

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO  
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS

HIDROGEOQUÍMICA DO BÁRIO NOS AQUÍFEROS MARÍLIA E ADAMANTINA NO  
MUNICÍPIO DE GÁLIA - SP

Ana Paula de Jesus Rios

Orientador: Prof. Dr. Reginaldo Antonio Bertolo

Co-orientadora: Geól. Tatiana Luiz dos Santos Tavares

MONOGRAFIA DE TRABALHO DE FORMATURA  
(TF-2013 / 02)

SÃO PAULO

2013

“Is all that we see or seem  
But a dream within a dream?” -

Edgar Allan Poe

## Agradecimentos

Primeiramente gostaria de agradecer a minha família, por ter me suportado em tudo, e me colocando de castigo até eu escrever esse texto completo. Mãe, Pai eu amo vocês. Gostaria agradecer a minha irmã também, tão iguais e tão diferentes ao mesmo tempo.

Gostaria também de agradecer o Professor Dr. Reginaldo Bertolo, pela paciência, ajuda e perseverança. E também a Tatiana Tavares, por ter me aguentado e por ter toda paciência do mundo comigo. Obrigada Tati, pelo seu Carinho.

Gostaria de agradecer também ao amor da minha vida, meu gato, whikki. Que estava louco para me ajudar a escrever sentando no teclado. E ao Higor também, porque 7 anos me aguentando não é fácil, e porque ele tem ciúme do Whikki. Amor, te amo. (Aayla, eu não esqueci de você me atrapalhando o tempo todo).

Quero agradecer também o pessoal do LAMO, que tanto me ajudou, seja nos estudos, seja na hora da risada.

Arthur não é fácil me aguentar por 5 anos, e guenta aí que tem muito mais. Igor, minha mãe substituta, muito obrigado por me fazer rir e contar dragões antes de dormir. Guilherme, ainda vou te pagar as duas brejas. Danilo (e sua sinceridade absoluta), Gustavo s2, Angélica, Lina, Daniel, Mayko, Eduardo, Bleider, o banco em geral, e muitos outros que talvez eu tenha esquecido (perdoem-me!) muito obrigada por tudo. Sério, de verdade. Obrigado também a todo o pessoal do IGc, que me ajudou muito.

As minha duas irmãs de sampa – Paty e Bruna, com seus respectivos, muito obrigada pelo carinho e apoio, pelas risadas fora de hora e conversas depois da meia noite. A minha irmã de Matão – Mial, a distância é um detalhe para a amizade verdadeira.

Tia T., Isa, muito obrigado pelo apoio de sempre, estou morrendo de saudade. Obrigada também aos meus amigos de Matão, aquela cidade no meio do nada – Fel, Aline, Koji, Guilherme, Vilma e Cidinho, Nat, Márcio, e muitos outros que me falha a memória agora.

Gostaria na verdade de agradecer a todos que acreditaram em mim, dizendo que eu iria terminar o trabalho, quando eu mesma achava que não. E dedico a todos que nestes 5 anos, me disseram várias vezes que eu nunca seria geóloga. Ha.

## SUMÁRIO

RESUMO	VI
ABSTRACT	VIII
I. INTRODUÇÃO	1
II. OBJETIVOS	1
III. LEVANTAMENTO BIBLIOGRÁFICO	1
III.1. Hidrogeoquímica do Bário	1
III.2. Área de estudo	6
IV. MATERIAIS E MÉTODOS	8
IV.1. Revisão Bibliográfica	8
IV.2. Análises Químicas e Mineralógicas em Amostras de Solo e Rocha	9
IV.2.1. Seleção de amostras para análises	10
IV.3. Coleta de Amostras de Água	12
IV.3.1. Coleta de Amostras de Água Subterrânea	12
IV.4. Análises Químicas de Água	13
V. RESULTADOS	13
V.1. Amostras de Solo	13
V.2. Amostras de Água	13
VI. INTERPRETAÇÃO	18
VI.1. Discussão da Geologia Regional	18
VI.2. Amostras de Solo	20
VI.2.1. Análises Macroscópicas	20
VI.2.2. Separação Granulométrica / Pesados (SG/P)	20
VI.2.3. Análises Mineralógicas por Microscopia Óptica (M. Ópt.)	21
VI.2.3.1. Rocha Total	21
VI.2.3.2. Pesados	21
VI.2.4. Análises Mineralógicas por Difração de Raios X (DRX)	22
VI.2.5. Análises Químicas por Fluorescência de Raios X (FRX)	22
VI.2.6. Análises Químicas por ICP-OES (Extração pelo Método USEPA)	24
VI.2.7. Análises Químicas por ICP-OES (Método USEPA 3050 / Extração Total)	25
VI.2.8. Análises de Cátions Adsorvidos, CTC e pH	25
VI.2.9. Extração Sequencial (ES - Fracionamento)	26
VI.2.10. Análises Químicas em Microscópio Eletrônico de Varredura (MEV)	27
VI.3. Amostras de Água	28

VI.3.1. Composição das amostras	28
VI.3.2. Variação Química dos Aquíferos	32
VI.3.3. Hidrogeoquímica dos Elementos Maiores	33
VI.3.4. Hidrogeoquímica do Bário	33
VII. DISCUSSÃO HIDROGEOQUÍMICA	35
VIII. CONCLUSÃO	36
IX. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	38
ANEXO I – PERFIS CONSTRUÍDOS	40
ANEXO II – RESULTADO DAS ANÁLISES QUÍMICAS E MINERALÓGICAS	44

## LISTA DE FIGURAS

Figura III.1: Diagramas Eh-pH para os sistemas Ba-O-H (TAKENO, 2005 apud Tavares, 2011) e Ba-S-OH-C (BROOKINS, 1987 apud Tavares, 2011).....	3
Figura III.2: Fontes antrópicas associadas com a presença de bário em aquíferos do Estado de São Paulo. (Fonte: Base de dados de áreas contaminadas da CETESB, Total de 38 fontes cadastradas apud Tavares, 2011). .....	4
Figura III.3: Mapa geológico do Estado de São Paulo (CPRM, 2006) (extraído de Bertolo, 2013).....	6
Figura IV.1: Fluxograma das análises químicas e mineralógicas das amostras de solo/rocha .....	9
Figura VI.1: Seção colunar 0-100m - Gália .....	19
Figura VI.2: Concentração de Bário (FRX) - Gália .....	23
Figura VI.3: Concentração de Bário (ICP-OES) nas amostras de Gália .....	24
Figura VI.4: Análises das amostras de solo de Gália – ICP - Frações .....	25
Figura VI.5: Porcentagem de extração de Ba em cada fração de extração (Troc – Trocável; Carb – Carbonatos; MO – Matéria Orgânica; Oxi – Óxidos de Al, Fe e Mn e Res – Residual).....	27
Figura VI.6: Tipos hidroquímicos das amostras .....	28
Figura VI.7: Tipos hidroquímicos das amostras dos poços de monitoramento de Gália (extraído de Bertolo, 2013).....	29
Figura VI.8: Composição química representada em gráficos Stiff das amostras dos PM 01, PM 02 e PM 03 .....	30
Figura VI.9:Composição química representada em gráficos Stiff das amostras coletadas no Córrego e Lagoa .....	31
Figura VI.10: Tipos hidroquímicos das amostras do teste de bombeamento de Gália .....	31
Figura VI.11: Composição química representada em gráficos Stiff das amostras das amostras do teste de bombeamento .....	32

## LISTA DE TABELAS

Tabela III.1 Caracterização Clássica das unidades litoestratigráficas do Grupo Bauru (extraída de Paula e Silva, 2003) .....	7
Tabela IV.1: Análises realizadas nas amostras de solo de Gália .....	10
Tabela IV.2 Metodologia das análises das amostras de solo .....	11
Tabela IV.3: Características construtivas dos poços de monitoramento instalados.....	12
Tabela IV.4: Amostras coletadas e análises realizadas nas amostras de Gália .....	13
Tabela IV.5: Metodologia das análises das amostras de água.....	13
Tabela V.1: Resultado das análises químicas das amostras de água.....	15
Tabela V.2: Resultado das análises químicas das amostras de água (cont.).....	16
Tabela V.3: Parâmetros Físico químicos das amostras de água de Gália.....	17
Tabela VI.1: Resultados das análises granulométricas das amostras de rocha/solo.....	21
Tabela VI.2: Resultados da difração de raio X (DRX) das amostras de rocha/solo. ....	22
Tabela VI.3: Matriz de Correlação dos dados de FRX .....	24
Tabela VI.4: Matriz de Correlação dos resultados das análises de fertilidade, associada aos valores de Ba das análises de ICP e FRX.....	26
Tabela VI.5: Matriz de correlação das microanálises EDS/WDS.....	28
Tabela VI.6: Matriz de correlação dos parâmetros obtidos nas amostras de água de Gália.34	
Tabela VII.1: Índices de saturação.....	36

## RESUMO

Ao longo dos anos, a preocupação com a qualidade das águas subterrâneas tem aumentado consideravelmente, levando em conta que mais 70% das fontes de abastecimento público do Estado de São Paulo são de origem subterrânea. Devido a este aumento, aumentaram-se também os estudos, e recentemente foram detectadas anomalias de bário em aquíferos do Estado de São Paulo. Para estudar essas anomalias foi realizado um projeto de auxílio a pesquisa financiado pelo CNPq (Processo 577561/2008-1). A importância deste estudo se dá não apenas pela escassez de trabalhos escritos, como também pela toxicidade do elemento com relação a saúde humana.

Este estudo visa compreender o comportamento hidrogeoquímico do bário na região da cidade Gália, nos aquíferos Marília e Adamantina. Os dados aqui utilizados foram adquiridos em etapas anteriores, e foi feita a organização e interpretação destes resultados.

Foi realizada uma ampla revisão bibliográfica, de pesquisas nacionais como internacionais, não apenas do elemento bário, mas também sobre a geologia da área de estudo. Os dados foram processados em programas estatísticos como o AquaChem, para confecção de matrizes de correlação e diagramas do tipo Piper e Stiff. Também foram construídos seções colunares do poço de monitoramento para maior compreensão da geologia da área estudada.

A área de estudo é composta pelas formações Marília e Adamantina. A Formação Adamantina é composta por depósitos arenosos com finning upward, que terminam em pelitos, com uma granulação muito fina a fina, com estratificação cruzada intercalada com bancos pelíticos. A formação Marília é composta por arenitos grossos a conglomeráticos, com forte cimentação carbonática, com teores variáveis de matriz, ricos em feldspatos, minerais pesados e minerais instáveis, com camadas descontínuas de lamitos e calcários.

A ocorrência de bário em aquíferos pode ser de origem antropogênica ou natural. No caso de origem natural, pode ocorrer na forma de minerais com o elemento (como a barita ( $BaSO_4$ ) ou a witherita ( $BaCO_3$ ) ou substituindo outro elemento, como na troca do cálcio pelo bário na calcita ( $CaCO_3$ )) e adsorvido em ligações fracas na superfície de outros minerais.

Foram analisadas amostras de solo e de água. As amostras foram analisadas em parâmetros mineralógicos (amostras de solo) e químicos. A análise das amostras de água mostraram que a composição é de Ca-Mg-HCO<sub>3</sub>, e possui um teor de nitrato dentro dos padrões. Com estas análises foi possível determinar a origem da anomalia, sendo esta natural.

As amostras de solo mostraram a relação do bário com os minerais presentes no solo: ele aparece principalmente adsorvido em argilo minerais e presente na cimentação carbonática. Através da análise dos índices de saturação dos minerais, foi visto que a barita

está em equilíbrio, assim como a calcita. Portanto, a fonte mais provável de Ba é a cimentação carbonática, enquanto o agente controlador de bário na água seja a barita.

## ABSTRACT

Since a few decades ago, there was an increase worry about subterranean water quality, because more than 70% of the cities of the State of São Paulo depends on subterranean water. Then, there was an increase of studies of the water quality. Recently, has been detected barium anomalies in aquifers in the State of São Paulo. Because of this anomalies, a project was created, the project to help research, sponsored by CNPq (Process number 577561/2008-1). This work is important not only because there are not much studies about the subject but also because of the toxicity of the element barium on human's health.

This work pretends to understand the behavior of the element barium in the city Gália, in the aquifers Marília and Adamantina. The data used in this work was previously collected in early stages of this project, and was done an organization and interpretation of this data.

A major research was made, studying international and national papers, not only about the element barium but also, for the geology of the studied area. The data was processed in statistic software's like AquaChem, to create correlation matrixes and diagrams of the kind Piper and Stiff. In addition, column sessions of a monitoring well were created to understand the geology of the studied area.

The geology of the studied area is composed by the Adamantina and Marília formations. The Adamantina formations is composed of sand deposits with finning upward, that ends in pelites, with crossed stratification intercalated with pelites lens. The Marília formations is composed by thick sandstone and conglomerates, with strong carbonatic cementation, rich in feldspars, heavy minerals and unstable minerals, with discontinued layers of lamites and limestone.

The occurrence of barium in aquifers might be antropogenic or natural. In case of natural occurrence, it may appear in minerals with the element (like barite ( $\text{BaSO}_4$ ) and witherite ( $\text{BaCO}_3$ ) or replacing other element, like the trade of calcium for barium in calcite ( $\text{CaCO}_3$ )), or adsorbed in weak links in the surface of minerals.

Samples of soil and water were analyzed for mineralogical (soil) and chemistry data. The analysis of water samples showed that the composition is  $\text{Ca-MgHCO}_3$ , and the nitrate amount is within the standard. With this was possible to determinate the source of the anomaly, that in this case is natural.

The soil samples showed the relation between the element barium with the minerals in the soil: it appears adsorbed in clay minerals and also appears in the carbonatic cementation. The analysis of the saturation index of the minerals was possible to realize that the barite is in equilibrium, and so is the calcite. So the most likely source of the barium is the carbonate cementation, and the barite control agent of the barium in water.

## **I. INTRODUÇÃO**

Nos últimos anos, o uso de águas subterrâneas tem aumentado exponencialmente e é responsável por uma grande parcela do abastecimento público, especialmente em regiões metropolitanas. Como exemplo 71,6% dos municípios são abastecidos total ou parcialmente com águas subterrâneas, no estado de São Paulo (Silva *et al.*, 1998).

A CETESB, órgão responsável pela qualidade das águas no estado de São Paulo, vem detectando ao longo dos anos, através de um programa de monitoramento, concentrações anômalas de bário em poços de abastecimento do Sistema Aquífero Bauru, com casos de ocorrências de teores acima do limite de potabilidade (0,7 mg/l).

Partindo deste cenário, este trabalho de formatura está vinculado a um projeto de auxílio à pesquisa financiado pelo CNPq (Processo 577561/2008-1), que visa identificar o padrão de comportamento das concentrações de bário nas águas subterrâneas rasas e profundas de diferentes aquíferos no Estado de São Paulo e identificar se a origem do bário na água é natural ou antrópica.

## **II. OBJETIVOS**

O objetivo do presente trabalho é a caracterização do comportamento hidrogeoquímico do bário presente nos aquíferos Marília e Adamantina, na localidade do município de Gália, no estado de São Paulo. A análise foi realizada a partir de dados resultantes de amostras coletadas e analisadas em etapas anteriores do projeto de auxílio à pesquisa e de um doutorado em andamento: dados de análises químicas e mineralógicas de rocha e de análises químicas de água subterrânea.

## **III. LEVANTAMENTO BIBLIOGRÁFICO**

### **III.1. Hidrogeoquímica do Bário**

O Bário é um metal alcalino-terroso, representado pelo símbolo Ba, número atômico 56, e massa atômica de 137 u. Na temperatura ambiente encontra-se no estado sólido: possui uma estrutura cúbica, com dureza aproximada 1,25. É quimicamente similar ao magnésio, cálcio e estrôncio, porém mais reativo.

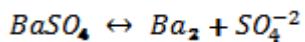
É um elemento relativamente abundante na crosta terrestre (0,0425%) e aparece nas águas oceânicas como elemento traço (13 µg/L). Na natureza, é estável no estado bivalente, principalmente em complexos inorgânicos.

Devido a sua alta reatividade, não é encontrado livre na natureza, sendo as formas mais comuns de ocorrência a barita ( $\text{BaSO}_4$ ) e a witherita ( $\text{BaCO}_3$ ). A barita ocorre normalmente na forma de veios e cavidades, em lentes e concreções. É um mineral comumente presente em carbonatitos que contém estrôncio (Sr) como elemento maior ou menor. O bário também ocorre usualmente como elemento traço em minerais silicáticos, como feldspatos (potássico e plagioclásio), micas, piroxênios (augita) e hornblenda, bem como em minerais não silicatados como calcita, apatita e baritocalcita.

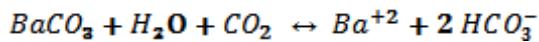
Seu raio iônico e sua valência permitem substituições isomórficas com Sr e K (Kabata-Pendias & Pendias 2001 *apud* Lech & Caritat, 2007). Substitui o  $\text{K}^+$  em feldspatos potássicos e biotitas, e o  $\text{Ca}^{+2}$  nos plagioclásios, inossilicatos, calcita e apatita. Sua ocorrência natural é decorrente do intemperismo e erosão de depósitos naturais, como os veios de barita; ocorre também em quantidades-traço em rochas ígneas e sedimentares.

No solo, as concentrações naturais de bário variam entre 100 e 3000 mg/kg, sendo a média de 500 mg/kg (Koljonen, 1992 *apud* Tavares, 2011).

Nas águas superficiais, ocorre naturalmente e sua concentração depende do teor de bário lixiviado das rochas; sendo que a água potável contém de 10-100  $\mu\text{g/L}$ . Em condições naturais, o bário não ocorre em teores maiores que 1 mg/L, devido a sua dissolução ser limitada pela baixa solubilidade dos minerais barita e witherita (Ball & Nordstrom, 1991 *apud* Tavares, 2011; Gilkeson *et al.*, 1983 *apud* Kelly, 2008).



Equação I: Equação de equilíbrio de solubilidade da barita



Equação II: Equação de equilíbrio de solubilidade da whiterita

Portanto, se encontra em altas concentrações somente nas águas subterrâneas que possuem baixas concentrações de sulfato (Gilkeson *et al.* 1978; Marandu *et al.* 2004 *apud* Tavares, 2011). Isto ocorre em ambientes redutores (figura III.1), onde há produção de sulfeto e um aumento da alcalinidade. É nestas condições redutoras que ocorrem elevadas concentrações de bário (Gilkeson *et al.* 1981 *apud* Tavares, 2011); na presença de  $\text{SO}_4^{-2}$  irá precipitar barita, na ausência, o bário se acumula na solução (Kelly, 2008).

