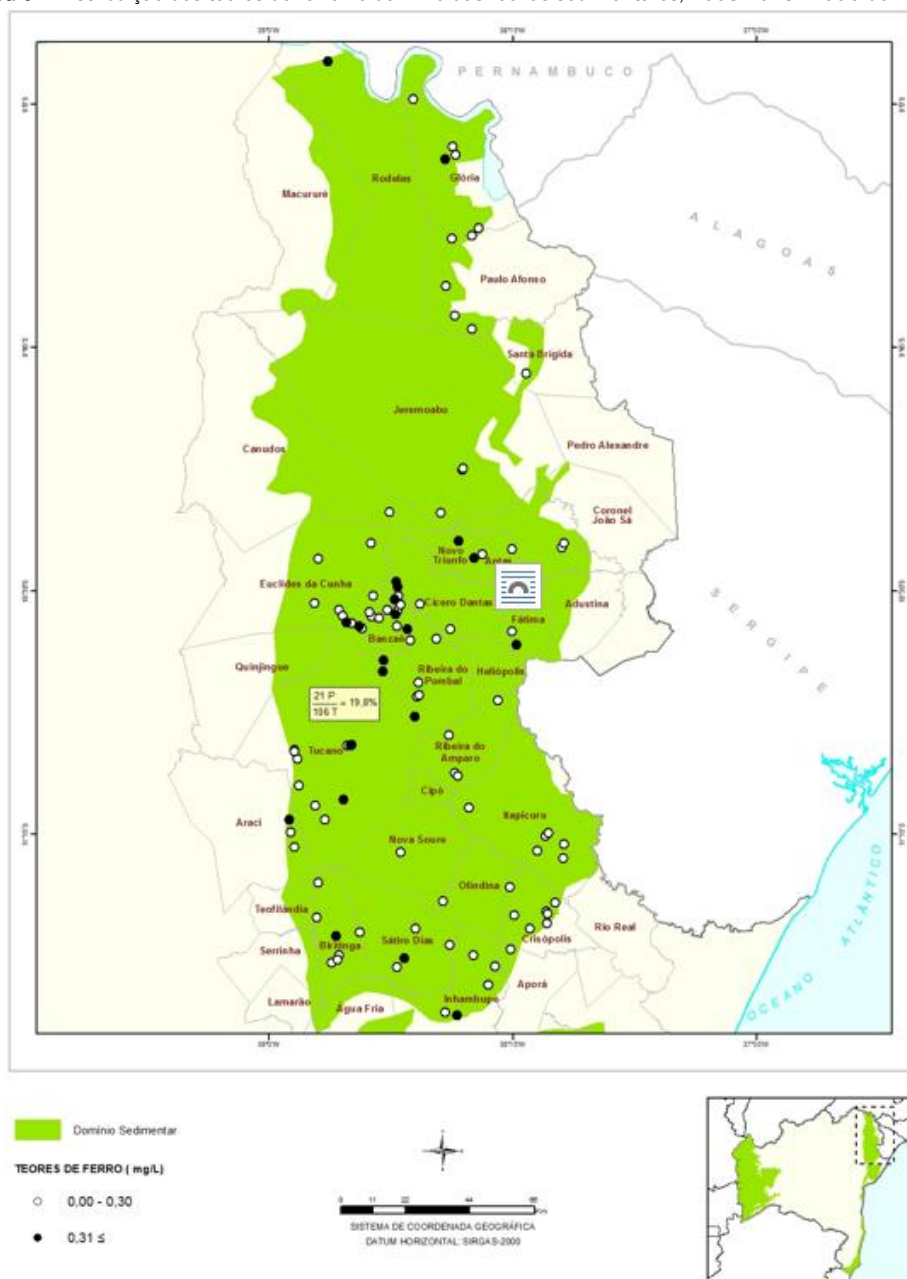
Fonte: Autor

O mapa apresenta a localização dos 494 poços neste domínio, que ocorrem à leste e à oeste do estado, nos compartimentos da: Bacia do Tucano, Bacia do Recôncavo-Camu, Sedimentos do Litoral Sul e Sedimentos do Urucuia. Destes, 30,8% apresentou teores elevados de ferro, um percentual considerando bastante expressivo. Poços com alto teor de ferro nessas rochas são preocupantes, já que aí, os poços tubulares tem geralmente alto custo de perfuração por exigirem técnicas especiais de construção.

No domínio das rochas sedimentares os poços tubulares são responsáveis por viabilizar projetos importantes de abastecimento do Estado através de sistema de adutoras, como o abastecimento das sedes municipais e diversas localidades do meio rural onde ocorre escassez de água.

O mapa da Figura 6 apresenta a localização dos poços com teores de ferro abaixo e acima de 0,3 mg/L e vazão  $\geq 1,0\text{m}^3/\text{h}$ , no domínio hidrogeológico das rochas sedimentares - Bacia de Tucano, região situada em clima semiárido e árido (ver Fig. 2).

Figura 6 – Distribuição dos teores de ferro no domínio das rochas sedimentares, 2003-2013 - Bacia do Tucano.



Fonte: Autor

O mapa mostra que dos 106 poços perfurados, 19,8% tem alto teor de ferro na água (municípios de Antas, Araci, Banaê, Biritinga, Cícero Dantas, Euclides da Cunha, Glória, Fátima, Novo Triunfo, Ribeira do Pombal, Rodelas, Sático Dias e Tucano). Destes, as mais altas concentrações de ferro (acima de 2,00 mg/L) foram encontrados em poços construídos no Sistema Aquífero Marizal/Massacará nos municípios de Banaê e Cícero Dantas, apresentados na Tabela 1, poços perfurados para atender os Projetos Tucano-Fase II e Irrigação.



