

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO ESPÍRITO SANTO
CENTRO DE CIÊNCIAS HUMANAS E NATURAIS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOGRAFIA**

GABRIEL SILVA NOGUEIRA

**GEOQUÍMICA DAS ÁGUAS SUPERFICIAIS E A RELAÇÃO COM AS
FORMAÇÕES SUPERFICIAIS INCONSOLIDADAS EM UMA ILHA
VULCÂNICA TROPICAL (ILHA DA TRINDADE)**

VITÓRIA

2021

GABRIEL SILVA NOGUEIRA

**GEOQUÍMICA DAS ÁGUAS SUPERFICIAIS E A RELAÇÃO COM AS
FORMAÇÕES SUPERFICIAIS INCONSOLIDADAS EM UMA ILHA
VULCÂNICA TROPICAL (ILHA DA TRINDADE)**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Geografia do Centro de Ciências Humanas e Naturais da Universidade Federal do Espírito Santo, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Geografia, na área de Dinâmica dos Territórios e da Natureza.

Orientador: Prof. Dr. Eberval Marchioro.

VITÓRIA
2021

Ficha catalográfica disponibilizada pelo Sistema Integrado de
Bibliotecas - SIBI/UFES e elaborada pelo autor

N778g Nogueira, Gabriel Silva, 1991-
Geoquímica das águas superficiais e a relação com as
formações superficiais inconsolidadas em uma ilha vulcânica
tropical (Ilha da Trindade) / Gabriel Silva Nogueira. - 2021.
126 f. : il.

Orientador: Eberval Marchioro.

Dissertação (Mestrado em Geografia) - Universidade Federal
do Espírito Santo, Centro de Ciências Humanas e Naturais.

1. Ilha. 2. Ilha vulcânica. 3. Geoquímica. 4. Hidrogeoquímica.
5. Ilha da Trindade. I. Marchioro, Eberval. II. Universidade
Federal do Espírito Santo. Centro de Ciências Humanas e
Naturais. III. Título.

CDU: 91

GABRIEL SILVA NOGUEIRA

**GEOQUÍMICA DAS ÁGUAS SUPERFICIAIS E A RELAÇÃO COM AS
FORMAÇÕES SUPERFICIAIS INCONSOLIDADAS EM UMA ILHA
VULCÂNICA TROPICAL (ILHA DA TRINDADE)**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Geografia do Centro de Ciências Humanas e Naturais da Universidade Federal do Espírito Santo, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Geografia, na área de Dinâmica dos Territórios e da Natureza.

Aprovado em 25 de fevereiro de 2021.

COMISSÃO EXAMINADORA



Prof. Dr. Eberval Marchioro (UFES)

Orientador e Presidente da Comissão



Prof. Dra. Luiza Leonardi Bricalli (UFES)

Examinadora Interna



Prof. Dr. Renato Rodrigues Neto (PPGOAM/UFES)

Examinador Externo



Prof. Dr. Fabian Sá (PPGOAM/UFES)

Examinador Externo

As vítimas do COVID-19
Aos pesquisadores brasileiros
A minha família, minha base.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus por ter colocado ao meu lado pessoas tão especiais e pelos momentos aos quais tive que buscar forças e sabedoria.

Ao orientador, o Professor Dr. Eberval Marchioro, pela dedicação na orientação do trabalho, por ter aceitado o desafio de ir à Ilha da Trindade, pelas oportunidades que me proporcionou e, acima de tudo, pela amizade. Reconheço que fez muito além de suas atividades, sou muito grato por isso.

Ao Lamosa pelos equipamentos e pela infraestrutura essenciais para este trabalho.

Ao LabGAM, em especial ao Eduardo e ao Jorginho pelas análises hidrogeoquímicas.

Ao Programa de Pós-graduação em Geografia da Universidade Federal do Espírito Santo.

A Universidade Federal do Espírito Santo, sou muito grato a essa instituição e aos profissionais.

A Marinha do Brasil, ao Programa de Pesquisas na Ilha da Trindade (PROTRINDADE), ao Banco Nacional de Dados Oceanográficos (BNDO) e ao Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade (ICMBio).

A Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Capes pela concessão de bolsa de estudos, indispensável para conclusão desse trabalho.

Aos amigos e amigas do Lamosa, em especial Alanderson, Mariana e Felipe que me acompanharam em expedições para Ilha da Trindade e ao Carlos Eduardo (Cadu), cara tu foste um irmão pra mim, parceria de campo pesada, alto padrão.

Juliana Frechiani (Ju), valeu pelos doces incentivos e suporte.

A minha amada mãe Ivanilde Nogueira e meu pai Josué Nogueira *in memoriam* (sinto sua falta).

Minhas irmãs Ju e Lai, agradeço muito por me incentivarem e apoiarem nesta jornada. O caminho é esse, sigam.

A minha companheira Jade, muito obrigado pelos incentivos, compreensão e suporte nesta maratona acadêmica. Tenho sorte em ter seus cuidados.

Aos amigos e amigas de ECIT e de embarques, valeu pelas experiências e aprendizados.

A todos aqueles que, de uma forma ou de outra, contribuíram, direta ou indiretamente, para que fosse possível a realização desse trabalho, muito obrigado.

"É bastante singular", observou Spilett, "que esta ilha relativamente pequena deva apresentar terreno tão variado. Essa diversidade de aspectos, logicamente, pertence apenas a continentes de uma certa extensão. (...)

"Você está certo, meu caro Spilett", respondeu Cyrus Harding, "eu também observei isso. Eu acho estranha a forma e também a natureza desta ilha. É um resumo de todos os aspectos que um continente apresenta, e eu não deveria me surpreender se fosse um continente anteriormente.

'O que! Um continente no meio do Pacífico? gritou Pencroft.

'Por que não?' respondeu Cyrus Harding.

The Mysterious Island
Jules Verne (1874)

RESUMO

Este trabalho investigou a ocorrência temporal de elementos químicos e de alguns parâmetros físico-químicos nas águas superficiais de uma ilha vulcânica tropical (Ilha da Trindade) estabelecendo a relação com a geoquímica do substrato geológico e das formações superficiais inconsolidadas (solos). Para tal, foi utilizado o recorte espacial bacia hidrográfica do Córrego da Captação, situada na porção leste da Ilha da Trindade/Brasil. Foram feitas no córrego da Captação medições sazonais da vazão e de parâmetros físico-químicos nos meses de março, agosto, setembro e outubro de 2019 e coletado quarenta amostras de água entre os meses de agosto e outubro de 2019. Também foi monitorado durante esta pesquisa os índices pluviométricos em três diferentes pontos da Ilha da Trindade (lado leste, topo e lado oeste). Em laboratório, as amostras de água foram analisadas por ICP-MS para obtenção das concentrações dos metais totais (Ca, Mg, Zn, Sr, Al, Fe, Ba, Mn, Cu, V, Be, As, Cd, Ni, Pb, Cr e Ag). Os dados foram tabulados e analisados estatisticamente correlacionando-os com a geoquímica das rochas e solos que compõem a bacia e os índices pluviométricos. Os resultados mostram uma distribuição desigual de chuvas no lado leste, topo e lado oeste da Ilha da Trindade. A vazão média do córrego de Captação foi de 11,186 l/s, sendo no mês de março a maior média e setembro a menor. Os resultados dos parâmetros físico-químicos turbidez e concentração de sedimentos em suspensão acompanhou os volumes de vazão, já os parâmetros condutividade elétrica (CE) e sólidos totais dissolvidos (STD) apresentaram comportamento inversamente proporcional. Assim, compreende-se que na Ilha da Trindade em meses mais chuvosos os processos de erosão superficial predominam e nos meses com menores índices pluviométricos tem-se mais ações dos processos erosivos químicos. O cálcio foi o elemento com maior concentração nas águas superficiais seguido do magnésio. As elevadas concentrações de Sr, Zn, Cu e V apontam possível aporte da avifauna às formações superficiais inconsolidadas. As correlações entre as concentrações dos metais totais e os índices pluviométricos acumulados apontam que as águas superficiais de ilha oceânica vulcânica em clima tropical (Ilha da Trindade) permanecem em subsolo por semanas até verter pelos córregos, isso pode ser comprovado pelos elevados valores de STD e CE. Por fim, esta pesquisa verificou a existência de processos erosivos diferencial atuantes em Ilha vulcânica em clima tropical (Ilha da Trindade) controlados pelos índices pluviométricos ao longo do ano.

Palavras-chaves: Ilha. Ilha vulcânica. Geoquímica. Hidrogeoquímica. Ilha da Trindade

ABSTRACT

This research investigated the temporal occurrence of some chemical elements and physicochemical parameters in the superficial waters from a volcano isle in a tropical climate (Trindade Island), establishing a relationship between the geochemistry of the geological substrate and the superficial unconsolidated formations (soils). To that end, the research area was the Córrego da Captação watershed, in the eastern Trindade Island/Brazil. Seasonal measurements of physicochemical parameters and flow rates were made on March, August, September and October of 2019 and forty water samples were collected from the Córrego da Captação between August and October of 2019. The rainfall was also monitored in three different places on the isle (east side, the summit and west side). In the laboratory, the water samples were analyzed on ICP-MS to obtain the concentrations of total metals (Ca, Mg, Zn, Sr, Al, Fe, Ba, Mn, Cu, V, Be, As, Cd, Ni, Pb, Cr e Ag). Correlation analysis was done between the total metals and the geochemistry of the watershed's lithology, soils, and the rainfall. The results show an uneven distribution of rainfall between the east side, the summit and the west side of Trindade Island. The average flow rate of the Córrego da Captação were 11.186 l/s, with the highest average in March and the lowest in September. The results of the turbidity and total suspended sediments parameters followed the flow rate, while the electrical conductivity (EC) and total dissolved solids (TDS) showed an inversely proportional behavior. Thus, it is understood that in the rainier months on Trindade Island the surface erosion processes predominate, and in the drier months there is more chemical erosion processes. Calcium was the element with the highest concentrations in surficial water followed by magnesium. The high concentrations of Sr, Zn, Cu e V show a possible contribution of birds to the unconsolidated surface formations. The correlations between total metals concentrations and accumulated rainfall index show that the superficial waters from a volcano island in tropical climate (Trindade Island) remain underground for weeks and then flow to the streams. This can be proven by the high values of TDS and EC. In conclusion, this research verified the existence of differential erosive processes acting on volcanic island in tropical climate (Trindade Island) controlled by the rainfall rates throughout the year.

Keywords: Island. Volcano Island. Geochemistry. Hydrogeochemistry. Trindade Island.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Série de Goldich (estabilidade mineral) e de Bowen (cristalização mineral)	24
Figura 2 - Classificação Goldschmidt na tabela periódica.....	31
Figura 3 - A Ilha da Trindade e os pontos representados com fotos.....	32
Figura 4 - a) Vulcão do Paredão; b) Vista da Praia da Calheta para norte; c) Praia das Tartarugas; d) Ilhas do Sul	33
Figura 5 - e) Área da bacia de Captação; f) Pico do Desejado; g) construções de habitação, ao fundo bacia de Captação; h) Pico Nossa Senhora de Lurdes	34
Figura 6 - i) Cabeceira de drenagem do Córrego de Captação; j) Encostas do lado oeste e ao centro Praia do EME; k) Platô anterior ao Pico do Desejado; l) Pico Trindade e Fazendinha vistos do Pico do Desejado	35
Figura 7 - m) Foto panorâmica da vista do platô noroeste; n) Praia das Cabritas e o) Subida para o Platô noroeste.....	36
Figura 8 - Localização da Bacia hidrográfica do Córrego de Captação na Ilha da Trindade.....	42
Figura 9 - Valores de precipitação anual registrados pela EMIT no período de 1979-2018.....	43
Figura 10 - Valores de média e o desvio padrão da precipitação mensal entre os anos de 1979 – 2018 registrados pela EMIT.....	44
Figura 11 - Temperaturas máximas e mínimas registradas na EMIT no período de 1958-2008.....	45
Figura 12 - Direção de Ventos na Ilha da Trindade, Atlântico Sul no período de 2008 a 2018. Elaborado a partir dos dados da Estação Meteorológica da Ilha da Trindade, EMI.....	46
Figura 13 – Unidades geológicas da Bacia do Córrego de Captação.....	47
Figura 14 - Paisagens da unidade geológica Complexo Trindade.....	48
Figura 15 - Paisagens da unidade geológica Sequência Desejado. Na imagem direita contorno da cabeceira de drenagem da Bacia do Córrego da Captação. ...	48
Figura 16 – Representação dos compartimentos geomorfológicos planalto axial e vertentes costeiras	54

Figura 17 - Limites da bacia hidrográfica do Córrego de Captação.	55
Figura 18 – Solos da Bacia hidrográfica do Riacho de Captação na escala 1:20000.	56
Figura 19 - Análise da concentração de metais por solos e altitudes que compõem a bacia.....	57
Figura 20 – Área amostral do Córrego de Captação em setembro de 2019.	61
Figura 21 – Área amostral do Córrego de Captação no mês de março de 2019. .	61
Figura 22 - Medição dos parâmetros físico-químicos do Córrego de Captação com uso da sonda multiparâmetros YSI 2030 PRO em março de 2019.	64
Figura 23 - Medição da vazão no Córrego de Captação com uso de Flowtaracker® em março de 2019.	65
Figura 24 - Locais onde foram instalados os pluviógrafos e a área da amostragem de metais e medição dos parâmetros físico-químicos.....	67
Figura 25 - Direção dos ventos nos meses de março, agosto, setembro e outubro/2019 incidentes na Ilha da Trindade.	73

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 - Distribuição pluviométrica nos meses de março, agosto, setembro e outubro no lado leste, topo e lado Oeste. Nestes meses ocorreram as medições físico-químicas no Córrego de Captação.	71
Gráfico 2 - Distribuição sazonal das chuvas acumuladas de um dia para cabeceira de drenagem e a vazão do Córrego de Captação. Foram duas amostras efetuadas no mês de março, sete no mês de setembro e uma no mês de outubro.....	75
Gráfico 3 - Distribuição temporal da condutividade elétrica no Córrego de Captação com a distribuição temporal e espacial de chuvas na Ilha da Trindade nos meses de março, agosto, setembro e outubro.....	77
Gráfico 4 - Variação temporal das concentrações de sólidos totais dissolvidos no Córrego de Captação e a distribuição de chuvas na Ilha da Trindade nos meses de março, agosto, setembro e outubro.....	79
Gráfico 5 - Distribuição sazonal da Turbidez, C _{ss} , CE e STD no Córrego de Captação.....	81
Gráfico 6 - Gráfico de ordenação (RDA) usando como variáveis explicativas, os metais, e as variáveis resposta, a distribuição sazonal em semanas.	85
Gráfico 7 - Representação da concentração de Ca nas amostras e a variação sazonal.....	87
Gráfico 8 - Representação da concentração média de Mg nas amostras de água e a variação sazonal no Córrego de Captação.	88
Gráfico 9 - Variação das concentrações e sazonalidade do Fe, Mn e Al no Córrego de Captação.....	90
Gráfico 10 - Concentração e variação sazonal do Zn, Sr, Ba e Cu no Córrego de Captação.....	94
Gráfico 11 - Distribuição das concentrações e as variações sazonais dos metais pesados As, Cr, Ni, Pb, Ag e Cd.	99
Gráfico 12 - Concentrações e variações sazonais de V, Be e Ag no Córrego de Captação.....	105

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Mineralogia modal de amostras representativas de rochas vulcânicas e xenólitos da Ilha da Trindade.	50
Tabela 2 - Cálculos normativos CIPW para rochas vulcânicas e xenólitos cumulativos da Ilha da Trindade.....	51
Tabela 3 – Média da composição geoquímica de rocha total obtida em amostras representativas de rochas vulcânicas e xenólitos cumulativos da Ilha da Trindade representando as composições das rochas que compõem a bacia do Córrego de Captação. Os limites de detecção são (a) ppm e (b) ppb	52
Tabela 4 - Distribuição de Ca, Mg e Al por classes de solos que compõem a bacia.	58
Tabela 5 – Resumo dos princípios analíticos dos parâmetros físico-químico.	64
Tabela 6 - Coeficiente de correlação Spearman dos metais analisados no Córrego de Captação.....	86
Tabela 7 - Representação dos coeficientes de correlação entre parâmetros físico-químicos e os metais. As células na cor cinza correspondem as correlações com $p < 0,05$. Os coeficientes em negrito representam a classificação forte magnitude de correlação e em itálico na cor azul correlação moderada.	108
Tabela 8 - Correlação entre os metais e as chuvas acumuladas na cabeceira de drenagem do Córrego de Captação anteriores a coleta das amostras de água.	112
Tabela 9 - Correlação entre os metais e as chuvas acumuladas no lado leste (área de amostragem) do Córrego de Captação anteriores a coleta das amostras de água.	113

SUMÁRIO

1.	INTRODUÇÃO	18
2.	OBJETIVOS.....	21
2.1	OBJETIVO GERAL	21
2.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	21
3.	REFERENCIAL TEÓRICO E BASES CONCENTUAIS.....	22
3.1	INTEMPERISMO, GEOQUÍMICA E BACIAS HIDROGRÁFICAS	22
3.2	INTEMPERISMO E GEOMORFOLOGIA.....	25
3.3	HIDROGEOQUÍMICA	27
3.4	PRINCÍPIOS GEOQUÍMICOS	29
4.	ÁREA DE ESTUDO	32
4.1	CARACTERIZAÇÃO DA ILHA DA TRINDADE	32
4.2	RESGATE HISTÓRICO NATURALISTA.....	38
4.3	LOCALIZAÇÃO GEOGRÁFICA	41
4.4	CLIMA.....	42
4.5	GEOLOGIA.....	46
4.6	GEOMORFOLOGIA.....	53
4.7	PEDOLOGIA.....	55
5.	MATERIAL E MÉTODOS.....	62
5.1	COLETA DAS AMOSTRAS DE ÁGUA	62
5.1.1	Amostragem de água superficial fluvial	62

5.2	PROTOCOLO ANALÍTICO	63
5.2.1	Parâmetros Físico-químicos <i>in situ</i>	63
5.2.2	Vazão.....	65
5.2.3	Monitoramento de precipitação e ventos.....	66
5.2.4	Análise das amostras de água	68
5.3.1	Matriz dos coeficientes de correlação	68
5.3.2	Análise de redundância (RDA).....	69
6.	RESULTADOS E DISCUSSÕES	70
6.2.1	Condutividade Elétrica (CE).....	75
6.2.2	Sólidos Totais Dissolvidos (STD)	78
6.2.3	Concentração de Sedimentos em Suspensão (Css).....	80
6.2.4	Turbidez (UNT)	82
6.3.1	Análise de redundância (RDA).....	83
6.4	CARACTERIZAÇÃO HIDROGEOQUÍMICA	86
6.4.1	Metais Alcalinos	86
6.4.1.1	Cálcio (Ca).....	86
6.4.1.2	Magnésio (Mg)	88
6.4.2	Formadores de óxidos.....	89
6.4.2.1	Alumínio (Al).....	90
6.4.2.2	Ferro (Fe).....	91
6.4.2.3	Manganês (Mn)	92

6.4.3	Elementos metálicos (> 2ug/L).....	93
6.4.3.1	Zinco (Zn).....	94
6.4.3.2	Estrôncio (Sr)	95
6.4.3.3	Bário (Ba).....	97
6.4.3.4	Cobre (Cu)	98
6.4.4	Elementos metálicos e semimetálicos (< 2ug/L)	99
6.4.4.1	Cádmio (Cd).....	100
6.4.4.2	Cromo (Cr)	100
6.4.4.3	Níquel (Ni)	101
6.4.4.4	Arsênio (As)	102
6.4.4.5	Chumbo (Pb).....	103
6.4.5	Outros elementos metálicos.....	104
6.4.5.1	Vanádio (V)	105
6.4.5.2	Berílio (Be)	106
6.4.5.3	Prata (Ag).....	107
6.5	FATORES CONDICIONANTES.....	108
7.	CONSIDERAÇÕES FINAIS	116
7.1	SUGESTÃO PARA FUTURAS PESQUISAS	118
	REFERÊNCIAS.....	119

1. INTRODUÇÃO

As bacias hidrográficas são reconhecidas como recortes espaciais adequados para compreensão de processos hidrogeomorfológicos e hidrogeoquímicos e, desde 1930, na obra Robert Elmer Horton já estava presente na hidrologia.

Com sua área bem definida por divisores topográficos, a água que verte para o ponto de saída único de uma bacia hidrográfica, permite a ciência um caminho de investigações e, a partir deste ponto único, compreender diversos processos atuantes na paisagem, principalmente em clima tropical, onde há intensos volumes pluviométricos (SILVEIRA, 2001; TUCCI, 2001).