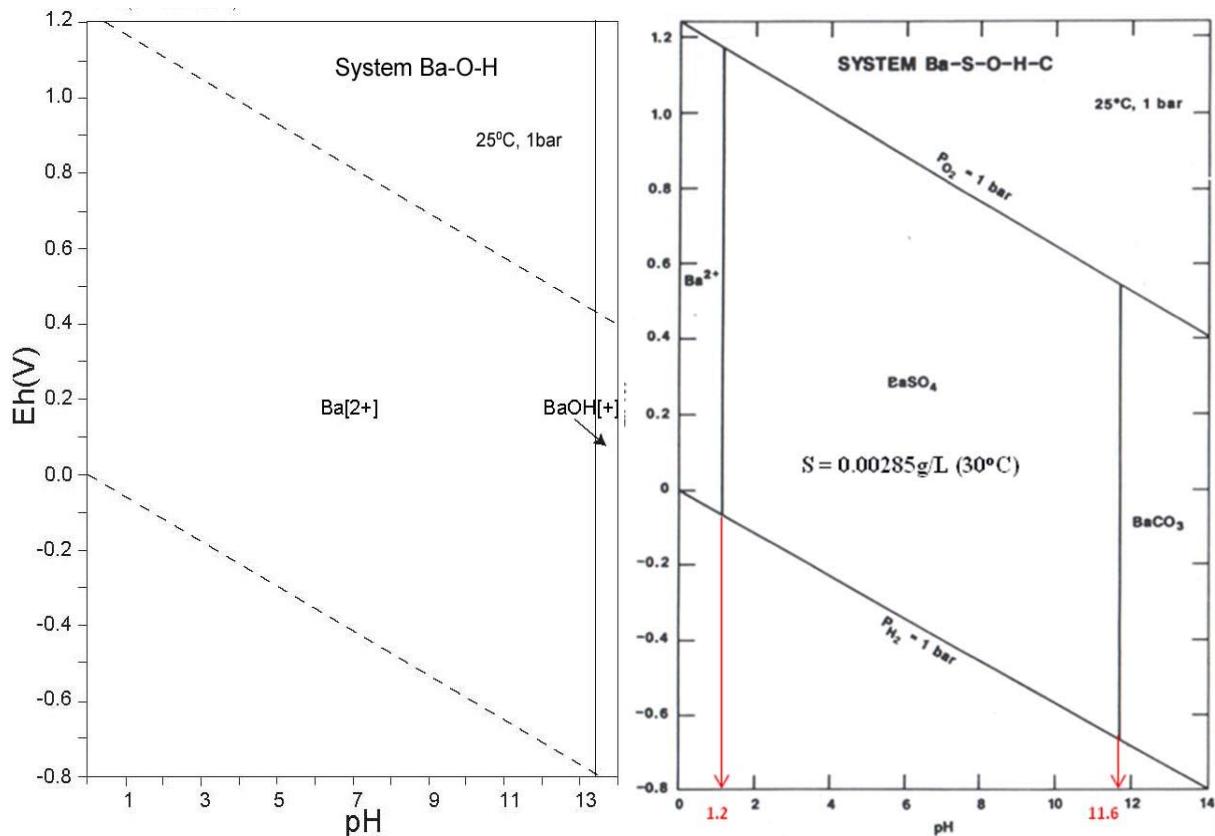


Figura III.1: Diagramas Eh-pH para os sistemas Ba-O-H (TAKENO, 2005 apud Tavares, 2011) e Ba-S-OH-C (BROOKINS, 1987 apud Tavares, 2011).

A principal fonte de bário metálico é a barita, e sua principal fonte de aplicação é nas indústrias de petróleo e gás, funcionando com agente selador na lama de perfuração. Outras aplicações diversas incluem produtos industriais como plásticos, vidros, cerâmicas, eletrônicos, têxteis, lubrificantes, ligas metálicas, sabão, borracha, defensivos agrícolas, siderurgia e alimentícia.

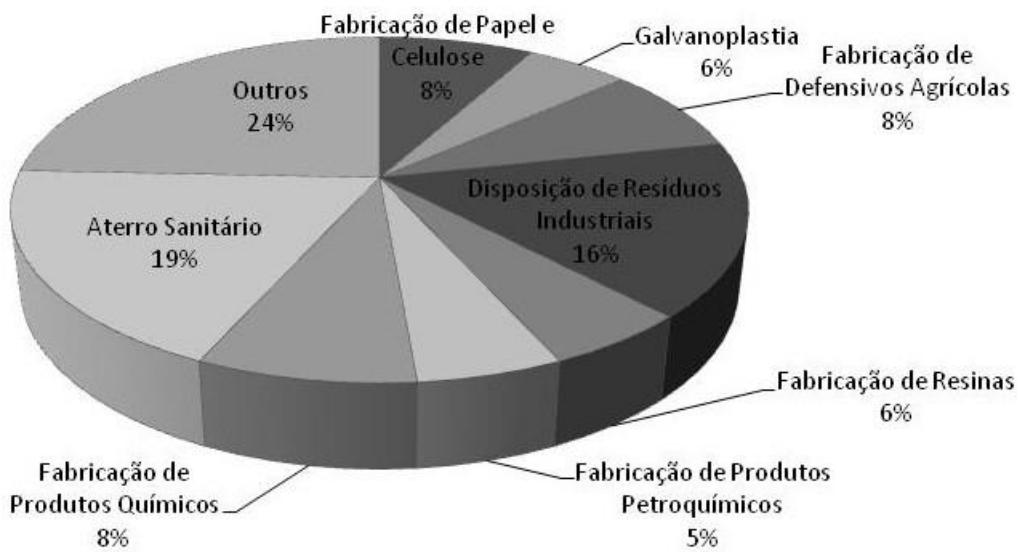


Figura III.2: Fontes antrópicas associadas com a presença de bário em aquíferos do Estado de São Paulo. (Fonte: Base de dados de áreas contaminadas da CETESB, Total de 38 fontes cadastradas apud Tavares, 2011).

O bário pode contaminar o solo, o ar, águas e até mesmo alimentos. Sua emissão na atmosfera se dá através da queima de combustíveis fósseis, carvão e resíduos sólidos; durante o processo de extração e beneficiamento do minério, bem como durante a produção dos compostos de bário. Em geral, sua concentração no ar é menor que  $0,05 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , com relato de valores entre  $0,00015$  e  $0,95 \mu\text{g}/\text{m}^3$  (CETESB, 2010), e o tempo de suspensão destas partículas varia, mas invariavelmente acabam se depositando no solo.

A contaminação do solo e da água por bário, se deve também ao uso/vazamento de defensivos agrícolas, além de efluentes líquidos e sólidos das indústrias que o utilizam (figura III.2).

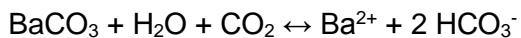
O Bário pode ser encontrado também em alimentos, de forma natural, com teores em média menores que  $3\text{mg}/100\text{g}$ , a exceção de castanhas-do-pará, que possuem concentrações mais elevadas ( $150\text{-}300 \text{ mg}/100\text{g}$ ).

Desde que foi estabelecido o limite de potabilidade para concentrações do elemento bário pela Organização Mundial da Saúde (WHO, 1996), foram registradas diversas ocorrências de concentrações acima do limite em diferentes regiões do mundo, especialmente após o final da década de 70. A maioria destes casos mundiais estudados, a causa da anomalia era de origem natural, associada a fenômenos geoquímicos e a características litológicas dos aquíferos estudados.

O primeiro caso histórico de anomalia de bário em água subterrâneas naturais é relatado em Illinois (Estados Unidos) em 1978, com ocorrência máxima de 18 mg/L (Gilkerson *et al.*, 1978).

A investigação de Illinois mostrou que o íon de sulfato funciona como controle nas altas concentrações de bário, a partir da reação de equilíbrio de solubilidade do mineral barita ( $\text{BaSO}_4$ ) (Equação I).

Gilkerson *et al.* (1978) mostraram, através dos isótopos de  $^{18}\text{O}$ , que a recarga glacial deste aquífero muda as características geoquímicas, o que causa a precipitação secundária da barita, cuja dissolução resultou na fonte primária do íon sulfato. Com a constante redução do sulfato pela ação de bactérias, a barita secundária teria se esvaído, resultando no término da redução do sulfato (fato que é comprovado pela ocorrência pontual de metano neste aquífero). Isto faz com que a witherita não se dissolva, mesmo com menor produto de solubilidade que a barita, mas devido aos íons bicarbonatos que eram adicionados às águas através da redução do sulfato, essa se torna a nova fonte de bário para as águas do aquífero.



Equações I, III e II: Processo de dissolução de bário no aquífero de Illinois (Gilkerson *et al.*, 1978)

Outro caso semelhante de anomalias de bário em aquíferos que pode estar relacionado à baixa concentração de sulfato e à dissolução da barita, é o caso do sistema aquífero Cambrian-Vendian (Marandi *et al.*, 2004 e Mokrik *et al.*, 2009), no norte da Estônia.

Neste aquífero, de composição variando entre Ca-Na-HCO<sub>3</sub>--Cl até Na-Cl, a concentração máxima apresentada foi de 6,37mg/L.

Marandi *et al.* (2004) levanta a hipótese de uma correlação entre o bário e o cloreto, assumindo que a fonte natural para o bário neste caso seria o embasamento cristalino, que apresenta concentrações de bário entre 700 e 1000 ppm, sendo também que a zona intemperizada desta formação entra em contato hidráulico com o aquífero.

Mais recentemente, em novos estudos, Mokrik *et al.* (2009) obtiveram concentrações de bário de 2 a 9 mg/L, nas águas do sistema aquífero Cambrian-Vendian. Estes autores acreditam que a lixiviação do embasamento sozinha não seria capaz de gerar tais concentrações, exemplificando que o aquífero Eifelian-Givetian superior, na Lituana, não possui nenhum tipo de contato com o embasamento e ainda sim apresenta altas concentrações de bário.

### III.2. Área de estudo

A área de estudo é o município de Gália, localizado no centro-oeste do Estado de São Paulo, a 401 km da capital do estado. O município apresenta uma população de 7.000 habitantes e uma área de 356 km<sup>2</sup> (IBGE 2012). A principal forma de acesso é pela Rodovia Presidente Castelo Branco (SP-280), que é a principal ligação entre a Região Metropolitana de São Paulo e o Oeste Paulista, até a Rodovia Comandante João Ribeiro de Barros (SP-294), que liga Bauru ao município.

No contexto geológico, está situada na Bacia do Paraná, na área referente a Bacia Bauru (Aquíferos Marília e Adamantina) (figura III.3).

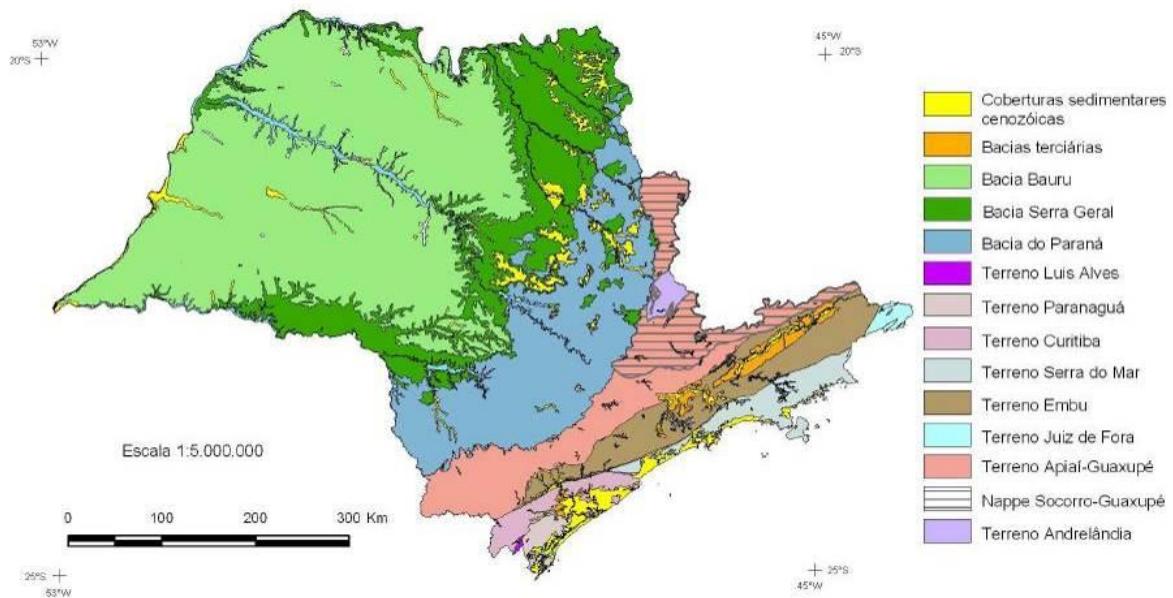


Figura III.3: Mapa geológico do Estado de São Paulo (CPRM, 2006) (extraído de Bertolo, 2013)

A Bacia do Paraná possui uma área com aproximadamente 1.050.000 km<sup>2</sup> apenas em território nacional (Milani & Thomaz Filho, 2000 *apud* Silva *et al.*, 2003) e pode ser subdividida em três áreas de sedimentação independentes: Bacia do Paraná, correspondente a uma área de sedimentação primitiva aberta para o oceano Panthalassa

a oeste (Milani & Ramos, 1998 *apud* Silva *et al*, 2003); a Bacia Serra Geral, composta pelos arenitos eólicos da Formação Botucatu e derrames basálticos da formação Serra Geral; e a Bacia Bauru.

A Bacia do Bauru é uma sequência supra basáltica neocretácea que ocupa uma área aproximada de 117.000km<sup>2</sup>, sendo a maior parte no Planalto Ocidental do estado de São Paulo, abrangendo cerca de 47% do território total do estado (Paula & Silva *et al.*, 2003).

Esta unidade foi inicialmente descrita como composta pelas formações Caiuá, Santo Anastácio, Adamantina e Marília, (Soares *et al*, 1980). A tabela III.1 apresenta um resumo das características das unidades do Grupo Bauru de acordo com essa divisão.

Tabela III.1 Caracterização Clássica das unidades litoestratigráficas do Grupo Bauru (extraída de Paula e Silva, 2003)

Unidade	Características litológicas
Marília	Foi formalmente caracterizada por Soares <i>et al.</i> (1980) como uma unidade composta por arenitos grossos a conglomeráticos, teor de matriz variável, ricos em feldspatos, minerais pesados e minerais instáveis, maciços ou com acamamento incipiente subparalelo e descontínuo, raras estratificações cruzadas de médio porte e raras camadas descontínuas de lamitos vermelhos e calcários. Sua espessura máxima foi estimada em 160 metros, na região de Marília-SP.
Adamantina	Foi formalmente caracterizada por Soares <i>et al.</i> (1980) como um conjunto de fácies compostas por bancos de arenito róseo a castanho, de espessura variando entre 2 e 20 metros, de granulação fina a muito fina, portando estratificação cruzada, intercalados com bancos de lamitos, siltitos e arenitos lamíticos, de cor castanho avermelhada a cinza castanho, maciços ou com acamamento plano-paralelo, com marcas de onda e microestratificação cruzada. Sua espessura máxima foi estimada em 182 metros, no sudoeste paulista (Mezzalira, 1974).
Araçatuba	Proposta por Suguió (1981) e redefinida por Batezelli <i>et al.</i> (1999), foi descrita como constituída por siltitos arenosos cinza esverdeados, ora maciços, ora com estratificações plano-paralelas e cruzadas, com variações laterais para siltitos argilosos ou arenitos lamíticos, intercalados a bancos de arenitos muito finos, com ocorrências de moldes romboédricos de cristais salinos e espessura média estimada em 30 metros.
Santo Anastácio	Foi formalmente caracterizada por Soares <i>et al.</i> (1980) como constituída predominantemente por arenitos de cor marrom avermelhada, de granulação muito fina a média, com grãos recobertos por película limonítica, teor de matriz inferior a 15%, elevada percentagem (até 15%) de grãos de opala e feldspato, cimentação e nódulos calcíferos localizados, com incipiente estratificação plano-paralela e cruzada tangencial de baixo ângulo (5° a 10°) e lentes descontínuas de lamito marrom avermelhado. Sua espessura foi estimada em 80 metros.
Caiuá	Foi formalmente definida por Soares <i>et al.</i> (1980) como uma unidade caracterizada por sua notável uniformidade litológica, representada por arenitos avermelhados a arroxeados, muito finos a médios, com grãos envoltos por película limonítica, com estratificação cruzada tangencial de grande porte, teor de matriz lamítica inferior a 5%, de ocorrência restrita à região sudoeste do Estado de São Paulo. Sua espessura máxima conhecida é de 200 metros no Morro dos Três Irmãos, no noroeste do Paraná.

O Sistema Aquífero Bauru é uma extensa unidade hidrogeológica, contínua, semi-confinada, composta por rochas predominantemente siliciclásticas, com uma espessura média de 100 metros, podendo alcançar 300 m, sendo que a chuva é sua principal fonte de recarga (DAEE 1976 *apud* Paula e Silva, 2003).

Este sistema pode ser dividido em diversas unidades hidroestratigráficas, sendo unidade Hidroestratigrafia como “um corpo rochoso distinguido e caracterizado por sua porosidade e permeabilidade” (Seaber, 1988, *apud* Paula e Silva *et al*, 2005). As unidades hidroestratigráficas estudadas estão descritas a seguir e levam em consideração a divisão de unidade Hidroestratigrafia proposta por Paula e Silva, 2003.

*Aquífero Adamantina:* Aquífero livre a semiconfinado, heterogêneo e anisotrópico. O semiconfinamento é devido à variação na quantidade de argila na matriz, que gera diferentes graus de permeabilidade, e também devido a lâminas de argila que aparecem de forma eventual. É composto pela Formação Adamantina, uma unidade definida por depósitos arenosos com finning upward que terminam em pelitos, apresenta granulação muito fina a fina, com estratificação cruzada intercalada com bancos pelíticos, de cor castanho avermelhada a avermelhada; seu ambiente de deposição foi em um ambiente fluvial meandrante, sob clima úmido (Soares *et al*, 1980).

*Aquífero Marília:* Aquífero livre a semiconfinado, contínuo, possui características hidrodinâmicas desfavoráveis devido a uma forte cimentação carbonática, composto pela Formação Marília, uma unidade psamítica, que pode ser descrita como arenitos grossos a conglomeráticos, com teor de matriz variável, ricos em feldspato, minerais pesados e minerais instáveis, maciços ou com acamamento incipiente subparalelo e descontínuo, raras estratificações cruzadas de médio porte e raras camadas descontínuas de lamitos vermelhos e calcários, com abundância de cimento calcífico; seu ambiente de formação foi um leque aluvial e apresenta depósitos progressivamente mais arenosos em direção ao topo à sucessão, indicação de assoreamento do sítio deposicional (Soares *et al*, 1980)

#### **IV. MATERIAIS E MÉTODOS**

##### **IV.1. Revisão Bibliográfica**

Foi realizado um aprofundamento da revisão bibliográfica sobre o elemento bário e sobre a área de estudo. No caso do elemento bário foi pesquisado seu comportamento geoquímico, através de artigos científicos nacionais e internacionais, bem como livros clássicos com definições sobre o elemento em si.

Foram estudados artigos de casos em que ocorreram anomalias similares de bário em aquíferos (casos naturais e antrópicos), artigos sobre a utilização de minerais de bário e seu comportamento geoquímico e parâmetros físico-químicos.

Sobre as áreas de estudo foram estudados artigos e teses sobre a geologia e hidrogeologia da região, com foco nos dois aquíferos principais, aquíferos Marília e Adamantina

#### IV.2. Análises Químicas e Mineralógicas em Amostras de Solo e Rocha

Com o objetivo de identificar a origem do bário, amostras de solo foram coletadas em cada área de estudo para execução de análises químicas e mineralógicas (Figura IV.1).