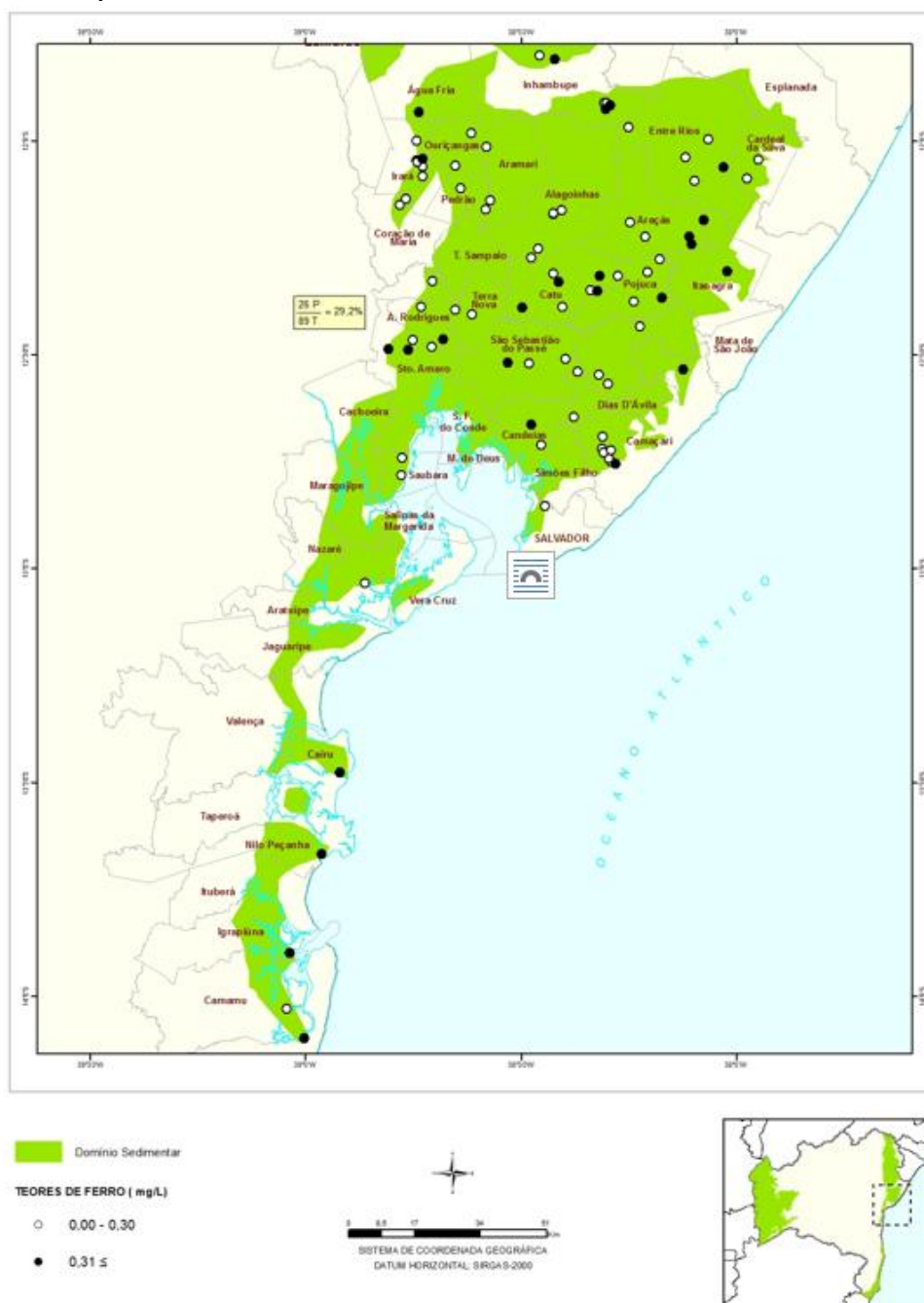
**Tabela 1** – Poços tubulares perfurados na Bacia do Tucano com alta concentração de ferro.

Município	Localidade	Profundidade (m)	Q (m <sup>3</sup> /h)	Fe (mg/L)	Cor (uH)	Turbidez (UT)
Banzaê	Campo do Brito	400,00	260,00	<b>2,83</b>	8,0	<b>8,7</b>
	Sítio do Salgado	414,00	300,00	<b>9,69</b>	2,5	<b>6,1</b>
Cícero Dantas	Itaparica	400,00	260,00	<b>6,69</b>	10,0	<b>6,8</b>
	Major	386,00	260,00	<b>9,65</b>	15,0	<b>11,0</b>
	Serrão	416,00	240,00	<b>8,19</b>	<b>40,0</b>	<b>31,0</b>

Nota do Autor: Valores em negrito estão fora do padrão de potabilidade Portaria MS 2914/2011

O mapa da Figura 7 apresenta a localização dos poços com teores de ferro abaixo e acima de 0,3 mg/L e vazão  $\geq 1,0$  m<sup>3</sup>/h, no domínio hidrogeológico das rochas sedimentares - Bacia do Recôncavo-Camamu, região situada em clima preponderantemente úmido, e úmido à subúmido, mas com ocorrência de porção subúmido à seco (ver Fig. 2). De acordo com esse mapa, o ferro alto encontra-se presente em todos os aquíferos que compõem a Bacia do Recôncavo.