A investigação da evolução do relevo de ilhas vulcânicas pela ação da erosão hídrica e pelo rebaixamento geoquímico (intemperismo químico) em bacias hidrográficas é apontado em pesquisas de Ferrier et al., 2013; Jefferson et al., 2010, 2014) como de fundamental importância, uma vez que, possuem características fisiográficas singulares, associado por exemplo, a complexa relação entre precipitação pluvial e rocha, solos entre outros, sendo que em ilhas oceânicas, a distribuição espaço temporal sofre forte efeito da topografia (PRYET et al., 2012).

Os ambientes que possuem cobertura vegetal expressiva, estão menos susceptíveis aos processos intempéricos físicos e de erosão hídrica, visto que, a cobertura vegetal tende a reduzir a força do impacto das gotas sobre o solo e, conseqüentemente, limitar a desagregação e posterior transporte dos solos e rochas. O efeito contrário tende a se aplicar com os processos de intemperismo químico que tendem a serem potencializados pelo favorecimento da percolação das águas nos solos e rochas, interferindo na geoquímica das águas dos rios e córregos (PRADA et al., 2009).

Desde o final da década de 1980 já se apontava a existência de poucos trabalhos hidrogeomorfológicos em ilhas oceânicas vulcânicas (NUNN, 1987) e ainda hoje essa escassez de trabalhos direcionados a este ambiente permanece. Uma lacuna maior é encontrada nas investigações das bacias hidrográficas e seus processos

neste ambiente geográfico. Tais fatos, apontam como promissor o trabalho científico que busca colaborar para preencher este hiato, afinal, estas bacias hidrográficas mesmo com pequenas áreas aportam a diversidade de processos similar ao de grandes bacias.

A hidrogeoquímica das águas tem sido estudada em áreas continentais associadas a bacias hidrográficas sob condição, em geral, de rochas graníticas, metamórficas ou quartzíticas entre outros, corroborando que ainda demanda trabalhos em ilhas vulcânicas. Por conta dessa demanda do conhecimento sobre a hidrogeomorfologia e a hidrogeoquímica de ilhas vulcânicas oceânicas, bem como, pelo apoio do projeto de pesquisa “Análise morfométrica e morfológica da Ilha da Trindade” do Laboratório de Monitoramento e Modelagem de Sistema Ambientais, optou-se para a escolha da bacia da Captação na Ilha da Trindade.

Na Ilha da Trindade, os primeiros trabalhos de investigação do substrato geológico remete a década de 1960 (ALMEIDA, 1961). Na década de 1970, o pesquisador Umberto Giuseppe Cordani fez as primeiras datações da formação da Ilha da Trindade, dando continuidade aos estudos geológicos das ilhas vulcânicas brasileiras (CORDANI, 1970). No final da década 1990, a pesquisadora Leila Marques e seus colaboradores fizeram análises geoquímicas e de isótopos Sr-Nd (MARQUES et al., 1999). No final da década de 2000, houve-se uma intensificação nos estudos pedológicos na Ilha (CLEMENTE, 2006; CLEMENTE et al., 2009).

Logo no início da década de 2010 foi publicado o primeiro mapa pedológico da Ilha da Trindade na escala de 1:20000, além de algumas análises químicas das classes dos solos (SÁ, 2010). Nos anos subseqüente foram intensificado os estudos químicos relacionados as classes solos e rochas da Ilha da Trindade (BONGIOLO et al., 2015; CLEMENTE et al., 2018, 2012; MACHADO et al., 2017; PIRES et al., 2016). Pesquisa envolvendo a hidrogeomorfologia da ilha só começaram a serem publicadas já no final da recorrente década (MARQUES; MAGALHÃES JÚNIOR; DE OLIVEIRA, 2019; NOGUEIRA; EFFGEN; MARCHIORO, 2018, 2020).

Como contribuição no conhecimento hidrogeoquímico da Ilha da Trindade e de outras ilhas vulcânicas em ambiente tropical, este trabalho investigou uma bacia experimental, denominada bacia do Córrego de Captação, que apresenta as principais classes de solos e rochas mapeados na Ilha da Trindade e que pode ser classificada como promissora para extrapolação das análises e conhecimentos hidrogeoquímicos e hidrogeomorfológicos para toda ilha.

2. OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GERAL

Analisar a ocorrência de elementos químicos das águas superficiais em uma ilha vulcânica tropical (Ilha da Trindade), estabelecendo a relação com a geoquímica do substrato geológico e das formações superficiais inconsolidadas.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Caracterizar a variação temporal dos teores de metais em um curso fluvial de uma ilha vulcânica tropical.
- Caracterizar a vazão, os sólidos totais dissolvidos, a concentração de sedimentos em suspensão, condutividade elétrica e turbidez em um curso fluvial vulcânico.
- Verificar e avaliar a relação entre a precipitação, a vazão e a geoquímica das águas do Córrego de Captação.
- Quantificar e diferenciar a distribuição espacial da precipitação ao longo de um transecto longitudinal na ilha.

3. REFERENCIAL TEÓRICO E BASES CONCEITUAIS

3.1 INTEMPERISMO, GEOQUÍMICA E BACIAS HIDROGRÁFICAS

O intemperismo pode ser definido como o ajuste das propriedades químicas, mineralógicas e físicas das rochas em resposta às condições ambientais prevalentes na superfície da Terra. Existe o intemperismo físico, químico e o biológico (SUMMERFIELD, 1991).

Segundo Summerfield (1991), o intemperismo físico, ocorre quando há desagregação das rochas, alterando o tamanho e o formato dos seus minerais, mas sem afetar suas composições químicas. O intemperismo químico, quando altera as rochas e seus minerais constituintes em razão da presença de água e substâncias nela dissolvidas e o intemperismo biológico é o processo de transformação das rochas e seus minerais a partir das ações de seres vivo.

A bacia hidrográfica é um recorte espacial atrativo para esta abordagem, pois, seus limites superficiais são definidos pelos interflúvios ou divisores de água. É uma área de captação natural de água proveniente das chuvas, convergindo por sua drenagem para uma única saída, seu exutório (DUNE; LEOPOLD, 1978; SILVEIRA, 2001; CAMPOS, 2010; CARVALHO, 2014).

Segundo Coelho Netto (1995), a bacia hidrográfica apresenta-se como uma unidade conveniente a compreensão e análise da ação dos processos hidrológicos, geomorfológicos e das ligações da paisagem em distintas escalas espaciais e temporais, entretanto, pode-se acrescentar à este recorte espacial os estudos hidroquímicos, como nesta pesquisa. Para Silveira (2001), a bacia hidrográfica pode ser considerada um sistema físico, onde a entrada é o volume de água precipitado, e a saída é o volume de água escoado pelo exutório.

No processo de entrada e saída de água, na bacia, acontecem interações da grandeza química e em alguns casos biológicas. Assim, a análise físico-química deste volume de água escoado pelo exutório deve diagnosticar também as perdas geoquímicas de bacia.

O termo “geoquímica” foi utilizado pela primeira vez em 1838 pelo químico suíço Christian Friedrich Schönbein (1799 – 1868), exposto como um novo ramo da ciência, originado da aproximação das ciências geologia e química. Este termo buscou enfatizar a importância de se estudar em maior detalhe as propriedades físico-químicas das formações geológicas e suas relações, destacando a notoriedade de se comparar cuidadosamente os produtos das forças químicas ativas no presente com as atuantes no passado (LEITE, 2006; RANKAMA; SAHAMA, 1950).

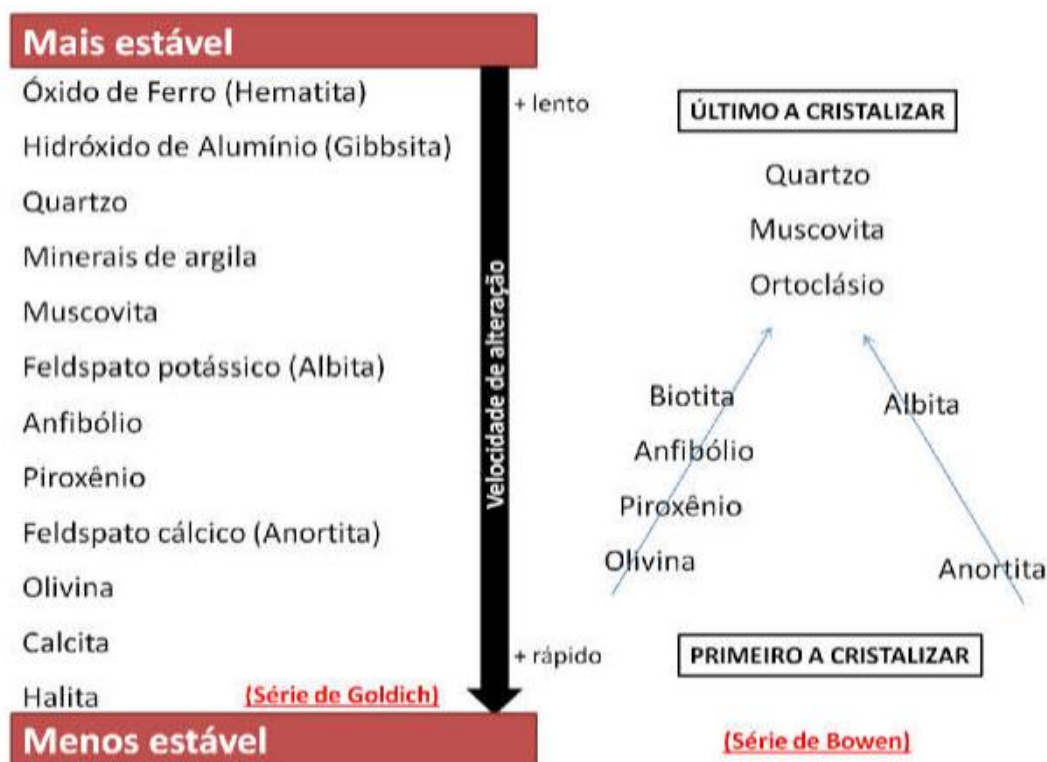
A partir de Chorley (1962), bacia hidrográfica é entendida como um sistema não-isolado aberto, onde há constante entrada e saída de energia e matéria. A composição físico-química das rochas, dos solos e as características do relevo, além do clima e em alguns casos a vegetação e as atividades biológicas que compõem uma bacia hidrográfica devem ser compreendidos de forma conjunta (CARVALHO, 2014).

As concentrações geoquímicas presentes nos fluxos de águas superficiais devem fornecer uma assinatura dos processos hidrogeomorfológicos que ocorrem na bacia hidrográfica e até na atmosfera. O fluxo fluvial de elementos dissolvidos é alimentado pelos processos de intemperismo químico das rochas que compõem a bacia hidrográfica, onde a dissolução ou hidrólise dos minerais primários das rochas liberam os elementos solúveis que são lixiviados pela água (PROBST; AMIOTTE-SUCHET; TARDY, 1992).

O aporte de solutos pode ocorrer também pelas chuvas, lixiviação das copas das árvores, decomposição da matéria orgânica dos solos, trocas iônicas e entre outros processos na escala da bacia. O aporte ocorre em função das fontes de abastecimento e do transporte hidrológico (SHANLEY; MCDOWELL; STALLARD, 2011). Esses processos são fortemente influenciados, entre outros, pela natureza dos minerais primários, do clima, das influências da biosfera e da hidrodinâmica (SUMMERFIELD, 1991).

Destarte, buscando uma forma de análise da heterogeneidade das rochas, Goldich (1938), introduz o “princípio da estabilidade”, o qual relaciona a temperatura de cristalização do mineral com sua susceptibilidade à alteração química. Ele correlacionou a vulnerabilidade mineral ao intemperismo à série Bowen (Figura 1). Dentro desta perspectiva, os minerais que se cristalizam sob as mais elevadas temperaturas tendem a se alterar mais facilmente que aqueles que se cristalizaram sob temperaturas mais baixas (mais próximas às da superfície).

Figura 1 - Série de Goldich (estabilidade mineral) e de Bowen (cristalização mineral)



Fonte: Da Costa (2017).

De acordo com Leite (2006), o estudo da geoquímica deve ser considerado como fundamental para a compreensão dos processos de intemperismo, pois estabelece índices para avaliar os estágios de intemperismo dos regolitos em diferentes profundidades e posições no relevo, tendo por base as concentrações percentuais dos minerais resistentes e/ou as concentrações químicas dos elementos menos solúveis.

Assim, como salientam Caylor; Manfreda; Rodriguez-Iturbe (2005), a bacia hidrográfica é um recorte espacial adequado para uma pesquisa geográfica, como as que abordem as interações hidrogeoquímicas. E também, analisar as concentrações dos principais íons disponibilizados pelas reações químicas dos intemperismos é uma forma de estimar a magnitude dos processos em um ambiente geográfico, tal como uma ilha vulcânica (LEITE, 2006).

3.2 INTEMPERISMO E GEOMORFOLOGIA

O material transportado para o mar através dos rios, sofre algum grau de decomposição química ou ruptura física antes de sofrer erosão. O intemperismo é, portanto, um lugar apropriado para começar o olhar geomorfológico sobre a dinâmica e os efeitos dos processos geomórficos exogênicos (SUMMERFIELD, 1991). Ainda do ponto de vista geomorfológico, estudos sobre denudação química em bacias hidrográficas contribuem para as investigações sobre a esculturação do relevo e o desenvolvimento de paisagens (BARRETO et al., 2012).

Em escala global, a tectônica é o principal fator de controle das taxas de denudação do relevo, resultado de processos de estiramento crustal, falhamentos e soerguimento tectônico, provocando em grandes proporções, rápida remoção de sedimentos (SUMMERFIELD, 1991). No entanto, em escala local ou regional, considera-se o controle litológico e a erodibilidade como fatores determinantes, resultados do intemperismo físico e químico das rochas e da remoção e exportação de material em dissolução por meio de processos geomórficos (CHRISTOFOLETTI, 1981).

Especialmente em climas tropicais, o contexto climático é um importante fator de controle do intemperismo, pois, a água e a temperatura são agentes dominantes de alteração da paisagem, como destacado por Summerfield (1991). A dissolução e remoção de solutos dos solos e das rochas subjacentes pelas águas está dentre os principais processos da dinâmica das vertentes (MELO et al., 2005). Esse processo é o principal fornecedor de materiais que irão compor a carga dissolvida dos cursos

fluviais, considerando que a concentração de sedimentos é formada, em sua maioria, pelos constituintes intemperizados das rochas (REZENDE et al., 2010).

A litologia é outro importante fator controle dos intemperismos, uma vez que a resistência diferenciada aos processos intempéricos, devem ser associadas a composição mineralógica das rochas e solos, tais como sintetizadas por Goldich (1938). Associado a litologia que compõe a bacia, o uso e cobertura da terra também influenciam as taxas de infiltração e/ou escoamento superficial das águas, e conseqüentemente influenciará as taxas de erosão físico-química (KIRKBY; BRACKEN; REANEY, 2002).

De acordo com Leite (2006), as relações entre taxas de intemperismo e processos de esculturação do relevo sempre foram objetos de interesse da geomorfologia. Na literatura, os registros mais antigos datam do final do século XIX, com os trabalhos clássicos de Grove Karl Gilbert. Para Gilbert (1877 *apud* Leite, 2006) os segmentos das encostas mais declivosos seriam aqueles em que o intemperismo seria mais eficiente devido a constante retirada dos materiais fragmentados proporcionada pela ação da gravidade.

Desta forma, os processos de intemperismos atuantes nas encostas estariam intimamente ligados as condições geomorfológicas da paisagem. Entretanto, para Gilbert esse intemperismo não é ilimitado, como destacou Leite (2006), sendo limitado à impossibilidade de formação do regolito, limite do intemperismo, causado pela extrema declividade e exposição da rocha, e o limite do transporte, seria a espessura do perfil de alteração, muito frondoso, de forma que impossibilita o intemperismo da rocha mãe.

Na escala bacia hidrográfica a investigação das concentrações físico-químicas das águas superficiais associadas ao clima e a litoestrutura são fatores importantes para compreensão e quantificação da denudação do relevo. Destaca-se este tipo de pesquisa em ilhas vulcânicas como aporte na discussão sobre a evolução do relevo, pois, como destacou Menard (1983), os principais processos erosivos atuantes sobre as ilhas vulcânicas oceânicas são as ações física das ondas do oceano e dos

rios, que tendem a transforma-las em atóis ou montes submarinos, o que já é observado no lineamento Vitória-Trindade que compõem a Ilha da Trindade.

3.3 HIDROGEOQUÍMICA

Os estudos hidrogeoquímicos buscam a relação dos elementos que compõe a estrutura físico-química da água, sedimentos e os processos e reações no ambiente aquático. Tem como foco investigar as possíveis origens e o comportamento dos constituintes que influenciam direta ou indiretamente nas concentrações hidrossedimentológicas e químicas da água (SKOULIKIDIS; KONDYLAKIS, 1997).

De acordo Almeida (2017), a investigação dos parâmetros físico-químicos das águas superficiais contribui para a interpretação de possíveis fontes de aporte de sedimentos e elementos químicos e os processos intempéricos que atuam em uma bacia hidrográfica. Sendo esse tipo de investigação que norteia este trabalho, aplicando a uma bacia hidrográfica na Ilha da Trindade.

O avanço dos processos intempéricos ocorre para o estabelecimento de novas relações de equilíbrio, já que os materiais se encontram sob condições ambientais diversas daquela em que foram formadas. Assim, segundo Rose et al. (1979), a dispersão química é o resultado de um conjunto de processos químicos, físicos e bioquímicos que remobilizam os elementos em ambientes primários e/ou secundários.

O contato das águas com os solos e com as rochas promove a decomposição dos minerais primários, resultando na formação dos minerais secundários e liberação de constituintes para as águas. O dióxido de carbono é a fonte de acidez para muitas reações de intemperismo (DREVER, 1997).

Os modelos de dispersão secundária, conforme Rose et al. (1979), são divididos em clásticos, hidromórficos e biogênicos. As dispersões clásticas, ocorrem basicamente por sedimentos em movimento como suspensão, arraste e saltação. O tipo hidromórficos, quando o agente erosivo é uma solução aquosa com carga

iônica. Por fim, biogênicos, ocorrem quando a movimentação é o resultado da atividade biológica.

Assim, as características de dispersão química das águas superficiais de um corpo d'água devem guardar uma estreita relação entre as assinaturas químicas dos tipos de rochas e os solos predominantes na bacia, os processos intempéricos atuantes, além de indicar sobre o uso e cobertura da terra neste recorte espacial. Como abordado no item anterior, a hidrogeoquímica também sofre influência da litologia, clima, topografia, cobertura vegetal e da precipitação (CHESTER, 1990).

A origem dos íons e moléculas dissolvidas ou em suspensão presentes no sistema aquoso, segundo Carvalho (1995), possuem 5 subdivisões: (i) Componentes Litogênicos, que tem sua origem relacionada com a litologia, através do intemperismo físico e químico que agem sobre ela; (ii) Componentes Vulcanogênicos, que são elementos incorporados a água através de atividades vulcânicas e de seus fenômenos associados; (iii) Componentes Biogênicos, resultantes de atividades biológicas, incluindo metabolismos e decomposições; (iv) Componentes Atmosféricos, gases e compostos derivados presentes na atmosfera que se incorporam no sistema aquoso através de precipitação, como no caso do HNO_3 , O_2 , CO_2 , e correntes elétricas, como no caso do NH_4 e NH_3 e; (v) Componentes Cosmogênicos, originados a partir de materiais extraterrestres, como meteoritos (CARVALHO, 1995).

Ainda segundo Carvalho (1995), as águas doces superficiais são caracterizadas pela pH próximo a neutralidade, natureza e abundância das espécies iônicas e moleculares dissolvidas em também relacionadas com a litologia, grau de evolução e estabilidade dos solos, além da intensidade de lixiviação.

O predomínio dos fenômenos químicos ou físicos dependem principalmente das condições climáticas prevalentes. Estes processos e a ampla gama de ambientes nos quais eles agem são extremamente complexos e as feições do material redistribuído também mostram diversidades de origem, modo de ocorrência de seus constituintes e forma física. Assim, o aporte de elementos químicos em um curso

d'água está condicionado à resistência do material primário ou secundário à solução aquosa (BONI LICHT, 2001).