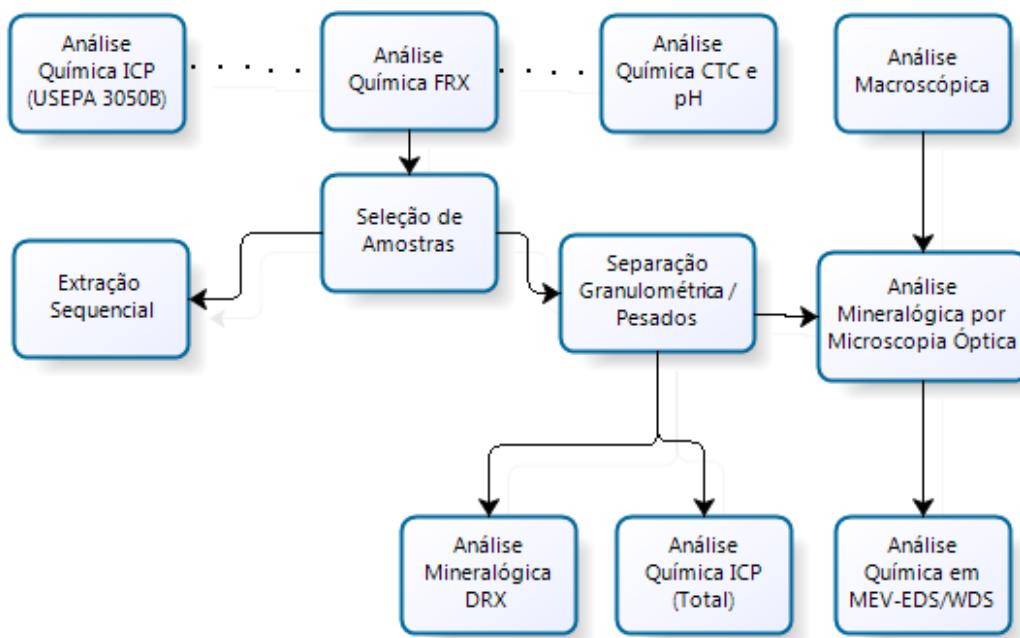


Figura IV.1: Fluxograma das análises químicas e mineralógicas das amostras de solo/rocha

As amostras de rocha foram coletadas do poço de monitoramento com profundidade de 92m, instalado na cidade de Gália, próximo a um poço de abastecimento (CT41) monitorado pela CETESB.

Foram utilizadas as descrições de sondagem mais profundas (PM-01- 100m), com testemunhos recuperados de descritos a cada 1m de perfuração e foram selecionadas no primeiro nível amostras com nódulos carbonáticos (acECl 20-25m), no segundo nível amostra em porções com cimentação carbonática intensa (acECl 55-60m) e nódulos carbonáticos (aBRCBN 55-60m), e no terceiro nível, amostra com alta cimentação carbonática e alto teor de argila (alACBN 85-90m) e arenito praticamente sem cimentação (aBSC 85-90m).

#### IV.2.1. Seleção de amostras para análises

As primeiras análises a serem executadas foram as da primeira linha do fluxograma da Figura IV.1. Numa primeira etapa de seleção, as amostras onde o bário foi detectado com maiores concentrações, foram selecionadas para as análises de extração sequencial. A tabela IV.3 sintetiza as análises realizadas e os métodos utilizados. As análises feitas em cada amostra estão representadas na tabela IV.2.

Tabela IV.1: Análises realizadas nas amostras de solo de Gália

Sondagem (profundidade)	ID das amostras (intervalo)	Data	AM	FRX (Total)	ICP-OES (Total)	CTC M.O.p H	ES	SG/P	M. Ópt.	DR X	ME V	ICP-OES (Fração)	IR
PM-01 (100m)	alABC N (15/20 m)	MAI/2010		X X	X X				X				
	aBRCB N (15/20 m)			X X	X X				X				
	acECI (20/25 m)			X X	X X		X X	X X	X X	X**	X	X	
	acSCS (20/25 m)			X X	X X				X		X**		
	acECI (55/60 m)			X X	X X		X X	X X	X X	X**	X	X	
	aBRCB N (55/60 m)			X X	X X		X X	X X	X X	X**	X	X	
	alACB N (85/90 m)			X X	X X		X X	X X	X X	X X	X X	X	
	aBSC (85/90 m)			X X	X X		X X	X X	X X	X X	X X		

Tabela IV.2 Metodologia das análises das amostras de solo

MÉTODO	DESCRIÇÃO
ANÁLISES MACROSCÓPICAS (AM)	Constitui-se da determinação de feições das amostras de solo, analisando parâmetros como granulação, textura, grau de seleção, grau de cimentação e observações específicas de interesse faciológico
ANÁLISES QUÍMICAS POR FLUORESCÊNCIA DE RAIOS X (FRX)	Esta análise é baseada na medida das intensidades dos raios X característicos emitidos pelos elementos químicos componentes da amostra.
ANÁLISES QUÍMICAS POR ICP-OES (TOTAL)	Análise dos comprimentos de onda característicos dos elementos emitidos através da excitação dos átomos da amostra por um plasma de argônio.
ANÁLISES QUÍMICAS POR ICP-OES (MÉTODO USEPA 3050B)	Idem ao anterior
ANÁLISE DE CÁTIONS ADSORVIDOS, PH E CTC	O pH do solo é medido misturando-se 10 cm <sup>3</sup> de solo em 25 ml de solução 0,01 M de KCl. O teor de matéria orgânica é obtido através da oxidação da matéria orgânica com uma mistura de dicromato e ácido sulfúrico, seguida de titulação da solução resultante com uma solução 0,4 N de sulfato ferroso amoniacial, após adição de H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub> . A capacidade de troca de cátions (CTC) representa a somatória das concentrações dos principais cátions trocáveis e que estão adsorvidos nos minerais do solo (Na, K, Ca, Mg, Al e H).
EXTRAÇÃO SEQUENCIAL (ES) – FRACIONAMENTO	Uma metodologia de extração sequencial utilizada por Nogueiral (2008 <i>apud</i> Tavares, 2011) para os metais Ba, Cu, Pb, Ni e Zn foi realizada em amostras de solo selecionadas. A Separação granulométrica foi feita nos tamanhos areia, silte e argila através do Método de Pipetagem e Peneiramento. Os pesados foram separados de frações arenosas através da separação densimétrica utilizando-se o bromofórmio (CHBr <sub>3</sub> )
SEPARAÇÃO GRANULOMÉTRICA / PESADOS (SG/P)	As amostras foram preparadas em lâminas delgadas de 3µm. Foram realizadas estimativas modais dos componentes (arcabouço, matriz, cimento, poros), detalhando-os, segundo mineralogia e textura.
ANÁLISE MINERALÓGICA POR MICROSCOPIA ÓPTICA (M. ÓPT.)	São analisados os raios X difratados, que são característicos de cada espécie mineral.
ANÁLISES MINERALÓGICAS POR DIFRAÇÃO DE RAIOS X (DRX)	As lâminas e amostras de solo selecionadas foram recobertas por carbono para análise. Foram feitas as análises: microanálise pontual de energia dispersiva acoplada (EDS) e algumas lâminas também foram analisadas por WDS (Wavelength Dispersive Spectrometry – espectrômetro de dispersão por comprimento de onda)
ANÁLISES QUÍMICAS POR MICROSCÓPIO ELETRÔNICO DE VARREDURA (MEV)	Através da descrição de furos de sondagem foram confeccionados perfis, que foram digitalizados pelo Paint.net
CONFECÇÃO DE PERFIS	

### IV.3. Coleta de Amostras de Água

As amostras de água que forneceram os dados para o trabalho foram coletadas pela doutoranda Tatiana Tavares em duas campanhas, em Setembro de 2010 e em Janeiro de 2011. As amostras foram coletadas dos poços de monitoramento (tabela IV.3) e amostras coletadas no poço de abastecimento de Gália, um bombeamento de 24 horas, em intervalos de tempo de 15 e 30 minutos, 1, 3, 6, 9, 12, 18 e 24 horas e de uma lagoa e rio existentes em Gália, para análises químicas (cátions, ânions e sílica).

Tabela IV.3: Características construtivas dos poços de monitoramento instalados.

Poço	Data de instalação	Profundidade total (m)	Cotas das profundidades (manm)	Diâmetro sondagem (pol)	Diâmetro poço (pol)	Seção filtrante (m)	Profundidade NA* estabilizado (m)
PM-01	20-21/05/10	92,2	469,8	10,0	2,0	6,0	34,06 (20/07/10)
PM-02	25/05/10	58,9	503,1	10,0	2,0	6,0	15,64 (20/07/10)
PM-03	26/05/10	24,3	537,7	10,0	2,0	6,0	3,87 (20/07/10)

\*NA - Níveis de água medidos em relação à boca do tubo; manm – metros acima do nível do

#### IV.3.1. Coleta de Amostras de Água Subterrânea

As amostras foram coletadas pela doutoranda através do uso de uma bomba elétrica submersível; para se ter a garantia que as amostras coletadas representasse as reais condições dos aquífero. Os poços de monitoramento foram inicialmente purgados com a retirada de 3 vezes o volume da água do poço. A coleta das amostras só foi feita após a estabilização dos parâmetros físico-químicos. As amostras coletadas e suas análises estão sintetizadas na tabela IV.4.

Tabela IV.4: Amostras coletadas e análises realizadas nas amostras de Gália

Local	Data da amostragem	Pontos amostrados	Total de pontos amostrados	Parâmetros analisados in situ	Parâmetros analisados em laboratório
Gália – SP PM's	1a Campanha 21- 23/07/2010	Gália/PM-01 Gália/PM-02 Gália/PM-03 Gália/Lagoa Gália/Córrego	05	pH, Eh, temperatura, condutividade elétrica, alcalinidade total	cátions, ânions, sílica, 18O/D e 87Sr/86Sr
Gália – SP PM's	2a Campanha 27- 29/01/2011	Gália/PM-01 Gália/PM-02 Gália/PM-03 Gália/Lagoa Gália/Córrego	05	pH, Eh, temperatura, condutividade elétrica, alcalinidade total	cátions, ânions, sílica, 18O/D e 87Sr/86Sr
Gália – SP Bombeamento		15 e 30 minutos, 1, 3, 6, 9, 12, 18 e 24 horas	09	-	cátions, ânions, sílica, alcalinidade e isótopos radiogênicos ( <sup>87</sup> Sr/ <sup>86</sup> Sr)

Cátions: Al<sup>3+</sup>, Ba<sup>2+</sup>, Ca<sup>2+</sup>, Fe<sub>total</sub>, K<sup>+</sup>, Mg<sup>2+</sup>, Mn<sup>2+</sup> Na<sup>+</sup>; Ânions: Cl<sup>-</sup>, SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>, F<sup>-</sup>, Br<sup>-</sup>, HPO<sub>4</sub><sup>2-</sup>, NO<sub>2</sub><sup>-</sup> e NO<sub>3</sub><sup>-</sup>

#### IV.4. Análises Químicas de Água

As análises químicas realizadas nas amostras de água foram sintetizadas na tabela IV.5.

Tabela IV.5: Metodologia das análises das amostras de água.

ANÁLISE	DESCRIÇÃO
PH, EH, TEMPERATURA, CONDUTIVIDADE ELÉTRICA, ALCALINIDADE TOTAL	Estes Parâmetros foram analisados <i>in situ</i> .
ÂNIONS	Foram analisados por cromatografia iônica de alta resolução
ANÁLISES DE CÁTIONS DOS AL, BA, CA, FE, MG, MN E SR	Foram analisados por Absorção Atômica
ANÁLISE DOS ÍONS NA E K	Foram analisados por espectrometria de Chama
ÂNIONS CL, SO <sub>4</sub> , F, BR, HPO <sub>4</sub> , NO <sub>2</sub> E NO <sub>3</sub>	Analizados pelo método de cromatografia iônica de Alta Resolução

### V. RESULTADOS

#### V.1. Amostras de Solo

Os resultados das amostras de solo se encontram em anexo.

#### V.2. Amostras de Água

Os resultados das análises das amostras de água se encontram resumidas na tabela V.1 e V.2. A confiabilidade dos resultados foram analisados da checagem do balanço iônico

(EN %), cujos resultados situam-se dentro do limite de erro considerável bom ( $\pm 10\%$ ) para águas com as condutividades observadas, exceto as amostras G 41\_1h, G 41\_3h e G 41\_9h.

Tabela V.1: Resultado das análises químicas das amostras de água

AMOSTRA	G	G	G	G	G	G	G	G	PM-	PM-	PM-	PM-	PM-	PM-	LAGOA	LAGOA	CÓR_	CÓR_		
	41_15	41_30	41_1	41_3	41_6	41_9	41_12	41_18	41_24	01_JU	01_JA	02_JU	02_JA	03_JUL	03_JAN	JUL	JAN	JUL	JAN	
	M	M	H	H	H	H	H	H	H	L	N	L	N							
pH									9.37	8.25	8.86	7.93	7.04	7.24	7.43	6.92	7.94	7.59		
HC																				
O <sub>3</sub>	mg/l	196.3	196.3	202.4	202.2	189.7	165.2	146.5	146.8	93.93	108.58	159.38	165.88	219.56	225.52	176.59	140.31	151.3	194.6	
	9	2	6	9	1	6	6	2	6								2	2		
CO <sub>3</sub>	mg/l	0.44	0.47	0.49	0.57	0.69	0.59	0.69	0.56	0.69	10.86	0.95	5.69	0.70	0.12	0.19	0.23	0.06	0.65	0.37
Cl	mg/l	0.57	0.53	0.53	0.56	0.44	0.13	0.18	0.17	0.17	13.45	1.62	2.85	0.55	4.58	3.54	27.63	30.62	9.98	9.58
F	mg/l	0.01	0.01	0.01	0.01	0.05	0.03	0.07	0.08	0.09	0.12	0.14	0.08	0.07	0.07	0.08	0.10	0.06	0.23	0.12
SO <sub>4</sub>	mg/l	0.16	0.15	0.15	0.18	0.33	0.60	1.20	1.30	1.30	7.78	2.83	1.29	0.45	4.43	1.62	13.21	22.61	5.40	6.16
NO <sub>3</sub>	mg/l	2.20	2.10	2.10	2.20	1.60	0.38	0.52	0.45	0.44	7.97	1.25	1.25	0.21	16.13	16.27	0.11	37.57	5.23	7.40
NO <sub>2</sub>	mg/l	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	0.02	0.02	0.01	0.04	0.02	0.03	0.10	0.34	0.02	0.06
PO <sub>4</sub>	mg/l	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	0.06	0.07	0.04	0.04	0.05	0.03	0.48	0.13	0.03	0.05
Ba	mg/l	1.60	1.50	1.60	1.50	1.20	0.86	0.78	0.72	0.69	0.34	0.88	1.54	2.18	0.28	0.34	0.13	0.33	0.27	0.24
Sr	mg/l	0.61	0.62	0.64	0.69	0.74	0.58	0.57	0.56	0.56	1.46	0.76	0.58	0.65	0.53	0.34	0.25	0.35	0.33	0.33
K	mg/l	1.50	1.50	1.60	1.60	1.80	1.70	1.70	1.70	1.70	16.80	4.10	5.70	3.00	2.30	2.60	5.40	4.20	2.50	11.00
Na	mg/l	0.84	0.98	1.30	2.70	5.70	9.90	23.00	22.00	23.00	21.60	4.30	4.70	1.30	2.70	2.60	24.00	24.30	8.20	6.20
Ca	mg/l	32.00	32.00	32.00	31.00	31.00	20.00	19.00	18.00	18.00	7.42	21.11	21.08	28.77	63.09	62.56	51.36	56.27	39.58	50.62
Mg	mg/l	12.00	12.00	11.00	11.00	10.00	8.30	7.70	7.30	7.30	7.29	9.66	18.48	16.33	16.16	15.48	7.50	8.01	8.96	11.85
Fe	mg/l	<0.00	<0.00	<0.00	<0.00	<0.00	<0.00	<0.00	<0.00	<0.00	<0.05	<0.05	<0.05	0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	0.12	0.25
		5	5	5	5	5	5	5	5	5										

Tabela V.2: Resultado das análises químicas das amostras de água (cont.)

AMOSTRA	G	G	G	G	G	G	G	G	PM-	PM-	PM-	PM-	PM-	PM-	LAGOA	LAGOA	CÓR-	CÓR-					
	41_15	41_30	41_1	41_3	41_6	41_9	41_12	41_18	41_24	01_JU	01_JA	02_JU	02_JA	03_JUL	03_JAN	JUL	JAN	JUL	JAN				
	M	M	H	H	H	H	H	H	H	L	N	L	N	03_JUL	03_JAN	JUL	JAN	JUL	JAN				
Mn	mg/l	<0.00 5	<0.00 5	<0.00 5	<0.00 5	<0.00 5	<0.00 5	<0.00 5	<0.00 5	0.03	0.00	0.03	0.01	0.03	0.01	0.22	0.02	0.09	0.14				
Al	mg/l	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.03	0.10	<0.03	0.11	<0.03	0.08	<0.03	0.12	<0.03	0.08				
Si	mg/l	4.20	4.30	4.30	3.80	3.30	3.10	2.90	2.80	2.70	5.27	5.22	11.58	11.61	14.37	13.85	9.51	8.04	9.48	8.31			
Cr	mg/l										<0.04			<0.04			<0.04		<0.04				
Pb	mg/l										<0.05			<0.05			<0.05		<0.05				
En	(%)	-9.80	-9.70	-	12.40	-	12.20	-8.10	-	11.50	3.50	1.00	1.90	-4.00	5.50	0.40	3.20	6.60	5.50	4.90	4.40	2.50	4.30
IS barita		-1.01	-1.07	-1.03	-1.03	-0.88	-0.75	-0.45	-0.43	-0.43	0.01	-0.03	-0.21	-0.45	-0.44	-0.86	-0.22	<b>0.32</b>	-0.24	-0.37			
IS calcita		0.01	0.04	0.05	<b>0.14</b>	<b>0.25</b>	0.02	0.03	-0.09	-0.01	<b>0.71</b>	<b>0.25</b>	<b>0.94</b>	<b>0.18</b>	-0.28	-0.02	-0.09	-0.63	<b>0.24</b>	<b>0.17</b>			
IS dolom		-0.09	-0.03	-0.04	<b>0.19</b>	<b>0.38</b>	0.04	0.02	-0.23	-0.09	<b>1.77</b>	<b>0.51</b>	<b>2.21</b>	<b>0.45</b>	-0.82	-0.25	-0.72	-1.76	<b>0.14</b>	<b>0.07</b>			
IS witter		-1.72	-1.72	-1.68	-1.62	-1.62	-1.81	-1.80	-1.93	-1.87	-1.04	-1.59	-0.64	-1.38	-3.08	-2.75	-3.12	-3.33	-2.34	-2.62			

