

HIDROQUÍMICA DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS NOS DOMÍNIOS AQUÍFEROS DO OESTE DO ESTADO DA BAHIA

Silva, Cristiane Neres¹; Silva, Denize Ribeiro da¹; Negrão, Francisco Inácio¹; Villar, Paulo Cesar
Carvalho Machado¹; Oliveira, Iara Brandão de²

Resumo

Este trabalho analisou a influência da geologia, através de litotipos dominantes; e, do fator climático – precipitação pluviométrica – no comportamento das águas subterrâneas do oeste do Estado da Bahia, para a composição de um mapa de domínios aquíferos. Para isso, foram analisados os principais parâmetros químicos como Ca^{+2} , Mg^{+2} , Na^+ , K^+ , CO_3^{-2} , HCO_3^- , SO_4^{-2} , Cl^- e parâmetros secundários como Fe^{+2} , NO_3^- numa amostragem de 248 (duzentos e quarenta e oito) poços tubulares, provenientes dos Bancos de Dados SIAGAS/SGB/CPRM e CERB, estabelecendo-se a caracterização hidroquímica e de qualidade de água para definição de cada domínio. Foi também elaborado um mapa de distribuição por tipos hidroquímicos representados em gráficos de Piper e Stiff. A partir das informações levantadas, foram definidos cinco domínios aquíferos: Cristalino; Metassedimentos Indivisos; Cárstico; Urucuia ou Sistema Aquífero Urucuia - SAU; e Coberturas Detríticas.

Palavras-Chave: Água Subterrânea, Hidroquímica, Qualidade.

Abstract

This paper analyzed the influence of geology, through dominant rock types, and climatic factors - rainfall - on the behavior of the groundwater from state of Bahia west side, for the composition of a map of aquifer domains. For this, were analyzed the major chemical parameters such as Ca^{+2} , Mg^{+2} , Na^+ , K^+ , CO_3^{-2} , HCO_3^- , SO_4^{-2} , Cl^- and other parameters such as Fe^{+2} , NO_3^- in a sample of 248 (two hundred and forty-eight) tubular wells from the Database SIAGAS / SGB / CPRM and CERB, establishing the hydrochemical characterization and water quality to define each domain. Also, was elaborated a distribution map for hydrochemical types using the graphical procedures from Piper and Stiff. From this basic principle were defined five aquifers domains: Crystalline; Metasediments Undivided; Karst; Urucuia or Urucuia Aquifer System - UAS and Detrital Covers.

¹ Serviço Geológico do Brasil – SGB/CPRM <Superintendência Regional de Salvador / tel.: (71) 2101-7300>

² Universidade Federal da Bahia – Escola Politécnica <Depto. de Engenharia Ambiental /tel.: (71) 3283-9795>

Keywords: Groundwater, Hydrochemistry, Quality.

1 – INTRODUÇÃO

Este trabalho tem como objetivo apresentar um estudo sobre a hidroquímica e a qualidade das águas subterrâneas nos domínios aquíferos do oeste do Estado da Bahia, localizados à margem esquerda do médio rio São Francisco (Figura 1).

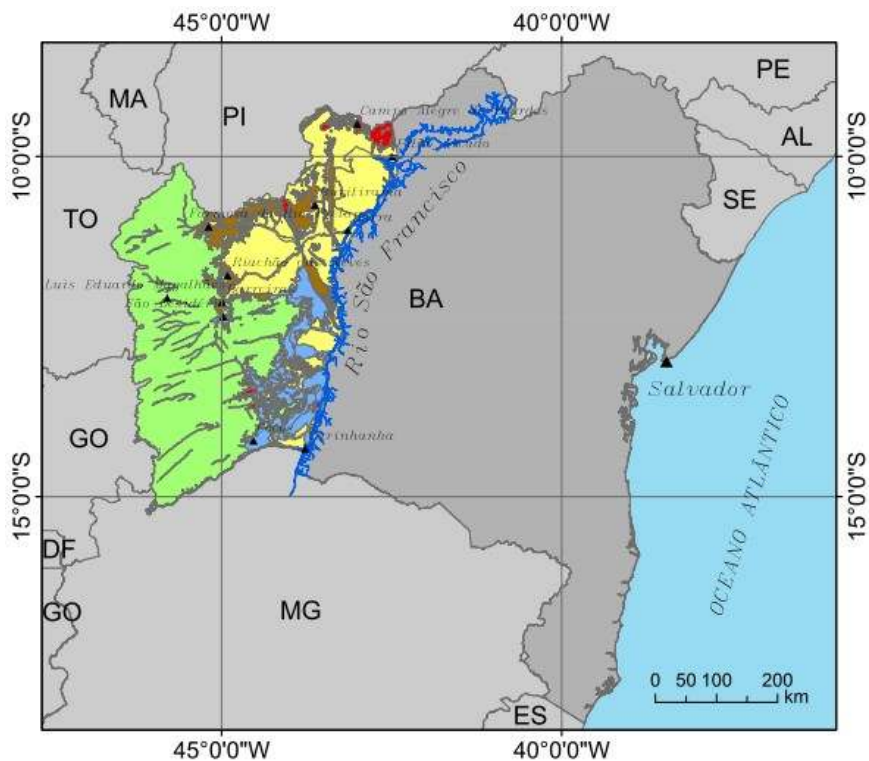


Figura 1. Localização da área de estudo.