**Figura 7** – Distribuição dos teores de ferro no domínio das rochas sedimentares, 2003-2013 - Bacia do Recôncavo-Camamu.



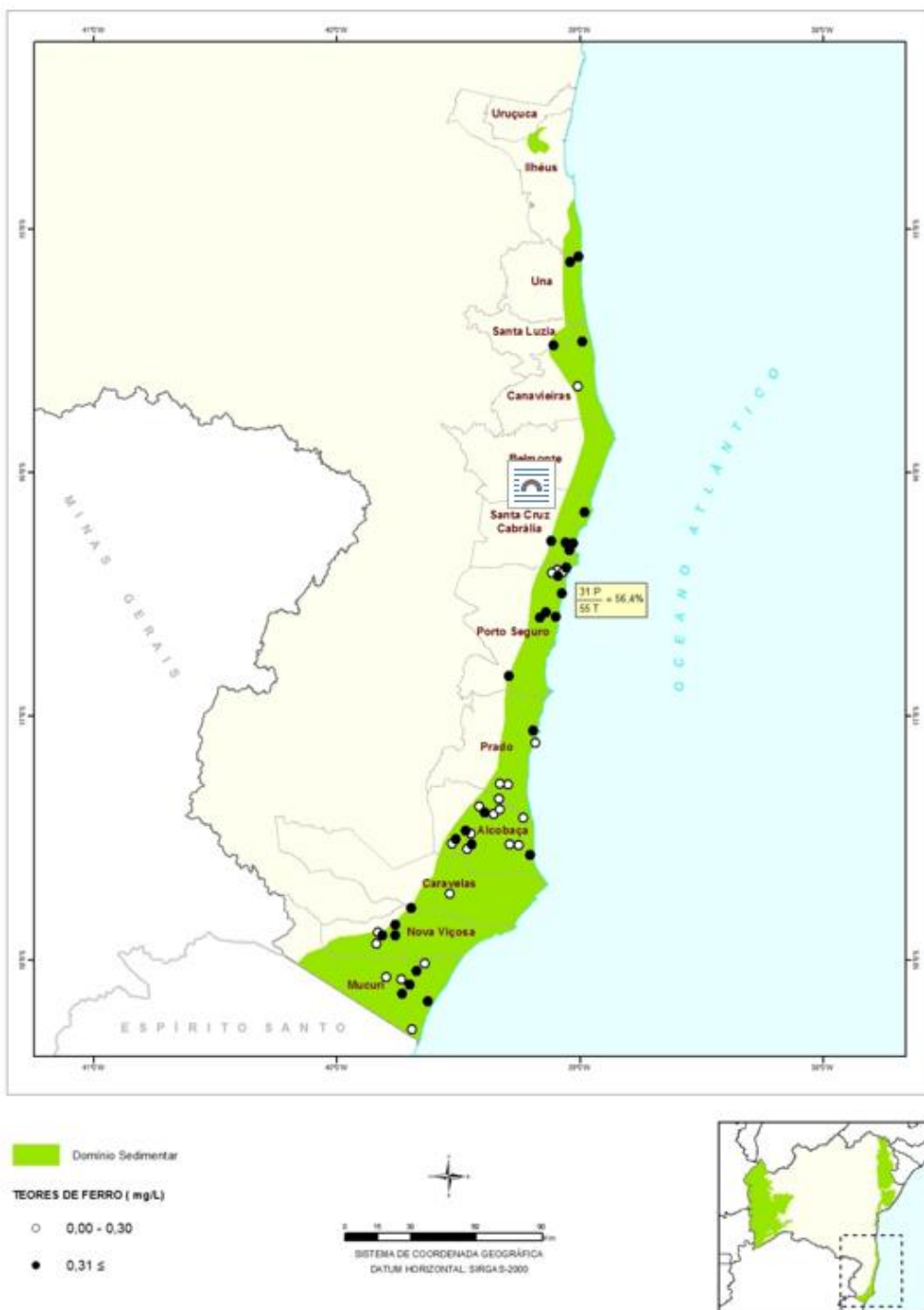
Fonte: Autor

A Figura 7 mostra que dos 89 poços perfurados, 29,2% das amostras tem alto teor de ferro na água (municípios de Água Fria, Irapá, Amélia Rodrigues e Santo Amaro [no aquífero Sergi]; municípios de Inhambupe, Catu, São Sebastião, Pojuca e Candeias [no aquífero Ilhas]; e municípios de Entre Rios, Araçás, Itanagra, Dias D'Ávila e Camaçari [no sistema aquífero Marizal/São Sebastião]).

Já na Bacia de Camamu (Fig. 7), o maior teor de ferro, 5,79 mg/L, foi no poço perfurado no município de Igrapiúna, enquanto os poços dos municípios de Cairú, Taperoá e Maraú, não ultrapassaram 1,00 mg/L.

O mapa da Figura 8 apresenta a localização dos poços com teores de ferro abaixo e acima de 0,3 mg/L e vazão  $\geq 1,0 \text{ m}^3/\text{h}$ , no domínio hidrogeológico das rochas sedimentares - Compartimento Sedimentar Litoral Sul, região situada em clima úmido e úmido a subúmido (ver Fig. 2).