Tabela V.3: Parâmetros Físico químicos das amostras de água de Gália

AMOSTRA	FORMAÇÃO	TEMP. (OC)	PH	OD (MG/ L)	OR P (MV )	COND. (MS/C M)	ALK CACO <sub>3</sub> ) (MG/L	DE
G 41_15M	F. Marília Adamantina	e F. 22.3	7.6 6	14,8	245	353	161.71	
G 41_30M	F. Marília Adamantina	e F. 22.3	7.6 9	15,1	250	316	161.71	
G 41_1H	F. Marília Adamantina	e F. 22.2	7.6 9	15,3	232. 1	310	166.76	
G 41_3H	F. Marília Adamantina	e F. 24.9	7.7 6	13	241. 2	316	166.76	
G 41_6H	F. Marília Adamantina	e F. 26.5	7.8 7	10	241. 7	407	156.66	
G 41_9H	F. Marília Adamantina	e F. 27.4	7.8 6	20,9	216. 8	329	136.44	
G 41_12H	F. Marília Adamantina	e F. 25.1	7.9 8	19	207. 5	333	121.28	
G 41_18H	F. Marília Adamantina	e F. 24.2	7.8 9	19,5	210. 6	330	121.28	
G 41_24H	F. Marília Adamantina	e F. 23.3	7.9 8	18,6	212. 3	412	121.28	
G PM- 01_JUL	F. Adamantina	24.12	9.3 7		186. 5	264	95.09	
G PM- 01_JAN	F. Adamantina	25.6	8.2 5	3.2	115. 5	211	95.58	
G PM- 02_JUL	F. Marília	27	8.8 6		66.4	276	140.13	
G PM- 02_JAN	F. Marília	23.7	7.9 3	3.5	582. 1	289	137.13	
G PM- 03_JUL	F. Marília	23.8	7.0 4		87.7	443	180.17	
G PM- 03_JAN	F. Marília	28	7.2 4	2.9	171. 2	460	185.17	
G LAGOA_JUL	F. Marília	21.6	7.4 3		21.6	501	145.13	
G LAGOA_JAN	F. Marília	25	6.9 2	4.8	222. 2	486	115.11	
G CÓR_JUL	F. Marília	20.9	7.9 4		20.9	311	125.12	
G CÓR_JAN	F. Marília	26.4	7.5 9	3.3	378. 8	402	160.15	

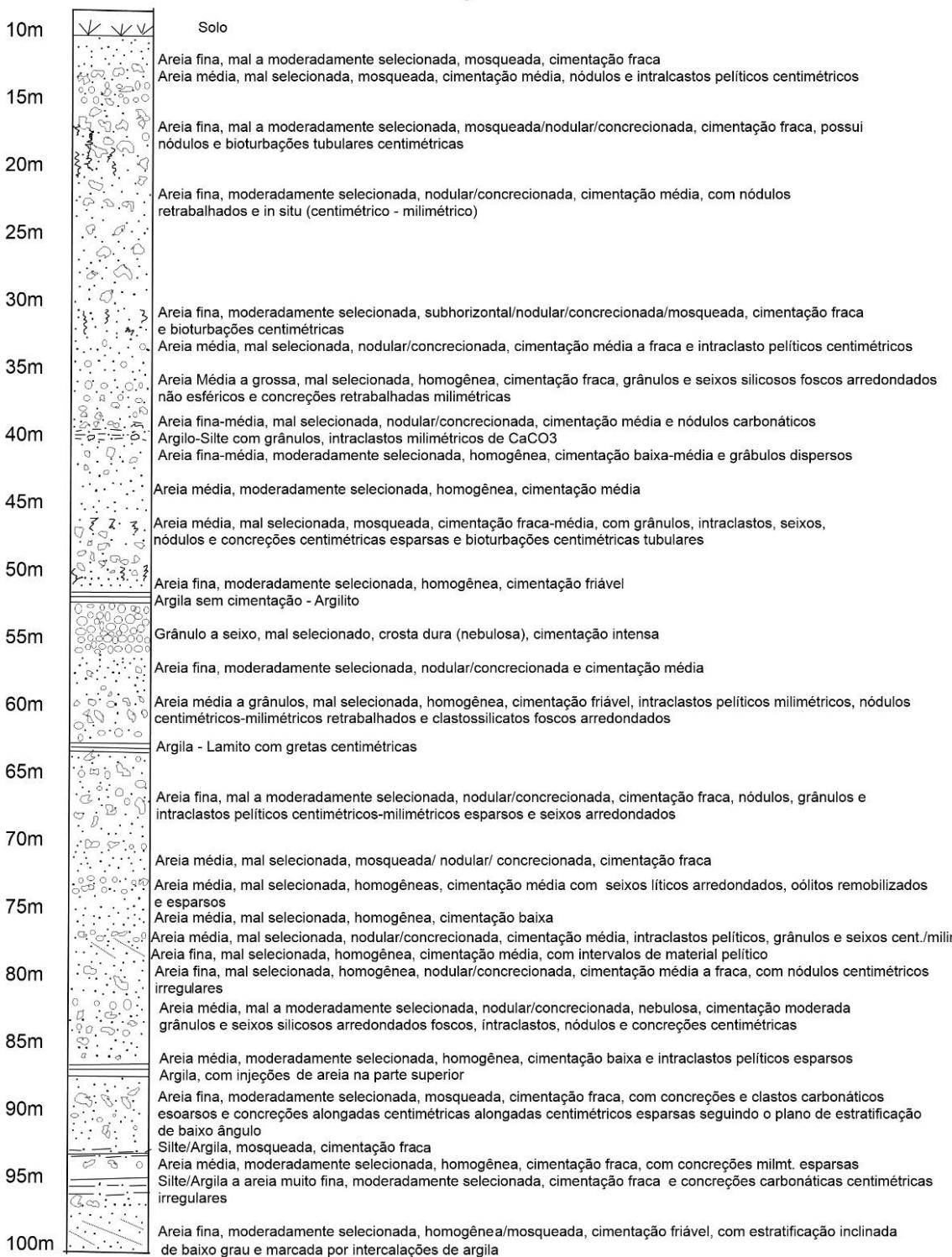
## VI. INTERPRETAÇÃO

### VI.1. Discussão da Geologia Regional

Os resultados das análises macroscópicas de solo permitiram a confecção de seções colunares das sondagens dos poços de monitoramento, que foram comparadas com a bibliografia. A análise mostra que existe uma transição gradual entre as formações Marília e Adamantina, por volta dos 85m. A descrição da Formação Marília é de arenitos grossos a conglomeráticos, com cimentação carbonática. A porção estudada do aquífero apresenta arenitos finos a médios, porém com frações mais grossas e cimento carbonático, o que condiz com a heterogeneidade da Formação. Após os 85m, a cimentação diminui, a granulometria se mantém, a textura tende a se homogeneizar e a seleção dos grãos muda de mal/moderadamente selecionado para moderadamente selecionado, sendo tipicamente homogêneo, além do aumento de camadas mais siltosas/argilosas; o que condiz com a variação de fácies da Formação Adamantina, composta por arenitos finos, com estratificação cruzada intercalada com bancos pelíticos. Esta descrição da bibliografia é exatamente o que ocorre no final do poço (100m) (Figura VII.1).

## Seção Colunar 0-100m - Gália

### Descrição



Escala 1:400

Figura VI.1: Seção colunar 0-100m - Gália

## VI.2.Amostras de Solo

As amostras de solo foram interpretadas a partir de dados encontrados na literatura, e dos resultados das etapas anteriores do projeto de auxílio à pesquisa a qual este trabalho de formatura está vinculado. Foi realizado o tratamento dos dados analíticos em programas estatísticos como o Excel e o AquaChem.

### VI.2.1. Análises Macroscópicas

A partir da descrição feita por Bertolo (2013) é possível classificar a maioria das amostras como calcretes, com uma grande variação de textura e teor de cimentação carbonática. Em geral são arenitos finos a médios, com frações grossas e grânulos em menor quantidade, e cimentação carbonática em quase todo perfil.

Nos primeiros 20 m, a cimentação carbonática é baixa, e grande parte já apresenta texturas pedogenéticas, denominadas por Fernandes (2011 apud Bertolo, 2013) como mosqueada com bioturbações e textura nodular, com intraclastos pelíticos. Abaixo deste pacote, entre 20 e 25 m, ocorre um aumento na cimentação e a textura passa a ser nodular, concessionada e reliquiar. Logo após esta fácie, ocorre um litotipo distinto, composto por arenito fino de tom acinzentado, com uma provável lixiviação da cimentação. Após este pacote, há a ocorrência do pacote descrito anteriormente (textura nodular), com um incremento da fração de areia grossa. Na base deste pacote, a partir dos 50 m, há um aumento da cimentação carbonática, chegando a intensa. Após isso há uma nova repetição do pacote já descrito (textura mosqueada), porém agora apenas com a textura nodular, fracamente mosqueada, com a ausência de bioturbações, com intraclastos pelíticos e lamitos, grânulos e seixos silicosos, e concreções centimétricas. Entre 80-85, há um novo incremento na cimentação, com uma ocorrência centimétrica de fácie com textura crosta dura nebulosa. Após este pacote, a cimentação tende a diminuir, e a textura se homogeneizar, e o arenito passa a ser moderadamente selecionado, com intraclastos pelíticos e concreções carbonática esparsas, sendo tipicamente homogêneo, com baixa cimentação.

### VI.2.2. Separação Granulométrica / Pesados (SG/P)

Os resultados da separação granulométrica das amostras de rocha de Gália podem ser visualizados na tabela VI.1.

Tabela VI.1: Resultados das análises granulométricas das amostras de rocha/solo.

AMOSTRA	AREIA (%)	SILTE + ARGILA (%)
ACECI (20-25M)	91.0	9.0
ABRCBN (55-60M)	94.9	5.1
ACECI (55-60M)	94.6	5.4
ALACBN (85-90M)	82.9	17.1
ABSC (85-90M)	96.2	3.8

É possível ver que, até a profundidade de 85 m, existe uma maior ocorrência de areia muito grossa e areia média. Quando chega a 85 m, existe uma leve mudança para areia muito grossa a grossa, com incremento da fração silte + argila no pacote representado pela amostra alACBN (85-90m), e a partir de 90m, há uma predominância de areia fina, com um pouco de areia média.

### VI.2.3. Análises Mineralógicas por Microscopia Óptica (M. Ópt.)

#### VI.2.3.1. Rocha Total

Em geral, as lâminas apresentaram granulação entre areia muito fina e areia média, mal selecionadas à moderadamente selecionadas, com baixa esfericidade e arredondamento. Os calcretes analisados são constituídos essencialmente por grãos de quartzo com bordas corroídas ou com auréolas de calcita, além de feldspatos e intraclastos corroídos imersos em matriz micrítica carbonática.

#### VI.2.3.2. Pesados

Em relação aos minerais pesados encontrados nas lâminas das amostras é possível ver que a alanita e a apatita apresentam feições de lixiviação do tipo padrão reticulado e oxidação, já a biotita aparece como traço. Apresenta clinzoisita, granadas, pistachita, espinélio, topázio, titanita e zoisita. Foram encontradas também calcitas com feições de lixiviação (serrilhamento nas bordas). Os minerais opacos, distribuem-se em quantidade

significativa por todas as amostras analisadas. O rutilo, turmalina, zircão e estaurolita também foram identificados.

#### VI.2.4. Análises Mineralógicas por Difração de Raios X (DRX)

Os resultados das análises por difração de raios-x se encontram resumidos na tabela abaixo (tabela VI.2)

Tabela VI.2: Resultados da difração de raio X (DRX) das amostras de rocha/solo.

AMOSTRA	FRAÇÃO ARGILA	FRAÇÃO ARGILA+SILT E	LEVES (0.063-0.125MM)	LEVES (0.125-0.25MM)	LEVE S (0.25-0.50MM)	PESADOS
ACEC I (20/25 M - 2)	Palygorskite	-	Qtz, Mc, Cal, Palygorskite	-	-	-
ACEC I (55/60 M - 1)	Kln, Palygorskite	-	Qtz, Mc, Cal, Palygorskite	Qtz, Mc, Cal, Palygorskite	-	Zrn, Ep, Tounkite
ABRC BN (55/60 M - 2)	Ap, <b>Brt</b> , Cal, Clc, Palygorskite	-	-	Qtz, Mc, Cal, Palygorskite	-	Mgh, Hem, Zrn, Rt, Ant, Gt, Qtz
ALAC BN (85/90 M - 1)	Qtz, Dol, Mca (III?)	-	Qtz, Dol, Mc, Palygorskite	Qtz, Dol, Mc	Qtz, Dol, Mc	Mgh, Hem, Zrn, Drv, Rt, Ant
ABSC (85/90 M - 2)	-	-	Qtz, Mc, Cal, Palygorskite	-	-	Mgh, Hem, Zrn, Drv, Qtz, Czo

“-“ – sem análise; Ant – Anatásio; Ap – Apatita; Brt – Barita; Cal – Calcita; Czo – Clinozoisita; Dol – Dolomita; Ep – Epidoto; Gbs – Gibbsita; Grt – Granada; Gt – Goethita; Hem – Hematita; III – Ilita; Ilm – Ilmenita; Kln – Caolinita; Mca – Mica; Mc – Microclínio; Mgh – Maghemita; Mnz – Monazita; Qtz – quartzo; Rt – Rutilo; Sme – esmectita; Tur – Turmalina; Zrn – Zircônio.

#### VI.2.5. Análises Químicas por Fluorescência de Raios X (FRX)

As análises de FRX mostram que o elemento bário não apresenta altas concentrações, variando entre 227 a 430 ppm. As concentrações apresentaram picos nas amostras acSCS (20-25m) (430ppm) e alACBN (85-90m) (419ppm) e as menores concentrações foram entre acECI (55-60m) (228ppm) e acECI (20-25m) (262ppm). Isto pode ocorrer devido ao maior

peso em massa do bário nos óxidos e hidróxidos de Fe/Mn e nos silicatos do que na porção carbonática. As concentrações de bário nestas amostras pode ser verificada na Figura VII.2.

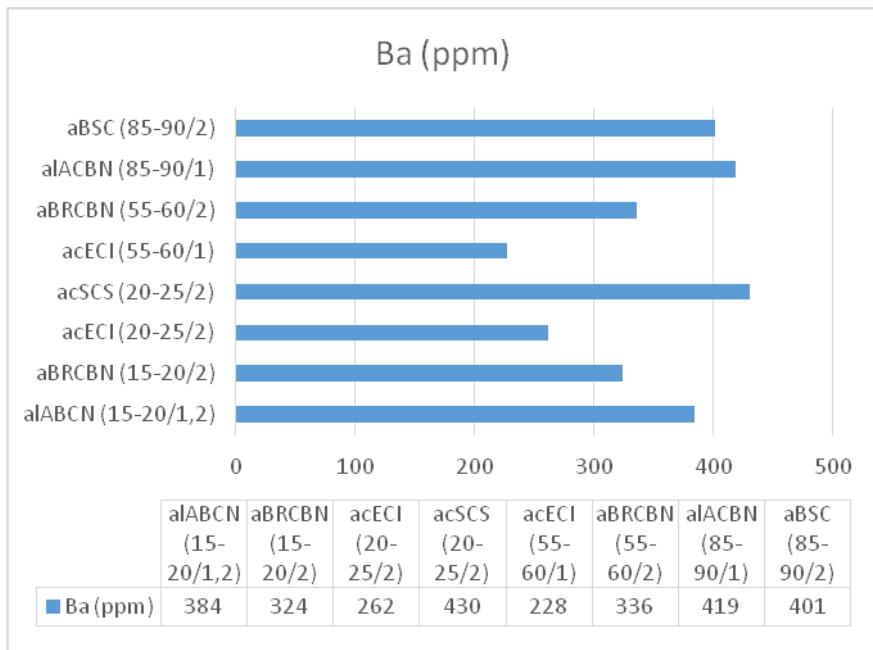


Figura VI.2: Concentração de Bário (FRX) - Gália

A matriz de correlação entre os elementos de FRX mostrou apenas que o Ba apresenta índices de correlação positivos com K<sub>2</sub>O, Rb, Ce, Nb e P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, e negativo com CaO. Estes valores positivos podem ser explicados como o Ba estando relacionado a feldspatos, argilominerais e monazitas; e no caso do CaO, em menores proporções com a cimentação carbonática (Bertolo, 2013).

Tabela VI.3: Matriz de Correlação dos dados de FRX

	SiO2	Al2O3	Fe2O3	MgO	CaO	K2O	P2O5	MnO	TiO2	Ba	Co	Ni	Ce	Cr	Cu	Nb	Pb	Rb	Sr	Zn	Zr
SiO2	1.00	-0.38	-0.42	-0.80	-0.81	0.01	-0.49	-0.74	-0.18	0.22	-0.54	-0.60	-0.59	0.33	-0.47	0.05	-0.38	-0.19	-0.88	-0.50	0.76
Al2O3		1.00	0.97	0.54	-0.17	0.85	0.97	0.49	0.91	0.44	0.96	0.85	0.92	-0.29	0.98	0.78	-0.25	0.96	0.34	0.93	-0.15
Fe2O3			1.00	0.55	-0.12	0.75	0.98	0.52	0.96	0.36	0.97	0.91	0.94	-0.09	0.98	0.78	-0.20	0.91	0.39	0.97	-0.04
MgO				1.00	0.35	0.32	0.65	0.72	0.39	0.32	0.71	0.81	0.79	-0.23	0.64	0.22	-0.07	0.46	0.95	0.69	-0.51
CaO					1.00	-0.53	-0.07	0.42	-0.35	-0.66	-0.03	0.04	0.02	-0.25	-0.10	-0.51	0.65	-0.38	0.56	-0.06	-0.75
K2O						1.00	0.79	0.32	0.80	0.78	0.76	0.65	0.72	-0.14	0.79	0.69	-0.34	0.95	0.09	0.74	0.10
P2O5							1.00	0.66	0.92	0.43	0.98	0.93	0.97	-0.16	0.99	0.75	-0.13	0.93	0.49	0.99	-0.13
MnO								1.00	0.42	0.12	0.61	0.66	0.65	-0.13	0.61	0.29	0.45	0.47	0.70	0.68	-0.36
TiO2									1.00	0.45	0.89	0.83	0.85	0.08	0.92	0.87	-0.29	0.91	0.21	0.93	0.23
Ba										1.00	0.45	0.46	0.47	0.13	0.42	0.37	-0.43	0.63	0.14	0.43	0.26
Co											1.00	0.97	0.99	-0.14	0.98	0.67	-0.17	0.90	0.57	0.98	-0.19
Ni												1.00	0.98	0.01	0.91	0.58	-0.13	0.80	0.70	0.96	-0.16
Ce													1.00	-0.14	0.96	0.62	-0.17	0.86	0.66	0.97	-0.23
Cr														1.00	-0.23	-0.10	0.11	-0.20	-0.10	-0.04	0.72
Cu															1.00	0.78	-0.21	0.94	0.46	0.98	-0.14
Nb																1.00	-0.42	0.82	-0.04	0.74	0.35
Pb																	1.00	-0.29	0.13	-0.13	-0.28
Rb																		1.00	0.23	0.89	0.03
Sr																			1.00	0.54	-0.57
Zn																				1.00	-0.06
Zr																					1.00

#### VI.2.6. Análises Químicas por ICP-OES (Extração pelo Método USEPA)

As análises por ICP-OES mostraram que a quantidade de bário existente é relativamente pequena, variando de 31 a 128 ppm, como pode ser visto no gráfico abaixo.

