

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO PAMPA**

**ICARO SILVA MACEDO**

**INTEGRAÇÃO DE DADOS GEOQUÍMICOS NA REGIÃO DA SANGA DA  
BRANDINA, CAÇAPAVA DO SUL-RS**

**CAÇAPAVA DO SUI  
2017**

Ficha catalográfica elaborada automaticamente com os dados fornecidos  
pelo(a) autor(a) através do Módulo de Biblioteca do  
Sistema GURI (Gestão Unificada de Recursos Institucionais) .

M113i Macedo, Icaro Silva  
Integração de Dados Geoquímicos na Região da Sanga da  
Brandina, Caçapava do Sul-RS / Icaro Silva Macedo.  
50 p.  
  
Trabalho de Conclusão de Curso(Graduação)-- Universidade  
Federal do Pampa, GEOLOGIA, 2017.  
"Orientação: Cristiane Heredia Gomes".  
  
1. Geoquímica. 2. Hidrogeoquímica. 3. Mobilidade de  
Elementos. 4. Granito Caçapava do Sul. 5. Sanga da Brandina.  
I. Título.

**ICARO SILVA MACEDO**

**INTEGRAÇÃO DE DADOS GEOQUÍMICOS NA REGIÃO DA SANGA DA  
BRANDINA, CAÇAPAVA DO SUL-RS**

Trabalho de Conclusão de Curso  
apresentado ao Curso de Geologia da  
Universidade Federal do Pampa, como  
requisito parcial para obtenção do Título  
de Bacharel em Geologia.

Orientadora: Dra. Cristiane Heredia  
Gomes

**CAÇAPAVA DO SUL  
2017**

ICARO SILVA MACEDO

INTEGRAÇÃO DE DADOS GEOQUÍMICOS NA REGIÃO DA SANGA DA  
BRANDINA, CAÇAPAVA DO SUL, RS


Trabalho de Conclusão de Curso  
apresentado ao Curso de Geologia da  
Universidade Federal do Pampa,  
como requisito parcial para obtenção  
do Título de Bacharel em Geologia.

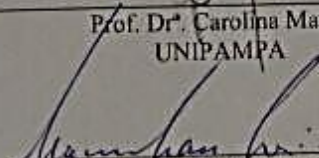
Trabalho de Conclusão de Curso defendido e aprovado em: 04, dezembro de 2017.

Banca examinadora:



Prof. Dr<sup>a</sup> Cristiane Heredia Gomes  
Orientador  
UNIPAMPA

  
Prof. Dr<sup>a</sup> Carolina Matos  
UNIPAMPA

  
Prof. Dr. Maximilian Fries  
UNIPAMPA

Dedico este trabalho à minha sobrinha que  
há pouco chegou neste mundo.

## **AGRADECIMENTO**

Primeiramente agradeço ao Grande Espírito por me guiar e proteger sempre, por me sustentar mesmo nos momentos mais difíceis e por mandar providencialmente pessoas e momentos que ajudaram no meu desenvolvimento.

Agradeço tudo que sou aos meus pais, por confiarem que a educação é a melhor herança que se pode deixar para seus filhos. Agradeço a minha irmã e melhor amiga por ser quem ela é e por estar do lado dos meus pais durante esses anos longe de casa.

Um agradecimento especial à minha orientadora e amiga, Dr<sup>a</sup> Cristiane Heredia Gomes pelo seu tempo e dedicação durante o desenvolvimento deste trabalho e durante meu desenvolvimento acadêmico.

Aos professores Dr<sup>a</sup> Carolina Matos e Dr Maximilian Fries por aceitarem a fazer parte desse trabalho.

Agradeço a geologia, esta ciência fascinante que me fez sair da minha zona de conforto e despertar uma paixão que não tenho palavras para descrever. Agradeço a todos os professores do curso de Geologia na UNIPAMPA por todos os ensinamentos repassados.

Agradeço imensamente os amigos e amores que decidiram estar do meu lado nessa jornada, só os mais próximos sabem tudo que aconteceu nesse percurso e eu talvez não conseguisse sem vocês. Agradeço ao Johnny Green por me ensinar todos os dias ser uma pessoa melhor através do amor. Aos meus colegas de curso, faculdade, da cidade, do vôlei, etc... Vocês com certeza fizeram meus dias aqui muito melhores, obrigado pela calma, pelos conselhos e pela parceria e pelo acolhimento, vocês são inesquecíveis e fazem parte do que eu sou agora.

Gratidão, gratidão, gratidão...

## RESUMO

A geoquímica estuda a química do planeta Terra, abrangendo a distribuição, migração e formação dos elementos químicos que a constituem. Este trabalho realizou a comparação da água superficial na região do entorno da Sanga da Brandina, Caçapava do Sul, com a litologia presente na região (Granito Caçapava do Sul), através de análises químicas. As análises de elementos foram comparadas com dados geoquímicos de rocha para traçar as similaridades entre os meios usando método de correlação estatística. A presença da água no estado líquido, em contato com as rochas, promove reações químicas, carregando substâncias dissolvidas ao longo de sua trajetória. Desta forma, a água, ao lixiviar os solos e as rochas, enriquece-se em sais minerais em solução, proveniente da dissolução das rochas. Os resultados das análises evidenciam as características físico-químicas das águas e dos sedimentos de corrente. A quantidade existente de sais dissolvidos reflete, além dos aspectos litológicos, a variação do comportamento geoquímico que atua na região de estudo. Desta forma os resultados demonstram que a lixiviação da litologia granítica fornece íons em solução como Mg e Al. Além disso, constatou-se a presença de metais pesados, como Cd e Rh, na Sanga da Brandina.

Palavras-Chave: geoquímica; hidrogeoquímica; mobilidade de elementos; granitos.

## **ABSTRACT**

Geochemistry is the science that studies the chemistry of planet Earth, covering the distribution, migration, and formation of the chemical elements that constitute it. This paper compared the superficial water in the Sanga da Brandina's region, Caçapava do Sul, with the lithology present in the region (Granite Complex Caçapava do Sul), through chemical analysis. The elements analyzes were compared with rock geochemical data to trace the similarities between the lithosphere and biosphere using statistical correlation method. The presence of water in liquid state, in contact with the bedrock, promotes chemical reactions, carrying dissolved substances along its trajectory. In this way, the water, when leaching the soils and the rocks, is enriched in mineral salts in solution, from the dissolved bedrock. The results of the analyzes show that the physicochemical characteristics of the waters and current sediments are a reflection of the percolated way. The existing amount of dissolved salts reflects the variation of the geochemical behavior that operates in the region of study.

**Keywords:** Geochemistry; Hydrogeochemistry; Elements Mobility; Granite.



## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO</b> .....	<b>1</b>
<b>2 OBJETIVO</b> .....	<b>2</b>
2.1 Objetivo Geral.....	2
2.2 Objetivos Específicos.....	2
<b>3 JUSTIFICATIVA</b> .....	<b>3</b>
<b>4 ÁREA DE ESTUDO</b> .....	<b>4</b>
4.1 Aspectos Hidrológicos .....	5
4.2 Aspectos Geológicos.....	8
4.2.1 Geologia Regional .....	8
4.3.2 Geologia Local.....	11
<b>5 MATERIAIS E MÉTODOS</b> .....	<b>14</b>
5.1 Revisão Bibliográfica.....	14
5.2 Mobilidade dos Elementos.....	15
5.3 Campanha de campo para levantamento de dados e amostragem de água.....	17
5.4 Análises físico-químicas em água.....	19
5.4.1 pH.....	19
5.4.2 Alcalinidade .....	20
5.4.3 Condutividade .....	21
5.4 Fluorescência de Raios-X por Energia Dispersiva (EDXRF).....	21
5.5 Análise Estatística dos dados químicos .....	22
5.5.1 Coeficiente de Correlação de Pearson .....	23
<b>6 RESULTADOS E DISCUSSÃO</b> .....	<b>25</b>
6.2 Parâmetros Físico Químicos .....	25
6.3 Método de Correlação de Pearson .....	32
6.4 Comparação com geoquímica litológica.....	34
<b>7 CONSIDERAÇÕES FINAIS</b> .....	<b>34</b>

## 1 INTRODUÇÃO

A geoquímica estuda a química do planeta Terra, abrangendo a distribuição, migração e formação dos elementos químicos que a constituem. Esta ciência baseia-se na determinação da abundância dos elementos, seja nos ambientes primários (como em rochas e mineralizações) ou nos secundários (solos, água e sedimentos, por exemplo) (MASON & MOORE, 1982). O ciclo hidrológico abrange os caminhos percorridos pela água no deslocamento entre os diversos sistemas de nosso planeta, sendo que, ao circular entre a atmosfera e a litosfera, alguns elementos são modificados, transportados e realocados em resposta aos diversos processos que existem neste percurso. A composição química afeta diretamente a qualidade das águas superficiais e, como demonstrado por MEYBECK & HELMER (1992), está diretamente relacionada a diversos fatores como: geologia, tipo de solo, clima, tipo e quantidade de cobertura vegetal e a influência antrópica. Como demonstrado por WARD & ELLIOT (1995), estima-se que 23% da água em circulação na América do Sul está associada ao escoamento fluvial e cerca de 15% ao escoamento superficial.

As reações químicas envolvem mudanças no arranjo e associação dos átomos e moléculas e interações entre os elétrons que circundam o núcleo atômico (SZIKSZAY, 1993). Em condições atmosféricas superficiais, os minerais primários sofrem alterações químicas e dissolução como consequência da percolação da água da chuva infiltrada (SILVEIRA et al., 2014). O intemperismo químico causa alterações químicas, solubilização de parte dos elementos, lixiviação e cristalização de minerais neoformados. O intemperismo de minerais é a principal fonte de elementos maiores nos rios. Diversos autores propõem a hidrogeoquímica fluvial como representativa da geologia drenada e indicativo de processos e taxas de intemperismo (GARRELS & MACKENZIE, 1967; BITTENCOURT, 1980; OVALLE, 1985; LESACK, 1993, SILVEIRA et al. 2014; SILVEIRA & COELHO NETO, 1999; CHAKAPRANI, 2005; HAGEDORN et al., 2011).

A crosta terrestre é composta de rochas, que são a combinação de um ou mais minerais. A química dos minerais é a base de sua classificação, sendo que os mais comuns são compostos principalmente por Oxigênio (O), Silício (Si) e Alumínio (Al). Os silicatos constituem a classe de maior importância, constituindo cerca de 95% do volume da crosta terrestre (MACHADO et al., 2017). Ainda segundo os mesmos autores, de um

modo geral pode-se afirmar que a crosta terrestre é formada por mais de 60% de átomos de oxigênio, 20% de átomos de silício, 6 a 7% de átomos de alumínio, e ao redor dos 2% os átomos de Fe, Ca, Mg, Na e K. Os demais elementos químicos representam cerca de 1% da proporção atômica média encontrada na crosta terrestre. Sumariza-se a mineralogia principal de granitos como compostos por feldspato potássico, plagioclásio e quartzo, além de biotita. Alguns minerais acessórios são: apatita, magnetita, ilmenita e zircão.

Como demonstrado por TOLEDO, OLIVEIRA & MELFI (2009), a presença de água no estado líquido, em contato com as rochas, promove reações químicas, carregando substâncias dissolvidas ao longo de sua trajetória. Os processos intempéricos ocorrem na superfície da crosta continental, transformando rochas duras em materiais móveis, podendo assim ser transportados.

Neste contexto, dentro da litologia granítica na região de Caçapava do Sul, RS dentre as diversas sangas e corpos d'água da região, destaca-se a região da Sanga da Brandina, que recebe drenagem da região oeste da cidade. Ao comparar os dados químicos da água da região, pode-se entender qual o contexto que a litologia local influencia no conteúdo químico dissolvido na drenagem.

## **2 OBJETIVO**

### **2.1 Objetivo Geral**

O objetivo geral deste trabalho é compreender os processos de alteração exógenos atuantes sob determinada porção granítica na área de estudo. Através de análises físico-químicas de água e a comparação com dados geoquímicos da litologia da região.

### **2.2 Objetivos Específicos**

Os objetivos específicos dessa pesquisa são:

- a) Realizar análises físico-químicas, como pH, condutividade, alcalinidade e quantificação de elementos químicos, através da técnica de Fluorescência de Raios-X (FRX);

- b) Traçar similaridades entre a composição química da água e o conteúdo geoquímico das rochas graníticas da região;

Compreender a dinâmica geoquímica da área de estudo e compreender as reações químicas envolvidas nos processos de intemperismo atuantes na região de estudo;

### **3 JUSTIFICATIVA**

A água é parte fundamental para toda forma de vida conhecida no nosso planeta. Considerando que 75% da superfície terrestre são cobertas por água, não é difícil entender a importância deste bem para todos os ecossistemas. A química da água nos permite estudar o impacto da sua percolação em outros elementos desses sistemas, e vice-versa. Além disso, compreender a química das águas contribui para implementação de processos e políticas administrativas em áreas impactadas. Este trabalho justifica-se pela importância de estudos que ampliem o conhecimento da composição química das águas superficiais em bacias hidrográficas, pela avaliação da qualidade dos recursos, bem como pelo reconhecimento de processos geoquímicos atuantes no interior da microbacia.

Além disso, a partir de dados geoquímicos das águas, pesquisadores poderão realizar estudos posteriores sobre os riscos que a liberação de certos elementos possa causar no ser humano e ao meio ambiente, entender a forma química final destes elementos, sua transformação no meio ambiente e o efeito dessas transformações em organismos vivos.

A seleção dos elementos em estudo foi baseada nos elementos que podem fazer parte da estrutura mineral existente em rochas graníticas, alguns elementos quando existem em concentrações elevadas são indicadores de contaminação ambiental e certos elementos podem indicar e caracterizar atividades humanas agindo sobre o meio físico-químico.