Utilizando-se o fator geológico associado ao fator climático – precipitação – podem-se delimitar áreas de comportamento hidrogeológico semelhante, compondo-se um mapa com domínios distintos associados aos tipos litológicos e índices pluviométricos. Segundo Guerra e Negrão (1996[1]), cada domínio hidrogeológico, doravante domínio aquífero, caracteriza-se pela capacidade de produção de seus poços e pela qualidade natural de suas águas. Neste contexto foram identificados e delimitados na área de estudo cinco compartimentos.

Tradicionalmente, faz-se a classificação da qualidade química das águas subterrâneas através de diagramas colunares, triangulares e lineares, propostos na literatura, os quais descrevem a concentração relativa dos íons principais, (Ca^{+2} , Mg^{+2} , Na^+ , K^+ , CO_3^{-2} , HCO_3^- , SO_4^{-2} , Cl^-) e secundários (Fe^{+2} , NO_3^-). Tais diagramas servem para indicar a qualidade da água e identificar os

processos envolvidos na sua evolução hidroquímica no meio aquífero. Aqui foram utilizados os diagramas de Piper (1944[2]) e Stiff (1951[3]) apresentados na Figura 2.

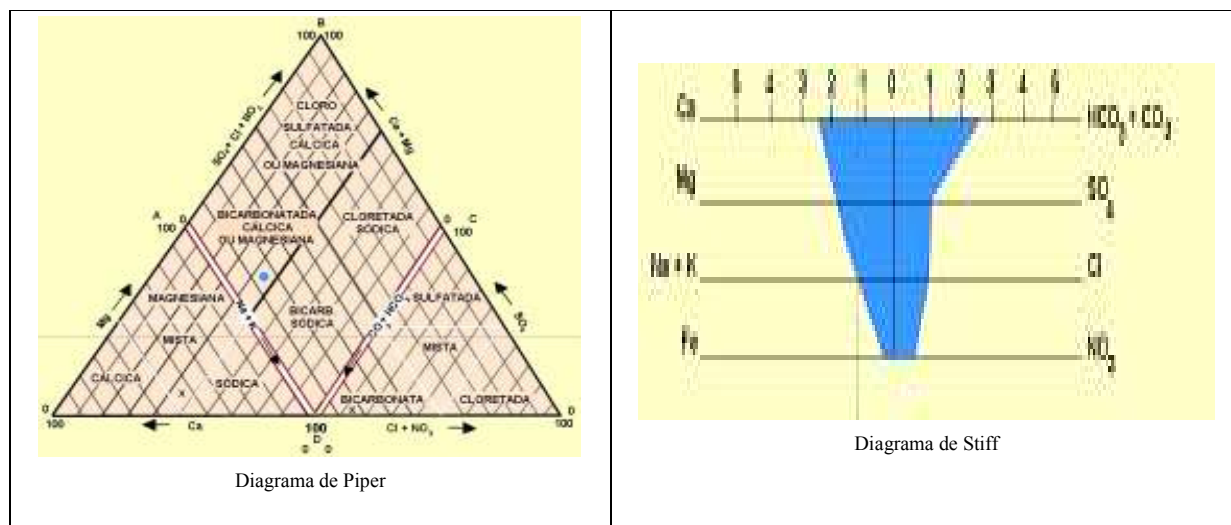


Figura 2. Diagramas de qualidade da água subterrânea tipo Piper (1944) e Stiff (1951).

Os diagramas são representações pontuais de cada amostra, ou de um conjunto de amostras, e, estão inseridos no mapa de domínios aquíferos do oeste do Estado da Bahia como forma preliminar de mapeamento da qualidade das águas desses aquíferos, sugerindo sua potencialidade e indicando sua potabilidade.

2 – ÁREA DE ESTUDO

Utilizando-se como princípio básico a subordinação das águas subterrâneas, em termos de qualidade e potencial, às condições geológicas e climáticas, foram observados cinco grandes compartimentos na porção oeste do Estado da Bahia, margem esquerda do médio rio São Francisco, perfazendo um total de 160.600 km².

A partir desse princípio básico foram definidos cinco Domínios Aquíferos: Cristalino; Metassedimentos Indivisos; Cárstico; Urucuia ou Sistema Aquífero Urucuia - SAU; e Coberturas Detríticas (Figura 3).