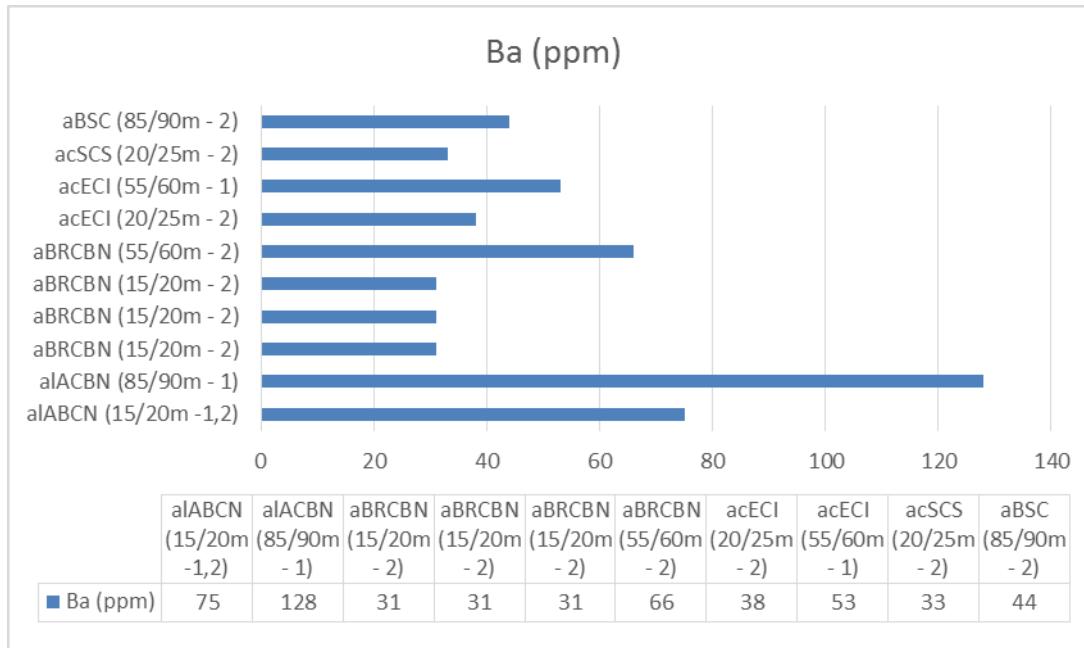


Figura VI.3: Concentração de Bário (ICP-OES) nas amostras de Gália

#### VI.2.7. Análises Químicas por ICP-OES (Método USEPA 3050 / Extração Total)

Entre as amostras analisadas, as que apresentaram maior concentração de bário são as que ocorreram nas amostras mais profundas e com maiores proporções nas frações mais finas. A amostra alACBN (85-90 m) apresentou maior concentração (1019.8 ppm) na fração pesados, seguida da fração fina (Figura VI.4).

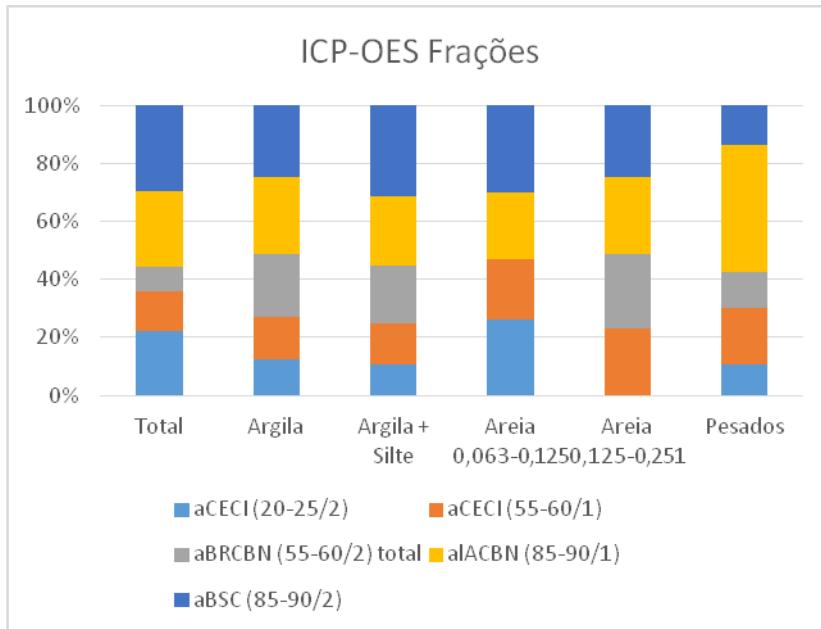


Figura VI.4: Análises das amostras de solo de Gália – ICP - Frações

#### VI.2.8. Análises de Cátions Adsorvidos, CTC e pH

A análise dos dados resultantes das análises de fertilidade mostram que quando relacionado com os valores obtidos de Ba ICP temos que o Ba apresenta correlações positivas com Na, K, Mg, pH CaCl e P; estes três primeiros apresentam uma correlação mais forte que os demais, isto pode ocorrer devido a provável existência de ligações fracas com argilominerais. Estas correlações podem ser vistas na tabela VI.4.

Tabela VI.4: Matriz de Correlação dos resultados das análises de fertilidade, associada aos valores de Ba das análises de ICP e FRX.

	pH CaCl	pH	pH KCl	MO	P	Na	K	Ca	Mq	Al	H	Ba FRX	Ba_ICP
pH CaCl	1.00	0.95	0.75	0.42	0.87	0.71	0.65	0.53	0.70	0.45	0.35	0.12	0.78
pH		1.00	0.89	0.14	0.79	0.59	0.53	0.57	0.59	0.24	0.09	0.08	0.63
pH KCl			1.00	-0.10	0.66	0.26	0.33	0.69	0.35	0.08	-0.18	-0.18	0.30
MO				1.00	0.59	0.59	0.56	0.21	0.66	1.00	0.85	0.08	0.59
P					1.00	0.67	0.74	0.47	0.88	0.52	0.28	0.12	0.74
Na						1.00	0.85	0.18	0.84	0.18	0.29	0.40	0.97
K							1.00	0.30	0.78	0.18	0.13	0.25	0.90
Ca								1.00	0.28	-0.05	-0.14	-0.72	0.18
Mq									1.00	0.33	0.22	0.28	0.82
Al										1.00	0.88	0.28	0.31
H											1.00	0.33	0.37
Ba FRX												1.00	0.37
Ba_ICP													1.00

#### VI.2.9. Extração Sequencial (ES - Fracionamento)

A figura abaixo (figura VII.5) mostra a distribuição do bário em relação às frações de extração. É possível ver que o bário encontra-se em maior proporção na fração residual (67,5 – 54,9%), o que indica que está fortemente ligado às estruturas cristalinas dos silicatos (ex: feldspato), seguida pela fração óxidos (14.2 – 32.2%), onde está ligado aos óxidos e hidróxidos de Al, Fe e Mn, presentes na cimentação Fe/Mn que ocorre juntamente com a carbonática e secundariamente com os minerais encontrados como elemento traço no arcabouço.

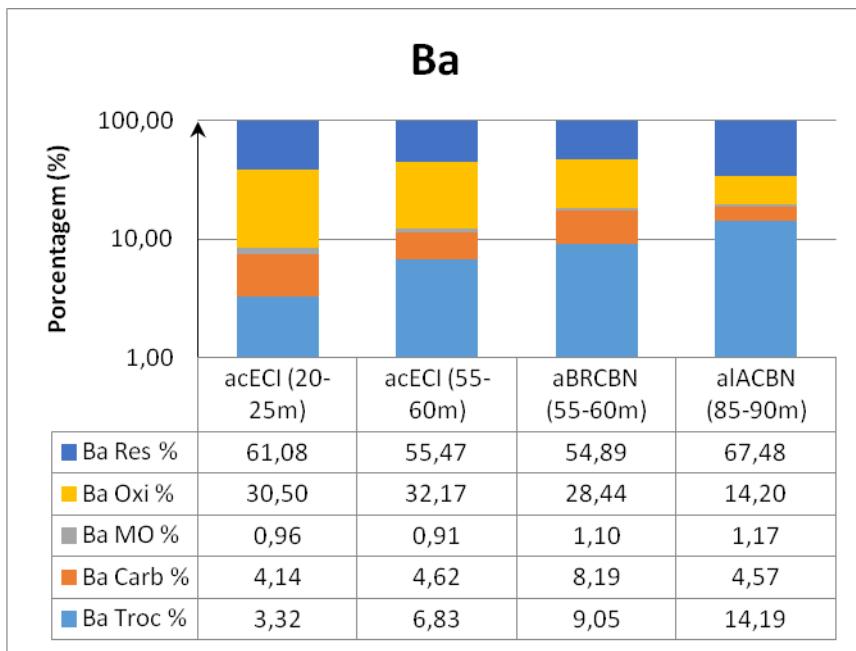


Figura VI.5: Porcentagem de extração de Ba em cada fração de extração (Troc – Trocável; Carb – Carbonatos; MO – Matéria Orgânica; Oxi – Óxidos de Al, Fe e Mn e Res – Residual).

O Ba também encontra-se em relativas proporções na fração trocável (3.3 – 14.2%), seguida pela fração carbonato (4.1 – 8.2%). A fração trocável, que inclui metais fracamente adsorvidos a superfícies minerais e co-precipitados com carbonatos, pode estar associada a argilominerais e outros minerais associados à cimentação carbonática e ferromagnesiana.

#### VI.2.10. Análises Químicas em Microscópio Eletrônico de Varredura (MEV)

O Ba apresenta uma correlação positiva com S, Mn, Cu e Pr, e uma correlação também positiva, mas menor com Nd. Isto pode ser visto na tabela VI.5. A correlação com o Mn foi observada em MEV junto aos óxidos de manganês intersticiais na amostra aCECI (20-25m), e nos nódulos de Fe/Mn da amostra aCECI (55-60m). Isso foi confirmado pelos resultados da extração sequencial, onde o Ba ocorre em maior proporção na fração óxidos e residual. A correlação com S pode ser observada na amostra aBRCBN (55-60), onde houve precipitação da barita em grão de quartzo. A correlação com Pr e Nd pode indicar ocorrência de Ba junto com terras raras associados a monazitas e/ou apatitas.

Tabela VI.5: Matriz de correlação das microanálises EDS/WDS

	O	Na	Mg	Al	Si	K	Ca	Ti	Mn	Fe	Ba	SO4
O	1.00	0.74	0.65	1.00	0.96	1.00	-0.88	1.00	-0.98	-0.24	-1.00	0.00
Na		1.00	0.99	0.73	0.52	0.74	-0.33	0.78	-0.58	-0.83	1.00	0.00
Mg			1.00	0.64	0.41	0.65	-0.21	0.70	-0.47	-0.90	1.00	0.00
Al				1.00	0.96	1.00	-0.89	1.00	-0.98	-0.23	-1.00	0.00
Si					1.00	0.96	-0.98	0.94	-1.00	0.04	-1.00	0.00
K						1.00	-0.88	1.00	-0.98	-0.24	-1.00	0.00
Ca							1.00	-0.85	0.96	-0.25	1.00	0.00
Ti								1.00	-0.96	-0.31	1.00	0.00
Mn									1.00	0.02	1.00	0.00
Fe										1.00	-1.00	0.00
Ba											1.00	0.00
SO4												1.00

### VI.3. Amostras de Água

#### VI.3.1. Composição das amostras

Em geral as amostras apresentaram uma composição predominantemente Ca-Mg-HCO<sub>3</sub> (Figura VI.6).

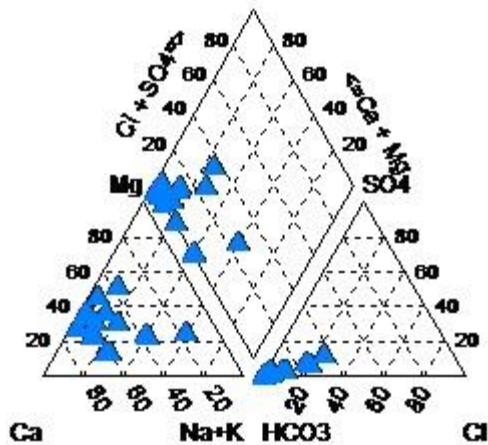


Figura VI.6: Tipos hidroquímicos das amostras

As águas amostradas no poço de monitoramento apresentam uma composição Ca-Mg-HCO<sub>3</sub> (Figuras VI.7 e VI.8), com apenas duas variações no mês de julho, uma com um aumento de Na e outra com Mg.

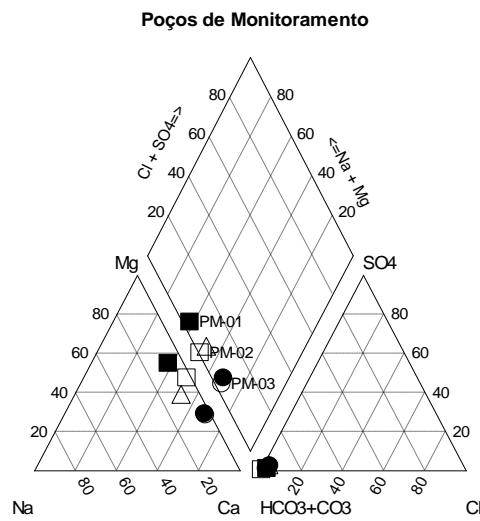


Figura VI.7: Tipos hidroquímicos das amostras dos poços de monitoramento de Gália (extraído de Bertolo, 2013)

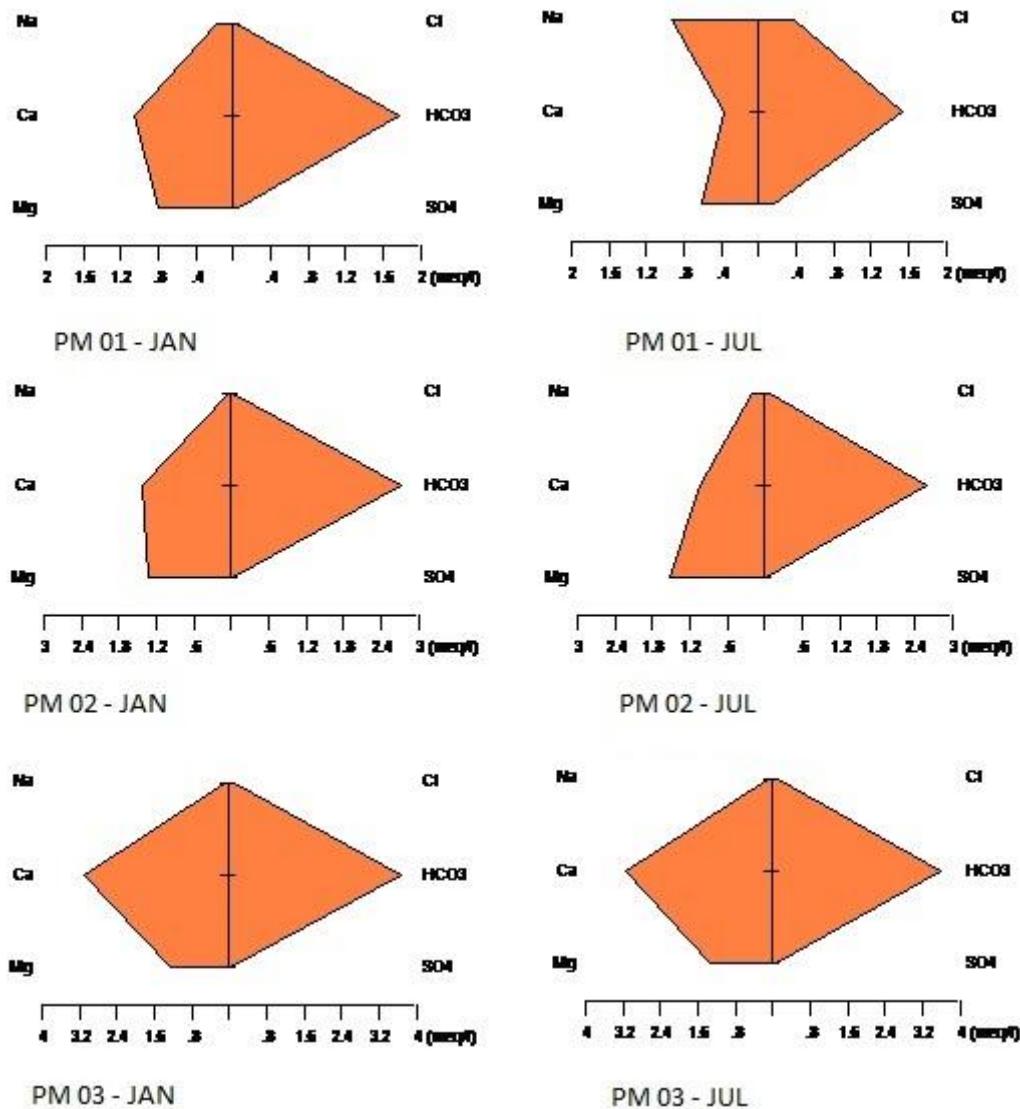


Figura VI.8: Composição química representada em gráficos Stiff das amostras dos PM 01, PM 02 e PM 03

A composição química das amostras retiradas da Lagoa e do córrego é a mesma das anteriores, com a variação que as amostras coletadas na Lagoa apresentam uma quantidade maior de Na na composição.

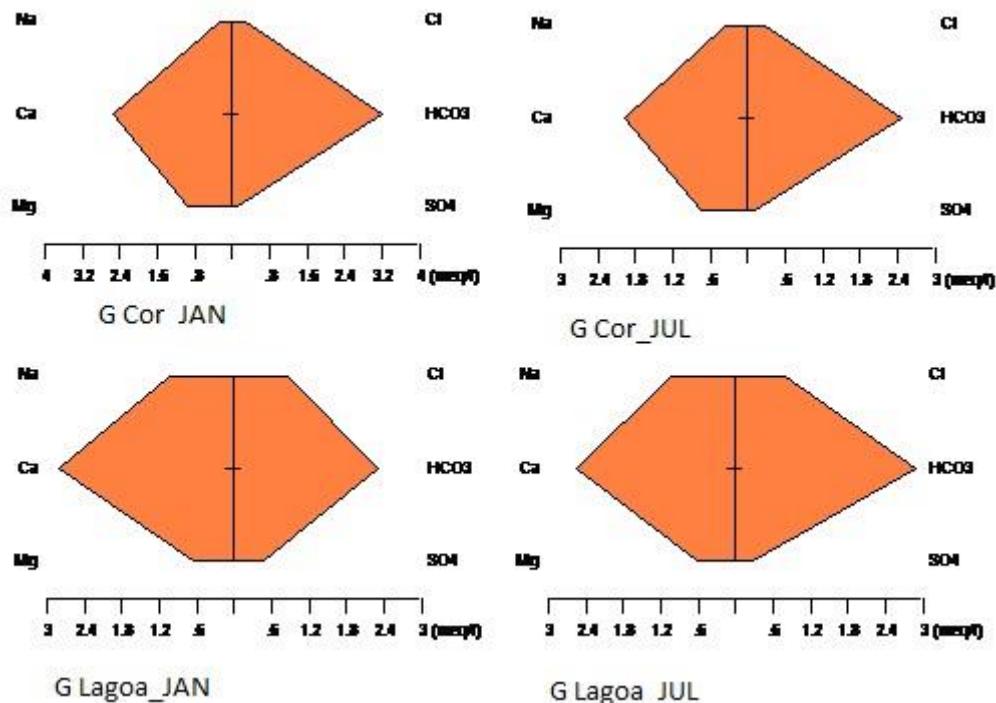


Figura VI.9: Composição química representada em gráficos Stiff das amostras coletadas no Córrego e Lagoa

A composição química das amostras do teste de bombeamento é similar as anteriores, com as amostras mais profundas apresentando maior teor de Na e menor teor de Ca (Figuras VII.10 e VII.11).