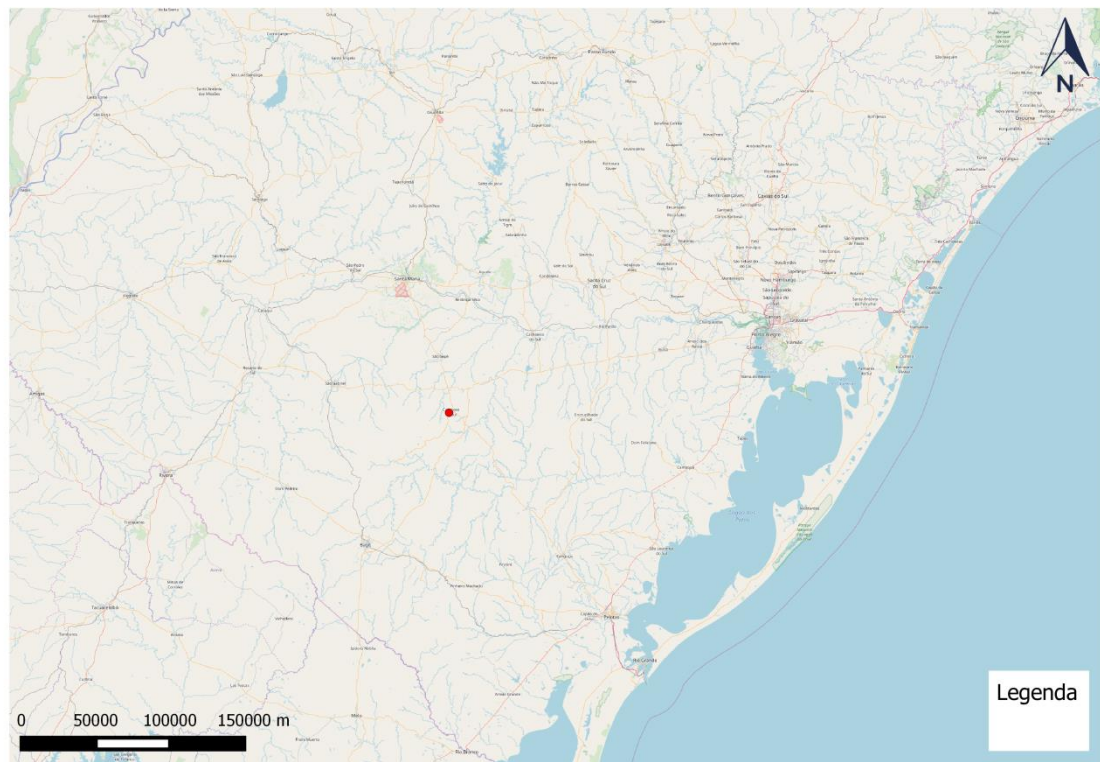
O estudo geoquímico das águas em Caçapava do Sul não possui precedentes, logo, este trabalho servirá, também, como base para relacionar os resultados já existentes de dados geoquímicos de rochas, observando a mobilidade química dos elementos da geologia local. Ainda, será possível observar se existe alguma influência da litologia local com o estudo de mobilidade dos elementos e a qualidade da água, contribuindo assim para o enriquecimento do projeto maior, intitulado “Análise de metais alcalinos terrosos e outros metais na água, no solo e na atmosfera na região de Caçapava do Sul, RS”, ao qual

este estudo está vinculado. Além disso, este trabalho também tem como intuito o desenvolvimento social e geopolítico de Caçapava do Sul, servindo como um recurso para posteriores estudos e debates sobre esta temática.

#### 4 ÁREA DE ESTUDO

O município de Caçapava do Sul está localizado na Mesorregião Sudeste Rio-grandense e na Microrregião da Serra do Sudeste, segundo IBGE (2010). No âmbito dos COREDES, Caçapava do Sul integra a região da Campanha. O município está localizado a uma latitude  $30^{\circ}30'44''$  sul e uma longitude  $53^{\circ}29'29''$  oeste a uma altitude de 444 metros. Há aproximadamente 255 km da capital Porto Alegre, as principais vias de acesso ao município são as rodovias federais BR-290, que liga Porto Alegre a Caçapava do Sul, a BR-392 que liga Santana da Boa Vista a Caçapava do Sul. A figura 1 situa a cidade de Caçapava do Sul dentro do estado do RS, com bordas NW com a Argentina, NE Santa Catarina, SW Uruguai e SE Oceano Atlântico.

Figura 1 Mapa de Localização de Caçapava do Sul.

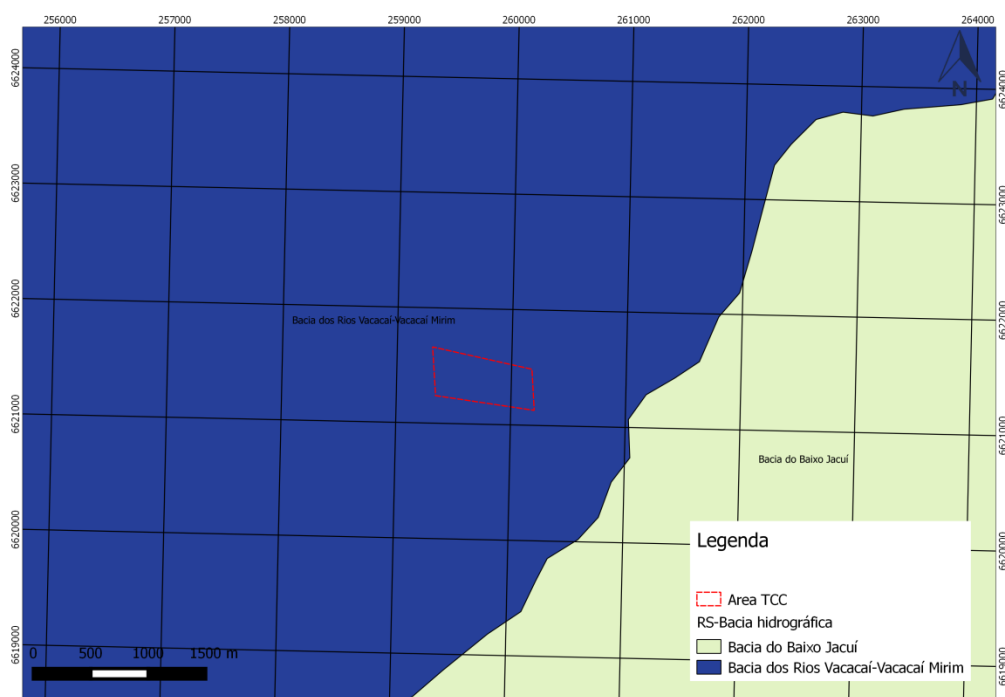


Fonte: Autor.

## 4.1 Aspectos Hidrológicos

O município de Caçapava do Sul (Figura 2) atua como um divisor de águas entre três bacias hidrográficas (SEMA/DRH, 2008), sendo que as bacias hidrográficas do Vacacaí-Vacacaí Mirim e do Baixo Jacuí, pertencentes à região hidrográfica do Guaíba, abrangem o perímetro urbano do município. A Tabela 1 insere o município de Caçapava do Sul no contexto das bacias hidrográficas do Rio Grande do Sul, destacando-se a bacia do Vacacaí-Vacacaí Mirim que cobre as drenagens oeste do município, onde está inserida a região de estudo.

Figura 2 Bacias Hidrográficas na região de Caçapava do Sul.



Fonte: AUTOR.

Podemos analisar pela figura 2 e os dados da tabela 1 possibilitam afirmar que mais de 30% de área do município abrangem a bacia do Vacacaí-Vacacaí Mirim. Além disso, cerca de metade da população que vive dentro da abrangência desta bacia mora na área urbana, sendo que a outra metade é da área rural. O município de Caçapava do Sul não conta com tratamento de esgoto sanitário, existe apenas a coleta e afastamento do mesmo através da rede geral ou pluvial. Especialmente na zona rural verifica-se a precariedade do destino do esgoto, pois a maioria destina seus efluentes em fossa

rudimentar, vala, escoamentos sobre o solo e corpos hídricos. Desta forma, essa sistemática causa degradação nos recursos hídricos.

Tabela 1-Contextualização do Município de Caçapava do Sul dentro da divisão de bacias hidrográficas do Rio Grande do Sul.

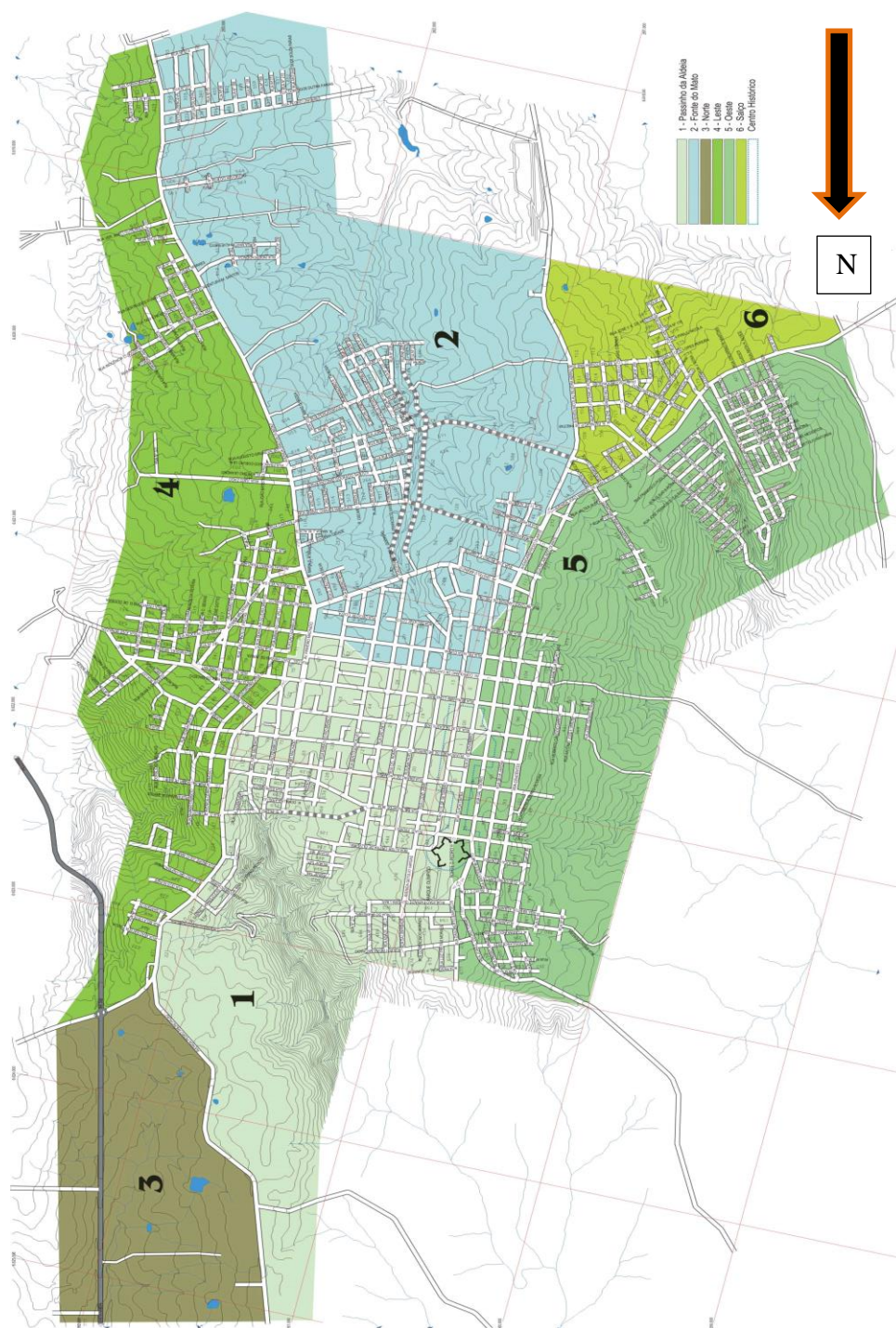
Bacias Hidrográficas por População e Área em Caçapava do Sul, RS						
Bacia Hidrográfica	Área do Município na Bacia (%)	População Urbana	População Rural	População Urbana na Bacia	População Rural na Bacia	População Total na Bacia
Vacacaí-Vacacaí Mirim	30.38	25,410	8,280	2,285	2,516	5,341
Baixo Jacuí	40.08	25,410	8,280	22,585	3,378	25,963
Camaquã	28.82	25,410	8,280	---	2,386	2,386

Fonte: SEMA, 2008.

De acordo com a divisão estadual, a bacia hidrográfica do Vacacaí-Vacacaí Mirim pertence à região hidrográfica do Guaíba. Esta bacia hidrográfica está localizada nas regiões da Depressão Central e Campanha ocupando cerca de 10.000 km<sup>2</sup> de área, sendo composta pelos rios Vacacaí-Vacacaí Mirim, dos Corvos, São Sepé e os Arroios Arenal e Acangupa (SEMA, 2008). A área de estudo está inserida na bacia hidrográfica do Vacacaí-Vacacaí Mirim.

Localmente, a compartimentação da hidrografia local de Caçapava do Sul pode ser definida para este estudo em uma escala de 1:10.000 (Figura 3). As microbacias locais que pertencem ao município de Caçapava do Sul são: Passinho da Aldeia, Fonte do Mato, Norte, Leste, Salso e Oeste, sendo esta onde a área de estudo está inserida.

Figura 3 Compartimentação local das Bacias Hidrográficas.



Fonte: PDDM - Caçapava do Sul (2014).