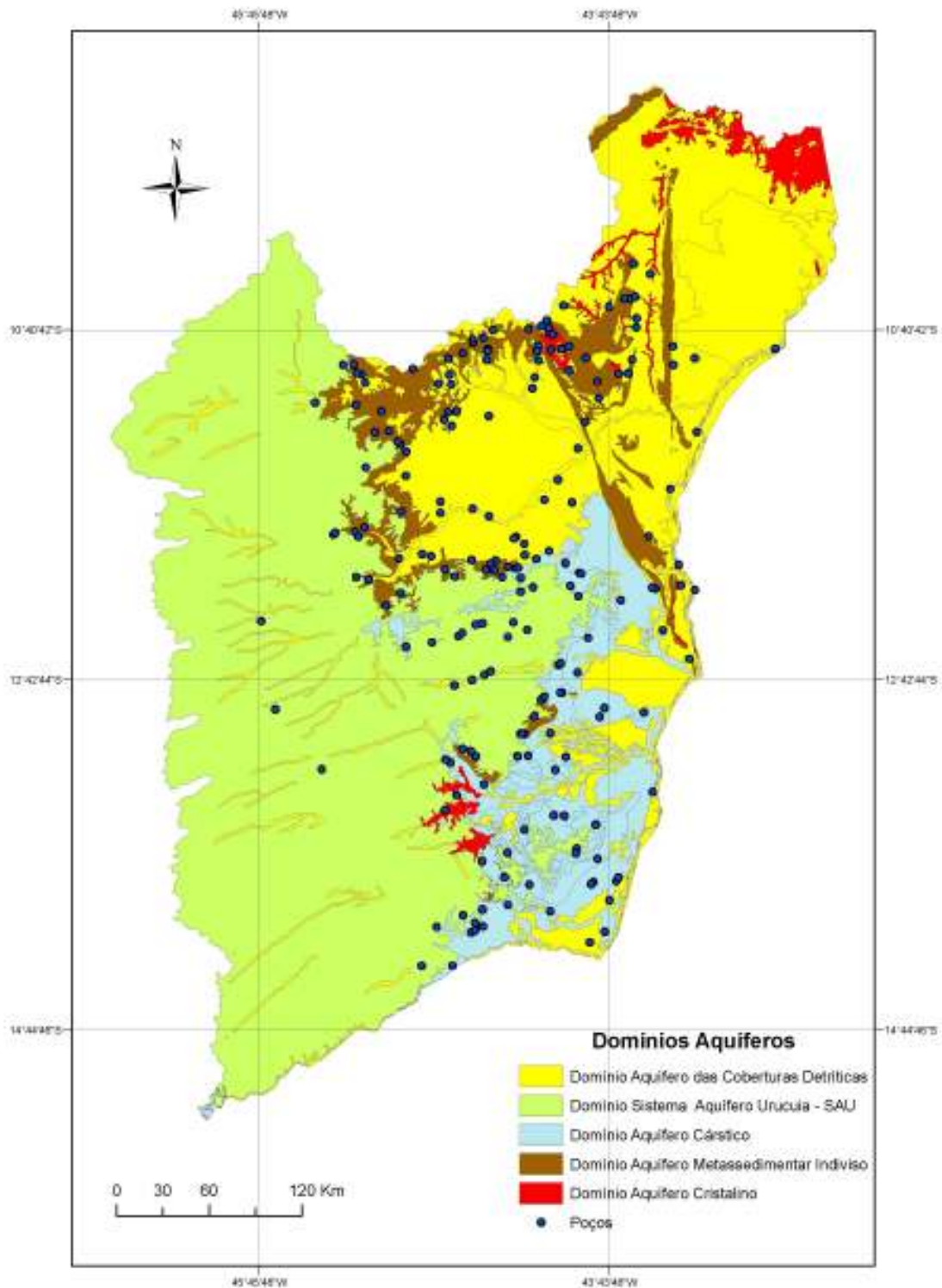


Figura 3. Domínios Aquíferos do Oeste do Estado da Bahia.

2.1 – Domínio Aquífero Cristalino

O Sistema Aquífero Cristalino ocupa na área de estudo 729,56 km², representando apenas 1% da área total. O aquífero cristalino é um complexo composto, essencialmente, por granitos gnaissicos, migmatitos, metavulcânicas, metaconglomerados e intrusivas, formando aquífero de

natureza fissural, tendo como característica fundamental sua baixa capacidade de armazenamento e o elevado índice de salinização de suas águas, especialmente quando submetidas a condições climáticas de precipitações pluviométricas inferiores a 800 mm/anuais.

Esse domínio é formado por aquíferos fissurais livres, de baixa permeabilidade, pouco profundos, cujas recargas se fazem preferencialmente e diretamente pelas precipitações pluviométricas que incidem sobre a área aflorante do aquífero.

O fluxo subterrâneo ocorre na rede de fraturas, obedecendo regionalmente às direções preferenciais de fendilhamento do corpo rochoso, com as descargas ocorrendo naturalmente através da rede de drenagem e pelas perdas por evapotranspiração. Este sistema aquífero na área de estudo ocupa uma pequena área, porém, em situação climática favorável, clima úmido, com pluviosidade acima de 800 mm/ano.

2.2 – Domínio Aquífero Metassedimentar Indiviso

O Aquífero Metassedimentar Indiviso é representado por rochas do tipo metarenitos, metassiltitos, metargilitos e litotipos metavulcânicos, ocupando aproximadamente 14.749,59 km² ou cerca de 9 % da área de estudo. Com características litológicas predominantemente quartizíticas, sua constituição litológica reflete-se diretamente em parâmetros tais como a alta densidade de fraturamento, resultando em aumento da permeabilidade, drenagem subterrânea e taxa de recarga.