**Figura 8** – Distribuição dos teores de ferro no domínio das rochas sedimentares, 2003-2013 - Compartimento Sedimentar Litoral Sul.

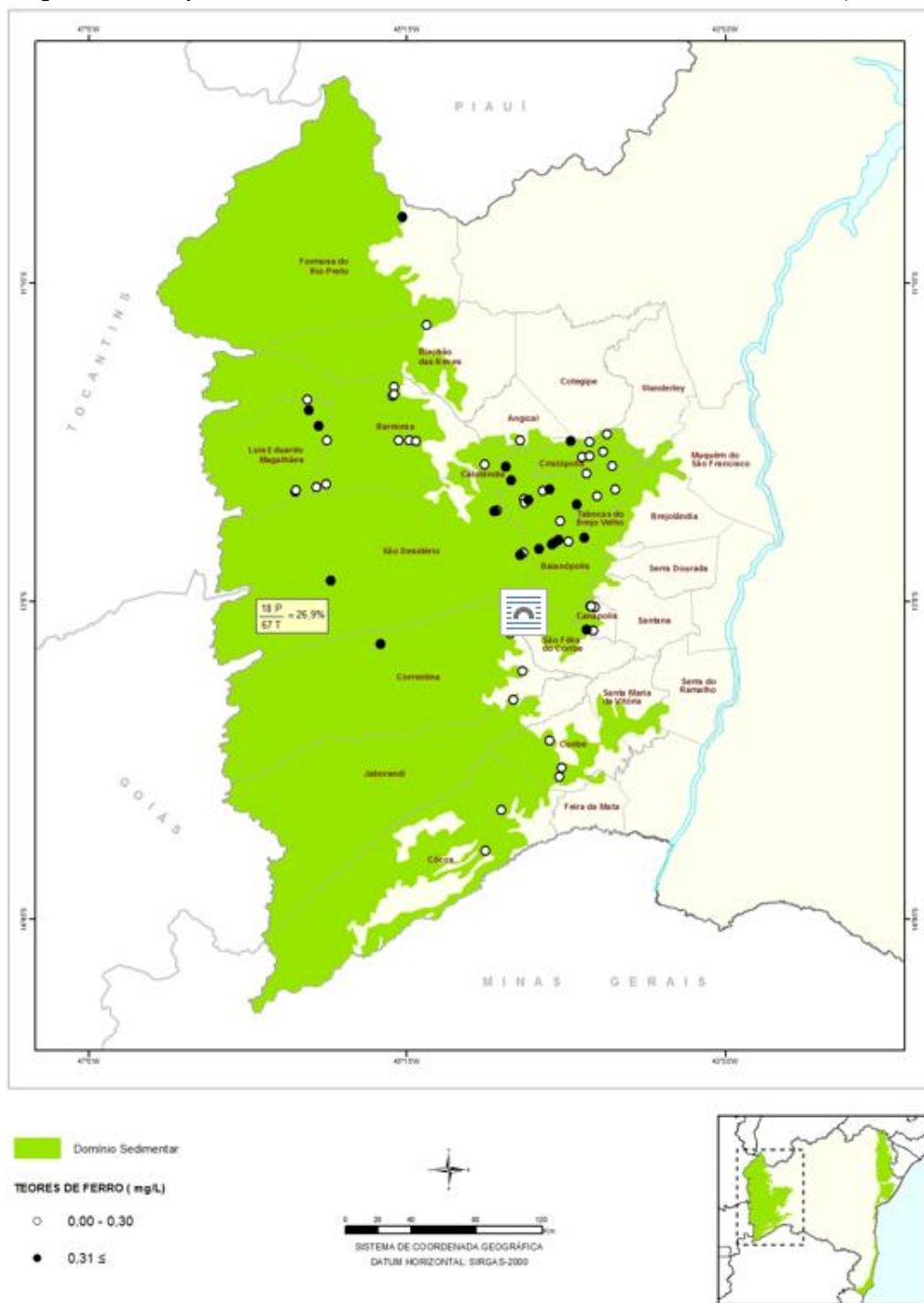


Fonte: Autor

No compartimento Sedimentar Litoral Sul, dos 55 poços perfurados, 56,4% das amostras tem alto teor de ferro na água. A parte oeste desse compartimento limita-se com os granulitos do Cristalino Centro-Sul, com rochas potencialmente ricas em ferro e submetidos aos climas: úmido à subúmido que favorecem o desenvolvimento de espessos mantos de decomposição sobre essas rochas matrizes. A direção do fluxo subterrâneo no sentido oeste-leste favorece o deslocamento do ferro presente no regolito indo participar da hidroquímica das águas subterrâneas desse aquífero.

O mapa da Figura 9 apresenta a localização dos poços com teores de ferro abaixo e acima de 0,3 mg/L e vazão  $\geq 1,0\text{m}^3/\text{h}$ , no domínio hidrogeológico das rochas sedimentares - compartimento do Urucuia, região situada em clima úmido, e úmido à subúmido (ver Fig. 2).

**Figura 9** – Distribuição dos teores de ferro no domínio das rochas sedimentares, 2003-2013 - Compartimento Urucuia.



Fonte: Autor

No compartimento Uruçuia, dos 67 poços perfurados, 26,9% das amostras tem alto teor de ferro na água (municípios de Catolândia, Baianópolis, extremo leste de São Desidério, Cristópolis e Tabocas do Brejo Velho), onde a espessura do pacote sedimentar Uruçuia é bem menor.