## 4.2 Aspectos Geológicos

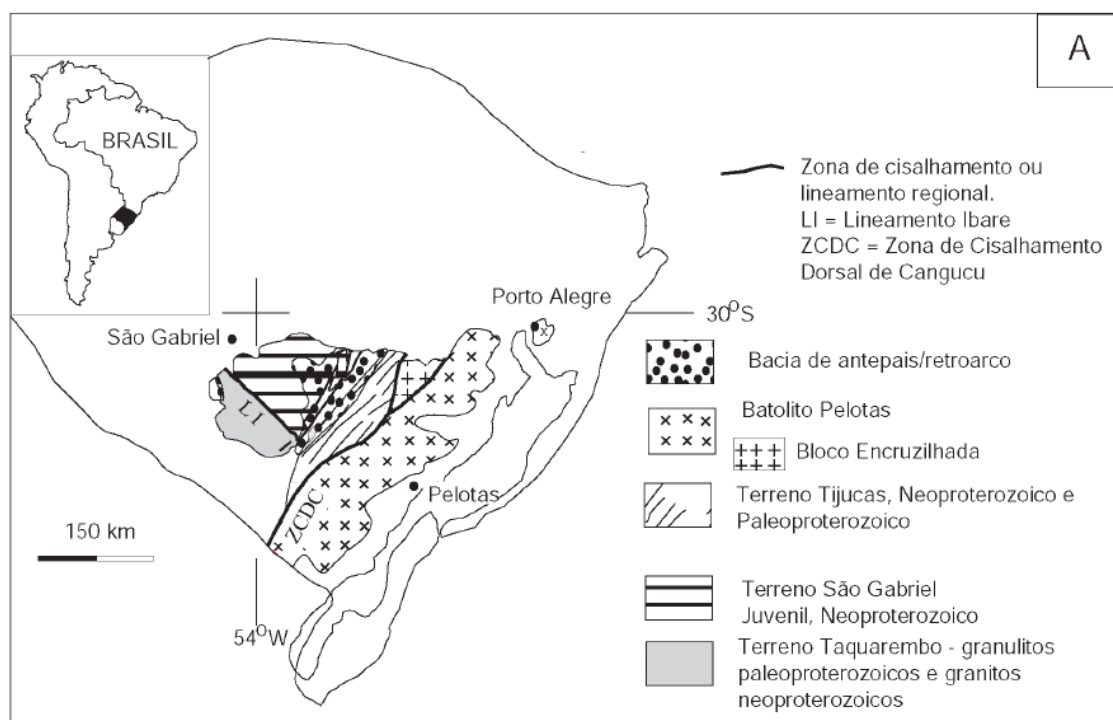
### 4.2.1 Geologia Regional

A cidade de Caçapava do Sul está assentada na porção centro-norte do Escudo Sul-Riograndense, o qual se insere na parte sul da Província Mantiqueira (ALMEIDA et al, 1977). O Escudo Sul-Riograndense é o resultado dos processos de geração e deformação, concentrada em duas fases, da crosta continental HARTMANN; CHEMALE JR & PHILIPP (2007). Ainda segundo os autores, foram dois os principais eventos de geração e deformação de crosta continental, cuja maior contribuição ocorre em dois ciclos orogênicos: o Transamazônico (2.26-2.00 Ga) e o Brasileiro (900-533 Ma). Cada ciclo incluiu diversos processos, como extração de magmas e construção de crosta oceânica por exemplo, sendo que todos os processos orogênicos do Neoproterozóico tiveram como referencial um continente de idade paleoproterozóica, constituindo o atual Cráton Rio de La Plata (HARTMANN; CHEMALE JR & PHILIPP, 2007).

As quatro principais unidades geotectônicas do Escudo Sul Rio Grandense (ESRG) (Figura 4) são:

- Terreno Taquarembó: Complexo granulítico paleoproterozóico retrabalhado no Neoproterozóico;
- Terreno São Gabriel: formados por acreção juvenil ou rochas derivadas de um manto neoproterozóico. O Terreno São Gabriel se destaca pois compreende a região de estudo;
- Terreno Tijucas: rochas granito-gnáissicas e anfibolíticas paleoproterozóicas, além de apresentar rochas plutônicas com vulcanismo cálcio-alcalino e rochas metassedimentares deformadas em ambiente rúptil-dúctil, e;
- Batólito Pelotas: formado por suítes e complexos graníticos com septos do embasamento (HARTMANN; CHEMALE & PHILIPP, 2007).

Figura 4 Mapa geológico simplificado com as principais unidades geotectônicas do ESRG.



Fonte: HARTMANN, CHEMALE JR & PHILIPP (2007).

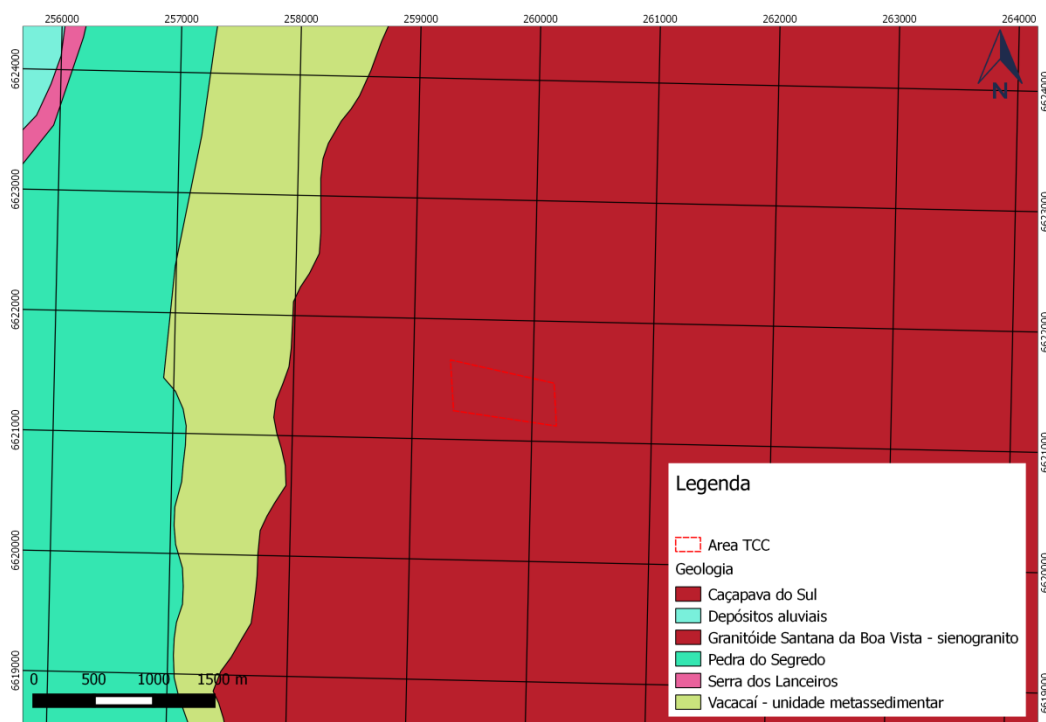
O processo de evolução crustal teria sido o principal causador de geração de magmas de composição granítica, com idades neoproterozóica a cambriana, durante a formação do Cinturão Dom Feliciano (PHILLIP; MACHADO; CHEMALE JUNIOR, 2007). Diversos autores, como FRAGOSO-CESAR (1991), PHILIPP (1998) e CHEMALE JR. (2000) atribuem a formação do Cinturão Dom Feliciano a acreção de um arco de margem continental ativa, seguido de um evento de colisão entre os crátons Rio de La Plata e Kalahari. Os autores citados, através de análises estruturais, geoquímicas e geocronológicas destacam que este magmatismo é essencialmente pós-colisional, sendo composto por rochas de afinidade cálcioalcalina de alto-K, com ocorrência subordinada de granitóides de afinidade alcalina e peralcalina, como é o caso do Granito Caçapava (PHILLIP; MACHADO; CHEMALE JUNIOR, 2007).

Entre os granitóides gerados durante a evolução geotectônica do escudo destaca-se o Granito Caçapava, um corpo com mais de 200 km<sup>2</sup> de extensão aflorante, intrusivo em metamorfitos de baixo grau (BITENCOURT, REMUS & NARDI, 1989). Denominadas originalmente de Batólito Granítico de Caçapava por LEINZ et al. (1941), posteriormente

foi denominada por RIBEIRO et al. (1966) de Granito Caçapava e Complexo Granítico Caçapava do Sul (BITENCOURT, 1983).

Assim, NARDI & BITTENOURT (2007) descrevem como Complexo Granítico de Caçapava do Sul (BITENCOURT, REMUS & NARDI, 1989), com idade de cerca de 560 Ma como um granitóide subalcalino médio a alto K, sendo possivelmente relacionados ao magmatismo pós-colisional do Cinturão Ribeira. As rochas metamórficas encaixantes compõem o Complexo Vacacaí (CARVALHO, 1932), como demonstrado pela figura 5. Destaca-se a forma alongada e dômica, na direção N-S, do Complexo Granítico, que se destaca na geologia da região.

Figura 5 Mapa Geológico da região de Caçapava do Sul.



Fonte: Autor.

Este complexo granítico subdivide-se em três diferentes fácies como proposto por (BITENCOURT, REMUS & NARDI, 1989), a saber: Fácies Biotita granitóides, Fácies leucogranitóides e Fácies Transicionais (Granitóides Transicionais). Estas fácies são reconhecíveis pela sua petrografia e geoquímica. As principais fácies podem ser sumarizadas como:

- Fácies Biotita Granitóides: rochas de coloração cinza tornando-se róseas quando intemperizadas, constituída por granodioritos a monzonitos de textura heterogranular a profirítica, com matriz heterogranular, teor de máficos superior a 10%, com ampla predominância de biotita sobre anfibólio. Predominam nas porções sul, sudoeste e oeste do complexo;
- Fácies Leucogranitóides: rochas de coloração rósea, com baixo teor de minerais máficos, apresenta textura equigranular que varia de fina a média, composta majoritariamente por feldspato alcalino, quartzo e plagioclásio. Esta fácies compreende a maior parte da suíte granítica de Caçapava do Sul, especialmente na porção norte do corpo, e;
- Fácies Granitóides Transicionais: rocha que apresentam características intermediárias entre os dois primeiros tipos, com textura equigranular que pode variar localmente para grãos médios devido a possíveis cristalizações subterrâneas. Ocorrem preferencialmente na porção central e leste do complexo (BITENCOURT, REMUS & NARDI, 1989).

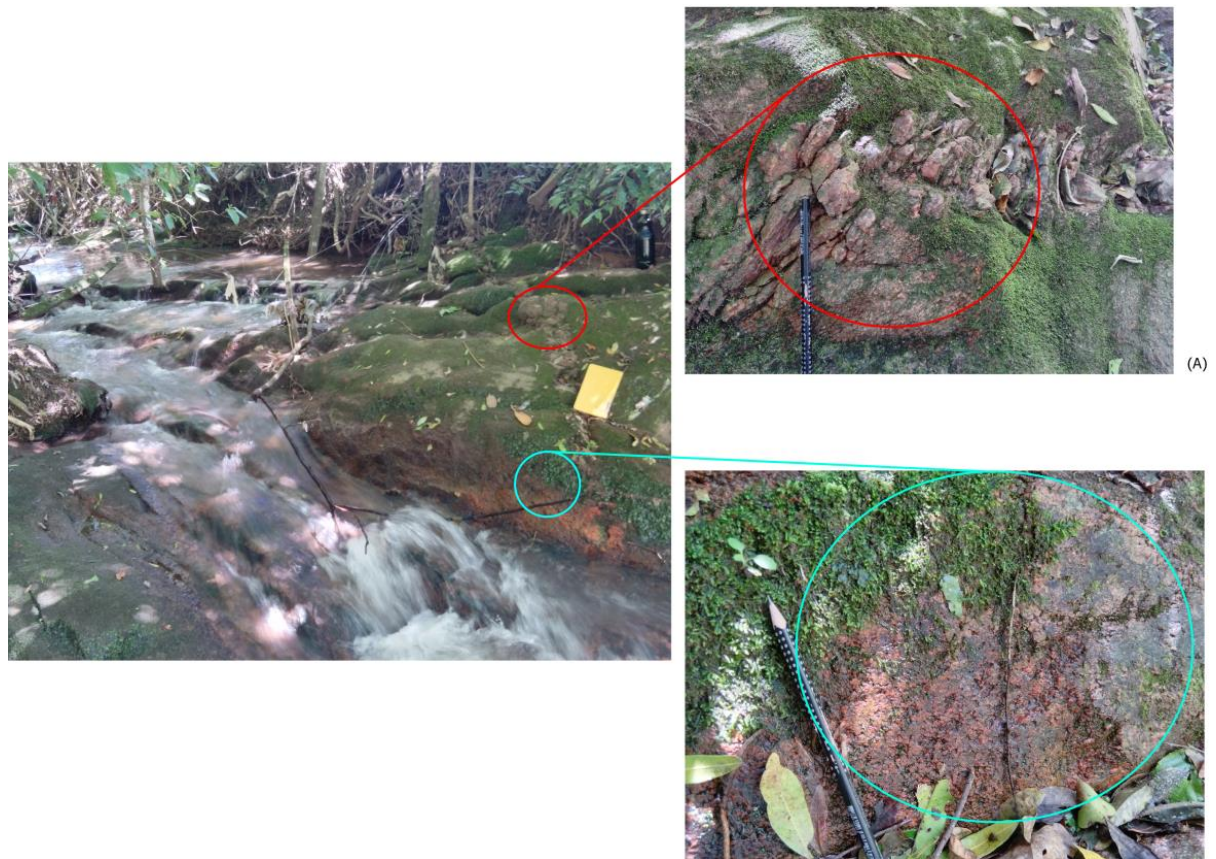
#### **4.3.2 Geologia Local**

A Suíte Granítica Caçapava do Sul na sanga da Brandina é caracterizada pela fácies Leucogranitóides (NARDI & BITENCOURT, 1989). No local de estudo afloram rochas graníticas (figura 6) afloramentos de leito de rio e beira de estrada, rocha com coloração alaranjada e rosada, grau de cristalização holocristalina. Apresenta uma foliação bem desenvolvida, marcada pelo estiramento e alinhamento dos grãos minerais. Alguns minerais são visíveis, como quartzo e plagioclásio. O tamanho relativo dos cristais é equigranular, variando lateralmente, mas em sua maioria entre 0,1 a 10 mm. A composição modal média varia de plagioclásio (60%), feldspato alcalino (20%), quartzo (15%) e máficos (5%). Biotita é o máfico dominante. Não foi possível o reconhecimento em campo de minerais secundários.