3.4 PRINCÍPIOS GEOQUÍMICOS

3.4.1 Ambiente, ciclo e classificação geoquímica dos elementos

As marcas permanentes deixadas nas estruturas dos indivíduos bióticos ou abióticos, são fruto das variações dos ambientes geoquímicos, que ocorrem durante o processo de formação. A complexidade do ambiente geoquímico está intimamente relacionada aos processos que não ocorrem de forma isolada, sim, com influências das variáveis física ambientais como o clima e a presença da água, sendo cadenciadas por seu ritmo de ocorrência e intensidade. Em contra partida, todos os processos físico-químicos inerentes à atividade vital, também imprimem forte impacto no meio físico (BONI LICHT, 2001).

Segundo Rose et al. (1979), a Terra é um sistema dinâmico onde os materiais são transportados e modificados pela atuação de uma grande quantidade de processos que incluem fusão, cristalização, erosão, dissolução, precipitação, vaporização e decaimento radioativo.

Como já é sabido, o tempo de residência dos materiais numa determinada posição do sistema pode demonstrar enormes variações. Uma molécula de água, por exemplo, pode permanecer por 100.000 anos em uma geleira, 1.000 anos em um aquífero, 7 anos em um lago, 10 dias em uma nuvem ou apenas algumas horas em um corpo de um animal. Entretanto, esta permanência pode ser alterada pelas diversas condições ambientais que ocorrem nas várias posições do sistema, caracterizadas de acordo com a pressão, a temperatura, a disponibilidade de água e oxigênio livre (BONI LICHT, 2001).

Seguindo a caracterização de Rose et al. (1979) os ambientes geoquímicos são os superficiais e subsuperficiais. Para Boni Licht (2001), o ambiente superficial está na

parte superior da crosta e em contato direto ou quase direto com a atmosfera, hidrosfera, biosfera e as vezes com a tecnosfera.

Este ambiente é caracterizado por variações de pressões atmosféricas, abundância de oxigênio livre e a livre circulação de água. Onde ocorrem os processos de erosão, sedimentação, diagênese precoce, dissolução, hidrólise e oxidação. A maioria dos processos biológicos ocorrem também nestas condições. Os ambientes subsuperficiais, predominam processos magmáticos e metamórficos, que são caracterizados por altas pressões, temperaturas e baixa circulação de fluidos, além da limitação de oxigênio (BONI LICHT, 2001).

Considerando a Terra em uma ótima sistêmica, a existência, disponibilidade, mobilidade e circulação dos elementos geoquímicos dos materiais naturais entre os ambientes da paisagem podem ser expressos na forma de ciclos. O ciclo geoquímico de Fortescue (1967 *apud* ALMEIDA, 2017), por exemplo, é complexo, nele são inseridas diversas variáveis biológicas, em alguns casos até antrópicas. Leva em consideração também os processos geológicos, geomorfológicos e fisiográficos.

A junção de todas essas variáveis faz com que os constituintes geoquímicos possam existir, estar disponível, ter mobilidade e garante a circulação entre os diferentes ambientes (ALMEIDA, 2017).

A classificação geoquímica de Krauskopf (1972) modificada de Goldschmidt (1937), sugere uma classificação baseada nos comportamentos geoquímicos dos elementos (Figura 2). É baseada em experimentações realizadas com diversos materiais naturais como meteoritos, rochas silicatadas e mineralizações sulfetadas, podem explicar a distribuição dos elementos menores e traços em minerais e rochas. São divididos em cinco grupos: siderófilos, calcófilos, litófilos, atmófilos e biófilos.

Os elementos siderófilos possuem afinidade pelo Fe e se concentram no núcleo da Terra, como Co, Ni, Mo, Au, Ge, Sn, C, P; os elementos calcófilos possuem

afinidade pelo S e estão concentrados em sulfetos, como Cu, Ag, Zn, Cd, Hg, Ga, In, Tl, os elementos litófilos possuem afinidade pela SiO_2 e estão concentrados na crosta terrestre sob a forma de silicatos, como Li, Na, K, Rb, Cs, Be, Mg, Ca, Sr, Ba, os elementos atmófilos estão presentes como gases na atmosfera, como H, C, N, O, He, Ne, Ar e o quinto grupo de afinidade geoquímica são os elementos biófilos, os quais comumente encontrados nos organismos vivos, como C, H, O, N, P, S, Cl e I, assim como os metais traço V, Cu, Mn e B (ALMEIDA, 2017).

Figura 2 - Classificação Goldschmidt na tabela periódica.

	1																		18	
1	1 H																			2 He
2	3 Li	4 Be												5 B	6 C	7 N	8 O	9 F	10 Ne	
3	11 Na	12 Mg												13 Al	14 Si	15 P	16 S	17 Cl	18 Ar	
4	19 K	20 Ca	21 Sc	22 Ti	23 V	24 Cr	25 Mn	26 Fe	27 Co	28 Ni	29 Cu	30 Zn	31 Ga	32 Ge	33 As	34 Se	35 Br	36 Kr		
5	37 Rb	38 Sr	39 Y	40 Zr	41 Nb	42 Mo	(43) Tc	44 Ru	45 Rh	46 Pd	47 Ag	48 Cd	49 In	50 Sn	51 Sb	52 Te	53 I	54 Xe		
6	55 Cs	56 Ba	57-71 -	72 Hf	73 Ta	74 W	75 Re	76 Os	77 Ir	78 Pt	79 Au	80 Hg	81 Tl	82 Pb	83 Bi	84 Po	85 At	86 Rn		
7	87 Fr	88 Ra	89- -	(104) Rf	(105) Db	(106) Sg	(107) Bh	(108) Hs	(109) Mt	(110) Ds	(111) Rg	(112) Uub	(113) Uut	(114) Uuq	(115) Uup	(116) Uuh	(117) Uus	(118) Uuo		
Lantanídeos		57 La	58 Ce	59 Pr	60 Nd	(61) Pm	62 Sm	63 Eu	64 Gd	65 Tb	66 Dy	67 Ho	68 Er	69 Tm	70 Yb	71 Lu				
Actinídeos		89 Ac	90 Th	91 Pa	92 U	(93) Np	(94) Pu	(95) Am	(96) Cm	(97) Bk	(98) Cf	(99) Es	(100) Fm	(101) Md	(102) No	(103) Lr				

Legenda:

Litófilo	Siderófilo	Calcófilo	Atmófilo	muito raro
----------	------------	-----------	----------	------------

Fonte: Imagem da internet.

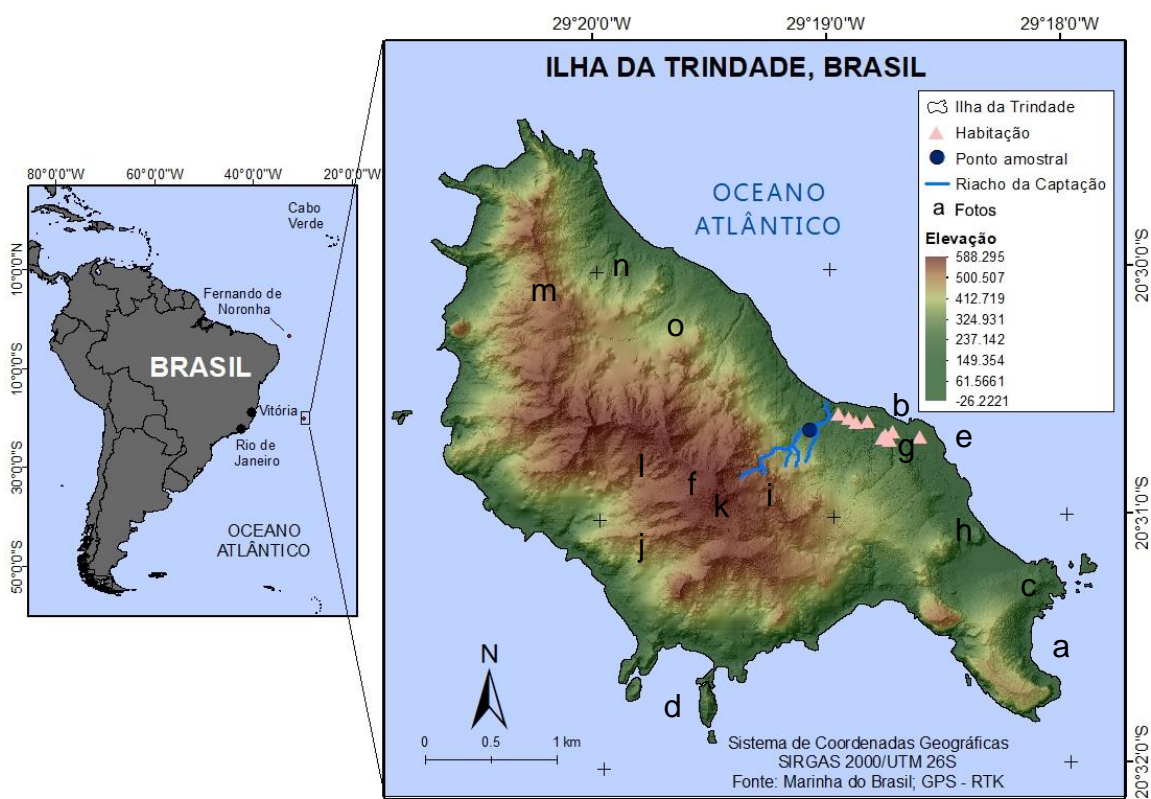
Segundo Boni Licht (2001), essa classificação não é compatível em ambientes com sob influência direta dos processos antropogênicos e tecnogênicos, como as atividades urbanas, industriais e agrícolas, visto que eles não seguem quaisquer regras ou padrões naturais. É eficiente para explicar a distribuição dos elementos menores e traço em minerais e rochas principalmente para os elementos litófilos, em ambientes sem fortes impactos antrópicos, como a bacia do Córrego de Captação.

4. ÁREA DE ESTUDO

4.1 CARACTERIZAÇÃO DA ILHA DA TRINDADE

A Ilha da Trindade é uma ilha brasileira oceânica de origem vulcânica que está localizada no extremo leste da cadeia de montanhas da Zona de Fratura Vitória Trindade (ZFVT) (Figura 3). Sua posição geográfica está entre os paralelos 20°29'S e 20°32' S e entre os meridianos 29°21'W e 29°17' W (Projeção Mercator). Está a uma distância de aproximadamente 1.167km da cidade de Vitória – ES e 2400km do continente africano. Sua elevação, a partir do assoalho oceânico é de 5.500m de profundidade (ALMEIDA, 2006; ALVES et al., 2006) com características paisagísticas únicas (Figura 4, Figura 5 e Figura 6).

Figura 3 - A Ilha da Trindade e os pontos representados com fotos.



Fonte: Organização do autor.

Figura 4 - a) Vulcão do Paredão; b) Vista da Praia da Calheta para norte; c) Praia das Tartarugas; d) Ilhas do Sul



Fonte: acervo do autor.

Figura 5 - e) Área da bacia de Captação; f) Pico do Desejado; g) construções de habitação, ao fundo bacia de Captação; h) Pico Nossa Senhora de Lurdes



Fonte: acervo do autor

Figura 6 - i) Cabeceira de drenagem do Córrego de Captação; j) Encostas do lado oeste e ao centro Praia do EME; k) Platô anterior ao Pico do Desejado; l) Pico Trindade e Fazendinha vistos do Pico do Desejado



Fonte: acervo do autor

Figura 7 - m) Foto panorâmica da vista do platô noroeste; n) Praia das Cabritas e o) Subida para o Platô noroeste.



Fonte: acervo do autor.

A Zona de Fratura Vitória Trindade começa ao largo da cidade de Vitória – ES a 175 quilômetros da costa, na borda sul da saliência da plataforma continental do banco dos Abrolhos, sendo constituída por uma série linear de *guyots*¹ e montes submarinos com descontinuidades. Possui cerca de 30 montes submarinos, sendo que, ao menos 10, estão entre 30 e 150 metros de profundidade, funcionando como verdadeiros refúgios para a biodiversidade marinha (ALMEIDA, 2006; CASTRO, 2010).

A Ilha da Trindade², abriga a mais abrangente diversidade de algas calcárias do mundo, a maior riqueza de espécies recifais e endêmicas de todas as ilhas brasileiras e ainda uma das maiores taxas de peixes e tubarões do Atlântico Sul (PINHEIRO, 2018; PINHEIRO et al., 2015).

Dentre as suas importâncias ambientais e políticas, Trindade garante ao Brasil cerca de 429.866 km² de Zona Econômica Exclusiva (ZEE), que compõe a Amazônia Azul (MAIA et al., 2015). Também foi reconhecida em 2001 pela Comissão Brasileira de Sítios Geológicos e Paleontológicos - SIGEP/ UNESCO - como patrimônio geológico brasileiro (CASTRO, 2010).

Os trabalhos de Clemente (2006); Clemente et al. (2011); Pinheiro (2018) indicaram a necessidade de criação de área proteção ambiental da Ilha da Trindade e do arquipélago de Martin Vaz, justificou-se as características endêmicas da vida marinha, terrestre e até mesmo dos solos.

Com base nestes estudos e devido a Convenção da Diversidade Biológica (CDB) apontar a ilha como uma área marinha biologicamente significativa pelo governo brasileiro durante a Conferência da ONU sobre Oceanos/ODS 14 (junho de 2017), em 19 de março de 2018 o decreto nº 9.312 criou as áreas de proteção ambiental – APA da Ilha da Trindade e de monumento natural da Ilha da Trindade – MONA Ilha da Trindade. As unidades de conservação são administradas de forma compartilhada entre a Marinha do

¹ São montes submarinos, de topo aplainado, de origem vulcânica, que se erguem da planície abissal.

² Indica-se leitura de Alves; Silva (2016) A História Natural da Ilha da Trindade.

Brasil, que fica responsável pelas ações administrativas, e o Instituto Chico Mendes de Biodiversidade (ICMBio), que cuida da gestão ambiental.

Publicações mencionam a Ilha da Trindade como parte do território do estado do Espírito Santo e até mesmo da cidade de Vitória, mas de acordo com o tomo nº 18.008.0/84 da Secretaria do Patrimônio da União (SPU), a ilha e o arquipélago Martin Vaz integram o território federal. Esse território é administrado pela Marinha do Brasil, que desde 1957 ocupa de forma permanente com seus militares e pesquisadores (NOGUEIRA et al., 2020).

4.2 RESGATE HISTÓRICO NATURALISTA

A posição geográfica da Ilha da Trindade está exatamente na rota que os navios portugueses utilizavam para demandar em direção às praias sul-africana em busca das almeçadas índias. Embora seja controverso os discursos, a descoberta da ilha é atribuída ao navegador português João da Nova em 1501. Posteriormente, em 1502 Estevão da Gama batizou-a como Trindade em referência a Santíssima Trindade (ALVES; SILVA, 2016).

O domínio português sobre esta porção de terra emersa no meio do oceano atlântico se deu por meio de uma carta de doação do rei Dom João III ao Cavalheiro da Casa-Real Belchior Camacho ou Carvalho no ano de 1538, descrevendo-a como uma região deserta e datando a descoberta há 25 anos. Este documento é a primeira manifestação de soberania portuguesa sobre a ilha, levantando suspeitas que em 1514 ocorreu o primeiro desembarque exploratório documentado, pois descoberta neste contexto remete mais a reconhecimento exploratório que primeiro avistamento (MENDONÇA, 1971).

Durante o século XVI não se teve notícias de desembarque em Trindade, apenas relatos de navegadores portugueses passando ao largo da ilha em direção a costa brasileira. Só em 1698 a bordo da pequena corveta "*Paramour Pink*" em um ciclo de viagens exploratórias de cunho científico desembarcou em Trindade o célebre astrônomo inglês Sir Edmond Halley, na qual traçou as primeiras cartas de declinação magnética e tomou

posse em nome da família real inglesa (ALVES; SILVA, 2016; MENDONÇA, 1971; MURPHY, 1915).

Alguns relatos da viagem de Halley foram apresentados pelo ornitólogo Robert Cushman Murphy (1887-1973) no início do século XX, quando publicou o importante artigo “*The Bird life of Trinidad Islet*”. De acordo Murphy (1915), o astrônomo Edmund Halley reportou desembarque na ilha em 1668, deixou alguns animais domésticos (cabras e porcos e galinha d’angola) para alimentações futuras, alguns destes animais provenientes de sua passagem pela Ilha de Santa Helena. Ainda, tomou posse da ilha em nome da rainha, simbolizou o ato com hasteamento da bandeira da União.

Foi acrescentado aos registros desta viagem a classificação da água encontrada em Trindade como muito boa. Por isso, esvaziou as cisternas do navio que estavam com as águas salobras da Ilha de Santa Helena e abasteceram com as águas doce de Trindade. A descrição da localização desta fonte de água foi, “ao sul da rocha íngreme”, onde a água corria em abundância (MURPHY, 1915).

Edmund Halley, segundo Murphy (1915), registrou ter encontrado nas encostas da ilha, voltadas para o “lado dos ventos”, lado leste, uma floresta densa de grandes árvores de *Paubrasilia echinata*, e as identificou como “Redwood”, mas Murphy as considerou como da espécie *Caesalpinial*, confirmado por (ALVES, 1998), que também indicou que esse equívoco resultou em intenso desmatamento destas árvores, acreditando-se explorar madeira de Pau Brasil.

Durante o século XVIII houve tentativas de ocupação definitiva por ingleses e portugueses, como ocorridas em outras ilhas no Atlântico Sul, nenhuma obteve êxito. A mais expressiva foi em 16 de outubro de 1785, a primeira ocupação efetiva por parte dos Portugueses. Esta ocupação contava com 200 militares e seis casais civis, mas deixaram a ilha em 17 de julho de 1797, em péssimas condições de saúde (ALVES; SILVA, 2016).

Outros navegadores estiverem e registraram suas passagens por Trindade. Alguns vislumbrando está ilha como perfeita para realizar fantasias, como James Harden Hickey (1854-1898) e relatos naturalistas, como Edward Frederick Knight (1852– 1925), que

descreveu o relevo muito instável e registou a ocorrência de um evento de movimento de massa, registrado como uma grande avalanche de terra, sem maiores detalhes.

No ano de 1914, o navio da Marinha do Brasil de Transporte/Mineiro Carlos Gomes esteve em expedição a Ilha da Trindade. Os militares desembarcaram na Ilha e realizaram estudos topográficos e hidrográficos, o que resultou num relatório detalhado e inédito, sendo essa uma das expedições que a Marinha do Brasil em parceria com instituições científicas desenvolveram na ilha no início do século XX (MENDONÇA, 1971).

Entre o período de 1924 a 1927 Trindade foi utilizada como presídio político, e abrigou diversos presos militares que participaram das revoltas e motins que ocorriam neste período no Brasil. Um fato marcante deste período é a inserção de uma imagem da Nossa Senhora de Lurdes, enviada pela filha de um preso que estava na ilha, e que hoje nomeia a Gruta Nossa Senhora de Lurdes, onde a imagem foi posicionada (MENDONÇA, 1971).

Nas décadas de 1930 e 1940 diversas expedições foram feitas na Ilha da Trindade, como a do zoólogo Cândido Firmino de Mello Leitão e a do geólogo Fernando Flávio Marques de Almeida. A expedição de Almeida resultou no mapeamento geológico e petrológico, que constitui como um marco do conhecimento vulcanológico da Ilha da Trindade (ALVES; SILVA, 2016).

Em 1950 o governo Brasileiro enviou a maior expedição realizada até o momento à Trindade, a expedição “João Alberto”. A expedição visava a construção de uma base naval na ilha, o que não ocorreu por motivos desconhecidos, entretanto, suspeita-se que tenha sido apenas uma expedição de levantamentos geofísicos mais diversos para posterior instalação de guarnição permanente. Em 1957, durante o Ano Geofísico Internacional, a Marinha do Brasil ocupou Trindade de forma permanente e iniciou a construção do Posto Oceanográfico da Ilha da Trindade (POIT), com a intenção de monitorar as variáveis meteorológicas (ALVES; SILVA, 2016; MENDONÇA, 1971).

O trabalho de Mendonça (1971) apontou que a flora da ilha estava em estado de pobreza, graças à ação destrutiva dos animais introduzidos pelo homem. A cobertura vegetativa

estava em regressão, com grave risco de perda das fontes de água doce, já abaladas pelo processo da destruição da cobertura pedológica.

No ano de 1994, o entomologista Johann Becker (1932 – 2004) retornou a ilha em companhia do botânico Ruy José Válka Alves para novos estudos e coletas. Becker observou que as florestas na ilha, com destaque nas porções mais elevadas, estavam mais devastadas do que teria encontrado na década de 1960 e que em reflexo dessa falta de cobertura vegetal os riachos estavam com menos água (ALVES; SILVA, 2016).