A maior parte deste aquífero se insere em região com precipitações pluviométricas entre 700 e 1.100 mm/ano, onde as águas em geral são de baixa salinidade. Apesar da melhor condição de armazenamento, recarga e qualidade de água, suas reservas, são consideradas pequenas, mas, com capacidade para atender demandas de pequenas cidades, rebanhos e comunidades rurais dispersas.

2.3 – Domínio Aquífero Cárstico

Recobrimo aproximadamente 11% com 17.715,36 km², os aquíferos cársticos ou cárstico/fissurais são representados pelas rochas carbonatadas do Grupo Bambuí.

Os aquíferos cársticos se diferenciam basicamente dos aquíferos fissurais em decorrência da solubilidade dos calcários que possibilita a formação de formas subterrâneas de espaços vazios típicos como os canais e cavernas, bem como, em muitos casos, a ampliação da rede fissural. Assim tem-se neste tipo litológico a possibilidade de maior permo-porosidade, interferindo diretamente nas condições de recarga e armazenamento. O aquífero resultante é de natureza cárstico-fissural, de elevada heterogeneidade e anisotropia, e profundidade limitada.

Com referência a salinidade de suas águas, os calcários por serem rochas solúveis imprimem uma forte salinização às águas subterrâneas, com o teor de STD variando em função do índice pluviométrico e refletindo sempre a composição mineralógica da rocha.

Na área de estudo os aquíferos cársticos estão submetidos a regimes pluviométricos elevados, acima de 800 mm ano, refletindo-se na qualidade dessas águas em relação a outras regiões semiáridas do estado de pluviosidade mais baixa. Essas águas também possuem elevado teor de dureza, predominando, como principal componente, os bicarbonatos de cálcio e magnésio, obedecendo sempre a relação iônica dominante; para o grupo dos ânions, $\text{rHCO}_3 > \text{rCl} > \text{rSO}_4$ e para o grupo dos cátions $\text{rCa} > \text{rMg} > \text{rNa}$ (GUERRA, 1968[4]).

2.4 – Domínio Aquífero Urucuia ou Sistema Aquífero Urucuia – SAU

Segundo Gaspar (2006[5]), o Sistema Aquífero Urucuia – SAU ou, simplesmente, Urucuia, representa o principal manancial subterrâneo do oeste baiano. Sua importância estratégica remete-se, não somente pelas crescentes demandas de água, mas também pela sua função de regulador das vazões dos afluentes da margem esquerda do médio rio São Francisco; e pela alimentação de nascentes de tributários da margem direita do rio Tocantins, na borda ocidental da Serra Geral de Goiás.

Na área de estudo o Domínio Aquífero Urucuia com 79.328,50 km², aproximadamente 49% da área, é parte da Bacia Sedimentar do Urucuia que ocorre da divisa dos Estados da Bahia, Goiás e Tocantins e forma, com seus 80.000 km² de área, um grande Chapadão suavemente inclinado em direção ao Rio São Francisco.

Esse domínio é constituído essencialmente por arenitos finos a médios, de coloração avermelhada, com intercalação de siltitos e folhelhos, de idade Cretácea, que repousam sobre rochas pelito-carbonáticas do Grupo Bambuí e, eventualmente, sobre rochas do embasamento cristalino.

Toda região do Chapadão está submetida a um regime climático tropical quente e úmido com taxas pluviométricas variando entre as isoietas de 800 a 1.700 mm/ano, mantendo uma intensa rede de drenagem de padrão retilíneo que corre em direção ao Rio São Francisco, perenizada através da restituição subterrânea.

Segundo estudos realizados na bacia do Rio das Fêmeas a contribuição do fluxo de base para o fluxo total do rio é em média 91,33%, o que representa uma taxa de recarga da ordem de 20% da precipitação média (PIMENTEL et al., 2002[6]).

O sistema hídrico Urucuia, por sua qualidade e volume de águas subterrâneas armazenadas possui alto grau de importância ecológica, social e econômica, para a região Oeste da Bahia.

2.5 – Domínio Aquífero das Coberturas Detríticas

Cerca de 480.077 km², em torno de 30%, da área de estudo acha-se coberta por depósitos detríticos como areias de dunas e aluviões. São aquíferos que, em situações favoráveis, podem armazenar boa quantidade de água. Em geral são de espessuras reduzidas e, neste caso, se prestam

às captações do tipo artesanais como cacimbas, poços amazonas, poços ponteiras, poços com drenos radiais, trincheiras filtrantes, barragens subterrâneas, e outras.

Na área de estudo se encontram, também, as chamadas coberturas profundas e a Formação Vazantes representada por uma espessa camada detrítica depositada nas margens do São Francisco na qual se verifica o armazenamento de consideráveis quantidades de água subterrânea. As coberturas profundas, do ponto de vista geológico, não fazem parte das bacias sedimentares, mas se comportam hidrogeologicamente como aquíferos sedimentares, permitindo a captação através de poços tubulares convencionais.