A rocha apresenta-se bastante fraturada em diversas direções sendo observados veios de composição granítica (Figura 6A) com textura fanerítica média a grossa. Isto indica que esse material teve um maior tempo de cristalização em relação ao corpo granítica. Os veios, possivelmente, representam pulsos mais tardios de magmatismo que

aproveitaram as zonas de maior faturamento. As rochas aflorantes apresentam médio grau de alteração e presença acentuada de musgos e outras vegetações (Figura 6B).

Figura 6 Afloramentos do Granito Caçapava do Sul na região de estudo. A) Veios com textura fanerítica e B) Acentuada presença de alterações.



Fonte: Autor.

A sanga da Brandina também apresenta locais com erosão das margens (Figura 7) e acentuado processo de pedogênese, com partes do saprólito sendo expostas. Há abundância de vegetação no local e acumulação de areias, seixos e lixo, que se depositaram em situações de alta pluviosidade.

Figura 7 Região da Sanga da Brandina, com destaque para erosão do solo.



Fonte: Autor.

## 5 MATERIAIS E MÉTODOS

Para o desenvolvimento deste trabalho foram realizadas etapas distintas que envolveram a pesquisa e obtenção de informações sobre a área de estudo, desenvolvimento do trabalho em campo, e processamento e discussão dos resultados obtidos em laboratório segundo as análises realizadas com o suporte fornecido pela revisão da bibliografia.

### 5.1 Revisão Bibliográfica

A geoquímica, pela própria etimologia da palavra, representa a ciência que estuda a composição química da Terra tanto como um todo, como cada um de seus componentes, estudando também a distribuição e migração, no espaço e tempo, dos elementos químicos que constituem o planeta (BATISTA, 2003). MASON; MOORE (1982) retratam a geoquímica como a ciência baseada na determinação da abundância, distribuição e migração dos elementos, tendo como objetivo descobrir os princípios que governam essa distribuição e migração.

Um dos principais autores sobre geoquímica, e considerado o fundador da geoquímica moderna, Victor Moritz Goldschmidt, descreveu em sua obra intitulada Geoquímica (*Geochemistry*) de 1954,

A finalidade primária da geoquímica é, de um lado, determinar quantitativamente a composição da Terra e de suas partes e, de outro, descobrir as leis que controlam a distribuição dos elementos individuais. Para resolver estes problemas, o geoquímico necessita de uma coleção compreensiva de dados analíticos sobre o material terrestre, tais como rochas, águas e a atmosfera; ele usa também a análise de meteoritos, dados astrofísicos sobre a composição de outros corpos cósmicos e dados geofísicos sobre a natureza do interior da Terra (GOLDSCHMIDT, 1954, p 730).

Já o conceito de geologia urbana é um conceito novo, que começou a ser utilizado na literatura por volta dos anos 90 para agregar e congregar trabalhos geológicos voltados aos problemas enfrentados em áreas urbanizadas. Logo, podemos concluir que a partir da

década de 90 surgiram novas abordagens sobre a utilização dos conhecimentos geológicos em áreas urbanizadas.

Os elementos químicos disponibilizados ao ambiente geoquímico primário, ou seja, na estrutura mineralógica dos minerais que perfazem as rochas, dispersam-se no ambiente secundário, solos, água e sedimentos (BATISTA, 2003).

Desta forma, este trabalho usa os preceitos geoquímicos para traçar similaridades entre os meios aquoso e rochoso na região da Sanga Brandina. Considerando os elementos químicos que estão sendo mobilizados das rochas para as águas, bem como o entendimento sobre o uso do solo na região, pode-se compreender quais processos atuam e quais elementos são passíveis de relocação na área de estudo.

## **5.2 Mobilidade dos Elementos**

Os processos de desagregação e decomposição das rochas por intemperismo ocorrem na superfície da crosta continental, nas interações entre as diferentes camadas terrestres, como a litosfera, atmosfera, hidrosfera e biosfera, transformando as rochas duras em materiais móveis, podendo assim ser transportados. O intemperismo desagrega os minerais das rochas e os fragmenta, além de modificar sua composição, decompondo os minerais mais frágeis e formando novos minerais, podendo ocorrer como transformações físicas (intemperismo físico), transformações químicas (intemperismo químico) e a combinação das duas variedades, com ou sem a contribuição de seres vivos (TOLEDO, OLIVEIRA & MELFI, 2009).

A presença da água no estado líquido, em contato com as rochas, promove reações químicas, carregando substâncias dissolvidas ao longo de sua trajetória. O resultado destas reações será o conjunto de minerais secundários. Segundo TOLEDO, OLIVEIRA & MELFI (2009), as principais reações que ocorrem no intemperismo químico são: hidratação, hidrólise, oxidação e complexação.

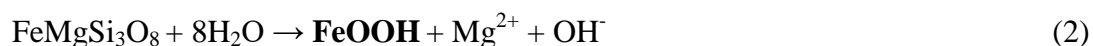
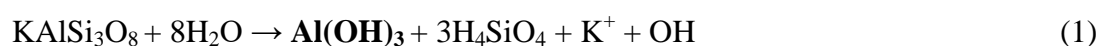
A reação de hidratação consiste em entrada de água na estrutura de um mineral, fazendo com que essa se enfraqueça e forme outro mineral. A oxidação ocorre com todos minerais que possuem elementos passíveis de serem oxidados, como o ferro, onde a água superficial desestabiliza a estrutura cristalina. A complexação é uma reação que



envolve compostos orgânicos dissolvidos na água, que são capazes de reter elementos químicos pouco solúveis em sua estrutura, mobilizando-os.

Já a hidrólise é a mais importante reação de intemperismo químico em zonas de clima tropical, pois esta destrói a estrutura do mineral quebrando as ligações químicas entre os elementos químicos e os disponibilizando nas águas, em forma de cátions e ânions. Segundo SZIKSZAY (1993) os mais importantes sais solúveis que ocorrem em quantidades relativamente grandes nas rochas são os carbonatos, sulfatos e cloretos, portanto os íons mais importantes encontrados nas águas são:  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$  e  $\text{HCO}_3^-$ . As substâncias mostram uma variedade na solubilidade, o que geralmente é controlado pela temperatura, pressão, pH e potencial de óxido-redução da solução. Os metais alcalinos e alcalino-terrosos são dissolvidos pela água e removidos. Os carbonatos de Ca e Mg, menos solúveis, são dissolvidos na presença de  $\text{CO}_2$  na água.

A desintegração gradual de minerais do grupo dos silicatos foi descrita por STICHER, BACH (1966), sendo que o produto final da hidrólise de feldspato alcalino é o ácido silícico e hidróxido de alumínio ou ácido silícico e mineral de argila, por exemplo, a caulinita. No caso de uma litologia granítica, como neste estudo, podemos utilizar as reações (1) e (2) para demonstrar como a hidrólise e a oxidação forma novos minerais. Utilizando o feldspato potássico (Ortoclásio  $\text{KAlSi}_3\text{O}_8$ ) e o piroxênio ( $\text{FeMgSi}_3\text{O}_8$ ), ambos comuns em rochas graníticas como exemplo, tem-se:



Desta forma, a água, ao lixiviar os solos e as rochas, enriquece-se em sais minerais em solução, proveniente da dissolução e oxidação das rochas, como demonstrado pelas reações (1) e (2). O processo de dissolução é influenciado pelo pH, pela temperatura e pelo grau de saturação de cada elemento (FEITOSA; FILHO, 1997). As características químicas das águas refletem os meios por onde circulam,

configurando uma estreita relação com os tipos de rochas percolados e com os produtos de atividades antrópicas, adquirida ao longo do seu trajeto.

Os argilominerais que são formados, como demonstrados pela equação (1), são silicatos de alumínio hidratados, podendo conter pequenas quantidades de elementos alcalinos (K, Na, Li) e alcalino terrosos (Ca, Mg). O Al de sua estrutura cristalina pode ser substituído por  $\text{Fe}^{3+}$ ,  $\text{Fe}^{2+}$  ou  $\text{Mg}^{2+}$ . Desta forma sua estrutura molecular é muito complexa, bem como os processos químicos envolvidos na formação deste tipo de minerais (MACHADO, et al. 2017).

Feldspatos (exemplo:  $\text{KAlSi}_3\text{O}_8$  ou  $\text{NaAlSi}_3\text{O}_8$ ), micas (exemplo: muscovita  $\text{KAl}_2\text{Si}_3\text{AlO}_{10}(\text{OH},\text{F})_2$  ou biotita  $\text{K}_2(\text{Mg},\text{Fe}^{2+})_{6-4}(\text{Fe}^{3+},\text{Al},\text{Ti})_{0-2}\text{Si}_{6-5}\text{Al}_{2-3}\text{O}_{20}(\text{OH},\text{F})_4$ ) e quartzo ( $\text{SiO}_2$ ) são os principais minerais constituintes de rochas graníticas. O feldspato, um alumino silicato de potássio, desgasta-se rapidamente devido ao deslocamento de íons de potássio ( $\text{K}^+$ ) pelos íons hidrogênio ( $\text{H}^+$ ) para formar novos materiais insolúveis, os chamados argilominerais. Já nas micas, que são alumino silicatos de potássio, magnésio e ferro, ocorre o deslocamento de potássio e magnésio, sendo que o ferro, o alumínio e o silício remanescentes formam várias espécies de argilominerais. Por fim o quartzo, que é relativamente insolúvel. As mudanças na composição química à medida que as rochas graníticas se transformam em solo em diferentes climas mostram que o intemperismo é mais severo nas condições tropicais de alta temperatura e precipitação.

Neste sentido, dados geoquímicos da Suíte Granítica Caçapava do Sul (BITENCOURT, REMUS & NARDI, 1989) foram utilizados, neste estudo, para a correlação da composição química das águas da Sanga da Brandina com a composição química da rocha.

### **5.3 Campanha de campo para levantamento de dados e amostragem de água**

Na coleta das amostras de água foram utilizados frascos de polietileno previamente descontaminados com ácido nítrico 10% por 48 horas e posteriormente lavados com água destilada e colocados na estufa (25°C) para secarem. Foram coletadas o total de 16 amostras de água da Sanga da Brandina (Figura 8) em diferentes estações do ano nos anos de 2016 e 2017. Todas as amostras foram refrigeradas e analisadas dentro do prazo de sete dias, a partir da data de coleta conforme NBR 9898 (1987).

Figura 8 Mapa de Pontos.



Fonte: Google Earth.

Todas as amostras foram testadas para parâmetros físico-químicos de pH, condutividade e alcalinidade, já as amostras SB11, SB12, SB13, SB14, SB15 e SB16 foram testadas por Fluorescência de Raios-X. As análises foram realizadas no Laboratório de Química da Universidade Federal do Pampa – UNIPAMPA e no Laboratório de Tratamento de Minério (LATRAM), também da UNIPAMPA, Campus Caçapava do Sul. Os métodos utilizados nas análises foram: i) Método Potenciométrico (ASTM D 1293, 1978) para a determinação do pH; ii) Método de Determinação da Condutividade Elétrica (NBR 14340/ Jun. 1999); iii) Método Titulométrico (2320 B, APHA, 2005) recomendado para a determinação de alcalinidade total; iv) Método de Fluorescência de Raios-X por Energia Dispersiva; e v) Análise estatística.

Os parâmetros físico-químicos das águas foram avaliados de acordo com a Portaria nº 2.914 do Ministério da Saúde (BRASIL, 2011), a Portaria nº 36/GM do Ministério da Saúde (BRASIL, 1990) e comparados com análises geoquímicas de rocha disponíveis na literatura.

## **5.4 Análises físico-químicas em água**

### **5.4.1 pH**

Uma das análises iniciais quando se estuda a água é o pH. O pH representa a atividade do íon hidrogênio na água em forma logarítmica (Equação 3). Resulta primeiramente na dissociação da própria molécula da água e posteriormente acrescida pelo hidrogênio proveniente de outras fontes. Como o pH influencia diretamente nas condições de intemperismo químico das rochas, esta análise foi realizada nas amostras coletadas. Segundo publicações da USGS (HEM, 1985) o pH de águas naturais a 25°C é 7, já as águas de rios que não são sofrem influência de poluições geralmente possuem pH que varia do 6.5 ao 8.5. O cálculo do pH é importante em diversas reações geoquímicas de equilíbrio e solubilidade.

$$\text{pH} = -\log [\text{H}^+]$$

(3)

Onde:

$[H^+]$  concentração dos íons  $H^+$  em mol/L.

Logo após a coleta das amostras foi verificado o pH. Para a determinação de pH é utilizado o método eletrométrico, através do aparelho chamado Peagâmetro (*H Calibration Check pH/ORP Meter*) da *Hanna Instruments*, um equipamento de bancada, constituído por um potenciômetro, um eletrodo de referência e um dispositivo de compensação de temperatura. Já a solução tampão utilizada foi o do tipo Nalgon para tampão 4,0 e 7,0 (possuindo erro de  $\pm 0.02$  a  $20^\circ C$ ) e Vetec para a solução tampão de pH 10 (com erro de  $\pm 0.02$  a  $20^\circ C$ ).

O método consiste em calibrar o aparelho com a solução de pH conhecidas então aguardar a estabilização. Após lavar e secar o eletrodo com água destilada, inicia-se as medidas de pH das amostras de água esperando a estabilização e então gravando os resultados obtidos.

#### **5.4.2 Alcalinidade**

A alcalinidade da água é definida como sua capacidade de reagir quantitativamente com um ácido forte até um valor definido de pH. Os componentes da alcalinidade são os sais de ácido carbônico (bicarbonatos, carbonatos e hidróxidos), além de alguns outros sais ácidos fracos inorgânicos (PIVELI, 2004). A alcalinidade está diretamente relacionada ao arcabouço geológico por onde essa percorre como demonstrada por LUCON et al (2017) e CLOW, MAST & CAMPBELL (1996). A principal fonte de dióxido de carbono que produz alcalinidade nas águas é a porção gasosa do mesmo na atmosfera, ou de gases atmosféricos presentes no solo ou na própria água (HEM, 1985).