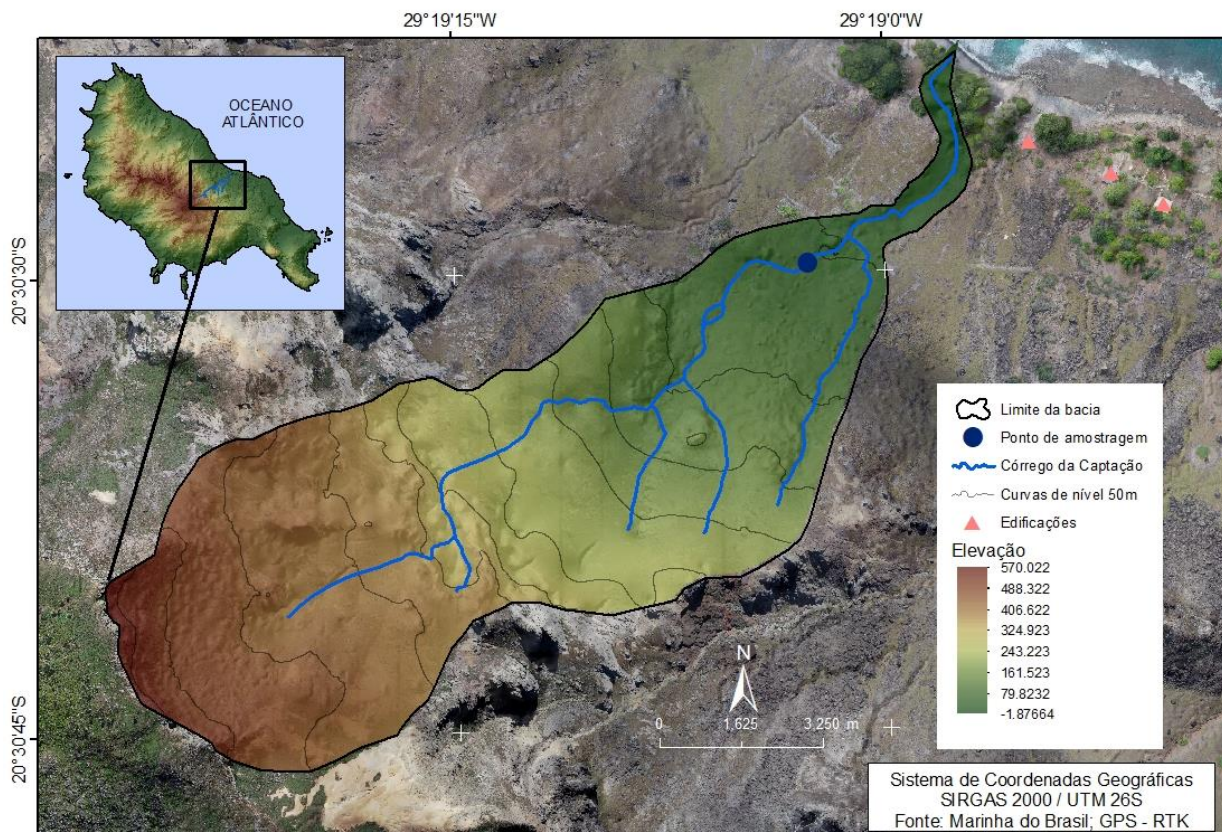
A constatação do desequilíbrio ecológico causado por animais exóticos nesta expedição, rendeu um relatório entregue a Marinha do Brasil que subsidiou o planejamento e a execução de uma década de esforços para a total erradicação dos *Caprinae* na Ilha da Trindade, o que só foi concluído no ano de 2005 (SILVA; ALVES, 2011).

Hoje a Ilha da Trindade se encontra em estado de recuperação vegetal, com vegetação principalmente arbustiva, mas com muitas áreas de solos expostos. Alguns cursos fluviais que haviam se tornado intermitente estão presentes durante boa parte do ano, mas como não se tem conhecimento de medições ou estudos pretéritos associados as medições hidrográficas as comparações são limitadas, aos relatos verbais de militares e pesquisadores que frequentam a ilha a algumas décadas.

4.3 LOCALIZAÇÃO GEOGRÁFICA

A bacia hidrográfica do Córrego de Captação, área de estudo desta pesquisa, está situada na porção leste da ilha da Trindade/Brasil, entre as coordenadas 20°30'44" S e 29°19'27" W à 20°30'22" S e 29°18'59" W (Figura 8). Esta bacia possui uma dimensão de 0,228 km² e foi escolhida pela representativa das classificações geoambientais da ilha (geologia, geomorfologia, pedologia, entre outros) e, por ser a fonte de captação de água potável para militares e pesquisadores que habitam por um período a ilha. Esta captação é feita por meio de três modestos represamentos ao longo do curso fluvial e transportada para um reservatório para os mais diversos usos.

Figura 8 - Localização da Bacia hidrográfica do Córrego de Captação na Ilha da Trindade.



Elaborado: pelo autor

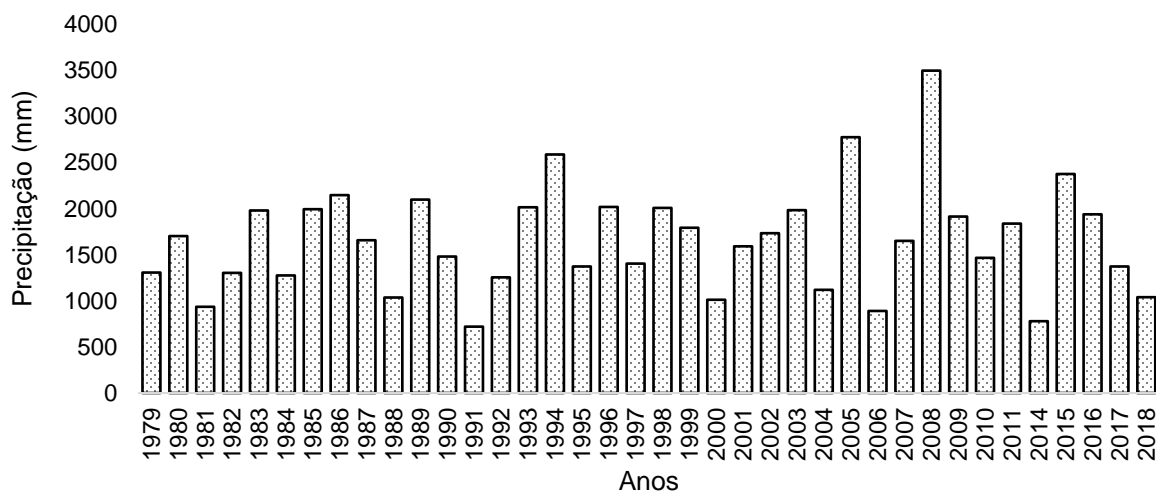
4.4 CLIMA

A Ilha da Trindade possui uma Estação Meteorológica (EM) mantida por militares da Marinha do Brasil que registram os dados de temperatura e precipitação. A Estação Meteorológica Ilha da Trindade (EMIT) está na altitude aproximada de 10 m do nível do mar no lado Leste da ilha, próximo a bacia do Riacho de Captação.

Com base na normal climatológica de 1979-2018 (com exceção dos anos 2012 e 2013, que não foram disponibilizados) compilada nesta pesquisa, a partir dos dados coletados na EMIT e disponibilizados pela Marinha do Brasil, a média da pluviosidade anual da Ilha da Trindade é de 1583,09 mm, sendo que o maior valor anual acumulado foi em 2008

com 3.499 mm de precipitação e menor foi no ano de 1991 com 720 mm pluviosidade. O resultado do desvio padrão desta média histórica de anos foi de 661 mm (Figura 9).

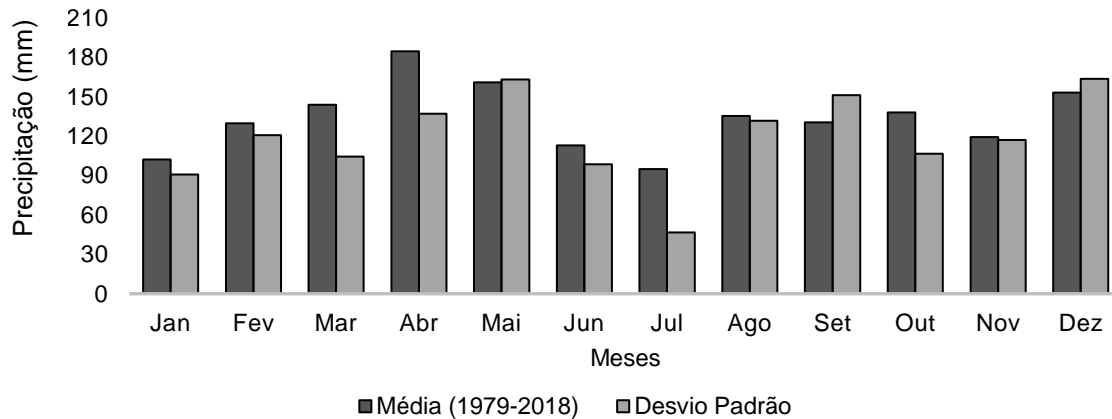
Figura 9 - Valores de precipitação anual registrados pela EMIT no período de 1979-2018.



Fonte: Marinha do Brasil, 2019. Organizado pelo autor.

A média mensal da pluviosidade na Ilha da Trindade no período de 1979-2018 (com exceção dos anos 2012 e 2013, que não foram disponibilizados), registradas na EMIT (Figura 10). Se observa que os meses com maiores índices de pluviosidade são abril, maio e dezembro com médias acima de 150 mm. As menores médias são os meses de julho (94,84 mm), seguido por janeiro (102,12 mm) e novembro (119,3 mm).

Figura 10 - Valores de média e o desvio padrão da precipitação mensal entre os anos de 1979 – 2018 registrados pela EMIT.



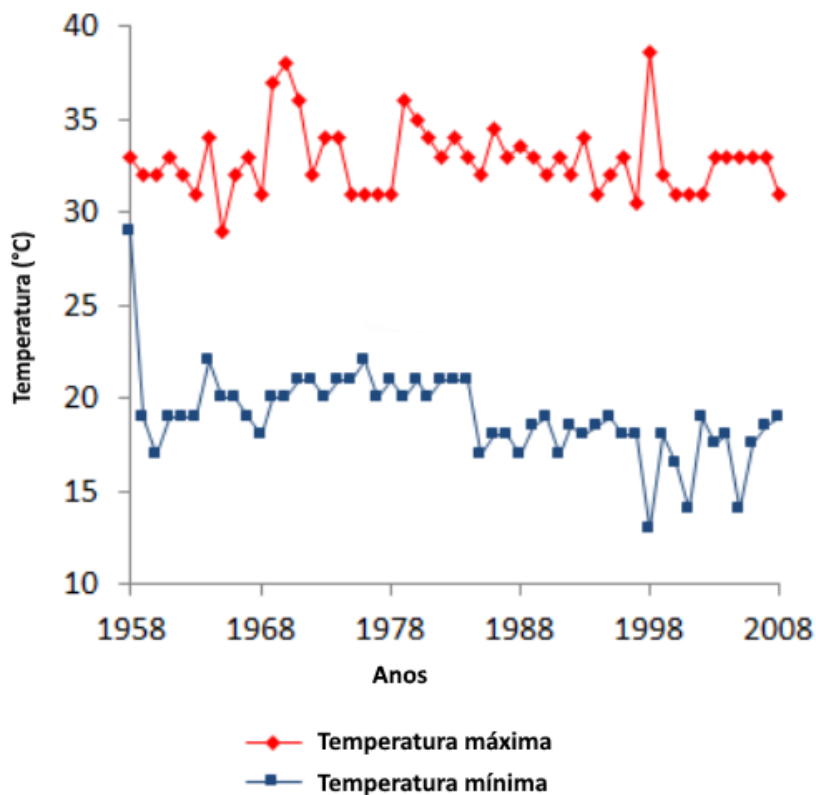
Fonte: Marinha do Brasil, 2019. Organização do autor.

Considerando as séries temporais de temperaturas máximas e mínimas, a médias mensais de 1958 a 2008 (Figura 11), sendo que as temperaturas mais elevadas ocorrem nos meses de fevereiro e março, enquanto as menores temperaturas estão nos meses de julho, agosto e setembro. A média dos registros de temperaturas máximas é de 27,5°C, enquanto das temperaturas mais baixas é de 24,6°C, respectivamente (DURÃES et al, 2016)..

Não são notadas estações bem definidas e nem consideráveis diferenças de temperatura entre as estações verão e inverno. Esse comportamento pode ser explicado pelas características climáticas associadas as condições oceânicas, onde há maior disponibilidade de vapor de água para formar nuvens de chuva, especialmente *cumulonimbus*, além de eventos de precipitações convectivas (DURÃES et al., 2016).

Contrário das ocorrências continentais, Durães et al. (2016), destacou que a Ilha da Trindade está situada em região com influências de baixa pressão e com poucos bloqueios atmosféricos, por estar nos intervalos das latitudes tropicais, em especial no solstício de inverno, justificando o comportamento de formação de nuvens de chuvas.

Figura 11 - Temperaturas máximas e mínimas registradas na EMIT no período de 1958-2008.

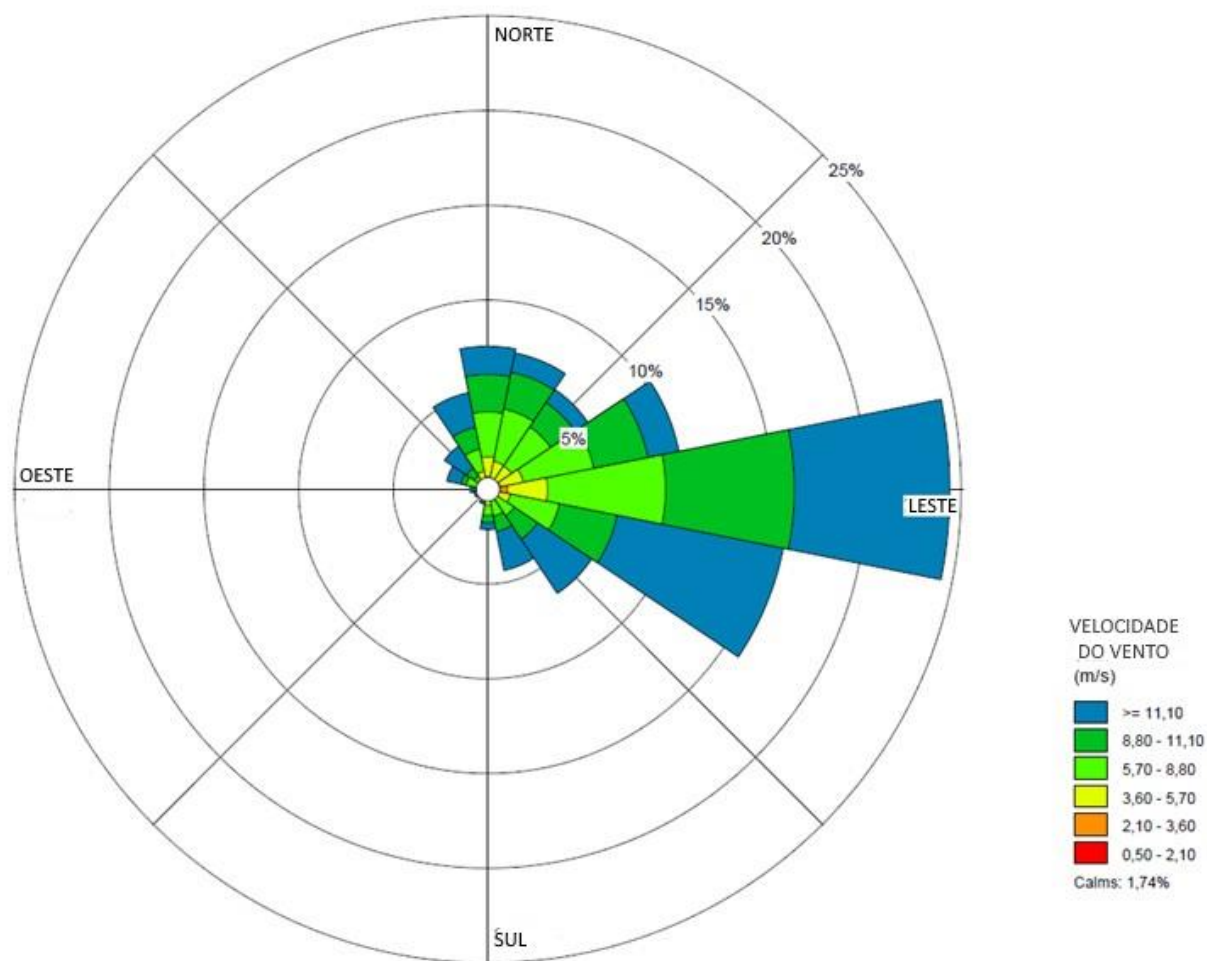


Fonte: Durães et al. (2016).

Entre os meses de abril e outubro, a ilha tem efeitos de massas de ar fria periódicas vindas da Antártica, que sobem pela Argentina até o sul do Brasil e, ao chegar na região Sudeste, se deslocam em direção ao oceano e atingem a Ilha da Trindade, provocando mudanças abruptas nas condições do mar (SANTOS, 2018).

A Ilha da Trindade também é influenciada diretamente pelos ventos alísio provenientes de leste ($119,96^\circ$ L) com uma velocidade média de $6,36 \text{ m.s}^{-1}$ (Figura 12). Os ventos mais fortes que incidem na ilha são provenientes de ciclones extratropicais que geram ventos fortes de sul e sudeste (CALLIARI et al., 2016; NOGUEIRA; EFFGEN; MARCHIORO, 2020).

Figura 12 - Direção de Ventos na Ilha da Trindade, Atlântico Sul no período de 2008 a 2018. Elaborado a partir dos dados da Estação Meteorológica da Ilha da Trindade, EMIT.

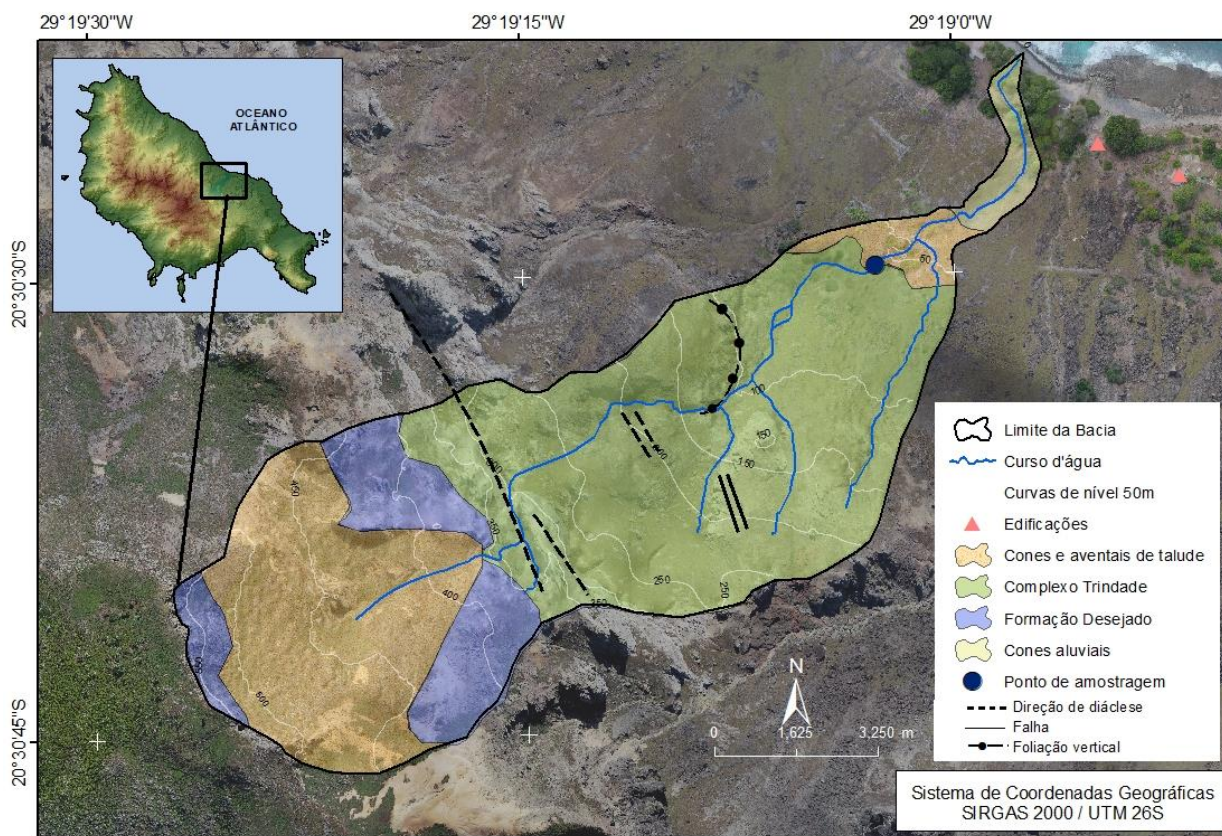


Fonte: Nogueira; Efgem; Marchioro (2020).