A Tabela 2 apresenta um resumo das características ambientais, clima e pluviosidade no domínio hidrogeológico sedimentar do Estado da Bahia, bem como o percentual de poços perfurados neste domínio com teor de ferro > 0,3 mg/l.

**Tabela 2**– Fatores ambientais, clima, pluviosidade do domínio hidrogeológico sedimentar do Estado da Bahia e percentual de poços com alto teor de ferro na água subterrânea.

Domínio Hidrogeológico Sedimentar	Clima	Pluviosidade (mm/ano)	Percentual de Poços com teor de ferro > 0,3 mg/l
Bacia do Tucano	Semiárido e árido	500 – 400	19,8
Uruçuia	Úmido, e úmido à subúmido	2000 – 1100	26,9
Bacia do Recôncavo	Úmido, úmido à subúmido e, subúmido à seco	2600 – 1100	29,2
Litoral Sul	Úmido e úmido à subúmido	2600 – 1100	56,4

Fonte: Autor

Tendo em vista que a litologia do domínio sedimentar se constitui basicamente de arenitos e depósitos detríticos formados pelas areias de dunas e aluviões, ou seja sedimentos ricos em quartzo, os dados da Tabela 2 indicam importante correlação do clima e da pluviometria com o percentual de poços com alto teor de ferro no domínio hidrogeológico sedimentar. Quanto maior a faixa pluviométrica e a predominância do clima úmido e úmido à subúmido, maior o percentual de poços com alto teor de ferro.

### 3.2 Mapa dos Teores de Ferro no Domínio das Rochas Metassedimentares

O mapa da Figura 10 corresponde ao domínio das rochas metassedimentares. Ele apresenta a localização dos 697 poços perfurados pela CERB entre 2003-2013, com teores de ferro abaixo e acima de 0,3 mg/L e vazão  $\geq 1\text{m}^3/\text{h}$ . Com a quantidade de 227 amostras com elevado teor de ferro presente na água, o domínio metassedimentar se posiciona como o segundo domínio hidrogeológico do estado da Bahia com maior quantidade de poços contendo ferro >0,3mg/L na água.

Os poços com alta concentração de ferro do domínio hidrogeológico metassedimentar do Estado da Bahia estão localizados nas diversas unidades litológicas que compõem este domínio: Serra de Jacobina, Chapada Diamantina, Faixa Araçuai e Espinhaço Setentrional.

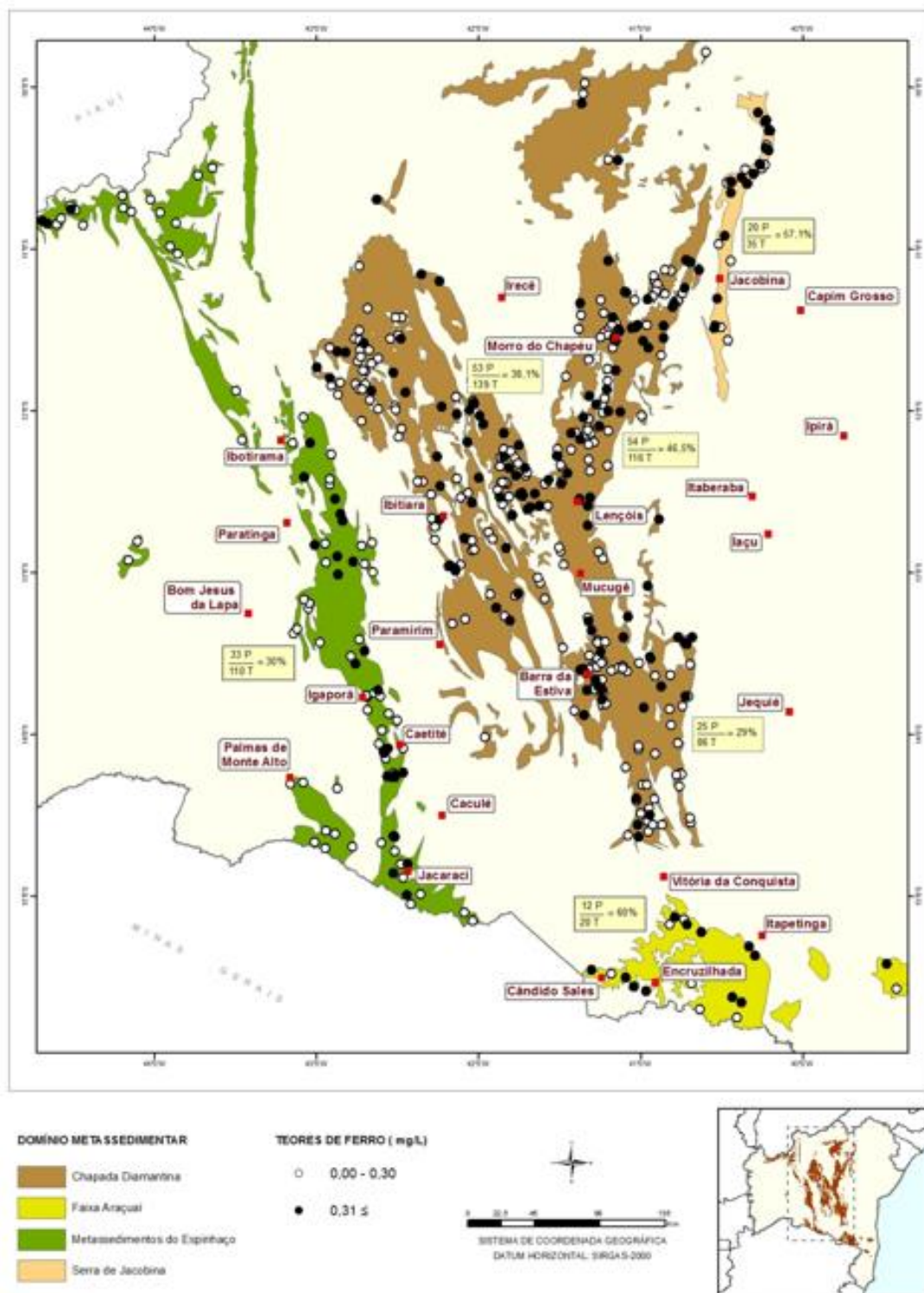
A Tabela 3 apresenta um resumo dos fatores ambientais, clima, pluviosidade e temperatura média anual, em algumas localidades das unidades litológicas que compõem o domínio das rochas metassedimentares, bem como o percentual de poços com alto teor de ferro na água subterrânea destes domínios.