A alcalinidade total (Equação 4) foi determinada através de titulação, empregando ácido sulfúrico, 0,01 mol/L como titulante e indicador misto verde de bromocresol/vermelho de metila (APHA). Não foi detectada alcalinidade devida a hidróxidos, pois as amostras não apresentaram coloração frente ao indicador fenolftaleína (NBR 12621/Set 1992).

$$\text{mg/L CaCO}_3 = \frac{V_{\text{H}_2\text{SO}_4} \times N_{\text{H}_2\text{SO}_4} \times 50.000}{V_a} \quad (4)$$

Onde:

$V_{\text{H}_2\text{SO}_4}$  = Volume (mL) de ácido sulfúrico gasto na titulação da amostra.

$N_{\text{H}_2\text{SO}_4}$  = Normalidade da solução de ácido sulfúrico usada.

$V_a$  = Volume (mL) da amostra.

### 5.4.3 Condutividade

A condutividade é a medida da facilidade com a qual a água permite a passagem de corrente elétrica. A medição da condutividade de um líquido é uma maneira indireta e simples de inferir a presença de íons provenientes de substâncias como sais, cloretos, sulfetos, carbonatos e fosfatos (SEHN, 2016).

A partir da medida de condutividade elétrica podemos estimar a salinidade da água, definida como a quantidade total de sais dissolvidos na água. As condutividades das amostras foram medidas por meio de um condutivímetro de corrente alternada da marca GEHAKA CG1800, reportando as devidas condutividades em microSiemens ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ ).

### 5.4 Fluorescência de Raios-X por Energia Dispersiva (EDXRF)

O entendimento da mobilidade dos elementos químicos se dá através da utilização do método da fluorescência de Raios-x por energia dispersiva, comum em investigações e estudos geoquímicos e ambientais. Além de ser um método relativamente simples e rápido de ser utilizado nas amostras, não apresenta elevados custos para a realização de análises.

Os analisadores portáteis de EDXRF são capazes de quantificar uma grande variedade de elementos químicos. Segundo SANTOS et al (2013), a técnica permite a análise de 24 elementos simultaneamente, de modo rápido e a baixo custo, sendo um método não destrutível.

A técnica da espectrometria se configura como uma importante ferramenta por ampliar a capacidade de determinação qualitativa e quantitativa de mais de 70 elementos (SKOOG et al., 2005). Sabe-se que a luz se comporta como um campo elétrico e magnético alternado, podendo interagir com os elétrons dos átomos e, podendo ser absorvida por eles. A espectroscopia de fluorescência de Raios-X com Energia Dispersiva é uma técnica analítica onde Raios-X são usados para excitar os átomos dos elementos presentes nas amostras em análise. Segundo TEIXEIRA, VASQUES & NOGUEIRA, 2017 os elementos atingidos pelos Raios-X primários liberam Raios X secundários (efeito de fluorescência) que podem ser detectados e analisados.

As amostras de água foram analisadas no Laboratório de Lavra e Tratamento de Minérios (LATRAM) da UNIPAMPA- Caçapava do Sul, usando um equipamento de Espectrometria de Fluorescência de Raios X, marca Bruker, modelo S1 Turbo SD. Cada amostra foi submetida a leituras em triplicatas, sendo que o tempo de exposição de cada amostra é de 120 segundos. As leituras em triplicata são recomendadas para uma melhor representatividade dos resultados, sendo que os resultados finais são uma média das triplicatas.

### **5.5 Análise Estatística dos dados químicos**

Estudos que envolvem a coleta e análise de amostras do meio ambiente, constituem extensos bancos de dados contendo resultados referentes a vários tipos de análises e matrizes, que devem ser tratados e interpretados estatisticamente para serem utilizados. A estatística, como parte da matemática aplicada, estuda os mais variados fenômenos das diversas áreas do conhecimento e representa um importante instrumento de trabalho para projetos de pesquisa. Dados provenientes das análises de amostras ambientais apresentam variáveis espaciais e temporais como, por exemplo, as coordenadas e a data de amostragem.

Como demonstrado por KUPPUSAMY & GIRIDHAR, (2006) podemos citar algumas características relevantes para a interpretação e análise estatística, como a distribuição não normal, sazonalidade, pequeno número de resultados e dados discrepantes, por exemplo. Associado aos pontos citados anteriormente podemos também afirmar que se tratando de análise em uma Sanga, os resultados tendem a

apresentar elevada variabilidade devido a variações sazonais e à influência de mudanças da vazão sobre as propriedades físico-químicas das variáveis.

Desta forma, o uso de métodos estatísticos nos proporciona um melhor entendimento do conjunto de dados em análise aumentando assim a sua confiabilidade. Além disso, usando técnicas estatísticas neste estudo, busca-se representar melhor o conjunto de variáveis estudadas.

CARVALHO (2003) demonstra em sua tese uma análise para interpretação estatística de dados de monitoração ambiental. A compreensão e a interpretação apropriada dos resultados envolvem, também, o conhecimento de sua incerteza, já que cada medição realizada é tratada estatisticamente de acordo com a confiabilidade que cada uma apresenta. Ainda segundo CARVALHO (2003), a melhor estimativa da incerteza de uma medição é dada pelo desvio padrão de uma série de observações independentes obtidas sob as mesmas condições. Média é definida como o valor que mostra para onde se concentra uma distribuição, ou seja, um valor significativo em um conjunto de dados.

Desta forma, foram aplicados os conceitos estatísticos de média, desvio padrão, máximo e mínimo para todos os dados deste trabalho com o intuito de melhorar a representatividade dos mesmos bem como para uma interpretação mais apropriada dos resultados obtidos. Por fim, foi gerado um sumário estatístico para simplificar a apresentação dos resultados.

### **5.5.1 Coeficiente de Correlação de Pearson**

A forma mais comum de apresentar e analisar dois conjuntos de dados bivariados é através de um gráfico de dispersão, também chamado de *scatterplot*, um gráfico que relaciona duas variáveis através dos eixos X e Y. A correlação mede a similitude entre duas variáveis diferentes. Essa similitude, no entanto, não é característica de todas variáveis. Através do coeficiente de Pearson podemos sumarizar a relação entre duas variáveis. Este valor é calculado segundo Equação (5) abaixo:



$$\rho = \frac{\frac{1}{n}\sum(X_i - M_x)(Y_i - M_y)}{\sigma_x \sigma_y} \quad (5)$$

Onde,  $X_i$  é o valor da variável X,  $M_x$  a média dos valores de X,  $Y_i$  é o valor da variável Y,  $M_y$  a média dos valores de Y,  $\sigma_x$  o desvio padrão de X e  $\sigma_y$  o desvio padrão de Y.

Este coeficiente varia entre valores de -1 a +1, sendo que quando existem amostras que se correlacionam linearmente entre si este valor é mais próximo de 1 em módulo. O conceito de correlação refere-se a uma associação numérica entre duas variáveis, não implicando necessariamente uma relação de causa e efeito, entretanto sabemos que pela natureza da água ser um solvente natural, pode-se estabelecer uma relação entre presença de elementos químicos na água. Uma forte relação entre duas variáveis pode ajudar a inferir uma variável desde que a outra seja conhecida. Para os objetivos deste trabalho, foi considerado que as correlações acima de 0.7 seriam consideradas como correlacionadas (MUKAKA, 2012).

## 6 RESULTADOS E DISCUSSÃO

As características físico-químicas das águas e dos sedimentos de corrente são um reflexo dos meios por onde percolam. A quantidade existente de sais dissolvidos reflete, além dos aspectos litológicos, a variação do comportamento geoquímico como um todo. Assim, é de se esperar que exista uma relação estreita entre a composição da água e das rochas no entorno da área investigada.

### 6.2 Parâmetros Físico Químicos

A condutividade média encontrada é de 212,1  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , com desvio padrão de 20,22. Já a variável pH apresentou menor variabilidade, desvio padrão de 0,14, com média valor 7,76, valor de pH neutro com alcalinidade crescente.

A alcalinidade é devida principalmente a presença de carbonatos e bicarbonatos, quando dissolvidos na água, ou seja, sais do ácido carbônico. Os bicarbonatos e carbonatos (que são menos solúveis), dissolvem-se na água devido à sua passagem pelas rochas e solo. Apesar da alcalinidade das águas não apresentar potenciais riscos à saúde pública, pode provocar alteração no paladar. A alcalinidade não se constitui em padrão de potabilidade, nem de classificação de águas naturais, nem de esgotos. A alcalinidade apresenta médio valor 92,75, com desvio padrão valor 16,09. Os resultados de alcalinidade são expressos em  $\text{mg}/\text{L}$   $\text{CaCO}_3$  desta forma a alcalinidade associa-se à dureza. Se compararmos os resultados de alcalinidade com o grau de dureza das águas, podemos afirmar que esta é moderadamente dura.

A partir dos resultados das amostras de água coletadas na região da Sanga da Brandina, podemos observar que as águas possuem valores de condutividade elétrica variando de 192,5 (amostra SB6) a 269 (amostra SB4)  $\mu\text{S}/\text{cm}$  com média de 212,1  $\mu\text{S}/\text{cm}$ . O Ph variou de 7,5 (amostra SB7) a 7,98 (amostra SB3) com uma média de 7,76, e a alcalinidade total variou de 57 (amostra SB9) a 129 (amostra SB4)  $\text{mg}/\text{L}$ , onde a média foi de 92,75  $\text{mg}/\text{L}$  (tabelas 2 e 3).

Os resultados dos parâmetros físico-químicos indicam que o recurso hídrico da região de estudo apresenta valores dentro da normalidade para todos os parâmetros estudados de acordo com as Portarias 36/GM e nº 2914. Entretanto, através do teste qualitativo Colitag da avaliação de presença ou ausência de bactérias do tipo coliformes em 100 ml de água, se pode observar que existem coliformes nas amostras.

Tabela 6-1 Dados físico-químicos das análises de água.

Amostra	Condutividade ( $\mu\text{S/cm}$ )	pH	Alcalinidade ( $\text{mg/L CaCO}_3$ )
SB1	220	7.75	98
SB2	218	7.88	101
SB3	219	7.98	91
SB4	269	7.72	129
SB5	227	7.67	92
SB6	192.5	7.77	97
SB7	200	7.5	76
SB8	184.9	7.57	67
SB9	185.7	7.52	57
SB10	219.5	7.7	102
SB11	218	7.8	100
SB12	222	7.67	101
SB13	198	7.9	92
SB14	199	7.86	91
SB15	210	7.88	97
SB16	211	7.9	93

Tabela 6-2 Sumário Estatístico dos parâmetros físico-químicos.

	Condutividade	pH	Alcalinidade
<b>Média</b>	212.1	7.76	92.75
<b>Desv. Padrão</b>	20.22	0.14	16.09
<b>Máximo</b>	269	7.98	129
<b>Mínimo</b>	184.9	7.5	57

## 6.2 EDXRF

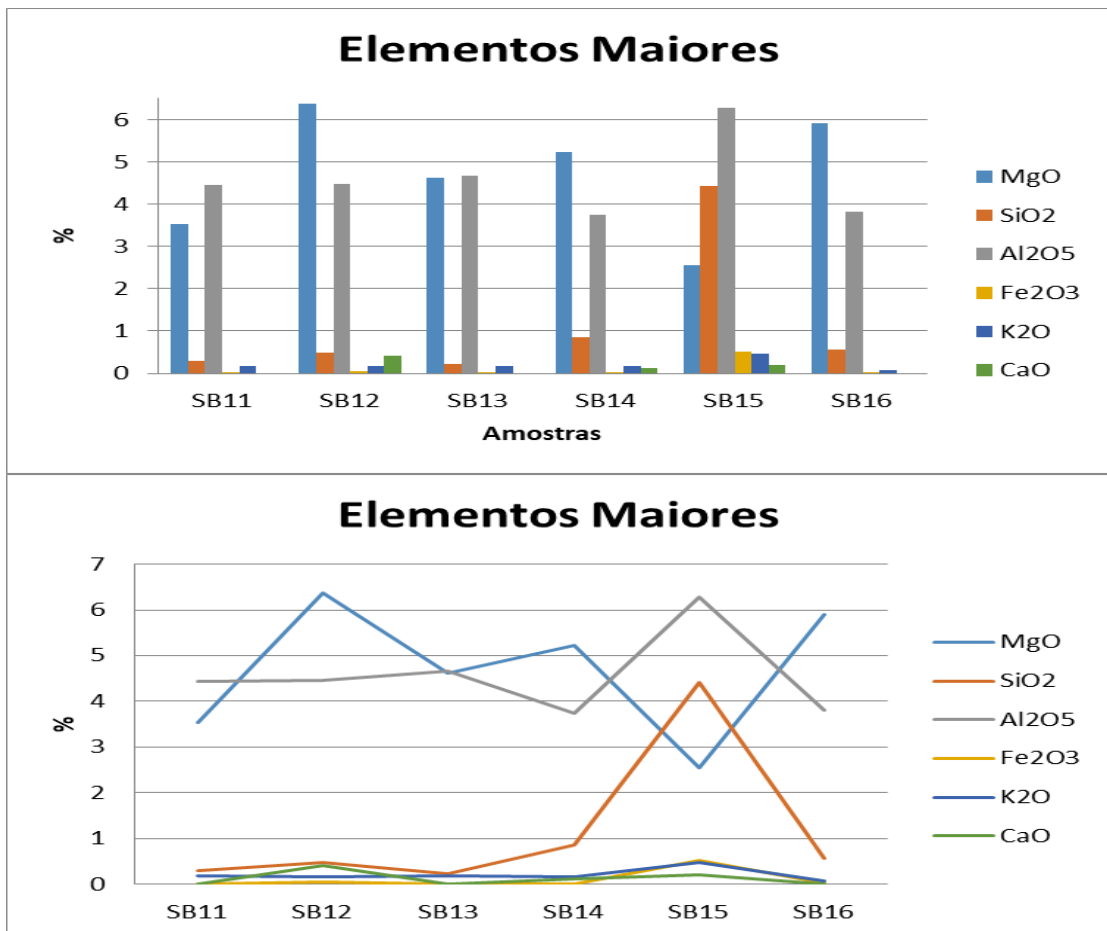
As amostras que foram analisadas por Fluorescência de Raios-X por Energia Dispersiva apresentaram uma variedade de elementos químicos que estão presentes na água. A partir dos resultados das amostras coletadas na região da Sanga da Brandina, podemos observar que as águas possuem valores de Mg variando de 6,38% (amostra SB12) a 2,55% (amostra SB15) com média de 4,70% e desvio padrão 1,44, Al variando de 6,28% (amostra SB15) a 3,81% (amostra SB16) com média de 4,57% e desvio padrão 0,91, Si variando de 4,41% (amostra SB15) a 0,22% (amostra SB13) com média de 1,13% e desvio padrão 1,62, K variando de 0,47 (amostras SB15) com média 0,203% e desvio padrão 0,136, Ca variando de 0,41% (amostra SB12) a 0% (amostras SB11, SB13 e SB15) com média 0,122% e desvio padrão 0,164 e Fe variando de 0,007% (amostra SB13) a 0,513% (amostra SB15) com média 0,102% e desvio padrão 0,202. Os valores das amostras estão dispostos na Tabela 6-3,

juntamente com um sumário estatístico, já a Tabela 6-4 exibe dois gráficos com a distribuição da concentração dos elementos maiores em porcentagem.