4.5 GEOLOGIA

A bacia do Córrego de Captação é composta de duas unidades geológicas e os depósitos sedimentares quaternários, como descreveu Almeida (1961) em seu trabalho na escala 1:10000 (Figura 13). A unidade Complexo Trindade, compõe a parte central da bacia e a unidade Sequência Desejado, constitui a cabeceira de drenagem. Os depósitos quaternários são os cones aluviais e os cones aventais de talude (ANGULO et al., 2018).

Figura 13 – Unidades geológicas da Bacia do Córrego de Captação.



Fonte: Elaborado pelo autor a partir de Almeida (1961).

O Complexo Trindade é composto por depósitos piroclásticos, alguns estratificados, de composição tannbuschíticas, nefelíticos a fonolíticos volumosos, incluindo blocos de piroxenitos de grãos grossos. Possui na composição manifestações eruptivas intrusivas, cortados por inúmeros diques também. Sua feição topográfica são os *necks* fonolíticos, alguns chegam a atingir 300 metros de altitude por 400 metros de diâmetro, com grande acumulação de blocos depositados em suas bases (Figura 14). Sua idade está entre 3,9Ma e 2,5Ma, sendo esse o pico de vulcanismo registrado em Trindade (ALMEIDA, 1961; PIRES et al., 2016).

Figura 14 - Paisagens da unidade geológica Complexo Trindade.



Fonte: acervo do autor

A Sequência Desejado é composta por sucessões de derrames de Fonólito, Grazinitos e Nefelinitos intercalados com piroclastos de mesmas composições, em sua maioria estratificados. Possui topografia de um planalto estrutural sustentado por camadas pouco inclinadas na porção central da ilha e formam uma linha divisora de águas. Deste planalto erguem-se os maiores picos da ilha como os Picos do Desejado, Fazendinha e Trindade (Figura 15). Esta unidade da ilha provavelmente foi formada por um vulcanismo misto, alternando momentos mais explosivos com episódios eruptivos onde dominaram lavas fluídas. Sua idade está entre 2,4Ma e 1,5Ma (ALMEIDA, 1961; PIRES et al., 2016).

Figura 15 - Paisagens da unidade geológica Sequência Desejado. Na imagem direita contorno da cabeceira de drenagem da Bacia do Córrego da Captação.



Fonte: acervo do autor.

As medições Ar/Ar de Pires et al. (2016) complementaram as de Cordani (1970) Ar/K e colocam a formação dos fonólitos e nefelitas do Complexo Trindade entre 4,2 Ma e 2,4 Ma e da Sequência Desejado entre 2,4 Ma e 1,5 Ma aproximadamente, sendo o pico do vulcanismo nefelítico-fonolítico entre 3,8 Ma e 2,5 Ma.

Assim, as litologias que compõem a bacia do Córrego de Captação, como descritas por Almeida (1961) e Bongioio et al. (2015), na unidade geológica Complexo Trindade são: Fonólitos, Fonólitos Foidita, Sannaite, piroclastos Bebedourite e os Xenólitos Bebedourite. Esta é a maior unidade geológica da Ilha da Trindade e compõe a região central da bacia estudada e nesta unidade que foi efetuada as coletas de amostra de água e as medições físico-químicas. A Sequência Desejado é composta principalmente por fonólitos e grazinito efusivos correspondentes a piroclastos.

Das nomenclaturas de rochas incomuns presentes na bacia pesquisada, segundo Bongioio et al. (2015) e as referências nele contidas, são Bebedourite e Sannaite. O Bebedourite, é um nome local (Bebedouro, Minas Gerais, Brasil) para uma variedade de piroxenita biotita composta essencialmente por egirina-augita e biotita, com perovskita e opacos. Sannaite, uma variedade de lamprófitas compostas por combinações de olivina, augita titânica, kaersutita e fenocristais de biotita ricos em Ti, com feldspato alcalino dominando sobre plagioclásio na massa fundamental, que também contém nefelina.

O trabalho de Marques et al., (1999) apresentou uma análise geoquímica das rochas da Ilha da Trindade e Bongioio et al. (2015) apresentou a descrição mineralógica modal e textura em um modelo geoquímico para as rochas de Trindade. A partir deste trabalho, foi sistematizado a mineralogia modal de amostras representativas para as rochas vulcânicas intermediárias e xenólitos que compõem a bacia do Córrego de Captação (Tabela 1).

Tabela 1 - Mineralogia modal de amostras representativas de rochas vulcânicas e xenólitos da Ilha da Trindade.

Mineralogia modal e textura	
Rochas vulcânicas intermediárias /subvulcânicas	
Fonólitos subvulcânicos - Complexo de Trindade	Sanidina (10%), nefelina (8%), egirina-augita (6%), nosean (5%) e pequenas quantidades (1%) de fenocristais de kaersutita e titanita. A massa fundamental (70%) compreende micrólitos de nefelina e sanidina, egirina-augita, minerais opacos, cristais de titanita e apatita e amígdalas preenchidas com carbonato.
Fonólitos (efusivos) - Sequência Desejado	Egirina-augita (4%), kaersutita (3%), minerais opacos, titanita, sanidina e fenocristais de nefelina (1% cada). A massa fundamental microcristalina (até 0,5 mm; 90%) contém sanidina, nefelina, egirina-augita e minerais opacos.
Foidita fonolítica (dique) - Complexo de Trindade	Egirina-augita (15%), nefelina (9%), sanidina (5%), nosean (2%) e quantidades menores (1%) de apatita, minerais opacos, titanita e aglomerados de fenocristais de kaersutita. A massa fundamental (68%) é composta por micrólitos de nefelina e sanidina, minerais opacos e apatita, amígdalas abundantes com carbonato e zeólita.
Sannaite (dique) - Complexo da Trindade	Kaersutita (8%), egirina (5%), flogopita-biotita titanífera (4%) e fenocristais de titanita (1%). A massa fundamental microcristalina (82%) contém sanidina e pequenas quantidades de nefelina, anfibólio e micrólitos de egirina e cristais de Ti-magnetita.
Xenólitos	
Bebedourite	Xenólitos em diques sannaíta e como piroclastos em brechas piroclásticas do CT. Raros fenocristais de egirina-augita imersos em uma massa fundamental de grão médio com egirina-augita (66%), titanita (10%), apatita (10%), flogopita-biotita (8%) e Ti-magnetita.

Fonte: Bongioiolo et al. (2015).

Segundo Lopes (2012), as rochas ígneas são estudadas, primeiramente, a partir dos seus aspetos petrográficos, que incluem a determinação qualitativa e quantitativa da composição mineralógica, bem como a análise de critérios texturais que, entre outros objetivos, visa estabelecer a ordem de cristalização dos diferentes minerais presentes. Assim, a composição química da rocha assume papel importante e transformar este composto numa composição mineralógica virtual (*normativa*), com recurso e métodos quantitativos adequados se torna mais adequado para interpretação.

Assim, a *composição Modal* de uma rocha ígnea, de acordo Prize et al. (2009), corresponde à sua composição mineralógica real, determinada por métodos ópticos, enquanto a sua *composição Normativa* (ou *Norma*) diz respeito à composição

mineralógica virtual, calculada a partir da composição química. As regras de cálculo da Norma CIPW de uma rocha ígnea foram introduzidas para distinguir este exercício de outros, análogos, que visam igualmente determinar composições mineralógicas virtuais a partir de análises químicas.

Para Trindade, Bongioiolo et al. (2015), apresentou os cálculos normativos CIPW para rochas vulcânicas e xenólitos acumulados da Ilha da Trindade em porcentagem. A partir deste trabalho foi feito recorte para a bacia do Córrego de Captação (Tabela 2).

Tabela 2 - Cálculos normativos CIPW para rochas vulcânicas e xenólitos cumulativos da Ilha da Trindade.

Unidade	Formula	Complexo Trindade			Piroclastos do CT	Xenólitos	Seq. Des.
		Fonólito	Fonólito Foidite	Sannaite	Bebedourite	Bebedourite no CT	Fonólito
Quartzo	SiO ₂	-	-	-	-	-	-
Corundum	Al ₂ O ₃	-	-	-	-	-	-
Ortoclásio	KAlSi ₃ O ₈	33.30	33.30	30.40	8.30	14.03	36.40
Albita	Na ₂ O·Al ₂ O ₃ · 6SiO ₂	21.80	21.80	31.00	6.70	8.58	22.60
Anortita	CaO · Al ₂ O ₃ · 2SiO ₂	10.65	10.65	19.80	7.10	8.50	2.60
Nefelina	Na ₂ O·Al ₂ O ₃ · 2SiO ₂	17.40	17.40	0.00	2.00	2.83	24.00
Diopsídio	MgO · SiO ₂ / FeO · SiO ₂	7.25	7.25	-	33.00	27.83	5.90
Wallastonita	CaO · SiO ₂	-	-	-	-	-	0.60
Olivina	2MgO · SiO ₂ / 2FeO · SiO ₂	0.80	0.80	5.30	4.90	4.18	-
Ilmenita	FeO · TiO ₂	0.45	0.45	0.30	0.70	0.75	0.30
Magnetita	FeO · Fe ₂ O ₃	5.15	5.15	8.10	22.60	19.28	5.00
Titanita	CaTiSiO ₅	-	-	-	-	0.90	-
Perovskita	CaO · TiO ₂	1.50	1.50	0.70	7.60	8.93	1.70
Rutilo	TiO ₂	-	-	1.80	-	-	-
Apatita	3(3CaO · P ₂ O ₅) · CaF ₂	0.65	0.65	1.00	7.70	5.50	0.70
Total		98.95	98.95	98.40	100.60	101.28	99.80

Fonte: Bongioiolo et al. (2015).

O trabalho de Bongioiolo et al.(2015) apresentou a composição química de amostras de rochas que compõem as unidades geológicas da Ilha da Trindade. Nesta pesquisa, a petrografia da bacia do Córrego de Captação foi extraída (Tabela 3) e os compostos SiO₂, Al₂O₃, FeO_t, MnO, MgO, CaO, Na₂O, K₂O, Ti₂O, P₂O₅, LOI foram apresentados em porcentagem, conforme Almeida (1961) e os metais Be, V, Ba, Sr, Cr, Ni, Cu, Ni, Cu, Zn, Ag e Pb em partes por milhão (ppm) e parte por bilhão (ppb).

Tabela 3 – Média da composição geoquímica de rocha total obtida em amostras representativas de rochas vulcânicas e xenólitos cumulativos da Ilha da Trindade representando as composições das rochas que compõem a bacia do Córrego de Captação. Os limites de detecção são (a) ppm e (b) ppb

Unidade	Complexo Trindade			Piroclastos do CT	Xenólitos	Seq. Des.
	Fonólito	Fonólito Foidite	Sannaite	Bebedourite	Bebedourite no CT	Fonólito
SiO ₂	51.22	50.25	48.70	34.10	36.03	53.10
Al ₂ O ₃	19.62	19.40	17.70	6.10	7.90	20.30
FeO _t	4.25	4.85	7.60	22.50	18.85	4.90
MnO	0.18	0.20	0.10	0.30	0.30	0.10
MgO	1.25	1.70	2.90	8.90	7.35	1.10
CaO	3.65	4.70	4.70	17.30	15.38	3.40
Na ₂ O	5.75	6.00	3.50	1.20	1.45	7.80
K ₂ O	5.33	5.45	4.80	1.40	2.33	6.10
Ti ₂ O	0.83	1.00	2.20	4.80	5.60	1.20
P ₂ O ₅	0.20	0.25	0.50	3.20	2.28	0.30
LOI	6.93	6.00	6.00	0.90	2.23	1.70
Total	99.23	99.85	98.80	100.60	99.78	99.80
Be ^(a)	7.50	6.00	4.00	1.00	3.00	6.00
V ^(a)	62.83	75.50	176.00	400.00	368.75	83.00
Ba ^(a)	947.33	1412.00	1173.00	954.00	1203.25	1494.00
Sr ^(a)	2437.33	2443.00	1435.00	1281.00	1245.25	2009.00
Cr ^(b)	< 20	< 20	20.00	< 20	< 20	< 20
Ni ^(b)	< 20	< 20	30.00	60.00	30.00	< 20
Cu ^(b)	<10	< 10	30.00	60.00	90.00	< 10
Zn ^(b)	135.00	145.00	110.00	250.00	222.50	120.00
Ag ^(b)	-	7.50	3.60	2.70	4.43	5.70
Pb ^(b)	14.50	12.00	9.00	< 5	< 5	9.00

Fonte: Bongioiolo et al. (2015).

Conforme apontado por Bongiolo et al. (2015) a litologia tem predomínio da composição SiO_2 , seguida de Al_2O_3 e FeO_t intercalando o segundo lugar. O Al_2O_3 está em maior concentração do que o FeO_t nos Fonólitos, Fonólitos Foidite e Sannaite do Complexo Trindade e Fonólitos da Sequência Desejado, enquanto que o FeO_t está em maior porcentagem nos Piroclastos Bebedourite e Xenólitos Bebedourite do Complexo Trindade. O CaO tem a terceira maior porcentagem de concentração nos Piroclastos Bebedourite e Xenólitos do Complexo Trindade e o MgO aparece na quarta e quinta colocação em porcentagem de concentrações nos Piroclastos Bebedourite e Xenólitos do Complexo Trindade, sendo menos expressivo nos Fonólitos. O MnO acontece em porcentagens muito baixas (<1%) e o Sr apresenta concentrações (> 2000 ppm) nos Fonólitos e Fonólitos Foidite do Complexo Trindade e nos Fonólitos da Sequência Desejado. Os outros elementos apresentam concentrações menos expressivas.

4.6 GEOMORFOLOGIA

O Córrego de Captação é um importante curso d'água perene na porção oriental da Ilha da Trindade. Seu curso d'água atravessa um *neck* fonolítico, que se despeja em direção a Calheta Velha (curso final retilinizado por ação antrópica). Sua nascente está em uma superimposição a partir da cobertura constituída pela Sequência Desejado, demonstrando adaptação estrutural ao se precipitar em estreita garganta retilínea profunda, coincidindo com importante diaclase do sistema NW (ALMEIDA, 1961).

A bacia hidrográfica do Córrego de Captação está inserida nos compartimentos geomorfológicos *planalto axial* e as *vertentes costeiras* definidos por Almeida (1961). O planalto axial são as mais altas elevações da ilha, onde também se originam todos os cursos d'água, assim como numerosas ravinas que drenam pelas vertentes escarpadas. As *vertentes costeiras* nascem das bordas do planalto axial e descem ao mar, das quais se erguem os picos fonolíticos, que dão a Trindade seu caráter paisagístico singular (Figura 16). Muitos destes picos fonolíticos em sua base estão rodeados de saias e aventais de talude formados por blocos caídos (ALMEIDA, 1961).

Figura 16 – Representação dos compartimentos geomorfológicos planalto axial e vertentes costeiras



Fonte: acervo do autor

Segundo a descrição morfológica e morfométricas de Nogueira; Effgen; Marchioro (2020), a bacia do Córrego de Captação apresenta a disposição das encostas orientadas principalmente para as direções Leste e Nordeste. A declividade é principalmente escarpada (>75%) nos terços superior e médio, e no terço inferior está se apresenta como Fortemente Ondulado (20 – 45%) e Ondulado (8 – 20%). Ainda os índices de Fator LS (DESMET; GOVERS, 1996), são principalmente Muito Alto e Alto nos terços superiores e médio, conforme a descrição qualitativa apresentada pelos autores (Figura 17).

Figura 17 - Limites da bacia hidrográfica do Córrego de Captação.



Fonte: acervo do autor.

Essas características morfológicas dão a bacia uma maior susceptibilidade as ações erosivas das águas superficiais, a falta ou pouca vegetação que a bacia possui tende a potencializar as ações mecânicas de desagregação e carreamento dos sedimentos. A bacia ainda conta com costões de afloramento rochoso, de muitas fendas e orifícios causados pelas erosões diferenciais, sendo utilizados pelas intensas atividades da avifauna.

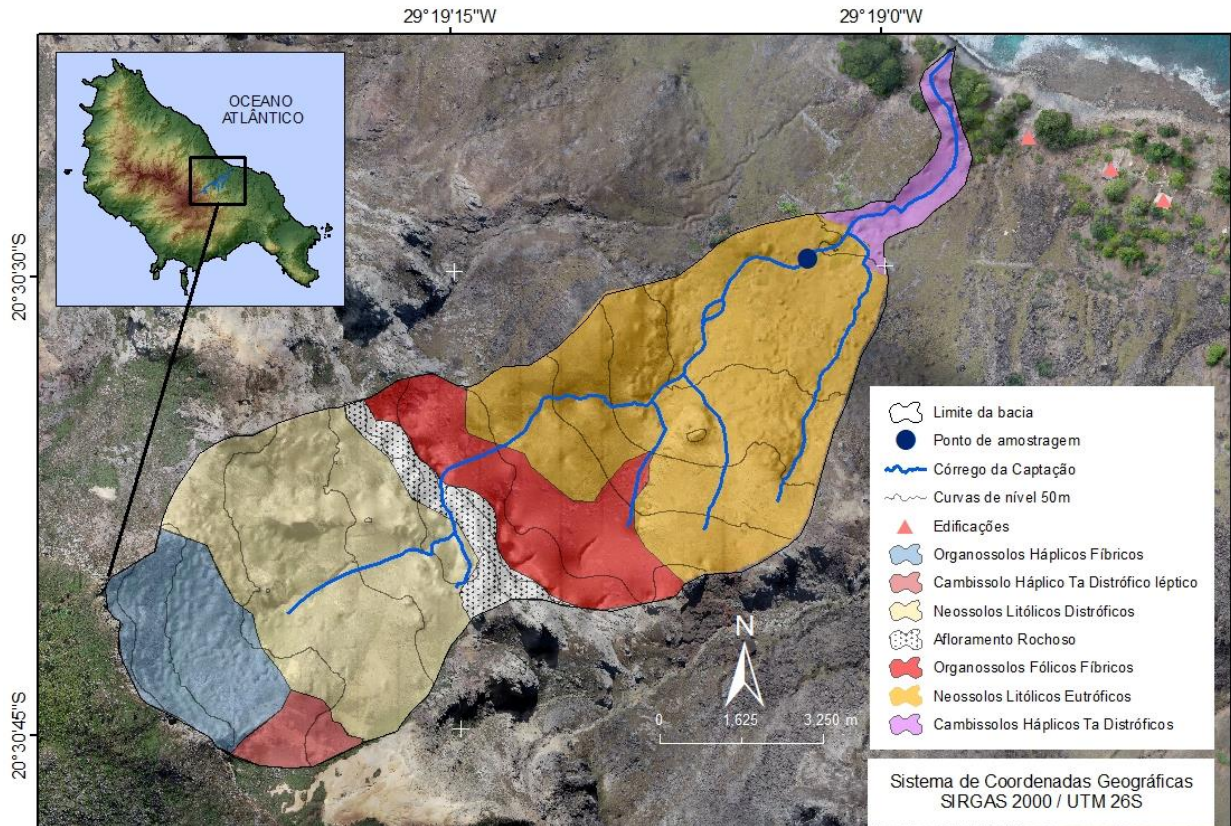
O curso fluvial, devido à alta declividade da bacia, apresenta características principalmente de encachoeirado. Possui muitos matacões, seixos e areia grossa em seu leito e nas margens principalmente vegetação arbustiva intercalando com matacões e em alguns pontos solos expostos. O fluxo acontece em uma parte sobre afloramentos rochosos dos costões que compõem a unidade geológica Complexo Trindade.

4.7 PEDOLOGIA

A composição pedológica da bacia, como caracterizado por Sá (2010), na escala de 1:20000 é de: Organossolos Fólicos Fíbricos (OOfi típico e ornitogênico); Neossolos Litólicos Distróficos (RLd típico e típico ornitogênico); Neossolos Litólicos Eutróficos (RLe

fragmentário, fragm. ornitogênico, típico e típico ornitogênico); Organossolos Háplicos Fíbricos (OXfi ornitogênico) e Cambissolos Háplicos Ta Distróficos (CXvd léptico e léptico ornitogênico). O curso d'água passa ainda por afloramento rochoso que possui intensa atividade de avifauna e deságua em praia de cascalho do Oceano Atlântico (Figura 18).