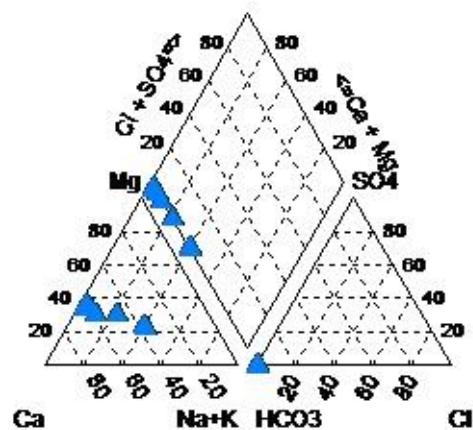


Figura VI.10: Tipos hidroquímicos das amostras do teste de bombeamento de Gália

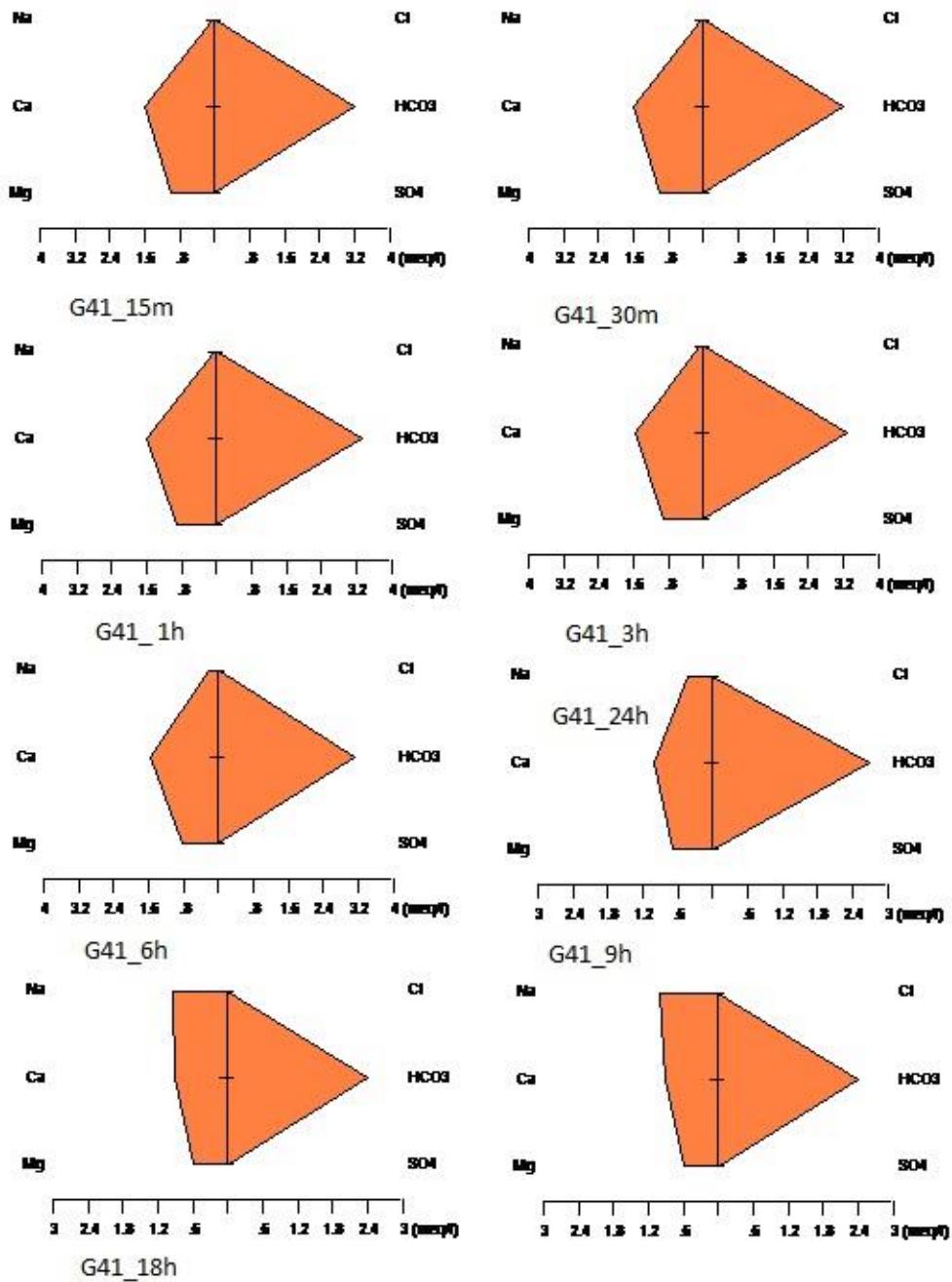


Figura VI.11: Composição química representada em gráficos Stiff das amostras das testes de bombeamento

### VI.3.2. Variação Química dos Aquíferos

Com estes dados é possível verificar que há uma variação da composição química das amostras de água, em profundidade e ao longo do tempo. O poço PM-03, que representa o aquífero raso, contém maior alcalinidade e teores de nitrato e cálcio, e

menores pH's e concentrações de Ba. Já o Poço PM-02, que é representativo de um aquitarde intermediário, contém menores concentrações de íons antrópicos como  $\text{Cl}^-$  e  $\text{NO}_3^-$  por ser constituído de intensa cimentação carbonática e, portanto não permitindo grandes fluxos de água subterrânea (Bertolo, 2013). Este poço apresenta também menor alcalinidade e cálcio que o aquífero raso. Isto, pois a formação de íons bicarbonatos é maior nos aquíferos em contato direto com a atmosfera, onde os pH's são menores. Apresenta também as maiores concentrações de Ba, relacionadas com as menores concentrações de sulfato, sugerindo que a barita pode ser um controlador das concentrações de Ba no aquífero.

#### VI.3.3. Hidrogeoquímica dos Elementos Maiores

O poço PM-01 possui seção filtrante na transição do Marilia para o Adamantina e apresenta concentrações de  $\text{NO}_3^-$  menores que as do aquífero raso e maiores que as do aquífero intermediário. Já os teores de  $\text{SO}_4^{2-}$  são maiores que os do aquífero intermediário, e parecem tanto maiores quanto menores que os encontrados no aquífero raso. Os valores de alcalinidade são menores e os de pH são maiores que nos outros, isto ocorre pois o pH aumenta em profundidade já que os íons  $\text{H}^+$  vão se adsorvendo as formações geológicas em trocas iônicas. Os teores de Ba são maiores que os aquífero raso e menores que o intermediário.

Os três aquíferos apresentam maiores concentrações de íons ( $\text{Cl}^-$ ,  $\text{NO}_3^-$  e  $\text{SO}_4^{2-}$ ) no inverno, isto ocorre devido à diminuição da recarga. Contudo, as maiores concentrações de Ca e Ba são observadas na campanha de verão (Jan/11), quando as concentrações de  $\text{SO}_4^{2-}$  são menores.

O poço PM-03, o mais profundo, apresentou maiores concentrações de  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{NO}_3^-$  e  $\text{SO}_4^-$  devido provavelmente à mistura com as águas do Adamantina trazidas por fluxo vertical. As concentrações de Ca no verão são o resultado de uma possível maior drenança, através do aumento Ba no PM-01 também pode ser explicado pela menor concentração do sulfato na água, resultado de um fluxo vertical maior que o horizontal.

#### VI.3.4. Hidrogeoquímica do Bário

O Ba aparece em maior concentração no poço PM-02 com concentrações variando de 1,54 mg/L a 2,18 mg/L, e em segundo o PM-01 (zona profunda) com 0,88 mg/L. O nitrato foi detectado em concentrações acima do padrão de potabilidade (MS, 2011 *apud* Bertolo, 2013) nos PMs 01 e 03. No poço mais raso (PM-03) isto pode ser justificado, pois é comum esse alto teor em aquíferos rasos em áreas urbanas, pois muitas vezes são impactados

antropicamente por águas servidas, principalmente em cidades pequenas do interior onde a coleta de esgoto ainda não foi totalmente instalada. Enquanto o PM-01 apresenta anomalia de nitrato somente em época de seca, quando o fluxo principal é horizontal, trazendo provavelmente águas impactadas mais distantes.

As matrizes de correlação geradas mostram que o Ba apresenta correlação negativa com o  $\text{SO}_4^{2-}$  e com o  $\text{NO}_3^-$ , confirmando origem natural para o Ba nas águas do Aquífero Marília e a precipitação da barita como agente controlador das concentrações de Ba no aquífero.

Tabela VI.6: Matriz de correlação dos parâmetros obtidos nas amostras de água de Gália

	Temp	pH	Eh	Cond	Alk	HCO3	CO3	NO3	NO2	SO4	Cl	F	P	Ca	Na	K	Mq	Ba	Sr	Fe	Mn	Al	Si
Temp	1.00	-0.08	-0.43	-0.16	0.30	0.28	-0.13	0.14	-0.26	-0.43	-0.26	-0.02	-0.45	0.23	-0.26	-0.25	0.29	-0.13	-0.49	-0.45	-0.28	0.08	0.22
pH		1.00	-0.06	-0.75	-0.82	-0.86	0.89	-0.60	-0.43	0.40	0.53	0.53	0.41	-0.95	0.74	0.82	-0.49	0.20	0.78	-0.10	0.31	-0.30	-0.74
Eh			1.00	0.14	-0.07	-0.02	-0.18	-0.37	0.86	-0.36	-0.26	-0.30	-0.26	-0.13	-0.17	-0.11	0.11	0.66	0.03	0.97	-0.31	0.61	0.07
Cond				1.00	0.56	0.58	-0.47	0.80	0.57	0.17	0.08	-0.26	-0.20	0.75	-0.15	-0.26	-0.05	-0.54	-0.23	0.03	-0.20	0.19	0.41
Alk					1.00	1.00	-0.58	0.69	0.20	-0.39	-0.34	-0.82	-0.77	0.93	-0.60	-0.64	0.75	-0.18	-0.79	-0.02	0.11	-0.09	0.97
HCO3						1.00	-0.66	0.66	0.26	-0.45	-0.41	-0.82	-0.76	0.94	-0.67	-0.71	0.76	-0.14	-0.83	0.03	0.03	-0.01	0.97
CO3							1.00	-0.20	-0.46	0.66	0.83	0.37	0.28	-0.73	0.92	0.95	-0.50	-0.13	0.84	-0.27	0.59	-0.60	-0.57
NO3								1.00	0.04	0.33	0.31	-0.31	-0.30	0.78	0.01	-0.10	0.06	-0.81	-0.24	-0.45	0.21	-0.34	0.51
NO2									1.00	-0.33	-0.28	-0.29	-0.33	0.26	-0.29	-0.29	0.06	0.30	-0.18	0.78	-0.53	0.73	0.22
SO4										1.00	0.92	0.47	0.58	-0.28	0.87	0.80	-0.74	-0.68	0.80	-0.48	0.49	-0.59	-0.51
Cl											1.00	0.34	0.31	-0.34	0.95	0.91	-0.64	-0.58	0.82	-0.41	0.57	-0.63	-0.43
F												1.00	0.85	-0.60	0.52	0.50	-0.88	-0.28	0.61	-0.39	-0.33	0.13	-0.93
P													1.00	-0.53	0.45	0.41	-0.78	-0.24	0.63	-0.28	-0.08	-0.04	-0.83
Ca														1.00	-0.61	-0.69	0.53	-0.37	-0.76	-0.11	-0.10	0.05	0.83
Na															1.00	0.99	-0.75	-0.39	0.94	-0.31	0.45	-0.49	-0.66
K																1.00	-0.70	-0.27	0.94	-0.24	0.46	-0.48	-0.67
Mq																	1.00	0.44	-0.81	0.27	0.15	-0.03	0.88
Ba																		1.00	-0.17	0.79	-0.18	0.43	0.06
Sr																			1.00	-0.09	0.33	-0.32	-0.80
Fe																				1.00	-0.27	0.58	0.15
Mn																					1.00	-0.94	0.18
Al																						1.00	-0.09
Si																							1.00

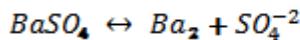
## VII. DISCUSSÃO HIDROGEOQUÍMICA

De acordo com a bibliografia, a presença de bário ocorre na forma de minerais com o elemento, em solução como o íon  $\text{Ba}^{2+}$ , e adsorvido em ligações fracas na superfície de outros minerais. A fonte do elemento pode também ser antrópica ou natural.

A fonte antrópica pode ser descartada neste caso, pois os níveis de nitrato encontrado nas amostras se encontram dentro dos padrões considerados como normalidade, e junto com os dados apresentados nas interpretações das amostras é possível concluir que a fonte do elemento é de origem natural.

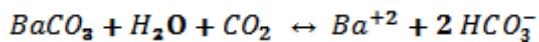
A ocorrência do elemento na forma de minerais pode ser na forma de minerais de bário, como a barita ( $\text{BaSO}_4$ ), witherita ( $\text{BaCO}_3$ ), na estrutura de óxidos de manganês e substituindo o cálcio na calcita

A solubilidade da barita pode ser representada pela equação I e apresenta um valor próximo a  $10^{-10}$ , e apresenta atividade molares do sulfato próximas a  $10^{-4}$  (~10 mg/L) ou  $10^{-3}$  (~100 mg/L) corresponderiam em equilíbrio as atividade molares de bário de  $10^{-6}$  ou  $10^{-7}$  (~0,14 ou 0,014 mg/L), com valores bem inferiores a 1mg/L. Porém com a presença do íon cloreto e outros ânions (como o  $\text{NO}^{3-}$  e  $\text{CO}^{2-}$ ) (Bodek *et al.* 1988 *apud* Bertolo, 2013) poderia aumentar consideravelmente a solubilidade da barita. Outra possibilidade do aumento é quando o ambiente é extremamente redutor, e o sulfato é reduzido a sulfeto e há um aumento da alcalinidade.



Equação IV: Equação de equilíbrio de solubilidade da barita

A solubilidade da Witherita é representada pela equação II e possui um valor entre  $10^{-8.3}$  e  $10^{-8.5}$ , sendo um mineral solúvel. Este valor de solubilidade é similar ao da calcita, porém a witherita é um mineral mais instável que a calcita, e durante a sua dissolução não há saturação. A precipitação da calcita pode interferir nesta equação, aumentando a dissolução da Witherita e consequentemente as concentrações de bário na solução (Mokrik *et al.* 2009).



Equação V: Equação de equilíbrio de solubilidade da whiterita

O raio iônico do elemento bário e sua valência (2+) permite uma substituição isomórfica com o cálcio presente na calcita. O bário pode substituir também outros metais alcalino terrosos em óxidos de  $MnO_2$ . Pelos resultados de MEV e extração sequencial, pode-se concluir que os maiores teores de Ba encontram-se na fração óxidos, no entanto, as frações mais reativas (trocável e carbonatos) colaboram muito mais para as concentrações de Ba observadas na água do que as maiores concentrações que ocorrem com os óxidos.

O bário apresentado na forma de íon livre na solução é controlado por reações de troca iônica e adsorção, apresentando um forte adsorção em argilas e óxido-hidróxidos de Fe e Mn. Em condições redutoras o bário adsorvido em óxidos de manganês pode ser liberado para a solução (Selim & Kingery, 2003 *apud* Bertolo, 2013). No caso da adsorção em argilas Eylem *et al* (1990 *apud* Bertolo, 2013) constatou que o íon  $Ba^{2+}$  apresenta uma adsorção reversível em caulinita (adsorvido em superfície) e parcialmente reversível em montmorilonita e clorita-ilita (adsorvido nas camadas).

Através do cálculo de índices de saturação (Figura VII.1) calculados para as águas dos poços de monitoramento, é possível observar que a barita está em equilíbrio, bem como a calcita e portanto, a fonte mais provável de Ba seja a cimentação carbonática, enquanto o agente controlador de Ba na água seja a barita.

Tabela VII.1: Índices de saturação

	IS CALCITA	IS BARITA	IS WITHERITA
PM-03	-0.28	-0.44	-3.08
PM-02	0.18	-0.45	-1.38
PM-01	0.22	-0.03	-1.61

## VIII. CONCLUSÃO

Através da revisão bibliográfica podemos ver que a ocorrência de anomalias de bário em aquíferos aumentaram desde a definição do seu padrão de potabilidade, na década de 70. E que sua ocorrência pode ser de origem antrópica ou natural.

A geologia da área de estudo é composta predominantemente por arenitos, com intercalações de lamitos, em bancos na formação Marília e intercalado com estratificações na Adamantina. A cimentação carbonática é presente na formação Marília, com alguns traços na formação Adamantina. A confecção das seções colunares mostrou que a geologia encontrada na área se difere um pouco da bibliografia por conta da granulação, que se apresenta mais fina na formação Marília, contudo esta apresenta as principais características da formação, como a cimentação carbonática intensa.

Sobre o comportamento hidrogeoquímico do bário, a compilação e a análises dos dados de água mostraram que a composição das amostras de água é Ca-Mg-HCO<sub>3</sub>, e o teor de nitrato e sua correlação com o bário mostra que não há intervenção antrópica, sendo a anomalia de fonte natural.

As amostras de solo mostraram que o bário aparece relacionado com os minerais do cimento carbonático da formação Marília, como por exemplo substituindo o cálcio da calcita por bário, e também adsorvido na superfície de argilominerais.

Com os resultados pode-se afirmar que as concentrações de Ba na água do Aquífero Marília são de origem natural e pelos resultados na fase sólida e líquida conclui-se que as fontes mais prováveis de Ba na fase sólida sejam aquelas relacionadas com as frações trocáveis, ou seja, aquelas adsorvidas aos minerais adsorventes como os argilominerais e aquelas relacionadas com a fração carbonática, presente na cimentação carbonática, enquanto a barita é o agente controlador do Ba dissolvido na água.

## IX. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BERTOLO, R. 2013. *Investigação de anomalias Hidrogeoquímicas de bário em aquíferos Do estado de São Paulo*. Relatório Final. Programa de Pós-Graduação Recursos Minerais e Hidrogeologia / Hidrogeologia e Meio Ambiente. Instituto de Geociências. São Paulo.
- CETESB – COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL (2010). *Relatório de qualidade das águas subterrâneas no Estado de São Paulo*. São Paulo: 2007 - 2009. Disponível em: [http://www.cetesb.sp.gov.br/Solo/agua\\_sub/rede\\_resultados.asp](http://www.cetesb.sp.gov.br/Solo/agua_sub/rede_resultados.asp).
- CHOUDHURY, H., CARY, R. 2001. Barium and Barium Compounds, Boletim 33 in: *Volume 33 of Concise International Assessment Document*. World Health Organization.
- CPRM – SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL. 2006. *Geologia e Recursos Minerais do Estado de São Paulo. Mapa Geológico Estadual*, Escala 1:750. 000. Ministério de Minas e Energia, Secretaria de Geologia, Mineração e Transformação Mineral, Governo do Estado de São Paulo.
- GILKERSON, R. H.; SPECHT, S. A.; CARTWRIGHT, K.; GRIFFIN, R. A.; LARSON, T. E. 1978. Geologic studies to identify the source for high levels of radium and barium in Illinois: a preliminary report. Illinois: UNIVERSITY OF ILLINOIS. *Water Resources Center Research Report*, **135**:21.
- IBGE–Cidades–Gália *in:*  
<http://www.ibge.gov.br/cidadesat/xtras/perfil.php?codmun=351660&search=sao-paulo|g%E1lia>  
acessado em Agosto 2013
- KELLY, W. 2008. Radium and Barium in the Ironton-Galesville Bedrock Aquifer in Northeastern Illinois, Final Report. Center for Groundwater Science Illinois State Water Survey.
- LECH M. E. CARITAT, P. 2007. Baseline geochemical survey of the Riverina region of New South Wales and Victoria, Australia: concentrations and distributions of As, Ba, Br, Cd, Co, Cr, F, Ga, Mo, Sb, U and V compared to national and international guidelines. *Geochemistry: Exploration, Environment, Analysis*, **7**:233–247.
- MARANDI, A.; KARRO, E.; PUURA, E. 2004. Barium anomaly in the Cambrian-Vendian aquifer system in North Estonia. *Environmental Geology*, **47**:132-139.