**Tabela 3**– Fatores ambientais, clima, pluviosidade do domínio hidrogeológico metassedimentar do Estado da Bahia e percentual de poços com alto teor de ferro na água subterrânea.

Domínio Hidrogeológico Metassedimentar	Cidade	Clima	Médias Pluviosidade (mm/ano) e Temperatura °C	Percentual de Poços com teor de ferro > 0,3 mg/l
Serra de Jacobina	Jacobina	Aw – Tropical de savana	831 (24,0)	57,1
Chapada Diamantina - Faixa Nordeste	Morro do Chapéu	Aw – Tropical de savana	691 (20,2)	46,5
	Lençóis	Aw – Tropical de savana	1206 (23,9)	
Chapada Diamantina - Faixa Sudeste	Mucugê	Cfb – Temperado Oceânico	932 (20,3)	29,0
	Barra da Estiva	Cfb – Temperado Oceânico	928 (20,1)	
Chapada Diamantina - Faixa Noroeste	Ibitiara	Bsh – Semiárido quente	710 (21,8)	38,1
	Paramirim	Aw – Tropical de savana	745 (23,2)	
Faixa Araçuai	Encruzilhada	Bsh – Semiárido quente	894 (22,0)	60,0
	Cândido Sales	C1dB – Subúmido a seco	835 (23,0)	
Espinhaço Setentrional	Ibotirama	Bsh – Semiárido quente	811 (25,0)	30,0
	Igaporã	Aw – Tropical de savana	818 (23,2)	
	Caetité	Aw – Tropical de savana	862 (21,8)	
	Jacaraci	C1dB – Subúmido a seco	890 (21,6)	

Fonte: Autor

Figura 10 – Distribuição dos teores de ferro no domínio das rochas metassedimentares, 2003- 2013.



Fonte: Autor

Conforme o mapa da Figura 10, o domínio hidrogeológico metassedimentar do Estado da Bahia apresenta as unidades litológicas: Serra de Jacobina, Chapada Diamantina, Faixa Araçuaí e Espinhaço Setentrional. Baseado nas informações da Tabela 3, pela classificação de Köppen - Geiger, são quatro os tipos de clima neste domínio hidrogeológico: Aw (tropical de savana), Bsh (semiárido quente), Cfb (temperado oceânico) e C1dB (Subúmido a seco).

Quanto à pluviosidade (ver Fig. 2), o domínio das rochas metassedimentares participa do clima subúmido à seco, com precipitações de 800 - 1200 mm/ano e temperatura média anual de 20 - 25 °C. Também do clima semiárido, com precipitação inferior à 800 mm/ano e temperatura média anual de 20 - 23 °C.



Os dados da Tabela 3 mostram que as faixas com presença de ferro alto em maiores percentuais (46,5 à 60 %), apresentam pluviosidades de (831 – 1206 mm/ano), exceto para Morro do Chapéu (691 mm/ano), com climas do tipo Aw (tropical de savana), C1dB (Subúmido a seco) e Bsh (Semiárido quente). E, para as faixas com presença de ferro alto em menores percentuais (29,0 à 38,1 %), a pluviosidade é de (710 – 932 mm/ano), com climas do tipo Cfb (temperado oceânico) e Bsh (semiárido quente). Assim, as médias pluviométricas se interceptam, não indicando forte correlação da pluviosidade com o percentual de amostras com ferro alto. Ou seja, o clima e a pluviosidade não explicam sozinhos os percentuais de ferro alto na água subterrânea do domínio hidrogeológico das rochas metassedimentares.