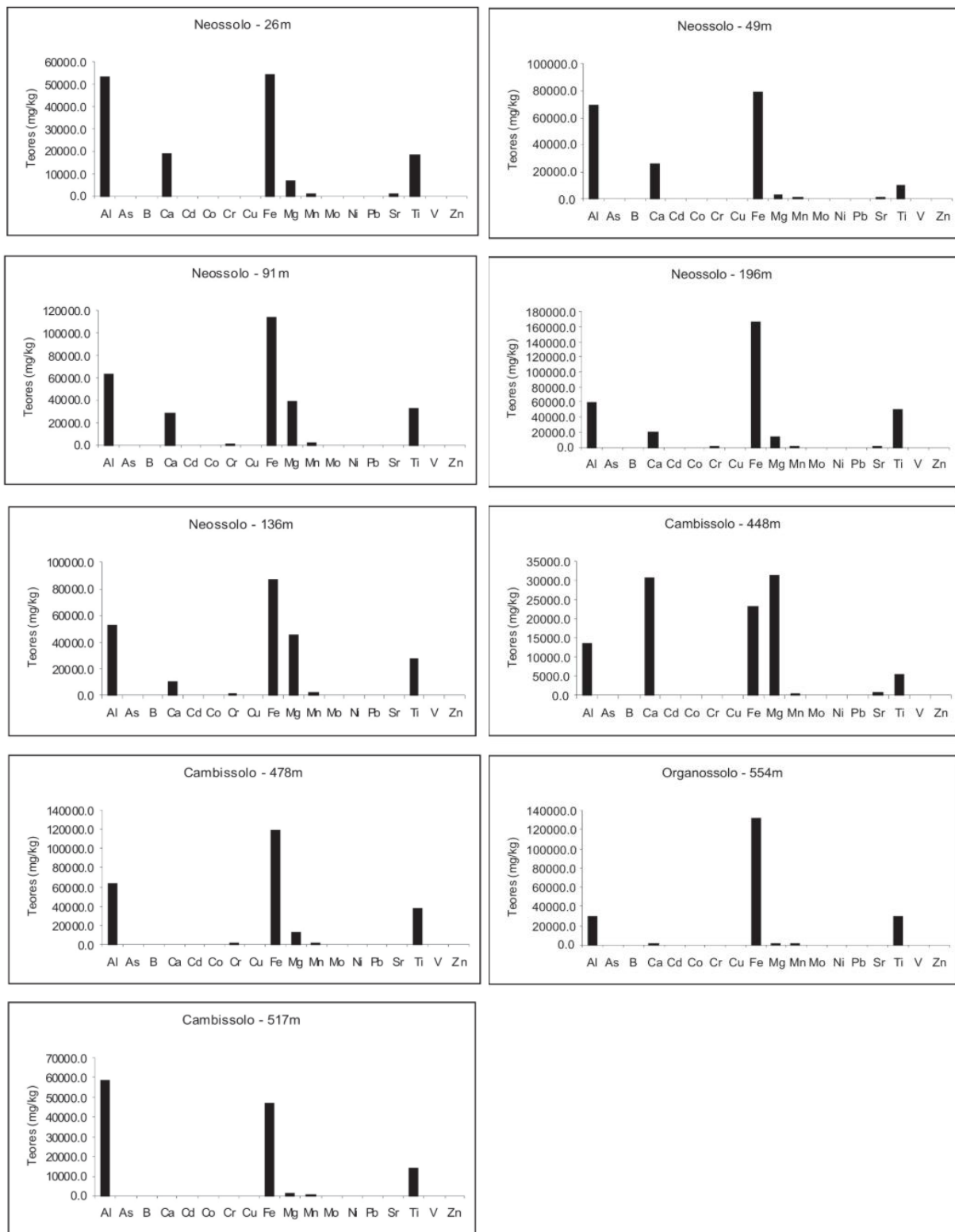
Figura 18 – Solos da Bacia hidrográfica do Riacho de Captação na escala 1:20000.



Fonte: Elaborado pelo autor a partir de Sá (2010).

A composição química dos solos foi descrita por Sá (2010), que analisou os metais Ca, Mg e Al (Tabela 4) e posteriormente Clemente et al. (2012) analisou os seguintes elementos: Al, As, Ba, Ca, Cd, Cr, Cu, Fe, Mg, Mn, Mo, Ni, Pb, Ti, V e Zn (Figura 19), entretanto, estão representados em gráfico apenas os que obtiveram maiores concentrações.

Figura 19 - Análise da concentração de metais por solos e altitudes que compõem a bacia.



Fonte: Clemente et al. (2012).

Os Neossolos possuem a predominância de Fe e Al nas altitudes de 26m, 49m e 196m com a presença relevante de Ca e Ti, em menor teor Mg. Na altitude 91m e 136m os Neossolos apresentam disposição parecidas com altos teores de Fe, Mg, Al, seguidos de Ca e Ti. Os Cambissolos em 448m o predomínio é de Ca e Mg com os teores de Fe e Al em menor quantidade. Em 478m e 517m os Cambissolos possuem predomínio de Fe e Al, seguidos de Ti, sem Ca e com Mg em teor reduzido. E os Organossolos possuem predomínio de Fe, com menores teor de Al e Ti.

Tabela 4 - Distribuição de Ca, Mg e Al por classes de solos que compõem a bacia.

Cambissolo Háplico Ta Distrófico léptico, O hístico (Pico do Desejado)				
Hor.	Prof. cm	Ca	Mg Cmolc.dm ⁻³	Al
O1	0-10	14.64	5.69	0.39
O2	10-25	10.79	4.26	0.19
Bi	25-45	1.51	0.55	2.8
C	45-60	0.78	0.33	5.69
Cr	60-80+	0.66	0.18	2.6
Organossolo Háplico Fibrício típico ornitogênico, A Moderado				
Hor.	Prof. cm	Ca	Mg Cmolc.dm ⁻³	Al
Oo1	0-15	12.58	1.09	1.06
Oo2	15-30	3.94	0.27	2.31
A	30-40	1.34	0.14	2.41
Bi	40-50	0.80	0.07	1.83
C1	50-65	1.18	0.09	1.25
C2	65-110	1.05	0.05	1.06
Cr	110-120+	1.12	0.06	1.83
Neossolo Litólico Eutrófico frag., A Mod. (Área de amostragem)				
Hor.	Prof. cm	Ca	Mg Cmolc.dm ⁻³	Al
A	0-10	4.97	7.86	0.19
RC	10-80+	6.17	7.08	0.1
Neossolo Litólico Eutrófico típico ornitogênico, A Moderado				
Hor.	Prof. cm	Ca	Mg Cmolc.dm ⁻³	Al
A	0-10	10.61	10.89	0.00
AC	10-30	6.79	5.23	0.29

Organizado a partir de Sá (2010).

De maneira geral, nos solos presente na bacia da Captação da ilha da Trindade que foram analisados por Sá (2010) ocorre o predomínio do Ca e Mg nos horizontes

superficiais e, a sua diminuição com o aumento de sua profundidade. Já o trabalho de Clemente (2012) indica que geralmente ocorre predomínio dos elementos químicos Alumínio e Ferro seguido de Mg, isso se deve principalmente a litologia, independentemente da posição topográfica que ocupam.

O cálcio apresenta maior concentração nas menores altitudes em solos próximos as praias, pelo material de origem de areia carbonática, nos demais solos a contribuição de Ca se deve principalmente às eventuais cascas de ovos nos ninhais das aves e dos exoesqueletos de caranguejos terrestres que infestam todas as partes da ilha. O Mg está associado a minerais ferromagnesianos (Olivina, Diopsídio, Magnetita e outros) presentes nos materiais piroclásticos presentes nas partes mais baixas e menos intemperizadas (CLEMENTE et al., 2012).

4.8 HIDROGEOGRAFIA

O córrego de Captação é um curso fluvial de segunda ordem, conforme Strahler (1952), com nascente na base do Pico do Desejado, na altitude de aproximadamente 540 m e deságua no Oceano Atlântico. Destarte, conforme Christofolletti (1980), a bacia hidrográfica é classificada como exorréica, uma vez que possui seu desague junto ao oceano, é um curso fluvial consequente, pois é determinado pela declividade da superfície e o padrão de drenagem é radial, o que é comum se observar em domos vulcânicos.

Os canais, conforme classificação de Christofolletti (1981), são sinuosos, apesar de possuir uma aproximação, principalmente no terço superior, com a classe irregular, pois em alguns pontos possui adaptação estrutural de tectônico, coincidindo com a uma diaclase, como descrito por (ALMEIDA, 1961).

Devido à alta declividade da bacia, o curso fluvial apresenta características principalmente de encachoeirado (Figura 20 e Figura 21 – Área amostral do Córrego de Captação no mês de março de 2019).



Fonte: acervo do autor.

). Possui muitos matacões, seixos e areia grossa em seu leito, e nas margens, principalmente vegetação arbustiva intercalando com matacões e em alguns pontos solos expostos. O fluxo acontece em uma parte sobre afloramentos rochosos dos costões que compõem a unidade geológica Complexo Trindade.

Em um trabalho voltado para caracterização das nascentes de Trindade, Marques (2017) apontou que nascente do Córrego da Captação é do tipo exfiltração múltipla, a morfologia é em afloramento e apresentou escoamento de 3,1 L/s. Também classificou a drenagem da bacia como excepcional e segundo o índice de circularidade, calculado pelo autor, a bacia é do tipo circular.

Apesar de não ter medido especificamente a condutividade elétrica da nascente do Córrego de Captação, os valores deste parâmetro para as nascentes na unidade geológica Sequência Desejado são: máxima de $236,4 \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$, mínima de $172,3 \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ e a média é de $210 \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$. A média dos sólidos totais dissolvidos, para as nascentes, foi de $179 \text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$, a estimativa de perda geoquímica instantânea de $205,6 \text{mg/s}$, de acordo com (MARQUES, 2017).

Figura 20 – Área amostral do Córrego de Captação em setembro de 2019.



Fonte: acervo do autor.

Figura 21 – Área amostral do Córrego de Captação no mês de março de 2019.



Fonte: acervo do autor.

5. MATERIAL E MÉTODOS

O planejamento desta pesquisa teve como base referências bibliográficas com ênfase na caracterização hidrogeoquímica de uma bacia hidrográfica. A metodologia foi subdividida em quatro principais etapas: (1) levantamento e análise bibliográfica; (2) trabalho de campo; (3) análises laboratoriais e (4) interpretação dos dados obtidos.

O levantamento bibliográfico consistiu em estudo da ciência básica, análises de material cartográfico considerando relevo, geologia local e interpretação de estudos geológicos, hidrológicos, geoquímicos e hidrogeoquímicos anteriores.

O trabalho de campo consistiu em duas expedições, sendo uma em março e outra nos meses de agosto, setembro e outubro do ano de 2019. O campo teve o propósito de realizar medições *in situ* de parâmetros físico-químicos, medição de vazão com método acústico e flutuador e coleta de amostras de água, posteriormente transportadas para laboratório.

A etapa laboratorial consistiu em preparação e análise química das amostras de água coletadas, como descrito na etapa anterior. A última etapa foi baseada nos resultados obtidos em laboratório, onde a partir deles, foi possível interpretações, baseadas na bibliografia e nos estudos em campo e foi gerada, por fim, uma série de análises estatísticas como: correlações; diagramas e gráficos.

5.1 COLETA DAS AMOSTRAS DE ÁGUA

5.1.1 Amostragem de água superficial fluvial

Previamente à amostragem de água, os recipientes frascos de polietileno de 1000ml foram devidamente descontaminados seguindo as normas de preservação de amostras de água (APHA, 2005). Em campo, todos os frascos passaram por processos de descontaminação *in situ*, ou seja, lavados entre 3-4 vezes com a própria água do local de amostragem.

A coleta foi realizada sempre atentando para áreas de água corrente e sempre contra o fluxo. A amostragem de água superficial foi realizada na campanha de campo entre 19

de agosto à 10 de outubro de 2019, compreendendo 40 amostras com a finalidade de caracterizar as variações hidrogeoquímicas diárias. O número de amostras foi definido pelas possibilidades de campo seguindo as recomendações da administração da área de pesquisa. As amostras de água foram feitas no período da tarde, logo após cada coleta, congeladas e mantidas abaixo de 0°C até o momento de análise laboratorial.

5.2 PROTOCOLO ANALÍTICO

5.2.1 Parâmetros Físico-químicos *in situ*

Em cada medição no Córrego de Captação foram determinados os parâmetros: condutividade elétrica ($\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$), sólidos totais dissolvidos ($\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$) e Turbidez (UNT) (Tabela 5). Foram duas medições com o uso da sonda multiparâmetros YSI 2030 (Figura 22) no mês de março 2019, e doze entre os meses de agosto, setembro e outubro de 2019, todas por volta das 15 horas, seguindo as recomendações da administração da área da pesquisa.

Para a medição da Concentração de Sedimentos em Suspensão (Css) foi utilizado a sonda multiparâmetros YSI PRODSS 2030 (*in situ*) e o processo de filtração da água em membranas de éster celulose com 47 mm de diâmetro e 0,45 μm de poro (em laboratório), conforme a proposição de (APHA, 2005).

A escolha destes parâmetros físico-químicos foi para investigar a correlação dos processos hidrogeomorfológicos que ocorrem na bacia hidrográfica com os efeitos pluviais, sendo: a condutividade elétrica para compreender a distribuição sazonal das espécies iônicas dissolvidas; os sólidos totais dissolvidos e em suspensão para demonstrar a ocorrência predominante dos processos erosivos com a vazão (domínio de intemperismo químico ou físico) e por fim, a turbidez para indicar os processos de transporte de sedimentos pelo canal fluvial.

Tabela 5 – Resumo dos princípios analíticos dos parâmetros físico-químico.

Parâmetro	Princípio Analítico	Unid. de medida
Cond. Elétrica	Condutivimétrico	$\mu\text{S. cm}^{-1}$
Sól. totais dissolvidos	Conversor de condutividade	mg. L^{-1}
Sól. totais em Suspensão		mg. L^{-1}
Turbidez	Nefelométrico	UNT

Organizada pelo autor.

Figura 22 - Medição dos parâmetros físico-químicos do Córrego de Captação com uso da sonda multiparâmetros YSI 2030 PRO em março de 2019.



Fonte: acervo do autor.

5.2.2 Vazão

A vazão foi medida por meio do método acústico e flutuador. No mês de março foi utilizado o método acústico com o equipamento *Flowtracker*® (Figura 23), pois ocorriam condições de profundidade que permitiram utilizar o equipamento. Nos meses de setembro e outubro foi utilizado o método flutuador, uma vez que foi o único método possível diante das condições da seção transversal. Os dois métodos possuem limitações para o tipo de morfologia fluvial da ilha vulcânica desta pesquisa.

Figura 23 - Medição da vazão no Córrego de Captação com uso de Flowtaracker® em março de 2019.



Fonte: acervo do autor.

O método flutuador como indicado por Palhares et al. (2007) consiste na medição do volume de água que passa entre dois pontos por um dado período de tempo. As indicações deste método são de medições feitas entre dois pontos com distância de 6 metros entre o ponto A e o ponto B, entretanto, devido as características do curso fluvial analisado foi feita medição em uma sessão de 2 metros.

Assim, foi selecionada no Córrego de Captação uma sessão de 2 m de comprimento, feita a limpeza de vegetação de rochas que formem represamento. Foi utilizada uma bola plástica com água até a metade, um cronômetro e fita métrica.

Foram feitas três medidas em cada amostragem e calculada a média de tempo, e para o cálculo da vazão foi utilizada a fórmula:

$$Q = C \times A \times V_m$$

C = coeficiente foi de 0,8, considerando que o fundo do Córrego é pedregoso

A = Área (distância das margens multiplicada pela profundidade do córrego)

V_m = Velocidade média (distância sobre tempo)

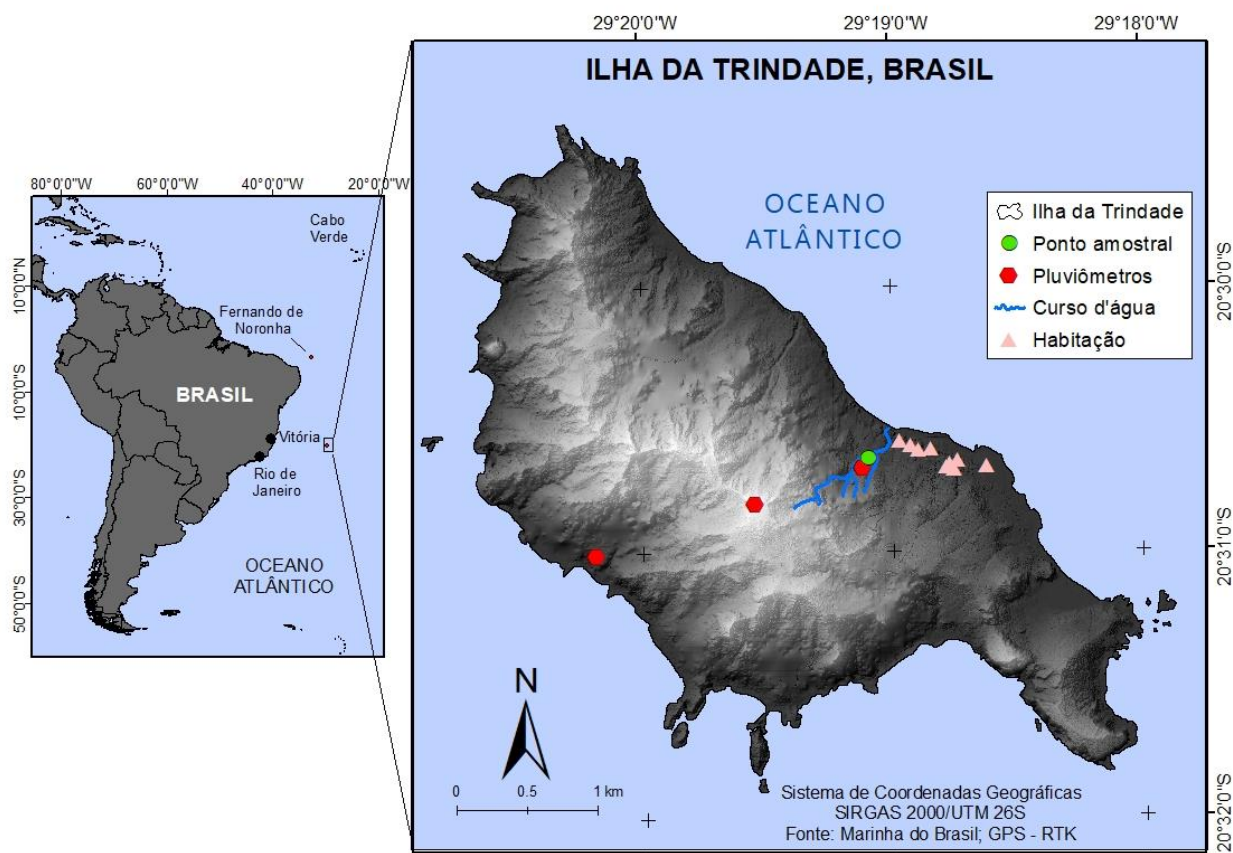
5.2.3 Monitoramento de precipitação e ventos

O monitoramento pluviométrico da bacia foi feito a partir da utilização de três pluviógrafos automático instalados em um transecto que abordasse a existência ou não de variação pluviométrica entre as vertentes costeiras das faces oriental (leste) e ocidental (oeste) e o Pico do Desejado (planalto axial) da Ilha da Trindade (Figura 24).

O pluviógrafo é um equipamento instalado em campo onde a água precipitada é captada e dirigida inicialmente para uma das cubas e, quando esta cuba recebe uma quantidade de água equivalente a 25g, aproximadamente, o conjunto faz o movimento em torno do eixo, a cuba cheia esvazia e a cuba vazia começa a receber água. Cada movimento das cubas basculantes equivale a uma lâmina precipitada de 0,254 mm, e o aparelho registra o número de movimentos e o tempo em que ocorre cada movimento no data-logger (TASSI; COLLISCHONN, 2007).

Desta forma, foram instalados um pluviógrafo na bacia hidrográfica do Córrego de Captação (lado leste), próximo da área de amostragem, em 40 m de altitude. Outro dispositivo próximo a região da cabeceira de drenagem da bacia, no Pico do Desejado em 570 m de altitude (topo) e por fim, um na Praia do EME (lado oeste) em 15 m de altitude, face oposta a bacia estudada.