Silva, R. in: *Geologia e Recursos Minerais do Estado de São Paulo. Mapa Geológico Estadual*, Escala 1:750. 000. Parte I, cap. 2. Ministério de Minas e Energia, Secretaria de Geologia, Mineração e Transformação Mineral, Governo do Estado de São Paulo.

MOKRIK, R.; KARRO, E.; SAVITSKAJA, L.; DREVALIENE, G. 2009. The origin of barium in the Cambrian-Vendian aquifer system, North Estonia. *Estonian Journal of Earth Sciences*, **53** (3):193-208.

PATNAIK, P. 2003. *Handbook of Inorganic Chemicals*. McGraw-Hill books. New York.

PAULA E SILVA, F. 2003. *Geologia de Subsuperfície e Hidroestratigrafia do Grupo Bauru no Estado de São Paulo*. Dissertação (Doutorado) - Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro.

SILVA, M.F.B.; NICOLETTI, A.; ROCCA, A.C.C.; CASARINI, D.C.P. 1998. *Uso e qualidade das águas subterrâneas para abastecimento público no Estado de São Paulo*. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS, 10. São Paulo: ABAS, 1998. CD-ROM.

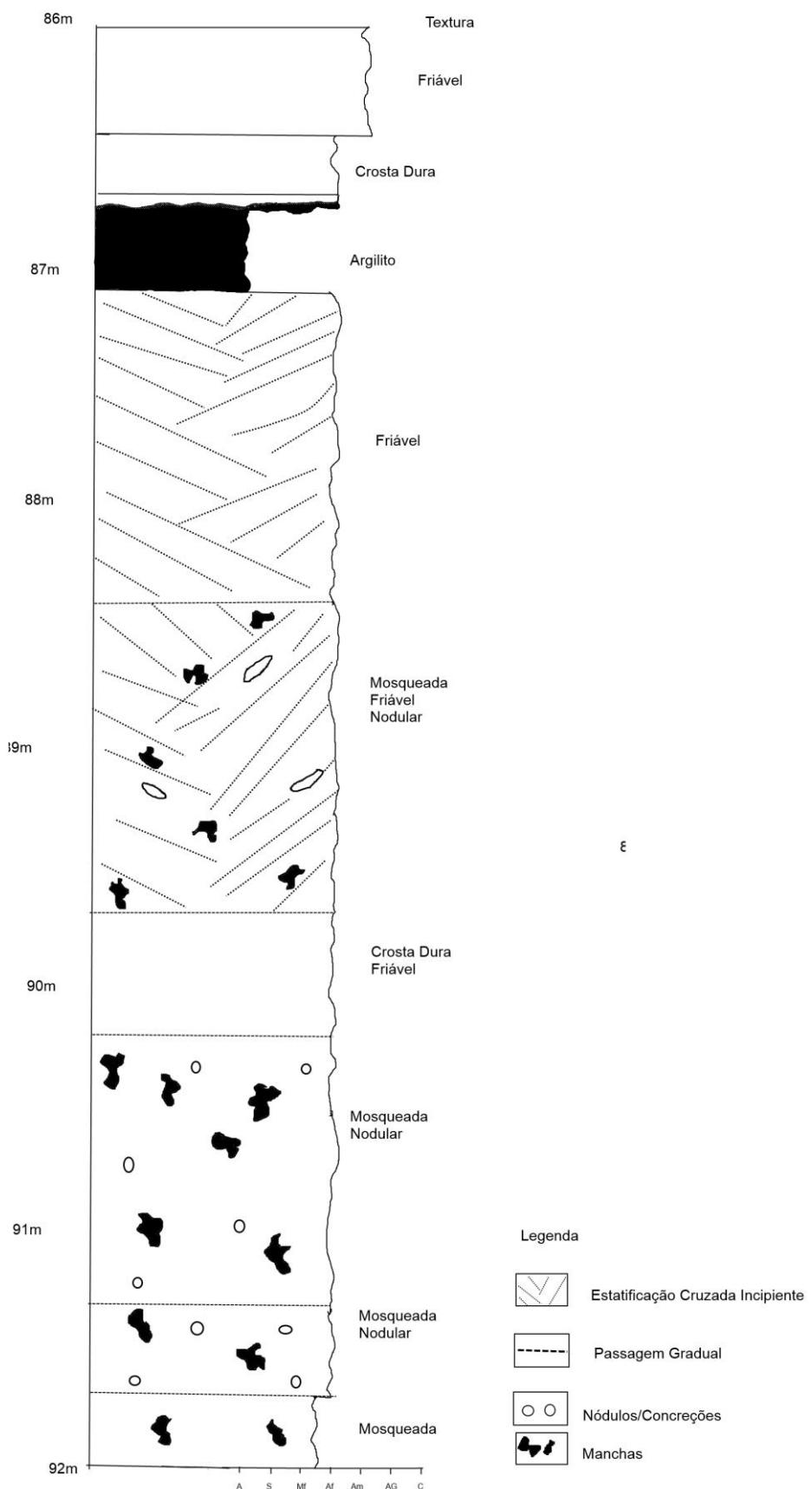
SOARES P.C.; LANDIM P.M.B.; FÚLFARO V.J.; SOBREIRO NETO A.F. 1980. *Ensaio de caracterização do Cretáceo no Estado de São Paulo: Grupo Bauru*. Rev. Bras. Geociências, **10**(3): 177-185.

TAVARES, T. 2011. *Investigação de anomalias Hidrogeoquímicas de bário em aquíferos Do estado de São Paulo*. Exame de Qualificação. Programa de Pós-Graduação Recursos Minerais e Hidrogeologia / Hidrogeologia e Meio Ambiente. Instituto de Geociências. São Paulo.

WHO. 1996. *Guidelines for drinking-water quality. 2nd edn., Vol. 2: Health criteria and other supporting information*. World Health Organization, Geneva.

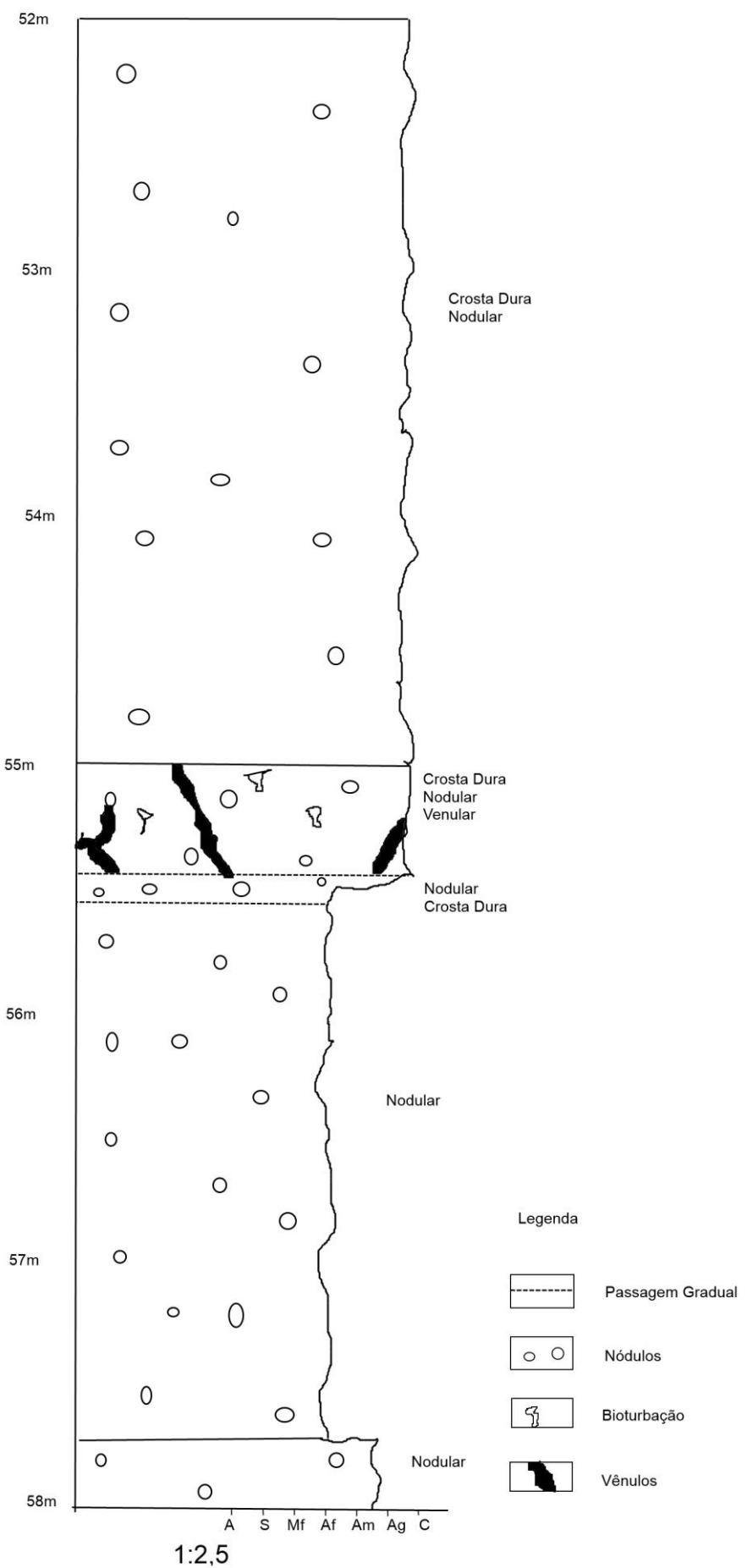
## **ANEXO I – PERFIS CONSTRUÍDOS**

### Seção Colunar - Poço PM01

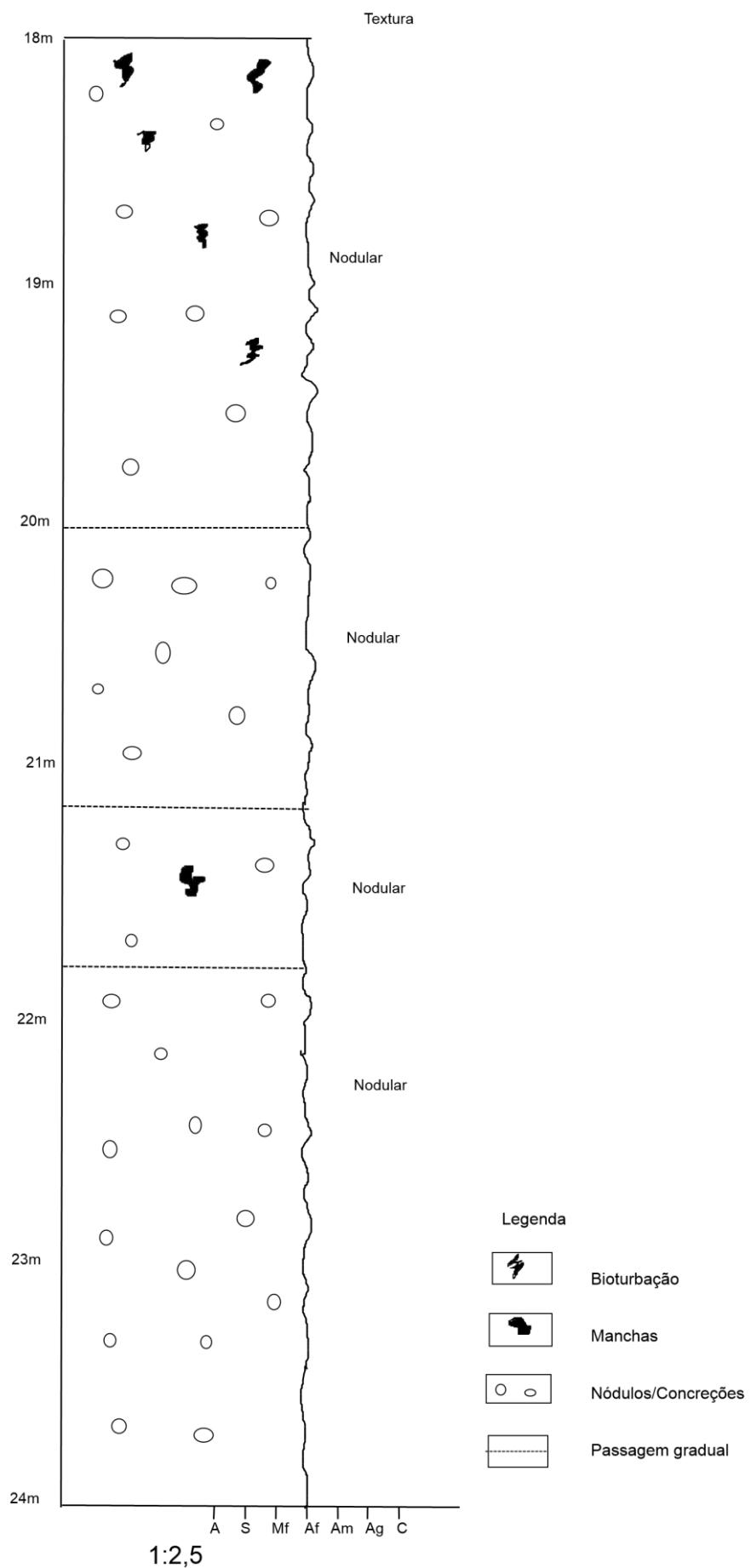


1:2,5

### Seção Colunar - PM 02



### Seção Colunar - PM 03



**ANEXO II – RESULTADO DAS ANÁLISES QUÍMICAS E MINERALÓGICAS**

Tabela II.1: Analise Química por Fluorescência de Raio X (Porcentagens)

AMOSTRA/UNID	ALABCN (15/20M -1,2)	ABRCBN (15/20M - 2)	ABRCBN (15/20M - 2)	ABRCBN (15/20M - 2)	ACECI (20/25M - 2)	ACSCS (20/25M - 2)	ACECI (55/60M - 1)	ABRCBN (55/60M - 2)	ALACBN (85/90M - 1)	ABSC (85/90M - 2)	
<b>SIO2</b>	%	71.66	78.78	78.78	78.78	62.05	82.31	66.3	80.34	52.02	91
<b>AL2O3</b>	%	7.73	3.17	3.17	3.17	2.36	3.12	2.56	2.76	5.53	2.34
<b>FE2O3</b>	%	4.21	1.33	1.33	1.33	1.12	0.83	1.28	1.31	2.99	1.37
<b>MGO</b>	%	2.48	1.53	1.53	1.53	1.77	1.36	1.69	1.37	8.12	0.32
<b>CAO</b>	%	3.77	5.95	5.95	5.95	16.18	4.56	13.81	5.81	11	0.72
<b>NA2O</b>	%	< 0.02	< 0.02	< 0.02	< 0.02	< 0.02	< 0.02	< 0.02	< 0.02	< 0.02	< 0.02
<b>K2O</b>	%	2.01	1.2	1.2	1.2	0.93	1.55	0.79	1	1.52	1.29
<b>P2O5</b>	%	0.072	0.02	0.02	0.02	0.018	0.013	0.011	0.011	0.058	0.016
<b>MNO</b>	%	0.044	0.039	0.039	0.039	0.05	0.032	0.031	0.028	0.055	0.034
<b>TIO2</b>	%	0.836	0.425	0.425	0.425	0.332	0.32	0.356	0.391	0.598	0.512
<b>LOI (PF)</b>	%	6.94	7.23	7.23	7.23	15.29	5.56	13.49	6.78	18.21	1.4

Tabela II.2 – Resultado da Análise de Minerais Pesados

AMOSTRA	ACECI (20/25M - 2)	ACECI (55/60M - 1)	ABRCBN (55/60M - 2)	ALACBN (85/90M - 1)	ABSC (85/90M - 2)
ALN	Tr				
ANT	Tr	1		1	1
AP	1+#	1+#	Tr#	6#	2#
BRT					
BT	Tr			Tr	
CAL	12*	15*	1*	22*	Tr*
CZO	8	1	3	2	7
FL	Tr+*				
GRT	3	1	1	2	1
KY	Tr	1	1		Tr
MNZ	1				
OP	28	13	32	26	31
PIS	5	4	1	1	3
RT	TR	6	1	4	3
SPL	TR				
ST	z	2	7	2	Tr
TOZ			Tr		Tr
TTN		1	Tr	Tr	Tr
TUR	9	10	34	5	18
ZOI	6		1		
ZRN	20	44	10	29	34

Obs: \*- Serrilhamento nas borda; + - Padrão reticulado, # - Oxidação

Tabela II.3- Análises Químicas de Cátions Adsorvidos, CTC e pH

AMOSTRA	ALABCN (15/20M - 1,2)	ABRCBN (15/20M - 2)	ABRCBN (15/20M - 2)	ABRCBN (15/20M - 2)	ACECI (20/25M - 2)	ACSCS (20/25M - 2)	ACECI (55/60M - 1)	ABRCBN (55/60M - 2)	ALACBN (85/90M - 1)	ABSC (85/90M - 2)
PH CACL	6.5	6.2	6.2	6.2	6.7	6.3	6.6	6.7	7	6.7
PH H2O	7.6	7.4	7.4	7.4	8.1	7.7	7.9	8.2	8.3	8
PH KCL	6.4	6.6	6.6	6.6	7.5	7.1	7.5	7.5	7.4	7.3
M. O. (G/KG)	1.16	1.05	1.05	1.05	1.09	0.99	1.1	0.93	1.2	0
P ( MG/KG)	4.64	5.25	5.25	5.25	15.26	4.95	13.2	8.37	28.8	14.85
NA MMOLC/KG	0.9	0.6	0.6	0.6	0.7	0.7	0.7	0.8	1.2	0.6
NA MG/KG	20.69	13.79	13.79	13.79	16.09	16.09	16.09	18.39	27.58	13.79
K MMOLC/KG	1.62	1.47	1.47	1.47	1.31	1.29	1.98	1.77	2.76	1.35
K MG/KG	63.49	57.47	57.47	57.47	51.14	50.32	77.41	69.09	107.91	52.78
CA MMOLC/KG	365.4	294	294	294	3335.4	37.62	3344	1432.2	1452	222.7
CA MG/KG	7322.251	5891.466	5891.466	5891.466	66838.08	753.8672	67010.42	28699.86	29096.63	4463.687
MG MMOLC/KG	127.6	31.5	31.5	31.5	479.6	29.7	44	27.9	1440	54
MG MG/KG	1550.65	382.80	382.80	382.8038	5828.339	360.9293	534.71	339.0548	17499.6	656.235
AL MMOLC/KG	1.16	1.05	1.05	1.05	1.09	0.99	1.1	0.93	1.2	1.35
AL MG/KG	10.43	9.44	9.44	9.44	9.80	8.90	9.89	8.36	10.79	12.14
H MMOLC/KG	6.96	5.25	5.25	5.25	5.45	4.95	5.5	4.65	6	6.75
H MG/KG	7.02	5.292	5.292	5.292	5.49	4.98	5.54	4.69	6.05	6.80