De uma maneira geral as águas desses reservatórios são de boa qualidade química, embora devido à sua elevada porosidade e por serem aquíferos livres estejam em posição de vulnerabilidade média a alta.

3 – MATERIAIS E MÉTODOS

Foram analisados os mapas Geológico do Estado da Bahia na escala 1:1.000.000 e o de Isoietas da área de estudo. Para cada compartimento foi gerado um mapa representativo como base para a classificação preliminar dos tipos hidroquímicos e qualidade das águas subterrâneas. Foi utilizado o programa Arcview 10 para a delimitação das áreas representadas pelos litotipos dominantes e espacialização dos poços cadastrados nos bancos de dados SIAGAS/SGB/CPRM e Companhia de Engenharia Ambiental e Recursos Hídricos da Bahia – CERB. Os diagramas de Piper e Stiff foram gerados através do *Software Qualigraf* (2009[7]) para a determinação dos tipos hidroquímicos e qualidade das águas subterrâneas balizados por cada compartimento.

Foram coletadas as informações relativas aos cátions e ânions maiores de cada análise química das águas dos poços tubulares referentes. Alguns critérios prévios para a consistência de seleção da amostra dos poços representativos de cada domínio foram fixados: (i) dados com elementos maiores incompletos, abaixo do Limite de Detecção do Método – LDM foram completados com valores de metade do LDM, apresentado no laudo da análise conforme recomendação de HELSEL (2005[8]) para dados censurados; e (ii) poços com menos de 50% da informação relativa à cátions e ânions, foram excluídos. Após este procedimento, estabeleceu-se uma base de dados contendo 248 (duzentos e quarenta e oito) poços tubulares selecionados.

Os dados consistidos foram tabelados e subdivididos por domínios, através do *Microsoft Office Excel* – editor de planilhas – e transferidos para o programa *Qualigraf*, onde se processou os gráficos de Piper e Stiff. Com esses diagramas foram determinados, além dos tipos hidroquímicos outro parâmetro hidrogeológico importante que é o caminho do fluxo da água subterrânea no aquífero, conforme Custodio e Llhamas (1985[9]):





4 – RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 – Qualidade das Águas do Domínio Aquífero Cristalino

Da análise da amostra de 58 (cinquenta e oito) poços neste domínio o diagrama de Piper mostra que as amostras são do tipo bicarbonatada cálcica ou magnésiana e sulfatada ou cloretada cálcica ou magnésiana, denotando baixa influência da composição química do reservatório cristalino e uma evolução normal das águas subterrâneas no aquífero. Os diagramas de Stiff mostram, também, que os poços exclusivamente associados aos terrenos cristalinos possuem maior carga de material dissolvido (Figura 4).

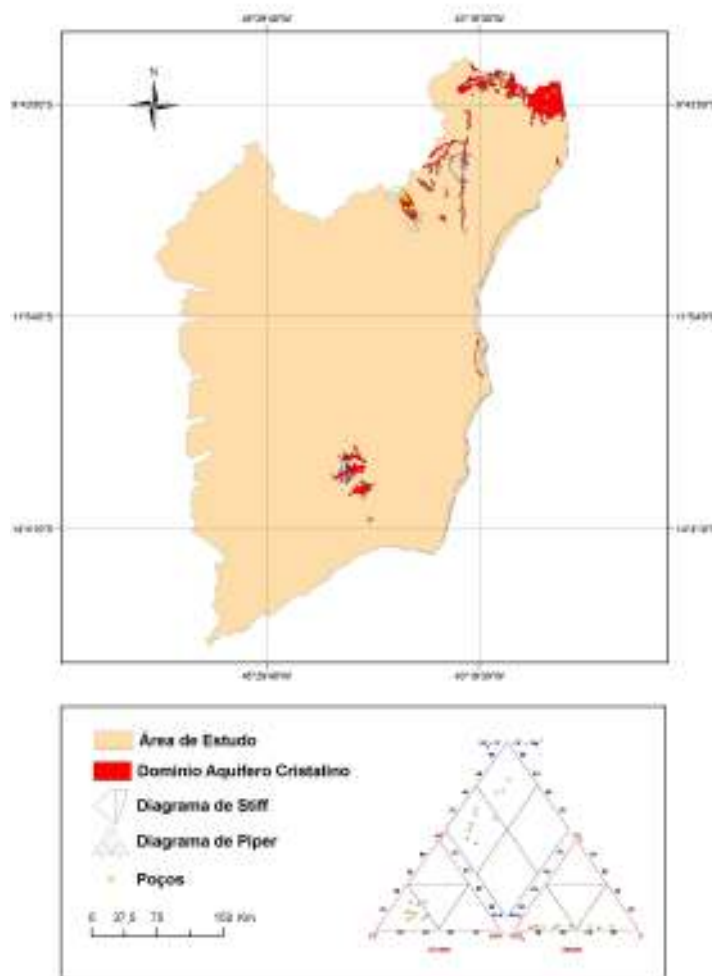


Figura 4. Qualidade Química/Domínio Aquífero Cristalino.