Figura 24 - Locais onde foram instalados os pluviômetros e a área da amostragem de metais e medição dos parâmetros físico-químicos.



Fonte: organizado pelo autor.

Os registros pluviométricos foram realizados a cada 30 minutos de forma automática. Foram feitos download e manutenção dos equipamentos periodicamente durante o monitoramento. Posteriormente os dados foram tabulados em Microsoft Excel (2019) e transportados para os *softwares* onde foram feitos testes estatísticos.

Os dados de ventos foram disponibilizados pela Marinha do Brasil pela Estação Meteorológica da Ilha da Trindade (EMIT). Foram utilizados os valores aferidos de direção e velocidade dos ventos diários das 15 horas.

5.2.4 Análise das amostras de água

O método utilizado para extração das concentrações dos metais totais foi US EPA 3015A (U. S. EPA, 2007), onde, uma alíquota de 45ml de cada amostra de água, foi homogeneizada e transferida para os tubos de teflon, com posterior adição de 5ml de ácido nítrico (HNO₃) com 65% de concentração destilado (*Sub-boiling*).

As amostras foram digeridas no forno micro-ondas MARS 6 (CEM) à temperatura de até 170°C em aproximadamente 10min., permanecendo nesta temperatura por outros 10min. Posteriormente, foi extraído 1 ml de amostra, já digerida em forno micro-ondas, e completando para 5mL com ácido nítrico 2% e encaminhados para análise em ICP-MS (*Agilent, CX7500*). Os metais analisados pelo ICP-MS foram: Ca, Mg, Zn, Sr, Al, Fe, Ba, Mn, Cu, V, Be, As, Cd, Ni, Pb, Cr e Ag. Todos os aparelhos foram devidamente calibrados anteriormente a estas análises.

As análises dos metais totais ocorreram no Laboratório de Geoquímica Ambiental (LabGam), localizados na Universidade Federal do Espírito Santo (Ufes).

5.3 TRATAMENTO DOS DADOS

5.3.1 Matriz dos coeficientes de correlação

O coeficiente de correlação *Spearman*, utilizado neste estudo, é caracterizado por ser uma medida do grau de relação linear entre as variáveis quantitativas x e y, obtido a partir da divisão da covariância das duas variáveis pelo produto de seus desvios padrão. Assume valores entre -1 a 1, onde o 1 significa uma correlação perfeita positiva entre duas variáveis, o -1 significa uma correlação perfeita negativa, ou seja, uma relação inversamente proporcional e o zero significa que essas duas variáveis não dependem uma da outra (ROGERSON, 2001).

A escolha do coeficiente de correlação de *Spearman* foi devido a amostra não obedecer a uma distribuição normal, necessitando, portanto, de testes não paramétricos. Assim, os valores das medições de vazão, pluviosidade, físico-químicas, direção dos ventos e dos metais totais foram tabuladas, *log*-transformados e posteriormente correlacionados no *software* SigmaPlot 12. Foi utilizado um nível de significância de 5% (p valor < 0,05).

Para a interpretação da magnitude das correlações foi adotada a seguinte classificação dos coeficientes de correlação: coeficientes de correlação $< 0,39$ (correlação de fraca magnitude), $\geq 0,4$ a $< 0,69$ (de moderada magnitude) e $\geq 0,7$ (de forte magnitude).

5.3.2 Análise de redundância (RDA)

O principal objetivo da Análise de Redundância (RDA) é identificar a influência de variáveis ambientais sobre os padrões de composição e abundância das espécies numa comunidade. A RDA é um método que combina regressão e análise de componentes principais (PCA) para a análise conjunta de variáveis bióticas e abióticas (LEGENDRE; LEGENDRE, 2012; PROVETE, 2011).

Estas análises são particularmente úteis para analisar a distribuição de espécies ao longo de gradientes ambientais, por isso são chamadas de “análises direta de gradientes” (*direct gradient analysis*). O resultado prático do RDA, é um gráfico biplot no qual as variáveis ambientais são plotadas como setas e as espécies como pontos (PROVETE, 2011).

A RDA, que combina regressão linear e análise de componentes principais (PCA), vem sendo indicada como uma alternativa à Análise de Correspondência Canônica (CCA) para estudar a interação entre variáveis orgânicas e inorgânicas e variáveis ambientais, tais como a sazonalidade, em análises de gradientes. É um método que não utiliza o chi-quadrado como medida de distância, evitando a geração de vieses (LEGENDRE; GALLAGHER, 2001; LEGENDRE; LEGENDRE, 2012).

Para esta análise assumiu-se como variáveis ambientais os metais totais (Ca, Mg, Zn, Sr, Al, Fe, Ba, Mn, Cu, V, Be, As, Cd, Ni, Pb, Cr e Ag) e como variáveis resposta a distribuição sazonal em grupos semanas. Foi utilizado o *software* Primer Permanova para analisar e gerar gráfico representativo.

6. RESULTADOS E DISCUSSÕES

O monitoramento hidrogeoquímico da bacia do Córrego de Captação foi constituído dos índices pluviométricos, direção dos ventos, medição da vazão e pela determinação dos alguns parâmetros físico-químicos (condutividade elétrica, sólidos totais dissolvidos, concentração de sedimentos em suspensão e turbidez) em campo. O teor dos metais analisados em laboratório está apresentado de acordo com sua disponibilidade sazonal (Ca, Mg, Zn, Al, Sr, Fe, Ba, Mn, Cu, V, Be, As, Cd, Ni, Pb, Cr, Ag) durante o período de amostragem.

6.1 CHUVAS, VENTOS E VAZÃO

6.1.1 Chuvas

Os índices de chuvas mensal durante esta pesquisa (2019-2020) apontaram que comparado com os meses de agosto, setembro e outubro, o mês de março possui os maiores índices pluviométricos. O mês de agosto possui menor índice pluviométrico do período e o mês de setembro está entre os meses de março e outubro.

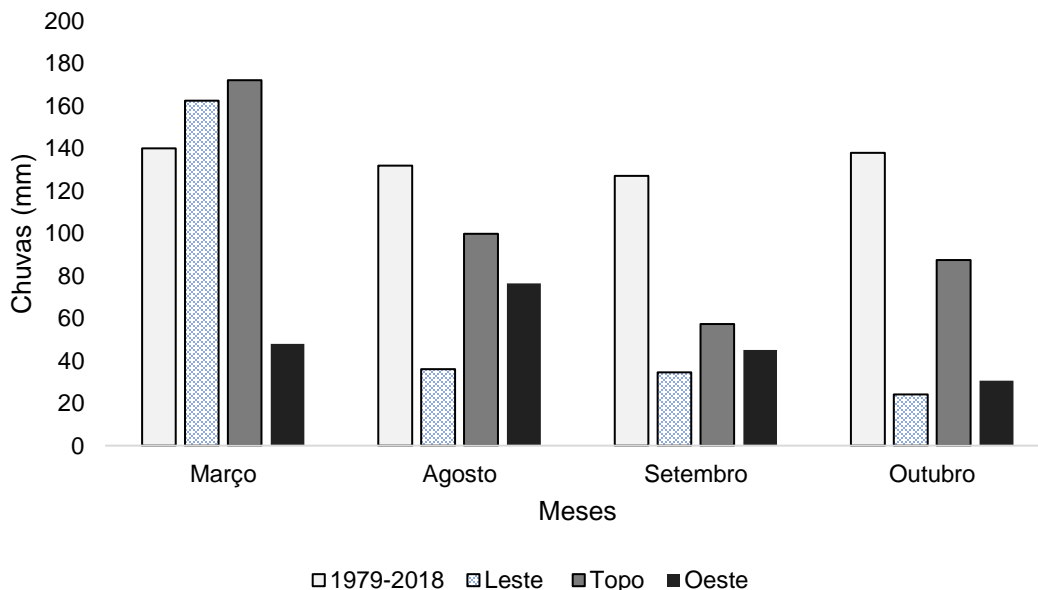
Na série histórica, o mês de março apresenta pluviosidade média de 140mm e nas medições entre 2019/2020, feitas por este trabalho, o valor médio de chuvas para o mês de março foi de 172,2 mm na cabeceira de drenagem (topo) e 162,5 mm na área de medição da vazão (lado leste), demonstrando a distribuição desigual de chuvas intra-ilha e o maior aporte fluvial na bacia.

Durante esta pesquisa a média de chuvas para o mês de setembro foi maior no lado oeste que no lado leste e topo, sendo 34,5 mm para o lado leste, 57,2 mm para cabeceira de drenagem e o lado oeste com 61,4 mm, possivelmente influenciou o volume de vazão, considerando a posição geográfica da bacia do Córrego de Captação. O índice pluviométrico para o mês de outubro na cabeceira de drenagem da bacia foi de 87,3 mm, no lado leste 30,6 mm, menor índice de todo período amostral, e no lado oeste 61,2 mm, volume próximo do índice pluviométrico de setembro.

A Ilha da Trindade possui distribuição de chuvas desigual, como pode ser observado no monitoramento pluviométrico diário (Gráfico 1). A distribuição ao longo do ano ocorreu da seguinte forma: o mês de março teve os maiores índices de chuvas no lado leste e no topo comparado com o lado oeste. No mês de agosto, o lado oeste apresentou maiores índices de chuvas em relação ao lado leste e menor quando comparado com o topo. O mês de setembro há um predomínio de chuvas no lado oeste em relação ao leste, entretanto, com menor diferença quando comparado ao mês de agosto. Os índices pluviométricos são dominantes durante todo ano e essa distribuição desigual de chuvas deve impactar a vazão do Córrego de Captação ocasionada pela posição geográfica da bacia hidrográfica.

O maior total acumulado de precipitação na Ilha da Trindade estão no topo e no lado leste, esse comportamento indica o efeito da orografia que impulsiona os ventos carregados de umidade a condensarem e precipitarem sobre estas porções da ilha. O efeito orográfico também é observado em outras porções do relevo continental como fator impulsionador do aumento da precipitação pluvial no topo das encostas, fato este relatados em trabalho de Barry; Chorley (2013); Mcgregor e Nieuwolt (1998); Mendonça e Danni-Oliveria (2007); Torres e Machado (2012).

Gráfico 1 - Distribuição pluviométrica nos meses de março, agosto, setembro e outubro no lado leste, topo e lado Oeste. Nestes meses ocorreram as medições físico-químicas no Córrego de Captação.



6.1.2 Ventos

O vento, como já é sabido, é o deslocamento de ar originários de diferentes gradientes de pressão atmosférica, de área de maior pressão para área de menor. Essa constante movimentação de ar na região do oceano Atlântico Sul tem efeito sobre a Ilha da Trindade durante todo o ano, dado sua localização geográfica.

Essas variações na Ilha da Trindade se devem à atuação de sistemas meteorológicos dinâmicos e transientes como ciclones extratropicais, ciclones subtropicais, frentes frias, linhas de instabilidade, entre outros (PEDROSO; PANISSET; ABDO, 2018).

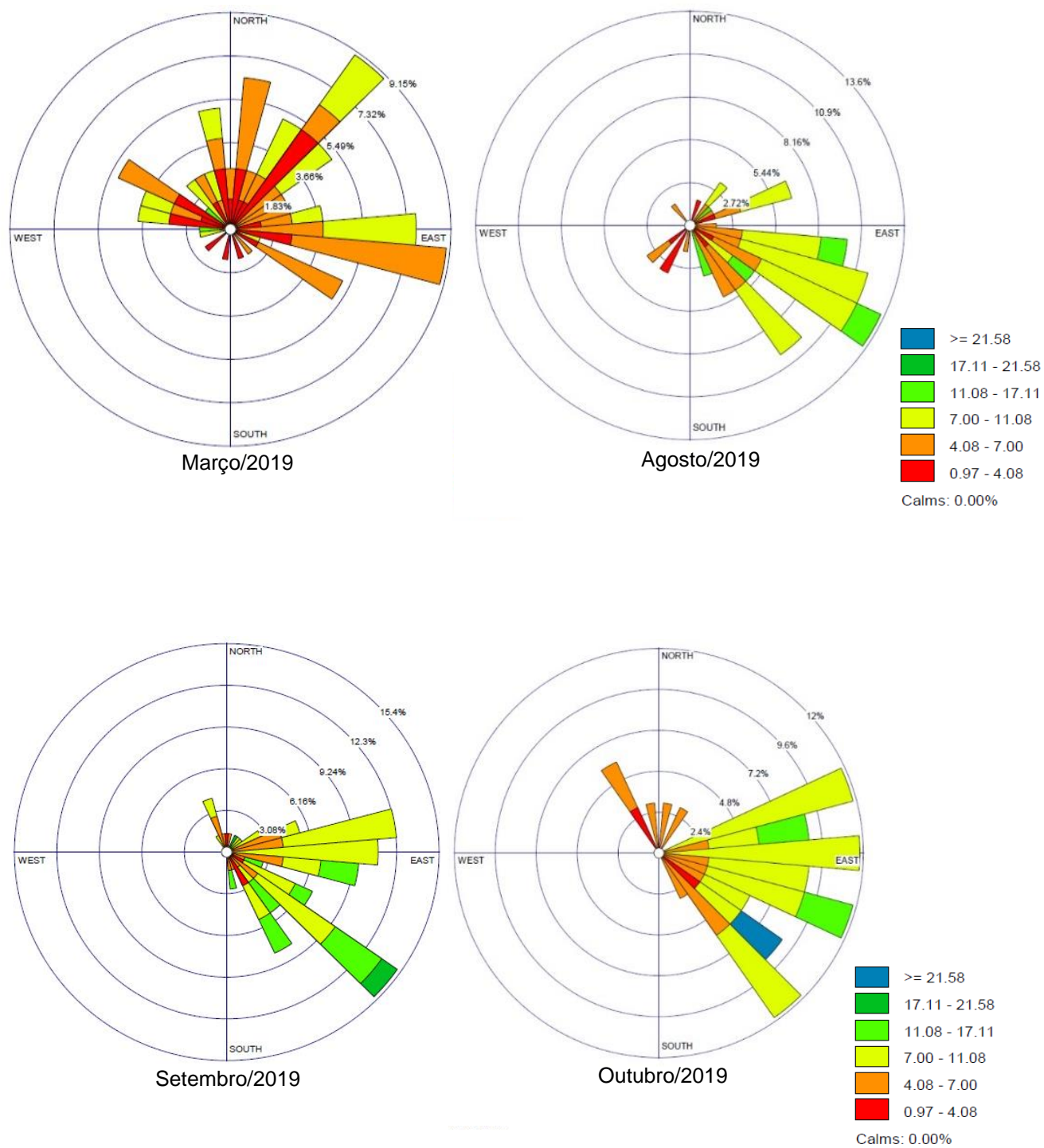
Nos meses de verão recebe maior influência dos ventos quente e úmidos provenientes da linha equatorial e no solstício de inverno recebe as massas de ar frias provenientes da região polar sul (Figura 25). Esse comportamento tende a influenciar a intensidade do regime de chuvas incidentes na Ilha da Trindade e conseqüentemente influenciar a vazão e os processos intempéricos atuantes na bacia do Córrego de Captação.

No mês de março, a Ilha da Trindade recebe maior influência dos ventos provenientes dos quadrantes norte e nordeste, indicando presença de ventos quente e úmidos equatorial. No mês de agosto, a predominância é dos ventos do leste e sudeste, já indicando a influência das massas polar.

No mês de setembro o comportamento é parecido com o mês de agosto, mas é possível observar a mudança na intensidade dos ventos e uma migração para os ventos predominantes de leste. No mês de outubro o quadrante leste é o predominante, havendo variações de ventos entre os quadrantes de nordeste e sudeste, no entanto, a maior parcela é ainda sudeste, indicando a influência das massas polares.

Essa distribuição de ventos corrobora com o regime chuvas incidentes na Ilha da Trindade e indicam a influência das massas de ar equatoriais em parte do ano e das massas de ar polar em outro período. Essas variações devem influenciar o clima, a distribuição de chuvas, o regime de vazão e as taxas de intemperismo físico-químico na bacia do Córrego de Captação por ações hidrológicas principalmente.

Figura 25 - Direção dos ventos nos meses de março, agosto, setembro e outubro/2019 incidentes na Ilha da Trindade.



6.1.3 Vazão

A média de vazão medida no Córrego de Captação entre os meses de março, setembro e outubro do ano de 2019 foi de 11,186 (l/s). O mês de março obteve a maior média (15,7 l/s) e setembro a menor (9,63 l/s). No mês de outubro a vazão medida foi de 12,88 (l/s) ocupando a terceira posição neste comparativo. O coeficiente de correlação da chuva diária acumulada e a vazão é de 0,689 e está classificada como de moderada magnitude.

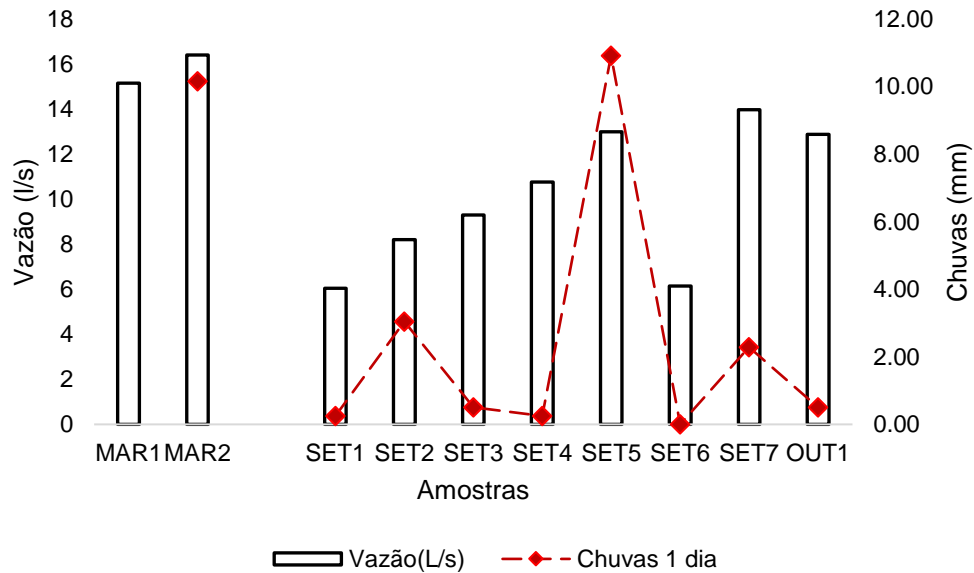
No mês de março a média de vazão obtida foi de 15,7 (l/s), sendo a maior vazão diária registrada 16,4 (l/s). A menor vazão, ocorreu em condições de chuva, mas sem o registro do volume precipitado e o valor foi 15,15 (l/s) (Gráfico 2). O volume pluviométrico diário acumulado durante esta pesquisa foi de 10,16 mm.

No mês de setembro, o valor médio de vazão foi de 9,63 (l/s), sendo a maior vazão aferida para o mês 12,99 (l/s) e a menor 6,14 (l/s). As condições de precipitação, para a cabeceira de drenagem, foram variáveis, sendo o maior índice pluviométrico acumulado para o dia de 10,92 mm.

No mês de outubro foi realizada uma medição de vazão no Córrego de Captação e o valor obtido foi de 12,88 (l/s). As condições climáticas na área amostral durante a medição eram de chuva e o volume pluviométrico registrado na cabeceira de drenagem para o dia foi de 9,652 mm.

Desta forma, a variação sazonal do volume chuvas em distribuição desigual ao longo do transecto leste/oeste devem influenciar os volumes de vazão. Como apontado anteriormente, as condições geomorfológicas (declividade, cobertura vegetal e outras) da bacia associadas ao maior volume de chuvas e vazão, deverão favorecer a erosão laminar, enquanto que com o menor volume de chuva, favorecido pela baixa ou inexistente umidade antecedente e saturação do solo, ocorra maior taxa de infiltração e o canal fluvial seja alimentado por águas com maiores concentrações de metais provenientes do intemperismo químico na subsuperfície.

Gráfico 2 - Distribuição sazonal das chuvas acumuladas de um dia para cabeceira de drenagem e a vazão do Córrego de Captação. Foram duas amostras efetuadas no mês de março, sete no mês de setembro e uma no mês de outubro.



Sendo no mês de março os maiores índices pluviométricos na cabeceira de drenagem, no lado leste e a maior vazão, ocorre o favorecimento da erosão física, ocasionada pela desagregação dos solos no contato da chuva (*efeito splash*), desagregação e o transporte de sedimentos pelo canal fluvial e a erosão das margens. Esse comportamento é observado com o aumento das taxas da turbidez e da concentração dos sedimentos em suspensão.