Tabela II.4 - Análises Químicas por ICP-OES BIOAGRI

AMOSTRA	ALABCN (15/20M -1,2)	ALACBN (85/90M - 1)	ABRCBN (15/20M - 2)	ABRCBN (15/20M - 2)	ABRCBN (15/20M - 2)	ABRCBN (55/60M - 2)	ACECI (20/25M - 2)	ACECI (55/60M - 1)	ACSCS (20/25M - 2)	ABSC (85/90M - 2)
	Limite det.									
ALUMÍNIO	18376	4191	993	993	993	1434	685	2483	4986	438
ARSÊNIO	< 0.4	< 0.5	< 0.4	< 0.4	< 0.4	na	< 0.4	< 0.4	< 0.4	< 0.4
BÁRIO	75	128	31	31	31	66	38	53	33	44
CHUMBO	3.9	3.2	1.5	1.5	1.5	1.6	1.2	1.4	0.7	1.5
COBALTO	6.2	5.1	1.1	1.1	1.1	0.9	1.1	1.2	1.4	0.8
FERRO	23261	12361	1347	1347	1347	2269	1476	1769	2257	1637
MANGANÊS	179	223	101	101	101	43	161	68	72	37
NÍQUEL	<0.4	<0.4	<0.4	<0.4	<0.4	2.5	3.4	<0.4	<0.4	3
CÁLCIO	23565	67097	4794	4794	4794	13260	26627	24446	3749	2371
ESTRÔNCIO	161	1118	35	35	35	102	288	221	30	31
MAGNÉSIO	10050	35859	1628	1628	1628	1303	3059	2152	2925	395
POTÁSSIO	3231	706	225	225	225	164	157	176	427	112
SÓDIO	80	115	<19	<19	<19	34	54	39	48	82
ENXOFRE	192	500	64	64	64	214	615	496	58	38
FÓSFORO	236	169	56	56	56	19	45	20	28	36

Tabela II.5: Resultado das Análises Granulométricas

AMOSTRA	AREIA (%)	SILTE + ARGILA (%)
<b>ACECI (20-25M)</b>	91.0	9.0
<b>ABRCBN (55-60M)</b>	94.9	5.1
<b>ACECI (55-60M)</b>	94.6	5.4
<b>ALACBN (85-90M)</b>	82.9	17.1
<b>ABSC (85-90M)</b>	96.2	3.8

Tabela II.6: Resultado das Análises mineralógicas por Difração de Raio x das amostras das cidades de Gália, Matão e Salto de Pirapora – SP

AMOS TRA	FRAÇÃO ARGILA	FRAÇÃO ARGILA+SILTE	LEVES (0.063- 0.125MM)	LEVES (0.125- 0.25MM)	LEVE S (0.25- 0.50M M)	PESADOS
<b>ACECI (20/25 M - 2)</b>			Qtz, Mc, Cal, Palygorskite			
<b>ACECI (55/60 M - 1)</b>			Qtz, Mc, Cal, Paligorskite	Qtz, Mc, Cal, Paligorskite		Zrn, Ep, Tounkite, Drv, Ant, Gt
<b>ABRC BN (55/60 M - 2)</b>				Qtz, Mc, Cal, Paligorskite		Mgh, Hem, Zrn, Rt, Ant, Gt, Qtz, Cal
<b>ALAC BN (85/90 M - 1)</b>	Qtz, Dol, Mca		Qtz, Dol, Mc, Paligorskite	Qtz, Dol, Mc	Qtz, Dol, Mc	Mgh, Hem, Zrn, Drv, Rt, Ant
<b>ABSC (85/90 M - 2)</b>			Qtz, Mc, Cal, Paligorskite			Mgh, Hem, Zrn, Drv, Qtz, Czo

Tabela II.7: Descrição Macroscópica das Amostras da cidade de Gália-SP

AMOSTRA	LITOTIPO	GRANULAÇÃO	TEXTURA	SELEÇÃO	CIMENTAÇÃO	OBSERVAÇÕES
GÁLIA (10 - 15M)	aBRCBN / aBCI / acBCI / aACBN	Areia fina à média, com grânulos e seixos	Mosqueada com bioturbação tubulares	Mal Selecionada	Fraca a média	Bioturbações tubulares e grânulos silicosos; 30-70cm: Brecha intraformacional; 17,5-27,5cm: Arenito conglomerático Nódulos esféricos e alongados cm, bioturbações tubulares cm e intraclastos pelíticos mm
GÁLIA (15 - 20M)	alACBN / aBRCBN / acBRCBN	Areia fina com grânulos esparsos	Mosqueada e nodular/concrecionada	Moderadamente a mal selecionada	Fraca a média	Nódulos esféricos e alongados cm, bioturbações tubulares cm e intraclastos pelíticos mm
GÁLIA (15 - 20M)	alACBN / aBRCBN / acBRCBN	Areia fina com grânulos esparsos	Mosqueada e nodular/concrecionada	Moderadamente a mal selecionada	Fraca a média	Nódulos esféricos e alongados cm, bioturbações tubulares cm e intraclastos pelíticos mm
GÁLIA (15 - 20M)	alACBN / aBRCBN / acBRCBN	Areia fina com grânulos esparsos	Mosqueada e nodular/concrecionada	Moderadamente a mal selecionada	Fraca a média	Nódulos esféricos e alongados cm, bioturbações tubulares cm e intraclastos pelíticos mm
GÁLIA (15 - 20M)	alACBN / aBRCBN / acBRCBN	Areia fina com grânulos esparsos	Mosqueada e nodular/concrecionada	Moderadamente a mal selecionada	Fraca a média	Nódulos esféricos e alongados cm, bioturbações tubulares cm e intraclastos pelíticos mm
GÁLIA (20 - 25M)	aBRCBN / aBCI / acECI / aCSC	Areia fina	Nodular/Concrecionada	Moderadamente Selecionada	Média	Concreções cm, nódulos retrabalhados e in situ cm
GÁLIA (20 - 25M)	aBRCBN / aBCI / acECI / aCSC	Areia fina	Nodular/Concrecionada	Moderadamente Selecionada	Média	Concreções cm, nódulos retrabalhados e in situ cm
GÁLIA (25 - 30M)	aBRCB / aCSC	Areia fina	Nodular/Concrecionada, Mosqueada	Moderadamente Selecionada	Fraca a média	Nódulos esféricos e irregulares, cm a mm; concreções cm esparsas
GÁLIA (30 - 35M)	aBRCB / aBCI / acBCI / aACBN	Areia fina a média	Nodular/Concrecionada, mosqueada e Sub-horizontal (pseudofolhar)	Moderadamente a mal selecionada	Fraca a média	Bioturbações verticalizadas tubulares e intraclastos pelíticos cm

Tabela II.7: Descrição Macroscópica das Amostras da cidade de Gália-SP (cont.)

AMOSTRA	LITOTIPO	GRANULAÇÃO	TEXTURA	SELEÇÃO	CIMENTAÇÃO	OBSERVAÇÕES
GÁLIA (35 - 40M)	aBRCB / aBRCB N / aBCI / acECI / aACBN	Areia Fina a Grossa	Homogênea e nodular/concrecionada	Mal Selecionada	Fraca a média	Intraclastos pelíticos mm e grânulos e seixos silic. foscos arred., não esféricos. 35-37,05m: Arenito congl.
GÁLIA (40 - 45M)	aBRCB-M / aBRCB N / aACBN	Areia muito fina a média	Mosqueada, nodular concrecionada e homogênea	Moderadamente Selecionada	Fraca a média	Concreções e grânulos esparsos
GÁLIA (45 - 50M)	aBRCB-M / acBRCB -M / acECI - acBRCI / aBSC / IASC	Areia média a grossa	Mosqueada e homogênea	Moderadamente a mal selecionada	Fraca a média	Nódulos, intraclastos pelíticos, bioturbações cm e grânulos esparsos
GÁLIA (50 - 55M)	aBSC / IASC / acECI	Argila, Areia fina e Grânulo a Seixo	Homegênea a Crosta dura (nebulosa)	Moderadamente a mal selecionada	friável e intensa	50.59m-55m: Paracongl.
GÁLIA (55 - 60M)	acECI / aBRCB N / acBRCB -MN	Areia fina a Grânulos	Nodular/concrecionada a crosta dura	Mal Selecionada	Média	Vênulos mm, nódulos esparsos cm, intraclastos pelíticos mm- cm, clastos silicosos subarredondados cm; 55.19cm: Arenito congl. Vênulos mm, nódulos esparsos cm, intraclastos pelíticos mm- cm, clastos silicosos subarred.cm; 55.19cm: Arenito congl.
GÁLIA (55 - 60M)	acECI / aBRCB N / acBRCB -MN	Areia fina a Grânulos	Nodular/concrecionada a crosta dura	Mal Selecionada	Média	Vênulos mm, nódulos esparsos cm, intraclastos pelíticos mm- cm, clastos silicosos subarred.cm; 55.19cm: Arenito congl. Intrac. Pel. esparsos mm- cm, grânulos silicosos arred.
GÁLIA (60 - 65M)	aBSC / aBRCB / acECI / aBCMN	Areia média a grossa; argila	Homogênea e nodular/concrecionada	Moderadamente a mal selecionada	Friável a Fraca	esparcos, nódulos esféricos esparsos cm-mm, lentes congl. e 12cm de lamito

Tabela II.7: Descrição Macroscópica das Amostras da cidade de Gália-SP (cont.)

AMOSTRA	LITOTIPO	GRANULAÇÃO	TEXTURA	SELEÇÃO	CIMENTAÇÃO	OBSERVAÇÕES
GÁLIA (65 - 70M)	aBRCB N / aBRCB / aBSC / acBRCI / alACBN	Areia muito fina a fina	nodular/concrecionada	Moderadamente a mal selecionada	Fraca a média	Nódulos cm, clastos líticos cm e vênulos mm dispersos
GÁLIA (70 - 75M)	aBRCB / acBRC M / IASC / aBSC	Areia média	nodular/concrecionada a homogênea	Mal Selecionada	Fraca a média	Concreções cm alongadas, grânulos silicosos esparsos. 71,16m-71.24m: Arenito conglomerático intraclastos pelíticos mm a cm, grânulos e seixos silicosos esparsos; 77.81m-78.54: estratificações cruzadas
GÁLIA (75 - 80M)	alACBN / aBRCB / aBSC / acBRC M	Areia fina a média	nodular/concrecionada e homogênea	Mal Selecionada	Friável a média	Concreções cm, intraclastos pelíticos e nódulos cm. 80.82m-81.12: Arenito Conglomerático
GÁLIA (80 - 85M)	aBRCB / alACBN / acBRCI-M	Areia fina a média	Mosqueada, crosta dura (nebulosa) e nodular/concrecionada	Moderadamente a mal selecionada	Fraca a intensa	Intraclasto pelíticos mm e concreções alongadas cm. 86.62m- 87.03m: Argilito com injeções de areia na parte superior
GÁLIA (85 - 90M)	aBSC / aBRCB / alACBN	Areia fina a média; argila	Homogênea e Mosqueada	Moderadamente Selecionada	Friável a intensa	Intraclasto pelíticos mm e concreções alongadas cm. 86.62m- 87.03m: Argilito com injeções de areia na parte superior
GÁLIA (85 - 90M)	aBSC / aBRCB / alACBN	Areia fina a média; argila	Homogênea e Mosqueada	Moderadamente Selecionada	Friável a intensa	Concreções cm-mm e Clastos carbonáticos mm
GÁLIA (90 - 95M)	aBRCB / aBSC / alACBN / IASC	Areia muito fina a fina; silte/argila à areia muito fina	Homogênea a Mosqueada	Moderadamente a mal selecionada	Fraca	

Tabela II.8 – Resultado das Análises Mineralógicas por Microscopia Óptica

AMOSTRA	LITOLOGIA		ARENITO		NÓDULOS		FEIÇÕES PREENCHIDAS	
	Arcabouço	Matriz	Arcabouço	Matriz	Arcabouço	Matriz		
<b>GÁLIA (95 - 100M)</b>	aBSC / aIACBN / aECI	Silte a areia média	Mosqueada, homogênea e Crosta Dura/nebulosa	Moderadamente Selecionada	Friável a intensa	concreções carbonáticas esparsas; 97.29m- 97.37m e 98m- 98.17m: Estrat. cruzada inclin. de baixo ângulo		
<b>ALABCN (15/20M - 1,2)</b>	Arenito lamítico com nódulos carbonáticos	empacotamento medianamente fechado, grão sustentado, com contatos pontuais, composto por carbonatos (3%), óxidos e hidróxidos (3%), feldspato (3%), quartzo (80%), litoclastos e minerais acessórios como traços	composto por óxidos e hidróxidos de Fe/Mn, filossilicato s e carbonatos esparsos restritos envolvendo alguns grãos espalhados pela matriz	-	-	zonas irregulares com arcabouço mais grosso, empacotamento relativamente fechado, grão sustentado, com contatos tangenciais e pontuais. Arcabouço composto por óxidos/hidróxidos (3%), carbonatos (3%), feldspatos (3%), quartzo (80%), com acessórios e litoclastos como traços.	cimentação por óxidos e hidróxidos de Fe/Mn e por filossilicato s; os óxidos aparecem por vezes em grandes porções como nódulos e dispersos como torrões (cristais) no arcabouço	

Tabela II.8 – Resultado das Análises Mineralógicas por Microscopia Óptica (cont.)

AMOSTRA	LITOLOGIA	ARENITO	NÓDULOS	FEIÇÕES PREENCHIDAS			
<b>ABRCBN (15/20M - 2)</b>	Arenito com nódulos carbonáticos e porções conglo-meráticas Mineralogia: Quartzo (94%), Feldspato Alterado (5%, maios parte microclínio), litoclastos (<1%), óxidos/hidróxidos (traço, como torrões (<1%)), acessórios (traço);	Arcabouço empacotamento mediano/aberto, sustentado, com rares contatos pontuais; Mineralogia: Quartzo (94%), Feldspato Alterado (5%, maios parte microclínio), litoclastos (<1%), óxidos/hidróxidos (traço, como torrões (<1%)), acessórios (traço);	Matriz composto por hidróxidos Fe/Mn com carbonato (cristais espalhado s pela raiz), cristais carbonáticos esparsos (<1%),	Arcabouço 10% : empacota mento muito aberto, praticamente sem grãos (10%), Mineralogia: quartzo (98%) e carbonato (2%)	Matriz 90%: matriz/cimento sustentado , cimento composto por microcristais de carbonato, óxidos/hidróxidos de Fe/Mn	Arcabouço zonas irregulares com arcabouço fino, com empacota mento mais aberto que o do arenito, cimento sustentado ,granulação mais fina em meio a grãos maiores da matriz,grão s menores intersticiais aos grãos maiores, raros contatos pontuais, Mineralogia:Quartzo( 96%),felds patos alterados (3%, mais alterados) óxi./hidróx. (1%), acessórios (traço);	Matriz cimento composto por óxidos/hidróxidos de Fe/Mn, filossilicato s e carbonato em menor proporção
<b>ACECI (20/25M - 2)</b>	Arenito conglo-merático o com nódulos carbonáticos Mineralogia: Fe/Mn, disseminado em espaços intersticiais, cutículas filossilicáti- cas nos grãos, composto por feldspato (3%), óxi. e hidróxi. (10%), litoclastos (1%), quartzo (86%),e min. pesados como traço.	Emp.relativamente fechado, clasto sustentado, com contatos tangenciais e pontuais, hidróxidos e óxidos de Fe/Mn, disseminado em espaços intersticiais, cutículas filossilicáti- cas nos grãos, composto por feldspato (3%), óxi. e hidróxi. (10%), litoclastos (1%), quartzo (86%),e min. pesados como traço.	pseudo matriz de óxido e hidróxido de Fe e Mn	5-20%: empacota mento relativamente aberto, clastos mais finos, mais esparsos, bordas (franjas) de "calcita" espática ao redor dos grãos esparsos 95-80%: matriz/cimento sustentado , com óxidos e hidróxidos de Fe/Mn intersticiais	-	-	-

Tabela II.8 – Resultado das Análises Mineralógicas por Microscopia Óptica (cont.)

AMOSTRA	LITOLOGIA	ARENITO	NÓDULOS	FEIÇÕES PREENCHIDAS
ACSCS (20/25M - 2)	Arenito conglomerático sem cimentação	<p>Arcabouço empacotamento fechado, contatos tangenciais e pontuais, grão suportado, óxidos/hidróxidos como grãos dispersos, cutícula filossilicática no entorno dos grãos, composto por quartzo (94%), feldspato (5%), óxidos/hidróxidos (1%) e traços de epídoto e turmalina</p>	<p>Matriz</p> <p>Arcabouço cimento filossilicático com raras/escassas porções de óxidos/hidróxidos</p>	<p>Matriz</p> <p>Arcabouço Matriz</p>
ACECI (55/60M - 1)	Arenito conglomerático com nódulos carbonáticos	<p>empacotamento relativamente moderado, grão sustentado, contatos pontuais, cutícula filossilicática nos grão, óxidos e hidróxidos de Fe/Mn associados ao carbonato e ocorrendo em torrões também, composto por feldspato (&lt;1%), óxidos/hidróxidos (1%), quartzo (&gt;90%) e minerais pesados como traço</p>	<p>cimentação carbonática a microespáctica, com óxidos/hidróxidos e cimentação caulinítica sem óxidos/hidróxidos</p>	<p>nódulos sem grãos ou com empacotamento aberto - grãos flutuantes, franja de calcita em grãos (calcita espática) esparsas.</p> <p>cimento sustentado microespáttico, óxidos e hidróxidos impregnados no cimento carbonático</p>

Tabela II.8 – Resultado das Análises Mineralógicas por Microscopia Óptica (cont.)

AMOSTRA	LITOLOGIA	ARENITO	NÓDULOS	FEIÇÕES PREENCHIDAS
ALACB N (85/90M - 1)	Arenito lamítico com nódulos carbonáticos	<p>empacotamento medianamente aberto, grão sustentado, com raros contatos pontuais, composto por quartzo (94%), feldspato (5%), litoclastos (&lt;1%), com óxidos/hidróxidos e minerais acessórios como traço</p>	<p>cimento composto predominantemente por óxidos Fe/Mn, com carbonato restrito a alguns cristais espalhados pela matriz</p>	<p>cimento sustentado, óxidos/hidróxidos intersticiais no cimento, bem como outro material de coloração acinzentada, cimento microcristalino, carbonático, com vénulas e fissuras preenchidas por carbonato de Ca</p>
ABSC (85/90M)	Arenito s/ cimentação e nódulos	<p>empacotamento fechado, contatos tangenciais e pontuais, com cutícula filossilicática, grão suportado, óxidos/hidróxidos como grão/cimento/nódulos, grande presença de poros (15%), composto por quartzo (94%), feldspato (microclínio - 3%, plagioclásio - 3%), óxidos/hidróxidos (3%), e como traço epídoto e muscovita</p>	<p>cimento composto predominantemente por óxidos/hidróxidos, com raras ocorrências de carbonatos bem cristalizados</p>	<p>cimento sustentado, óxidos/hidróxidos intersticiais no cimento, bem como outros grãos flutuantes, grãos não se tocam, composto por quartzo (98%), feldspato (1%), óxidos/hidróxidos (1%), com minerais traços</p>