Portanto, para o domínio metassedimentar é necessário considerar a influência da variação litológica para compreender as diferenças nos percentuais de amostras com ferro alto, entre as unidades: Serra de Jacobina, Chapada Diamantina, Espinhaço Setentrional e Faixa Araçuaí, diferentemente da análise anteriormente feita para o domínio sedimentar. Assim, com base no mapa da Figura 10, tem-se as seguintes considerações:

Na localização nordeste dos metassedimentos (cor creme), encontra-se a Serra de Jacobina. Aí ocorre alto percentual de poços com teores elevados de ferro (57,1%) em região de pluviosidade de 831 mm/ano. Nesta área ocorrem corpos máficos-ultramáficos encaixados nos quartzitos, pelo preenchimento de grandes falhamentos que afetaram a região. Os corpos máfico-ultramáficos são rochas menos resistentes ao intemperismo químico, impondo ao relevo o formato de vales, enquanto as encostas, bastante íngremes, são representadas pelos quartzitos coesos. Essa contraste topográfico é normalmente utilizado como critério de locação de poços nesta região. De modo geral, os poços são locados e perfurados nos vales, no contato dos quartzitos com as rochas máficas-ultramáficas. No Grupo Jacobina, com clima subúmido à seco, a locação dos poços em terreno favorável à presença de ferro, explicaria a grande quantidade de poços com altos teores de ferro.

Na faixa nordeste da Chapada Diamantina (cor marrom) o ferro pode resultar dos corpos intrusivos máficos (diques básicos) que cortam as unidades do Grupo Chapada Diamantina (Formações Tombador e Caboclo). Essa parte leste da Chapada Diamantina apresenta 46,5% dos poços com altos teores de ferro. Na área que compreende os municípios de Várzea Nova, Morro do Chapéu (691 mm/ano) e Bonito, o ferro alto está relacionada aos metassedimentos da Formação Caboclo, muito provavelmente, favorecida pelo tipo de aquífero poro-fissural presente nessa formação. Ainda no lado leste da Chapada nas áreas pertencentes aos municípios de Lençóis (1206 mm/ano), Palmeiras, Boninal e Seabra, as elevadas concentrações de ferro estão associadas aos sedimentos mais friáveis do Grupo Paraguaçu, um aquífero poro-fissural similar à Formação Caboclo. Nesta área da Chapada a excelente mobilidade do íon ferro nas condições de pH da água subterrânea (6,0 a 9,5) facilita que o mesmo alcance extensas áreas do aquífero, pelo movimento das águas nos poros e fraturas dos aquíferos fissurais. Quanto ao clima desta área, tem característica de subúmido à seco e semiárido.

Na faixa noroeste e sudeste da Chapada Diamantina (cor marrom), as concentrações de ferro alto na água subterrânea estão associadas aos basaltos, itabiritos e metarenitos ferruginosos do Grupo Rio dos Remédios. Na faixa noroeste, municípios de Ipupiara, Ibitiara (710 mm/ano), Paramirim (745 mm/ano), até o município de Rio de Contas, faixa de clima semiárido, o percentual de poços com ferro alto é de 38,1%; e na faixa sudeste, municípios de Mucugê (932 mm/ano) e Barra da Estiva (928 mm/ano), faixa de clima subúmido à seco, o percentual de poços com ferro alto é de 29%. Nesta área da Chapada é ainda mais fraca a correlação do percentual de poços com ferro alto e a pluviosidade. As diferenças dos percentuais entre as duas faixa deve estar associada à condição localizada dos corpos máficos e do tipo de aquífero de cada faixa.

No extremo sul dos metassedimentos (cor amarela), região que abrange os municípios de Cordeiros, Piripá, Cândido Sales (835 mm/ano), Encruzilhada (894 mm/ano), Itambé, Itapetinga e Macarani, região de clima subúmido à seco, 60% dos poços tubulares apresentam elevadas concentrações de ferro. O ferro aí presente pode estar vinculado a uma extensa faixa de xistos micáceos, intercalados de rochas calcossilicáticas, metarenitos e xistos grafitosos que compõem a Faixa Araçuaí; não mais pertencentes aos metassedimentos dos Grupos Espinhaço e Chapada Diamantina.

Na faixa oeste do Espinhaço Setentrional, 30% das amostras apresentam ferro alto nas águas subterrâneas. Nesta área estão os itabiritos da Formação Algodão, as rochas básicas e formações ferríferas do Grupo Oliveira dos Brejinhos, as formações ferro-mangnesíferas do Grupo São Marcos, os metarenitos ferruginosos do Grupo Santo Onofre e os diques e soleiras máficos intrusivos nos Grupos Oliveira dos Brejinhos, São Marcos e Santo Onofre. As principais concentrações de ferro nesse compartimento, de clima subúmido à seco, se estendem no sentido Norte-Sul nos municípios de Ibotirama (811 mm/ano), Oliveira dos Brejinhos, Boquirá, Paratinga, Macaúbas, Riacho de Santana, Igarorã (818 mm/ano), Caetitê (862 mm/ano), Licínio de Almeida, Jacaraci (890 mm/ano), até Mortugaba.

#### 4. CONCLUSÃO

Este artigo avaliou a distribuição espacial dos teores de ferro encontrados nas águas subterrâneas dos aquíferos sedimentares e metassedimentares do Estado da Bahia, utilizando poços perfurados pela CERB, no período 2003-2013, cuja vazão de teste foi  $\geq 1\text{m}^3/\text{h}$ , separados por duas categorias, teor de ferro abaixo e acima de 0,3 mg/l.

Dos 494 poços perfurados no domínio hidrogeológico sedimentar, 152 (30,8%) apresentaram teor de ferro superior à 0,3mg/l, distribuição espacial bem correlacionada com os atributos ambientais clima e pluviosidade. Quanto maior a faixa pluviométrica e a predominância do clima úmido, e úmido à subúmido, maior o percentual de poços com alto teor de ferro.