4.2 – Domínio Aquífero dos Metassedimentos Indivisos

Analisados 58 (cinquenta e oito) poços neste domínio, através dos resultados obtidos pelo diagrama de Piper, tem-se que a grande maioria das amostras classificadas como bicarbonatada

cálcica ou magnésiana sulfatadas ou cloretada cálcica ou magnésiana e bicarbonatada sódica denotam a influência da composição química do reservatório metassedimentar na evolução das águas deste domínio, devido à grande variedade litológica. Os diagramas de Stiff mostram, também que os poços exclusivamente associados aos terrenos metassedimentares indivisos possuem maior carga de material dissolvido e, conseqüentemente, melhor qualidade química de suas águas do que as águas dos aquíferos do Embasamento Cristalino (Figura 5).

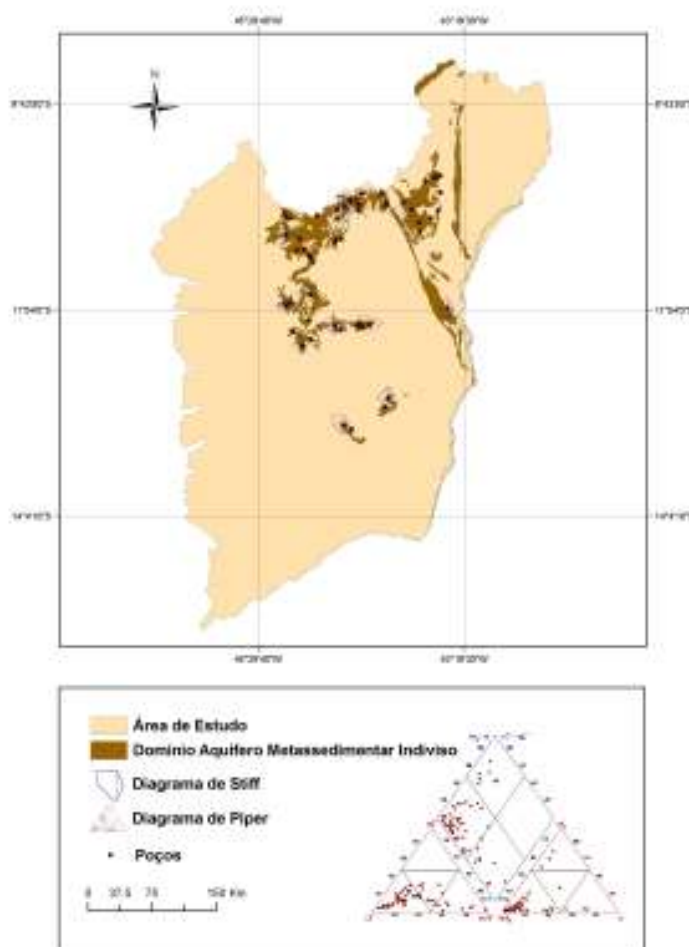


Figura 5. Qualidade Química/Domínio Aquífero dos Metassedimentos Indivisos.

4.3 – Domínio Aquífero Cárstico

De 55 (cinquenta e cinco) poços analisados neste domínio, os resultados representados no diagrama de Piper mostram que a grande maioria das amostras classificadas como bicarbonatada cálcica ou magnésiana e bicarbonatada sódica denotam a grande influência da composição química do reservatório cárstico na evolução das águas deste domínio. Os diagramas de Stiff, também mostram que os poços exclusivamente associados aos terrenos calcários possuem maior carga de material dissolvido (Figura 6).

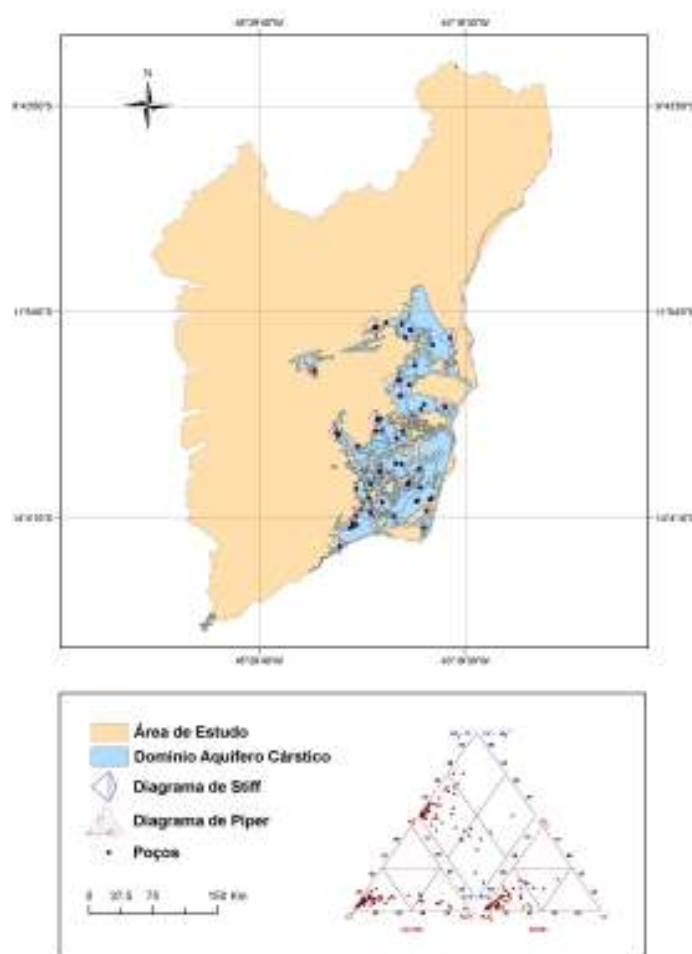


Figura 6. Qualidade Química/Domínio Aquífero Cárstico.