Tabela 6-3 Resultados da concentração de Elementos Maiores (em porcentagem).

%	MgO	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	K <sub>2</sub> O	CaO
<b>SB11</b>	3.533	0.287	4.447	0.013	0.180	0.000
<b>SB12</b>	6.380	0.487	4.463	0.047	0.170	0.413
<b>SB13</b>	4.617	0.220	4.673	0.007	0.177	0.000
<b>SB14</b>	5.223	0.850	3.750	0.013	0.163	0.123
<b>SB15</b>	2.557	4.417	6.283	0.513	0.467	0.197
<b>SB16</b>	5.897	0.557	3.813	0.020	0.063	0.000
<b>Média</b>	4.701	1.136	4.572	0.102	0.203	0.122
<b>Desvio Padrão</b>	1.448	1.622	0.918	0.202	0.136	0.164
<b>Máximo</b>	6.380	4.417	6.283	0.513	0.467	0.413
<b>Mínimo</b>	2.557	0.220	3.750	0.007	0.063	0.000

Tabela 6-4 Concentração de Elementos Maiores em porcentagem.



Fonte: Autor.

As relações entre os íons dissolvidos presentes na água representam normalmente as interações ocorridas entre a água e o substrato rochoso granítico, indicando a ação de fenômenos modificadores, ou uma característica específica da água em estudo.

O alumínio é um elemento principal da crosta terrestre, sendo o elemento metálico mais abundante da mesma. Ocorre, principalmente, como silicato de alumínio e os minerais típicos formados por este elemento são os hidróxidos e óxidos de alumínio, como a gibbsita ( $\text{Al(OH)}_3$ ) e caulinita ( $\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4$ ), ambos minerais formados por intemperismo químico de rochas ricas em feldspatos. Segundo REIMANN & CARITAT (1998) a meteorização dos minerais é a principal fonte de alumínio no ambiente superficial. A concentração de alumínio observada nas amostras pode estar associada à lixiviação deste material das rochas graníticas. Como demonstrado na equação (1), o produto final da hidrólise de um feldspato alcalino (Ortoclásio  $\text{KAlSi}_3\text{O}_8$ ) são argilominerais, íons em solução e sílica.



O cálcio é um elemento principal da crosta terrestre, sendo um metal alcalino-terroso. O mineral mais comum de cálcio é a calcita ( $\text{CaCO}_3$ ). A porcentagem deste elemento na Crosta Continental é de 3,85%. A sua mobilidade é muito elevada, devido a sua elevada solubilidade em água. Os valores encontrados para Ca indicam uma concentração natural deste elemento pela percolação nas rochas e solos da região. A equação (2) representa a dissolução de carbonato de cálcio por ácido carbônico. Esta equação demonstra que a lixiviação de carbonatos de cálcio nas rochas e solos, solubiliza íons de cálcio em solução.



Segundo CUSTÓDIO & LLAMAS (2001) o Cálcio pode precipitar com facilidade e é muito afetado por trocas iônicas. Em rochas ígneas o Plagioclásio é a maior fonte de cálcio, sendo que o ataque aos feldspatos e aos outros silicatos cálcicos também contribui para a acumulação deste cátion.

O ferro é um dos elementos principais da crosta terrestre, sendo o segundo metal mais abundante. O teor médio de ferro (% em peso do respectivo óxido) na Crosta Continental Superior é de 3,09%. minerais que estão sendo afetados pelo intemperismo, como as biotitas.

O alto grau de correlação com Si indica que ambos elementos estão associados quimicamente. Podemos utilizar a equação (3) para demonstrar o efeito da oxidação utilizando-se um piroxênio ( $\text{FeMgSi}_3\text{O}_8$ ) como exemplo, teremos íons em solução de  $\text{Mg}^{2+}$  e  $\text{OH}^-$ .



O silício é o segundo elemento mais abundante da crosta terrestre. Do ponto de vista químico, é um metaloide, um elemento com propriedades intermediárias entre as dos metais e as do não-metais. Colóides consistem em partículas ultrafinas, menores que 1  $\mu\text{m}$ , que podem estar dispersas em um líquido. O mineral típico de silício é o quartzo ( $\text{SiO}_2$ ), e sua mobilidade é baixa. Podemos associar a presença de Si nas amostras devido a partículas coloidais de silício que tendem a ficar em solução nas águas devido à dificuldade que este tem de se realocar em outras estruturas químicas.

Já o magnésio é um metal alcalino terroso e possui apenas um estado de oxidação em águas, sendo  $\text{Mg}^{2+}$ . Pelas equações (1) e (3), podemos compreender que parte do Mg que está sendo lixiviado das rochas da região está presente nas amostras de água.

A análise de elementos menores ocorreu da mesma forma que para os elementos maiores, a única diferença é que estes estão expostos em PPM (parte por milhão). Os resultados para Cl variam de 454 ppm (amostra SB14) a 1167 ppm (amostra SB16), com média de 715 ppm e desvio padrão 255, para o elemento Cd as análises variaram entre 0,0 ppm (amostra SB11) a 5377 ppm (amostra SB15) com média de 3333 ppm e desvio padrão de 2018, já o elemento Cu variou de 0,0 ppm (SB16) a 77 ppm (SB14) com média de 51,22 ppm e desvio padrão de 28, por fim o elemento Rh foi o que apresentou maior proporções entre os elementos menores analisados, variando entre 16.333,33 ppm (amostras SB12, SB14, SB15 e SB16) a 17.233,33 ppm (amostra SB11), com média de 16.577,78 ppm e desvio padrão de 354. A tabela 6-5 apresenta os resultados de concentração para os elementos menores em PPM.

Tabela 6-5 Concentração dos Elementos Menores em parte por milhão (PPM).

PPM	Cl	Cd	Cu	Rh
<b>SB11</b>	837.67	0.00	72.00	17233.33
<b>SB12</b>	596.00	4713.33	63.00	16333.33
<b>SB13</b>	566.67	2313.33	43.33	16700.00
<b>SB14</b>	454.00	4723.33	76.67	16333.33
<b>SB15</b>	668.67	5376.67	52.33	16333.33

<b>SB16</b>	1166.67	2873.33	0.00	16533.33
<b>Média</b>	714.94	3333.33	51.22	16577.78
<b>Desvio Padrão</b>	255.14	2018.65	27.95	353.82
<b>Máximo</b>	1166.67	5376.67	76.67	17233.33
<b>Mínimo</b>	454.00	0.00	0.00	16333.33

O cádmio é um elemento em pequenas proporções na crosta terrestre, sendo um metal de transição, possui número atômico 48 e raio atômico 171 pm, pertencendo ao Grupo dos Metais Pesados. Os possíveis minerais hospedeiros deste elemento são, entre outros: os minérios de Zn, a biotita e anfibólios (REIMANN & CARITAT, 1998). Os teores médios de Cd (mg/kg) em granitos e granodioritos é de 0,10 mg/kg, demonstrado por REIMANN & CARITAT (1998). Sua mobilidade química é afetada pela oxidação do ambiente, sendo que em ambientes redutores sua mobilidade é muito baixa. É um elemento tóxico e supostamente carcinogênico.

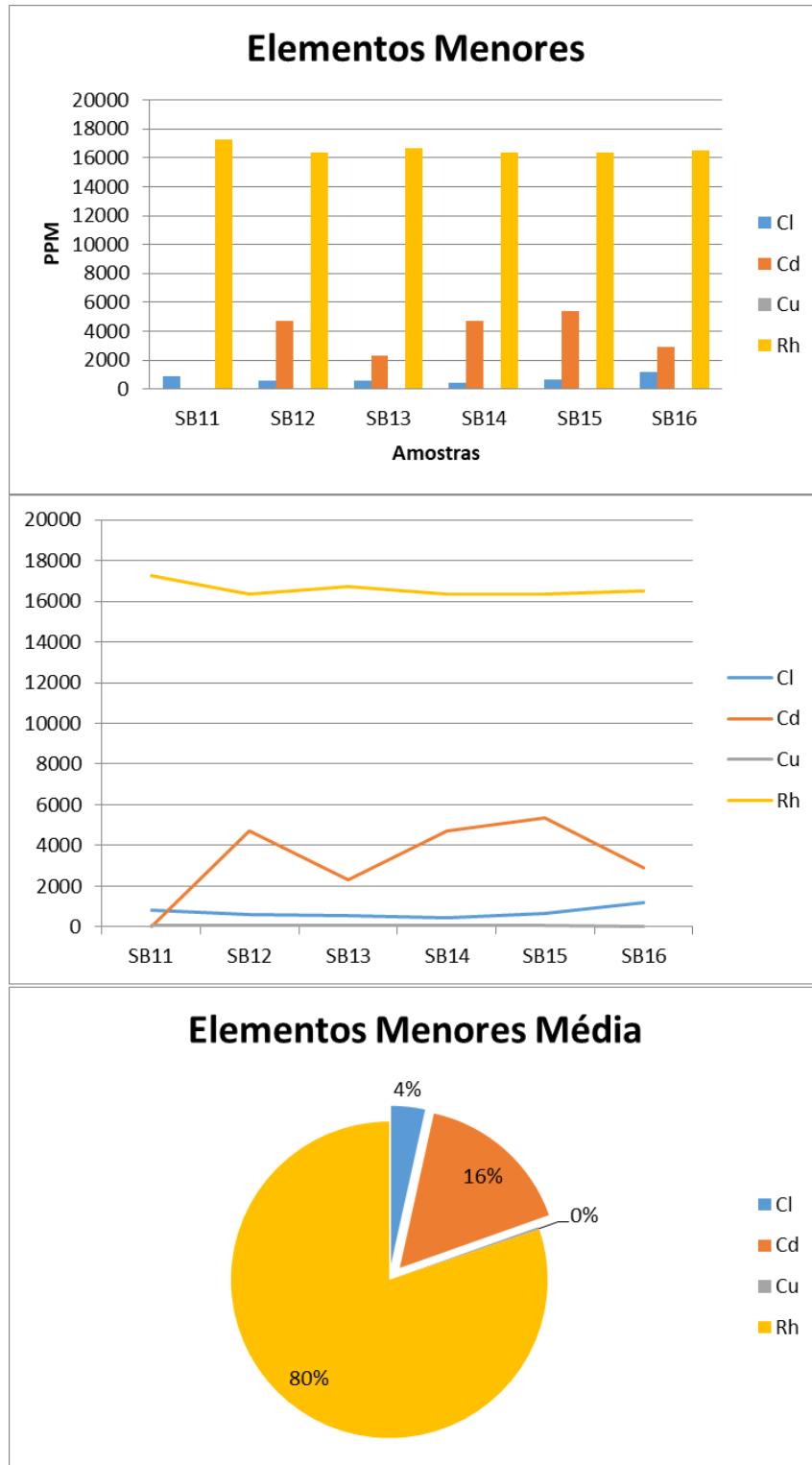
Outro elemento que ocorre em pequenas proporções na crosta terrestre e é um metal de transição é o Cobre (Cu). Possui número atômico 29 e raio atômico 157 pm, pertencendo ao grupo dos metais pesados. Um dos minerais hospedeiros deste elemento, que ocorre em rochas graníticas, é a biotita. O teor médio de Cobre (mg/kg) em granitos e granodioritos é de 12,0 mg/kg. Geralmente o Cu é um elemento com pouca mobilidade, sendo que sua mobilidade é diretamente proporcional a acidez.

O Rh é um elemento do grupo da platina (EGP), sendo que existem muitos trabalhos sobre a ação da platina no meio ambiente, porém pouco se sabe sobre o ródio (Rh) e o Paládio (Pd), que são outros elementos do grupo da platina (EGP). O trabalho de MORCELLI (2004) estuda a liberação para o meio ambiente dos EGP devido à emissão de material particulado proveniente do desgaste dos catalisadores de automóveis, em solos próximos à rodovias de São Paulo. A média de Rh nas amostras de água é de 1,70 com desvio padrão de 0,29. Uma hipótese que pode ser levantada a partir dos resultados baseado na bibliografia citada é que este elemento está neste sistema como fruto da atividade antrópica, seja pelo trânsito de automóveis pelo local, bem como, pelo descarte incorreto de partes automotivas na Sanga. Apesar da alta concentração deste elemento, este é atóxico.

Além disso, podemos citar que diversos outros elementos que foram observados, como Sr (média de 0,02%), Zr (média de 0,02%) e Ti (média de 0,01%). Isso significa que existem outros elementos dissolvidos nas águas, porém estes são não representativos ou não detectáveis pelo método aplicado.