Dos 675 poços perfurados no domínio hidrogeológico das rochas metassedimentares, 227 (33,6%) apresentaram alto teor de ferro, num percentual maior do que no aquífero sedimentar, devido à presença de rochas máficas e ultramáficas neste domínio. Nos metassedimentos, com ocorrência de clima subúmido à seco, e semiárido, e médias de pluviosidade por porção do domínio razoavelmente próximas, a presença de rochas produtoras de ferro melhor explicaram os maiores percentuais de poços com ferro alto.

O entendimento de como o alto teor de ferro está espacializado nos aquíferos sedimentares e metassedimentares do Estado da Bahia, e sua correlação com os atributos ambientais, clima, pluviosidade e litologia é útil para a melhor prospecção deste recurso e esta informação tem sido incorporada pela CERB para melhor localização de poços tubulares.

## REFERÊNCIAS

- BRASIL – Ministério da Saúde. PORTARIA Nº 2.914, DE 12 DE DEZEMBRO DE 2011. Dispõe sobre o controle da qualidade da água para consumo humano. 2011.
- CARMO, J. C. C. Ferro na Água Subterrânea do Estado da Bahia: Uma avaliação preliminar dos fatores influentes na concentração. Dissertação de Mestrado, Mestrado em Engenharia Ambiental Urbana – MEAU, Escola Politécnica da Universidade Federal da Bahia, Salvador, 123p., 2016.
- CARMO, J. C. C., OLIVEIRA, I. B., OLIVEIRA, D. L. A presença de ferro na água subterrânea do estado da Bahia. In: Anais do XIII Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas, Belo Horizonte - MG, 2014.
- CARMO, J. C. C., OLIVEIRA, I. B. Uma avaliação preliminar da influência do clima e dos fraturamentos nos teores de ferro da água subterrânea no domínio das rochas cristalinas do estado da Bahia In: Anais do XIX Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas, Campinas - SP, 2016.
- CERB - Companhia de Engenharia Ambiental e Recursos Hídricos da Bahia. Dados hidrogeológicos de poços. Salvador: Divisão de Cadastro Hidrogeológico, 2014.
- CUSTÓDIO, E.; LLAMAS, M.R. Hidrologia subterrânea. Barcelona: Ediciones Omega, 1983.
- DEVLIN, T.M. Manual de bioquímica com correlações clínicas. 4 ed. São Paulo: Edgard Blücher Ltda., 1007 p., 1998.
- DI BERNARDO, L. Coagulação-floculação. São Carlos: Escola de Engenharia de São Carlos/Universidade de São Paulo, 129 p.,1992.
- FEITOSA, F.A.; FILHO, J.M. Hidrogeologia: conceitos e aplicações. Fortaleza: CPRM, 1997.
- GUERRA, A.M.; NEGRÃO F.I. Domínios hidrogeológicos do Estado da Bahia. In: Anais do Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas CABAS, Salvador, 1996.
- HACKETT, G.; LEHR, J.H. Ferro-bactérias em poços artesianos: ocorrência, problemas e métodos de controle. Caderno Técnico ABAS, São Paulo, p. 1-65. 1971.
- LEE, J.D. Química inorgânica não tão concisa. São Paulo: Edgard Blücher, 527 p., 1999.
- NASCIMENTO, S.A.M. Diagnóstico hidrogeológico, hidroquímico e da qualidade da água do aquífero freático do alto cristalino de Salvador-Bahia. Tese de Doutorado. Instituto de Geociências da Universidade Federal da Bahia. Salvador, 194 p., 2008.
- MENESES, M.A. Ferro-bactérias em Água Subterrânea: estudo de caso no Ceará. Dissertação de Mestrado, Universidade d São Paulo, SP, 1992.
- OLIVEIRA, D.A.; SCHMIDT, G.; FREITAS, D.M. Avaliação do teor de ferro em águas subterrâneas de alguns poços tubulares, no plano diretor de Palmas. In: Anais del Congreso Interamericano De Ingeniería Sanitaria Y Ambiental, San Juan, p.1-15, 2004.
- PICANÇO, F.E.L.; LOPES, E.C.S; SOUZA, E.L. Fatores responsáveis pela ocorrência de ferro em águas subterrâneas da região metropolitana de Belém/PA. In: Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas, São Paulo. 2002.
- PIVELI, R.P.; KATO, M.T. Qualidade das águas e poluição: aspectos físico-químicos. São Paulo: Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental. 285 p., 2005.
- RICHTER, C.A.; NETTO J. M. A. Tratamento de água: tecnologia atualizada. São Paulo: Edgard Blücher, 332 p.,1991.
- SIQUEIRA, L.F.S.; ROJAS, M.O.A.I.; COSTA NETO, J.J.G. Determinação espectrométrica de ferro (II) pelo sistema Fe (II)/KSCN em água do mar da praia do Calhau, São Luís, Maranhão (Brasil). Revista ACTA Tecnológica – Revista Científica, v.6, n.1, 34 p., 2011.
- APHA - American Public Health Association. Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. 20th Edition, Washington DC, 1998.
- YAMAN, M.; KAYA, G. Speciation of iron (II) and (III) by using solvent extraction and flame atomic absorption spectrometry. Analytica Chimica Acta, v.540, n.1, p.77-81, 2005.
- ZIMBRES, E. Química das águas. Universidade Estadual do Rio de Janeiro/RJ, 2002. Disponível em: <[www.meioambiente.pro.br/agua/quimica.htm](http://www.meioambiente.pro.br/agua/quimica.htm)>. Acesso em: 28 jun. 2016.