4.4 – Domínio Aquífero Urucuia ou Sistema Aquífero Urucuia – SAU

De 27 (vinte e sete) poços analisados neste domínio, os resultados representados no diagrama de Piper mostram que a grande maioria das amostras classificadas como bicarbonatada cálcica ou magnésiana e quatro amostras do tipo bicarbonatada sódica denotam a grande influência da alta pluviosidade na evolução das águas deste domínio. Os diagramas de Stiff, mostram que os poços, exclusivamente, associados aos terrenos do Urucuia possuem menor carga de material dissolvido, e que a evolução do fluxo subterrâneo parece dar-se de norte para nordeste e de sul para sudeste, ou seja de oeste para leste (Figura 7).

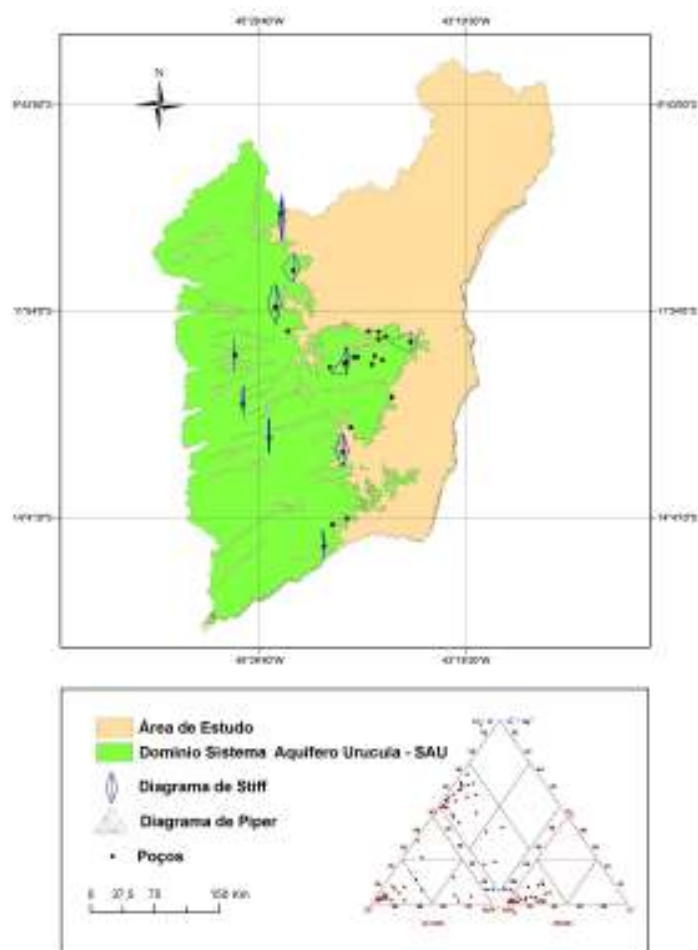


Figura 7. Qualidade Química/Domínio Aquífero Urucua – SAU.

4.5 – Qualidade das Águas do Domínio das Coberturas Detríticas

Da análise de 50 (cinquenta) poços neste domínio, o diagrama de Piper mostra que a maioria das amostras é bicarbonatada cálcica ou magnésiana, possivelmente, pela influência da pluviosidade. As águas sulfatadas ou cloretadas cálcicas denotam que estão em plena evolução no aquífero, com pequena representação de águas do tipo sulfatada ou cloretada sódica. Os diagramas de Stiff mostram que, em geral, os poços associados aos terrenos das coberturas detríticas possuem menor carga de material dissolvido (Figura 8).