A sequência de gráficos a seguir (Figura 8) representa a concentração dos elementos menores nas amostras de água analisadas. Observa-se que o elemento Rh possui destaque em todos os três gráficos.

Figura 9 Concentração dos elementos menores (em ppm).





### 6.3 Método de Correlação de Pearson

Uma Tabela de correlação foi gerada, utilizando-se o Método de Correlação de Pearson, para traçar as similaridades entre os conjuntos de dados estudados (Figura 9). Podemos constatar uma alta correlação positiva entre Si x Al, Si x Fe, Si x K, Al x Fe, Al x K e Fe x K. Estas correlações positivas podem ser explicadas por estes elementos fluírem agregados no 1º sítio cristalino, que é caracterizado pelo raio atômico e a valência de cada elemento. Já as correlações negativas (Mg x Al, Mg x K e Rh x Cd) são possíveis indicadores de trocas químicas entre as ligações mineralógicas.

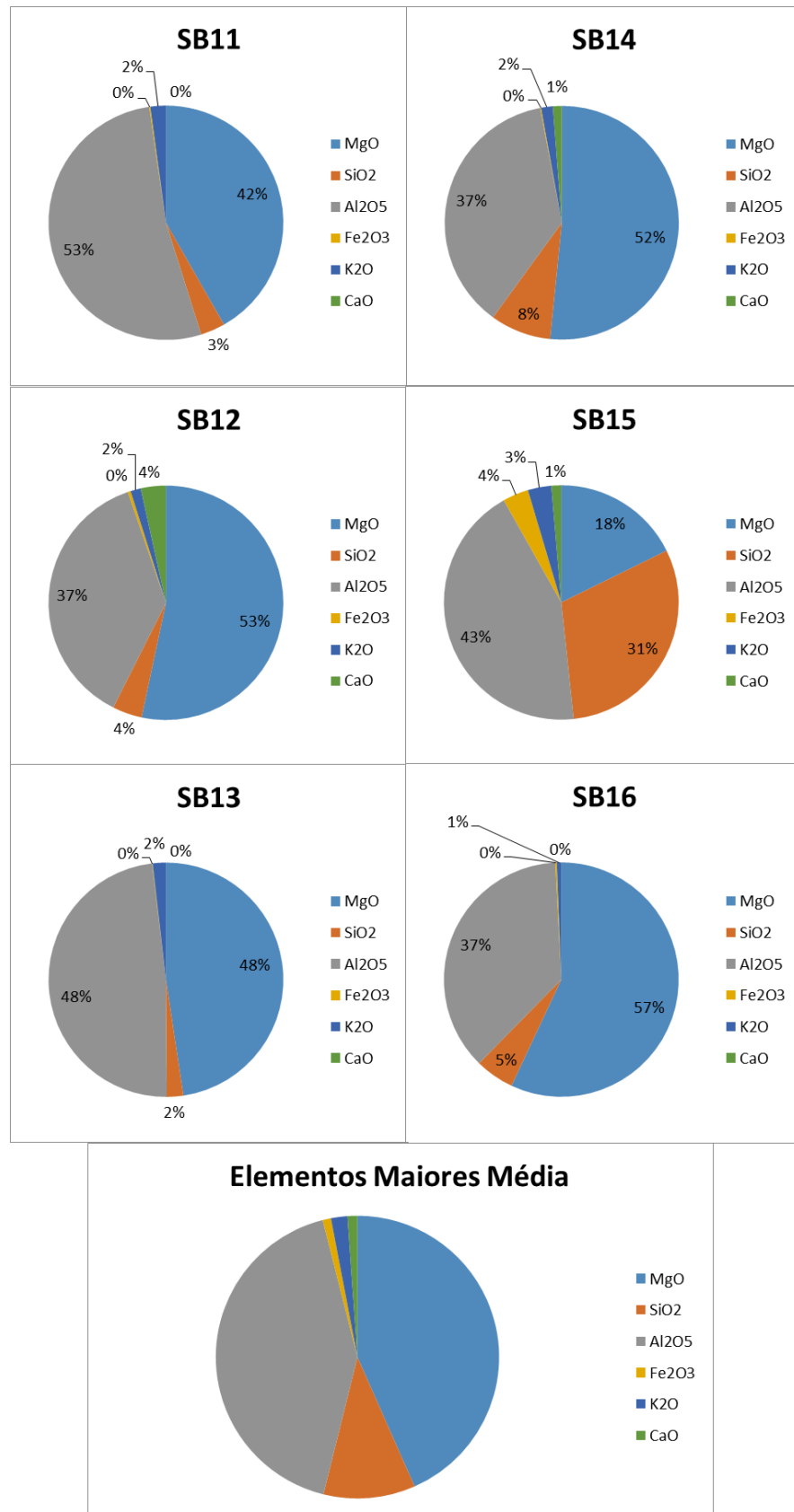
Além destes resultados aqui apresentados, a Figura 10 representa a média de elementos para cada um dos pontos amostrados. Podemos ver uma superioridade na concentração de Al e Mg em todas as amostras, sendo que apenas na amostra SB15 é que temos uma concentração maior de Si. Isso pode ser explicado pela alta concentração de partículas em solução nesta amostra em particular (Figura 11).

Figura 10 Matriz de Correlação de Pearson entre as variáveis estudadas.

	MgO	SiO2	Al2O5	Fe2O3	K2O	CaO	Cl	Cd	Cu	Rh
MgO	1.000									
SiO2	-0.672	1.000								
Al2O5	-0.759	0.855	1.000							
Fe2O3	-0.689	0.990	0.913	1.000						
K2O	-0.790	0.924	0.948	0.943	1.000					
CaO	0.283	0.256	0.252	0.283	0.295	1.000				
Cl	0.093	-0.111	-0.192	-0.090	-0.345	-0.431	1.000			
Cd	0.143	0.577	0.309	0.526	0.440	0.689	-0.422	1.000		
Cu	-0.268	0.035	0.118	0.023	0.303	0.358	-0.772	0.058	1.000	
Rh	-0.329	-0.424	-0.140	-0.368	-0.244	-0.616	0.324	-0.971	0.113	1.000

Fonte: Autor.

Figura 11 Média dos elementos maiores em cada amostra da região de estudo.



Fonte: Autor.

## 6.4 Comparação com geoquímica litológica

Ao compararmos os resultados das análises de água com as informações sobre geoquímica das rochas (BITENCOURT, REMUS & NARDI, 1989) podemos associar:

- O Complexo Granítico de Caçapava do Sul é constituído por rochas constituídas principalmente por plagioclásios, como albita  $((\text{Na}_{1-0,9}, \text{Ca}_{0-0,1})\text{Al}(\text{Al}_{0-0,1}, \text{Si}_{1-0,9})\text{Si}_2\text{O}_8)$  e anortita  $((\text{Na}_{0,1-0}, \text{Ca}_{0,9-1})\text{Al}(\text{Al}_{0,9-1}, \text{Si}_{0,1-0})\text{Si}_2\text{O}_8)$  sendo que frequentemente mostram transformações para micas brancas (muscovita  $\text{KAl}_2\text{Si}_3\text{AlO}_{10}(\text{OH}, \text{F})_2$ ), calcita ( $\text{CaCO}_3$ ) e epidoto  $((\text{Ca}, \text{Na}, \text{Fe})\text{Al}_2\text{O} \cdot \text{Si}_3\text{O}_{11}\text{OH})$ ; feldspato alcalino ( $\text{NaAlSi}_3\text{O}_8$ ); quartzo ( $\text{SiO}_2$ ); Biotita  $(\text{K}_2(\text{Mg}, \text{Fe}^{2+})_{6-4}(\text{Fe}^{3+}, \text{Al}, \text{Ti})_{0-2}\text{Si}_{6-5}\text{Al}_{2-3}\text{O}_{20}(\text{OH}, \text{F})_4)$ ; e Muscovita  $(\text{KAl}_2\text{Si}_3\text{AlO}_{10}(\text{OH}, \text{F})_2)$ .
- A mineralogia e geoquímica do Complexo Granítico Caçapava do Sul fornece íons e cátions que acabam sendo disponibilizados como solúveis na água. Isso é exemplificado pela presença de íons como  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Al}^{+2}$ , Ca e K nas amostras analisadas;

## 7 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Ao longo do presente estudo foram avaliadas as propriedades físico-químicas e características hidrogeoquímicas da microbacia Oeste, onde a Sanga da Brandina localiza-se.

Através das análises físico-químicas e geoquímicas, o recurso hídrico na região da Sanga da Brandina possui condutividade média  $212,1 \mu\text{Scm}^{-1}$ , pH média 7,75, alcalinidade média  $92,75 \text{ mgL}^{-1} \text{ CaCO}_3$ , MgO média 4,70%, SiO<sub>2</sub> média 1,13%, Al<sub>2</sub>O<sub>5</sub> média 4,57%, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> média 0,102%, K<sub>2</sub>O média 0,20%, CaO média 0,12%, Cl média 715 ppm, Cd média 3333 ppm, Cu média 51,22 ppm e Rh média 16578 ppm. Todos os parâmetros estiveram de acordo com a Resolução CONAMA nº 357/2005 (CONAMA, 2005), porém podemos afirmar que esse recurso hídrico não pode ser considerado potável, pois não foram realizados todos os parâmetros de qualidade de água que abrangem esta resolução.

Desta forma, considera-se a química da Sanga da Brandina compatível com o resultado de processos intempéricos que agem na desagregação de material do granito para a água que percola a região. As equações apresentadas no trabalho, como as de diluição, oxidação e complexação, exemplificam a desagregação de minerais, principalmente feldspatos alcalinos, muscovitas, biotitas e plagioclásios, sendo o quartzo o material menos solúvel e conseqüentemente menos móvel na mineralogia local. Além disso, com a pesquisa desenvolvida foi possível comprovar a presença de alguns metais pesados como Cu e Cd que,

apesar de não se encontrarem em concentrações tóxicas, necessitam de um certo monitoramento em relação as suas concentrações.

A caracterização hidrogeoquímica das águas superficiais na região da Sanga da Brandina mostrou que, em relação aos cátions dissolvidos, há predomínio nas concentrações de Mg e Al em todas as amostras. O desenvolvimento do presente trabalho nos evidencia também que a química das águas da Sanga da Brandina está diretamente relacionada com a geoquímica das rochas graníticas da região, a quantidade de sais dissolvidos reflete o comportamento geoquímico destes elementos neste ambiente, onde através de reações químicas de intemperismo ocorre a desagregação de minerais como plagioclásios e micas, que estão sendo transformados em argilominerais, ou minerais neoformados e consequente concentração de elementos móveis na água.

## REFERÊNCIAS

- AMORIM, F. A. C., LOBO I. P., SANTOS V. L. C. S., FERREIRA, S. L. C. 2008. **Espectrometria de absorção atômica: o caminho para determinações multi-elementares** – Bahia, BA. Química Nova, Vol. 31, No. 7, 1784-1790.
- ANON, J. K. 1996 **Manual of environmental and urban geology of fast growing cities.** Atlas of Urban Geology, vol 9. United Nations, New York.
- BATISTA, M. J. A. F. 2003 **Comportamento de elementos químicos no sistema rocha-solo-sedimento-plantas na área mineira de Neves do Corvo: Implicações ambientais.** Universidade de Aveiro, Dep. De Geociências, 2003. P 37.
- BITTENCOURT, A.V.L. 1980. **Aspectos hidrogeoquímicos da alteração intempérica de basaltos da Bacia do Paraná: Bacia Hidrográfica do Jacutinga (PR).** Revista Brasileira de Geociências, 10; p. 202-212.
- BITTENCOURT, M. F. 1983 **Metamorfitos da região de Caçapava do Sul, RS – Geologia e relações com o corpo granítico.** Anais do I Simpósio Sul Brasileiro de Geologia, Porto Alegre, 1983. P. 37-48.
- BITTENCOURT, M.F.; REMUS, M. V. D.; NARDI, L. V. S. 1989 **Complexos graníticos da região do oeste do estado Sul-rio-grandense.** Congresso Brasileiro de Geoquímica 1, POA, 1989. Porto Alegre, SBGq. p. 55-90.
- BITTENCOURT, M. F. et al. 1999 **Projeto Caçapava do Sul, Mapa Geológico.** UFGRS Turma 1999.
- BOLEA, M. & ESTEVAN, T. **Evaluacion del Impacto Ambiental.** Madrid: Fundación Mapfre, 1984.
- BRILHANTE, O. M., E CALDAS, L. Q. A., coord. **Gestão e avaliação de risco em saúde ambiental.** Rio de Janeiro: Editora FIOCRUZ, 1999. 155 p. ISBN 85-85676-56-6 Available from SciELO Books .
- BRITO, R.S.; FERREIRA, F; LOURENÇO, N.D.; MATOS, J.S. 2001 **Espectrofotometria para monitorização da qualidade de água residual em drenagem urbana.** Associação Portuguesa de Recursos Hídricos, volume 34, p 5-16.
- CARVALHO, P. F. 1932. **Reconhecimento geológico do Estado do Rio Grande do Sul.** Rio de Janeiro, IGMB. 72 p.
- CHAKRAPANI, C. 2005. **Major and trace elements geochemistry in upper Ganga river in the Himalayas, India.** Environ. Geol., 48; p.189-201.

CHELSEA, MICHIGAN: LEWIS Publishers, Inc., 1986. chapter 1. INHABER, H. **Energy Risk Assessment**. New York: Gordon and Breach Science Publishers, Inc., 1982. p. 1-54.

CHEMALE Jr., F.; HARTMANN, L.A. & SILVA, L.C. 1995. **Stratigraphy and tectonism of the Brasiliano Cycle in southern Brazil**. Geological Survey of Namibia, 10, 151-166.

CHEMALE JR., F. 2000 **Evolução Geológica do Escudo Sul-Riograndense**. Em: Holz, M. e DE ROS, L. F. (Ed.) **Geologia do Rio Grande do Sul**. Porto Alegre-RS. UFRGS p 13-54.