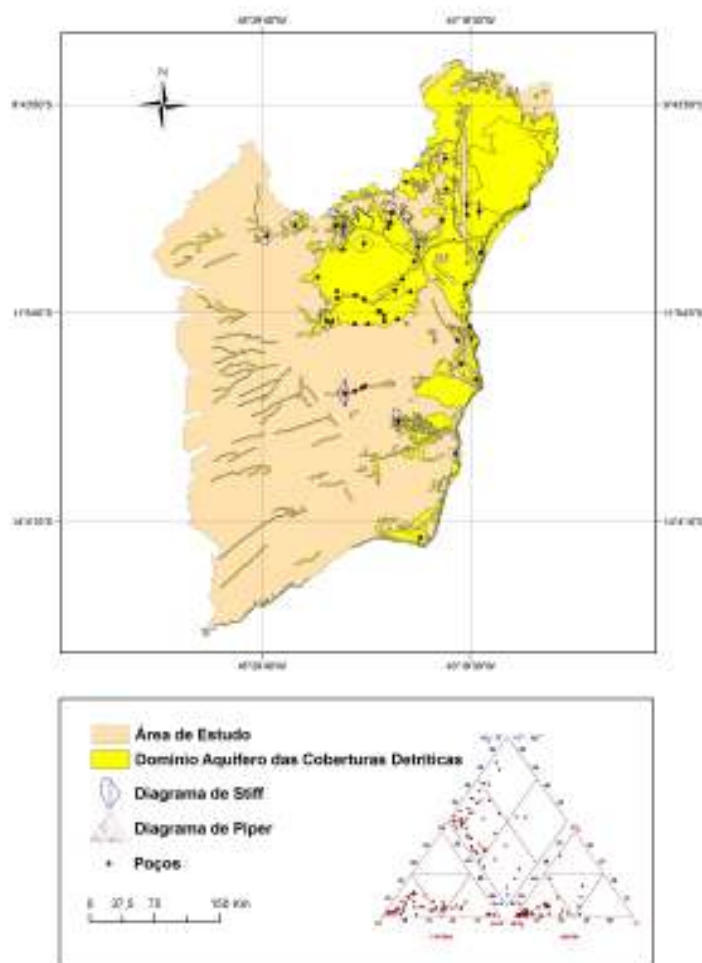


Figura 8 – Qualidade Química/Domínio Aquífero das Coberturas Detríticas.

4 – CONCLUSÕES

Analisando o comportamento das águas subterrâneas na área de estudo, associando-se a geologia e as precipitações pluviométricas encontraram-se 5 (cinco) domínios aquíferos representados por Coberturas Detríticas; Sedimentos do Urucuia ou Sistema Aquífero Urucuia – SAU; Calcários do Grupo Bambuí – Cárstico, Metassedimentos Indivisos; e Embasamento Cristalino da Bacia Sanfranciscana.

Nos domínios das coberturas detríticas e do Urucuia/SAU predominam amostras bicarbonatada cálcica ou magnesiânica, possivelmente por influência da pluviosidade, com poços, em geral, apresentando menor carga de material dissolvido. No Domínio da Urucuia/SAU a evolução do fluxo subterrâneo parece dar-se de norte para nordeste e de sul para sudeste.

Os domínios nos quais se notou a grande influência da composição química do reservatório na evolução de suas águas e apresentando maior carga de material dissolvido foram: o domínio Cárstico, onde a grande maioria das amostras são classificadas como bicarbonatada cálcica ou magnesiânica e bicarbonatada sódica; o domínio dos Metassedimentos Indivisos, onde a grande

maioria das amostras são classificadas como bicarbonatada cálcica ou magnésiana sulfatadas ou cloretada cálcica ou magnésiana e bicarbonatada sódica, denotando a influência da grande variedade litológica dos metassedimentos na evolução das dessas águas; e o domínio Cristalino, onde as amostras são classificadas como bicarbonatada cálcica ou magnésiana e sulfatada ou cloretada cálcica ou magnésiana denotando uma evolução normal das águas subterrâneas no aquífero.

Em todos os domínios encontram-se amostras que fogem ao padrão normal de enriquecimento de material dissolvido, possivelmente, por serem tais amostras provenientes de domínios aquíferos sotopostos.

5 – REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

CUSTODIO, E.; LLAMAS, M. R. **Hidrologia Subterrânea**. Barcelona: Ediciones Omega S.A., 1976, v. 2, 1157 p.

GASPAR, M.T.P. **Sistema Aquífero Urucuia: Caracterização Regional e Propostas de Gestão**. 2006. 158 f. Tese (Doutorado), Instituto de Geociências, Universidade de Brasília, Brasília. 2006.

GUERRA, A. M. **Processos de carstificação e hidrogeologia do Grupo Bambuí na região de Irecê-Bahia**. 1968. 132 f. Tese (Doutorado) - Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo.

GUERRA, A. M. e NEGRÃO F. I. Domínios Hidrogeológicos do Estado da Bahia. **In: IX Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas**, Salvador, Bahia. 1996.

HELSEL, D. R. **Non detects and data analysis: Statistics for censored environmental data**. New York: Wiley, 2005. 250 p.

MOBUS, G. **Programa para Análise da Qualidade da Água – QUALIGRAF**. Disponível em: <http://www.funceme.br/index.php/software/qualigraf>. Acesso em 20 de fevereiro de 2014.

PIMENTEL, A. L.; AQUINO, R. F. SILVA, R. C. A.; VIEIRA, C. M. B. Estimativa da recarga do aquífero Urucuia na sub-bacia do rio das Fêmeas – Oeste da Bahia, utilizando separação de hidrogramas. **In: Congresso sobre Aproveitamentos e Gestão de Recursos Hídricos em Países de Idioma Português**, 2000, CD-ROM.

PIPER, A. M. A graphic procedure in the geochemical interpretation of water analyses. **American Geophysics Union**. 1944, v. 25, pp 914 – 923.

STIFF, H. A. Jr. The interpretation of chemical water analysis by means of patterns. **Journal Petroleum Technology**. 1951, v. 3, n. 10, pp15 – 17.