CHIRADIA, M. C.; COLLINS, C. H. & JARDIM, C. S. F. 2008 **O estado da arte da cromatografia associada à espectrometria de massa acoplada à espectrometria de massas na análise de compostos tóxicos em alimentos**. Revista Química Nova, Vol. 31, No. 3, p623-636.

CLOW, D.W.; MAST, A. & CAMPBELL, D.H. 1996 **Controls on surface water chemistry in the Upper Merced River Basin, Yosemite National Park, California**. US Geological Survey Hydrological Processes, Vol. 10, p 727-746.

CONWAY, R. A. **Introduction to environmental risk analysis**. In: . **Environmental Risk Analysis for Chemicals**. New York: van Nostand Reinhold Company, 1982. chapter 1. p. 1-30.

CPRM. COMPANHIA DE PESQUISA DE RECURSOS MINERAIS. 2006 **Mapa Geológico do Estado do Rio Grande do Sul**. Escala: 1:750.000. Superintendência Regional de Porto Alegre, RS.

CUSTODIO, E. & LLAMAS, R.M. 2001 **Hidrologia subterrânea**, 2ª edição. Barcelona, Ediciones Omega, 2v.

DAI FC, LIU YH, WANG SJ (1994) **Urban geology: a case study of Tongchuan city, Shaanxi Province, China**. Eng Geol 38:165-175

DE MULDER EFJ (1996) **Urban geoscience**. In: McCall GJH, De Mukder EFJ, Marker BR (eds) **Urban Geoscience**. Association for Geoscience Development (AGID) Special Publication Series, No 20. A.A. Balkema, Rotterdam, pp 1-11.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA ‘ EMBRAPA, 2010. **Banco de dados climáticos do Brasil. Município de Encruzilhada do Sul**. Disponível em: <http://www.bdclima.cnpm.embrapa.br/resultados/balanco.php?UF=&COD=222> Acesso em: 08 de outubro de 15.

FEITOSA, F. A. C.; FILHO, J. M. **Hidrogeologia: conceitos e aplicação**. Ed. Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 1997.

FUNDAÇÃO DA ECONOMIA E ESTATÍSTICA SIEGFRIED EMANUEL HEUSER – FEE, 2013. **Índice de desenvolvimento socioeconômico.**

FREITAS, M. B. & ALMEIDA L. M., 1998. **Qualidade da água subterrânea e sazonalidade de organismos coliformes em áreas densamente povoadas com saneamento básico precário.** Em: X Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas. CD-ROM, São Paulo: Sonopress-Rimo.

FRAGOSO CESAR, A. R. S. 1991 **Tectônica de Placas no Ciclo Brasileiro: As orogenias dos Cinturões Dom Feliciano e Ribeira no Rio Grande do Sul.** São Paulo, IGC-USP. 362p.

FREITAS, M. B.; BRILHANTE, O. M. & ALMEIDA, L. M. 2001 **Importância da análise de água para a saúde pública em duas regiões do Estado do Rio de Janeiro: enfoque para coliformes fecais, nitrato e alumínio.** Caderneta de Saúde Pública, Rio de Janeiro.

GARRELS, R.M. & MACKENZIE, F.T. 1967 **Origin of the chemical composition of some springs and lakes.** In: STUMM, W. (ed.). **Equilibrium Concepts in Natural Water Systems** – Advances in Chemistry Series. American Chemical Society, 67 (10).

GOLDSCHMIDT, V. M. 1954 **Geochemistry.** Claredon Press, Oxford. P 730

GONÇALVES E. F.; VASCONCELLOS, J. M.; PINESE, J. P. P., CORREA, G. T.; FRANÇA, V.; SOUZA FILHO, E.E. 2007. **Levantamentos Preliminares da saúde coletiva com base na geoquímica das águas superficiais do entorno das Ilhas Mutum e Porto Rico, Alto Rio Paraná.** UEL 2007 p 15.

HAGEDORN, B; CARTWRIGHT, I; RAVEGGI, M.; MAAS, R.. 2011; **Rare earth element and strontium geochemistry of the Australian Victorian Alps drainage system: Evaluating the dominance of carbonates vs. Aluminosilicate weathering under varying runoff.** Chemical Geology 284; p 105-126.

HARTMANN, L.A., CHEMALE F.JR. & PHILIPP, R.P., 2007. **Evolução Geotectônica do Rio Grande do Sul no Pré-Cambriano.** In: Iannuzzi, R & Frantz, J.C. (Eds). Geologia do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 99-123

HEM, J.D. 1985 **Study and Interpretation of the Chemical Characteristics of Natural Water.** USGS, 3<sup>rd</sup> Edition. Paper 2254, p 66-88.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE. Cidades. **Censo Demográfico 2010.**

KUPPUSAMY, M.R. & GIRIDHAR, V.V. 2006 **Factor analysis of water quality characteristics including trace metal speciation in the coast environmental system of Chennai Ennore.** Environmental International, v. 31, n.2, p 174-179.

LEINZ, V.; BARBOSA, A. F.; TEIXEIRA, E. 1941. **Mapa Geológico Caçapava-Lavras. Porto Alegre**, Secretaria de Agricultura e Industria Comercial 19 p.

LESACK, L.F.W. 1993. **Export of nutrients and major ionic solutes from a rain forest catchment in the Central Amazon Basin**. Water Resources Research, 29 (3); p 743-758.

LESER, W. S.; BARBOSA, V.; BARUZZI, R. G.; RIBEIRO, M. D. B. & FRANCO, L. J., 1985. **Elementos da Epidemiologia Geral**. São Paulo: Atheneu.

LIBÂNIO, P. A. C.; CHERNICHARO, C. A. L.; NASCIMENTO, N. O. 2005 **A dimensão da qualidade de água: avaliação da relação entre indicadores sociais, de disponibilidade hídrica, de saneamento e de saúde pública**. Revista de Engenharia Sanitária e Ambiental Vol. 10 n°3 – Jul/Set 2005, páginas 219 – 228.

LINO, A. M. 2007 **Determinação de solo por espectrofotometria UV-UVIS**. Universidade Paranaense – UNIPAR.

LUCON, T.N.; ASSUNÇÃO, P.H.; DIAS-OLIVEIRA, L.; COSTA, A.T. 2017 **Correlação entre alcalinidade hídrica e o arcabouço geológico da bacia do Rio São Miguel**. Anais XVI Congresso SBGQ p 44-47.

MACHADO, F.B.; MOREIRA, C.A.; ZANARDO, A; ANDRE, A.C.;GODOY, A.M.; FERREIRA, J. A.; GALEMBECK, T.; NARDY, A.J.R.; ARTUR, A.C.; OLIVEIRA, M.A.F.de. **Enciclopédia Multimídia de Minerais**. [on-line].ISBN: 85-89082-11-3 Disponível formato digital em < <http://www.rc.unesp.br/museudpm/banco/grm.html>> acessado 22/09/2017 às 20:00.

MAGALHÃES, T. 1995 **Perigo de morte (ou risco de vida)**. Biologia. S.I. 7ª edição

MASON, B. e MOORE, C. B. **Principles of Geochemistry**, 1982. Wiley and Sons, New York.

MEYBECK, M. & HELMER, R. 1992. **An Introduction to Water Quality** In: Chapman, D. (Ed). **Water Quality Assessment**. Cambridge, University Press, página 585.

MORAES, D. S. L. & JORDÃO, B. Q. **Degradação de recursos hídricos e seus efeitos sobre a saúde humana**. 2002 Revista Saúde Pública/USP, ano 36, edição 3. Páginas 370-374.

MORCELLI, C.P.R. 2004 **Elementos do grupo da platina (Pt, Pd e Rh) emitidos por conversos catalíticos de automóveis: um estudo realizado em solos localizados às margens da rodovia dos bandeirantes no estado de São Paulo**. IPEN, São Paulo. USP. Livro IPEN n° 23010. P 15-64.



- MUKAKA, M. M. **A guide to appropriate use of correlation coefficient in medical research.** Malawi Medical Journal, v. 24, n. 3, p. 69-71, 2012
- OVALLE, A.R. 1985. **Estudo geoquímico de águas fluviais da Bacia do Alto Rio Cachoeira, Paque Nacional da Tijuca, RJ.** Programa de pós graduação em geoquímica, Universidade Federal Fluminense, Dissertação de Mestrado, 60 p.
- PEREIRA, L. B.; FABRIS, J. & REZENDE, E. F. V. **Mapeamento Geotécnico Aplicado ao Crescimento Urbano da Cidade de Caçapava do Sul.** 2014 Caçapava do Sul, RS.
- PHILIPP, R. P. 1998 **A Evolução Geológica e Tectônica do Batólito Pelotas no Rio Grande do Sul.** São Paulo, IGC-USP. 255p.
- PHILIPP, R.P., MACHADO, R. & CHEMALE JR, F. 2007. **A geração dos granitóides Neoproterozóicos do Batólito Pelotas: evidências dos isótopos de Sr e Nd e implicações para o crescimento continental da porção sul do Brasil.** In: Iannuzzi, R. & Frantz. J.C. (Ed.). **50 anos de Geologia: Instituto de Geociências.** Contribuições. Porto Alegre, Comunicação e Identidade, p. 59-77.
- PIVELI, R. P. **Qualidade das águas e Poluição: Aspectos Físico-Químicos. Aula 6 – Características químicas das águas: pH, acidez, alcalinidade e dureza.**
- PORADA, H. 1979. **The Damara-Ribeira Orogen of the Pan-African-Brasiliano Cycle in Namibia - Southwest Africa- and Brazil as interpreted in terms of continental collision; Tectonophysics; 57; p. 237-265**
- REIMANN, C. & CARITAT, P. de. 1998 **Chemical Elements In The Environment, Factsheets For The Geochemist And Environmental Scientist.** v. 137, p 66-156.
- REYNOLDS, C.S. & DAVIES, P.S. 2001 **Sources and bioavailability of phosphorus fractions in freshwater: a British perspective.** Biology Review, v. 76, p 27-64, 2001.
- RESOLUÇÃO CONAMA NÚMERO 001, de 23 de janeiro de 1986. Publicado no Diário Oficial da União de 17/02/86. Disponível formato digital em <<http://www.mma.gov.br/port/conama/res/res86/res0186.html>> acessado 22/09/2015 às 20:00.
- RESOLUÇÃO CONAMA NÚMERO 20, de 13 de junho de 1986. Publicado pela legislação do Estado de São Paulo (Decreto nº 8486).
- ROSS, Jurandyr Luciano Sanches (org.). **Geografia do Brasil.** São Paulo: Editora Universidade de São Paulo, 2005.
- SANTOS, E.S.; GAMA, E.M.; DA FRANÇA, R.S.; SOUZA, A.S.; MATOS, R.P. 2013 **Espectrometria de Fluorescência de Raios X na Determinação de Espécies Químicas.** Enciclopédia Biosfera, Centro Científico Conhecer- Goiânia, v.9, n.17; p 3413-3432.

SEHN, L.A. 2016 **Medidor de condutividade elétrica para fins de monitoramento ambiental.** CTA, UFGRS. Disponível formato digital em <[http://cta.if.ufrgs.br/projects/medidor-de-condutividade-eletrica-monitoramento-ambiental/wiki/Estado\\_da\\_Arte](http://cta.if.ufrgs.br/projects/medidor-de-condutividade-eletrica-monitoramento-ambiental/wiki/Estado_da_Arte)> acessado em 30/10/2017 às 11:30.

SEMA/DRH – Portaria Conjunta SEMA – FEPAM n.47, de 25 de Agosto de 2008. Secretaria do Meio Ambiente, Estado do Rio Grande do Sul.

SILVEIRA, C.S.; MADDOCK, J.E.L.; De MELLO, W.Z.; QUEIROZ, L.A.V. 2014. **Hidrogeoquímica de metais em água fluvial: fontes geológicas graníticas e gnáissicas – Bacia do Rio Paquequer, Teresópolis, RJ.** Anuário do Instituto de Geociências UFRJ, Vol. 37 (2), p. 39-47.

SILVEIRA, C.S. & COELHO NETTO, A.L. 1999. **Hydrogeochemical responses to rainfall inputs in a small rainforest basin: Rio de Janeiro, Brazil.** Physics and Chemistry of the Earth, Part A: Solid Earth and Geodesy, 24(4), p 871-879.

SIMIELLI, Maria Elena. Geoatlas. São Paulo: Ática. 2009.

SOUTO, M.A.M.; ODAKA, M.M.; OKADA, I.A.; DOVIDAUSKAS, S. 2006 Revista Instituto Adolfo Lutz, edição 65, p 66-69.

SZIKSZAY, M. **Geoquímica das águas.** Boletim IG-USP. Série Didática, Brasil, n. 5, p. 1-166, nov. 1993. ISSN 2316-896X. Disponível em: <<http://www.revistas.usp.br/bigsd/article/view/45351>>. Acesso em: 24 nov. 2017. doi:<http://dx.doi.org/10.11606/issn.2316-896X.v0i5p1-166>.

TOLEDO, M.C.M.; OLIVEIRA, S.M.B. de; MELFI, A.J. 2009 Cap 8 p. 128-239 **Da rocha ao solo – Intemperismo e pedogênese.** In: TEIXEIRA, W.; FAIRCHILD, T.R.; TOLEDO, M.C.M.; TAIOLI, F. Decifrando a Terra, 2ª Edição. São Paulo 2009.

U.S. Geological Survey 2017 **California Drought.** Disponível em formato digital em <https://ca.water.usgs.gov/data/drought/index.html> acessado em 23/10/2017 as 10:00.

WARD, A.D.; ELLIOT, W.J. 1995. **Environmental Hydrology.** Boca Raton: Lewis Publishers, 462 p.

WHITE, P. A.; RASMUSSEN, J. B.; BLAISE, C. **Comparing the presence, potency, and potencial hazard of genotoxins extracted from a broad range of industrial effluents.** Environmental Mol Mutang 1996. Página 116 - 136.