Nos meses de agosto, setembro e outubro a bacia recebe os menores índices pluviométricos e menor vazão quando comparados ao mês março, este comportamento favorece os processos de intemperismo químico, o que poderá ser observado com o aumento das taxas de condutividade elétrica e dos sólidos totais dissolvidos.

6.2 PARÂMETROS FÍSICO-QUÍMICOS DA ÁGUA

6.2.1 Condutividade Elétrica (CE)

A condutividade elétrica (CE) mede a capacidade que a água tem de conduzir e transmitir corrente elétrica e possui relação direta com a concentração de espécies iônicas

dissolvidas, ou seja, quanto maior a quantidade de íons dissolvidos ou ionizados presentes, maior será a condutividade elétrica, já que íons transformam a água num eletrólito com capacidade de transmitir essa eletricidade (ALMEIDA, 2017).

Segundo Felipe (2013), a condutividade elétrica além de ser uma medição de baixo custo, apresenta a vantagem de comparar o tempo de residência de águas que exfiltram do mesmo sistema aquífero. De modo geral, a relação entre os valores, é que quanto maior for o valor da condutividade elétrica, maior o grau de mineralização e o maior tempo de residência da água no subsolo.

O valor médio de CE medido no Córrego de Captação foi de $243 \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$. Por meses de amostragem, em março o valor médio foi $189,05 \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$, onde também foi observado o maior volume de chuvas na cabeceira de drenagem e no lado leste. Em agosto, a condutividade foi de $261 \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$, em setembro $252 \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ e em outubro $250 \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ quando foi registrado os menores índices pluviométricos e de vazão.

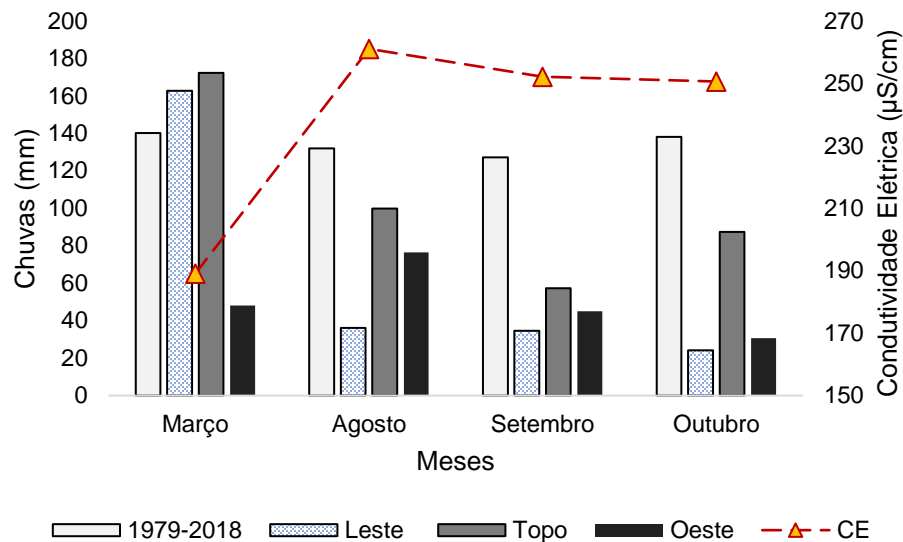
A variação sazonal da condutividade elétrica foi inversamente proporcional ao volume de chuvas na cabeceira de drenagem e no lado leste durante o período analisado. No mês de março, quando foram registrados os maiores índices de chuva na cabeceira de drenagem e no lado leste, os valores de condutividade foram menores comparado aos outros meses de amostragem. Já nos meses de agosto, setembro e outubro a condutividade é maior e o volume de chuvas menor no lado leste (Gráfico 3).

O coeficiente de correlação da condutividade elétrica com a chuva diária acumulada foi classificado como de moderada magnitude negativa (-0,624). Esta classificação indica que em condições de menores índices pluviométricos, os valores da CE apontam um tempo maior de residência da água no interior dos solos e rochas antes de verter para o Córrego de Captação, o que é observado principalmente nos meses de agosto, setembro e outubro.

Essas variações dos valores de CE indicam que a predominância dos processos erosivos na Ilha da Trindade tende a ser controladas também pelos índices de pluviosidade. Nos meses de maior intensidade de chuvas, os processos de intemperismo físico são

predominantes no rebaixamento do relevo e no período com menos intensidade pluviométrica a predominância são dos processos de intemperismo químico. Os resultados apresentados por Marques (2017), quando analisou as nascentes da Ilha da Trindade, corroboram com os apontamentos desta pesquisa, ao apontar a existência de águas com valores de condutividade elétrica equivalente as águas de aquíferos.

Gráfico 3 - Distribuição temporal da condutividade elétrica no Córrego de Captação com a distribuição temporal e espacial de chuvas na Ilha da Trindade nos meses de março, agosto, setembro e outubro.



No Rio Duas Bocas afluente do Rio Santa Maria (Espírito Santo/Brasil) os valores médios de CE foram de $40,27 \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ a $136,73 \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ (LEMOS, 2018). Em outra região continental, no Córrego do Bule afluente do Rio Paraopeba (Minas Gerais/Brasil), Almeida (2017) aferiu valores de CE entre $60 \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ e $68,8 \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$. Essas variações de valores da CE em região continental se deve as intervenções no uso e cobertura da terra e os valores de CE acima de $100 \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ são provenientes das influências antrópicas (LEMOS, 2018).

Em outras ilhas oceânicas, tais como: Ilha de Santa Maria e Ilha de São Miguel, no arquipélago de Açores (Oceano Atlântico norte) Cruz et al. (2010) apresentou valores de CE para rios e poços entre $82,3 \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ a $2350 \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ na Ilha de São Miguel e nos rios da Ilha de Santa Maria de $290 \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ a $816 \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$. Em Koolau Range no Havai

(Oceano Pacífico) Visher e Mink (1964) aferiram à 25°C o valor de CE 125 $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ para canais fluviais.

Os maiores valores de CE são de águas residuais de poços ou nascentes provenientes do subsolo com elevado tempo de residência no subsolo. Nos canais fluviais de ilhas vulcânicas os valores de CE são próximos aos encontrados na Ilha da Trindade. É possível observar que em ilhas oceânicas vulcânicas os valores de condutividade elétrica tendem a ser maiores que as medições em águas superficiais continentais.

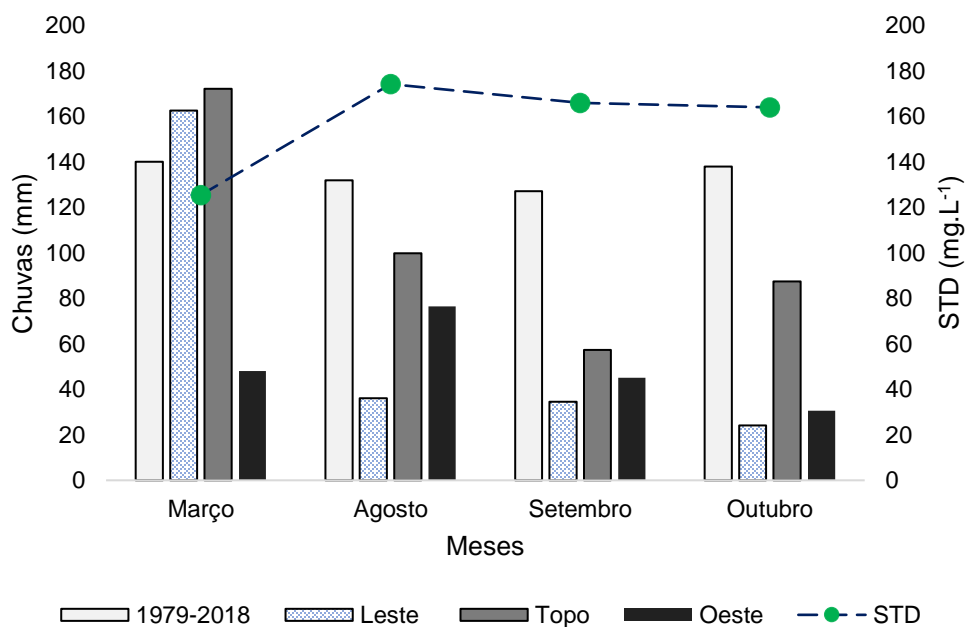
6.2.2 Sólidos Totais Dissolvidos (STD)

O parâmetro Sólidos Totais Dissolvidos (STD) representa a concentração de todo material dissolvido na água, seja ou não volátil. O valor de STD nas águas doces varia de 50 a 1.500 $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ e nos mares, em torno de 35.000 $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$, podendo atingir 300.000 $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ em salmouras (FEITOSA et al., 2008).

O valor médio do STD encontrado nas medições *in situ* no Córrego de Captação foi de 160,6 $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$. Por meses de amostragem, março 127,6 $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$, agosto 174,2 $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$, setembro 166 $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ e outubro 164 $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ (Gráfico 4). Este parâmetro apresenta comportamento bem parecido com a condutividade elétrica, menor concentração no mês de março e maior nos meses agosto, setembro e outubro. O coeficiente de correlação entre o STD e a CE é de 0,880, classificado como de forte magnitude.

Este comportamento do STD e da CE, inversamente proporcional a vazão e ao índice pluviométrico para o lado leste e o topo, corroboram com a proposição deste trabalho, apontando como fator condicionante da variação das concentrações físico-químicas do Córrego da Captação a desuniformidade sazonal e espacial de chuvas na Ilha da Trindade. Essa diferença pluviométrica durante o ano, hora favorece os processos intempéricos físicos, hora favorece os processos químicos.

Gráfico 4 - Variação temporal das concentrações de sólidos totais dissolvidos no Córrego de Captação e a distribuição de chuvas na Ilha da Trindade nos meses de março, agosto, setembro e outubro.



Nos meses com maior volume de chuvas na cabeceira de drenagem e lado leste, consequentemente maior vazão, os processos intempéricos físico tendem a predominar, pois, as condições de umidade antecedente do solo proporciona saturação e não favorecem a percolação de água, desta forma, potencializa o escoamento superficial e a erosão laminar. No Córrego de Captação o parâmetro STD apresenta comportamento inversamente proporcional a concentração de sedimentos em suspensão e turbidez, o que indica diferentes processos intempéricos ocorrendo na bacia na dimensão temporal.

Em estudo das nascentes, Marques (2017) calculou a média de 179 mg.L⁻¹ dos STD para Ilha da Trindade, mas este valor não incluiu a nascente do Córrego de Captação (não medida neste estudo). Com o resultado do STD médio, calculou que em toda ilha deve existir uma perda geoquímica instantânea de 205,06 mg/s, sendo o valor anual de 6466,87 kg/y, com um volume anual retirado de 2,23 m³ (considerando-se uma densidade média de 2,9 g/cm³ para os basaltos de ilhas oceânicas) (MARQUES, 2017).

No arquipélago de Açores (Portugal), a partir das análises de 96 fluxos de água mineral, Cruz; Freire; Costa (2010) apresentaram o valores do parâmetro STD entre

146 mg.L⁻¹ a 85.440 mg.L⁻¹. Em O'ahu (Havaí), os valores de STD encontrados no Riacho Manoa por Augustijn; Fares; Tran (2011) foram de 0 mg.L⁻¹ a 302 mg.L⁻¹. Esta variação, segundo os autores, está condicionada as fontes de água do curso fluvial e as condições climáticas. Águas de poços ou de longo período em subsuperfície apresentam as maiores concentrações de STD, também associadas a atividades antrópicas de descarte de efluentes nos cursos fluviais.

Em região continental, no Rio Duas Bocas, afluente do Rio Santa Maria (Espírito Santo/Brasil), Lemos (2018) encontrou valores de STD que variam de 26,47 mg.L⁻¹ a 93,33 mg.L⁻¹. Já no Córrego do Bule, afluente do Rio Paraopeba (Minas Gerais/Brasil), Almeida (2017) encontrou valores deste parâmetro entre 38,48 mg.L⁻¹ e 44,72 mg.L⁻¹.

As variações de valores de STD apresentados nestes trabalhos para bacias hidrográficas continentais, estão associadas as ações antropogênicas (lançamento de efluentes químicos) no curso fluvial. Os valores encontrados no Córrego de Captação são maiores que os encontrado na parte continental, sendo que a bacia não recebe aporte de efluentes, logo, indica a ocorrência de expressivos processos de intemperismo químico às rochas e solos da Ilha da Trindade.

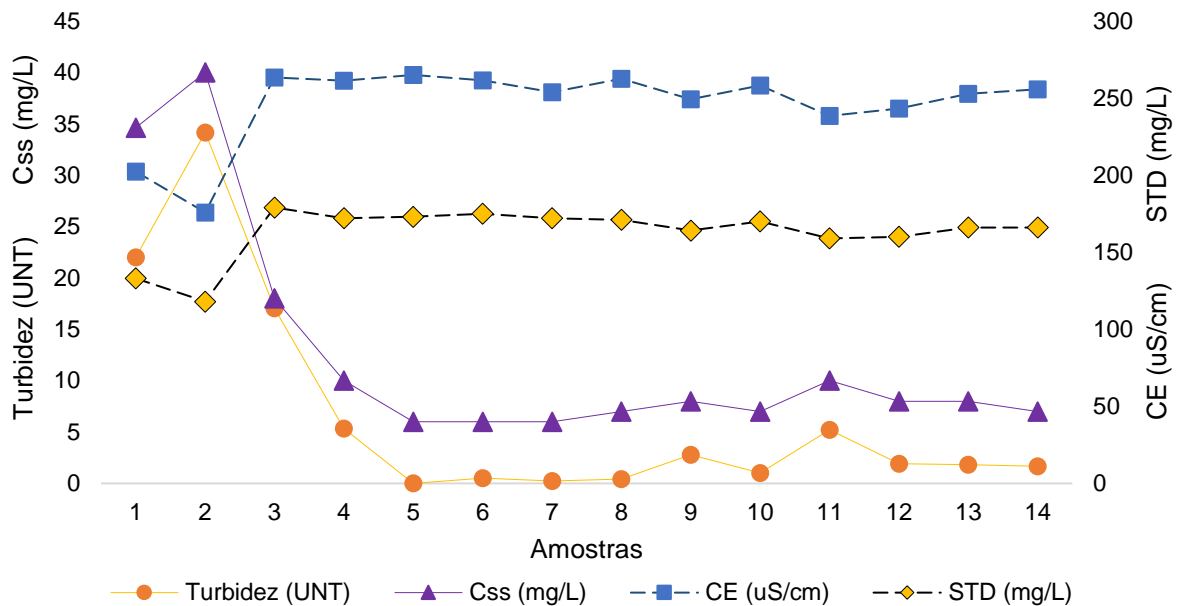
6.2.3 Concentração de Sedimentos em Suspensão (Css)

Os valores das concentrações de sedimentos em suspensão (Css) possuem relação direta com os valores de turbidez, com a maior turvação, maior será a concentração de sedimentos em suspensão na amostra de água (MARTÍNEZ-CARRERAS et al., 2010). A Css e a Turbidez são parâmetros utilizados como ferramentas para investigar e determinar as taxas dos processos erosivos físicos de uma bacia hidrográfica, estão diretamente associados ao uso e cobertura da terra.

A média da concentração de sedimentos em suspensão do Córrego de Captação foi de 12,54 mg.L⁻¹. No mês de março a média foi de 37,3 mg.L⁻¹, no mês de agosto 9,2

mg.L⁻¹, setembro 8 mg.L⁻¹ de média e outubro 7,6 mg.L⁻¹. O comportamento da C_{ss} foi similar ao da turbidez (Gráfico 5). O coeficiente de correlação da C_{ss} com a turbidez é de 0,953, classificado como de forte magnitude.

Gráfico 5 - Distribuição sazonal da Turbidez, C_{ss}, CE e STD no Córrego de Captação.



A distribuição sazonal da C_{ss} foi proporcional aos índices pluviométricos no topo e no lado leste, comportamento oposto apresentado pelo CE e STD. Assim, é possível aferir que com o maior volume de chuvas e maior vazão, os processos físicos de erosão são predominantes na bacia, enquanto que, com a diminuição dos valores deste parâmetro, a predominância são dos processos de intemperismo químico.

Em região continental, no Rio Duas Bocas afluente do Rio Santa Maria (Espírito Santo/Brasil), Lemos (2018) encontrou valores médio de C_{ss} de 2,71 mg.L⁻¹ em região de mata atlântica preservada e 7,40 mg.L⁻¹ em região de práticas agrícolas e pastagem. Estes resultados corroboram para indicação deste parâmetro como ferramenta para diferenciação dos processos de intemperismo físico ou químico predominantes na bacia.

Em estudo da variação temporal e espacial da C_{ss} no Riacho Manoa em O'ahu no Havaí, Augustijn; Fares; Tran (2011) apresentaram ao longo do canal fluvial valores de média entre 6,5 mg.L⁻¹ e 483 mg.L⁻¹, sendo os menores valores em áreas com maior cobertura vegetal e os maiores valores em áreas urbanizadas. Este valor indica que a ocupação de áreas com alta declividade associada as práticas de impermeabilização para assentamento humano potencializam a erosão laminar. Outro importante fator a ser considerado nesta variação das concentrações é o volume de chuvas para as ilhas do Havaí, que são cerca de 3 vezes maior que o volume de Trindade e a amplitude altimétrica que também são maiores.

6.2.4 Turbidez (UNT)

A turbidez é a medida da dificuldade de um feixe de luz atravessar uma certa quantidade de água, conferindo uma aparência turva à mesma. Assim, quanto maior a presença de sedimentos em suspensão como silte, argila, além da presença de matéria orgânica no curso fluvial, maiores serão os valores de turbidez. Os valores são expressos em Unidades Nefelométricas de Turbidez (UNT) (FEITOSA et al., 2008).

O mês de março apresentou os maiores valores de turbidez no Córrego da Captação, 25,6 UNT de média. No mês de agosto a média foi 4,62 UNT, apresentando uma expressiva variação entre as amostras. Já o mês de setembro a média foi de 2,35 UNT e outubro a média foi de 1,19 UNT. Essa variação sazonal deve ser associada aos índices pluviométricos na cabeceira de drenagem e na bacia, assim como encontrado na concentração de sedimentos em suspensão.

Estudos de Sahoo; Ray; De Carlo (2006) em O'ahu no Havaí apontaram grande sensibilidade dos valores de turbidez as índices de precipitações. Estes resultados corroboram que as variações dos valores de turbidez no Córrego de Captação estão

diretamente ligadas as variações dos índices de pluviométricos que incidem sobre a cabeceira de drenagem (Pico do Desejado) da bacia.

Em região continental, no Rio Duas Bocas afluente do Rio Santa Maria (Espírito Santo/Brasil), Lemos (2018) encontrou valores de turbidez entre 0,91 UNT e 7,18 UNT. O autor registrou que os maiores valores de turbidez estão nas áreas de cultivos agrícolas e pastagens e os menores encontrados em floresta de mata atlântica preservada.

No Córrego do Bule afluente do Rio Paraopeba em Minas Gerais/Brasil, Almeida (2017) encontrou valores deste parâmetro na estação chuvosa entre 3,73 UNT e 202 UNT e na estação seca 2,07 UNT a 67,1 UNT. Este elevado valor de turbidez está associado aos solos muito argilosos expostos por ações de mineração às ações erosivas dos cursos de águas superficiais.

Logo, é possível observar que as variações sazonais e espaciais das chuvas na Ilha da Trindade são expressivos e interferem nos processos intempéricos que incidam sobre a bacia. No mês de março com maior volume de chuvas e vazão a tendência é a predominância do intemperismo físico, enquanto que nos meses de agosto, setembro e outubro com a diminuição nos volumes de chuvas na cabeceira de drenagem e no restante da bacia ocorre o predomínio do intemperismo químico.

6.3 DISTRIBUIÇÃO SAZONAL

6.3.1 Análise de redundância (RDA)

A interpretação da representação dbRDA é possível assumindo que quanto menor o ângulo do vetor em relação a um eixo, maior será a correlação dessas variáveis e quanto maior o vetor, mais importante é a variável para explicar a distribuição sazonal (semanas). Os pontos que estiverem no “quadrante” para o qual a seta aponta estão positivamente correlacionadas com a variável. Ao contrário, os pontos que estiverem no “quadrante” oposto, estão negativamente correlacionadas com a variável (LEGENDRE; GALLAGHER, 2001; LEGENDRE; LEGENDRE, 2012).

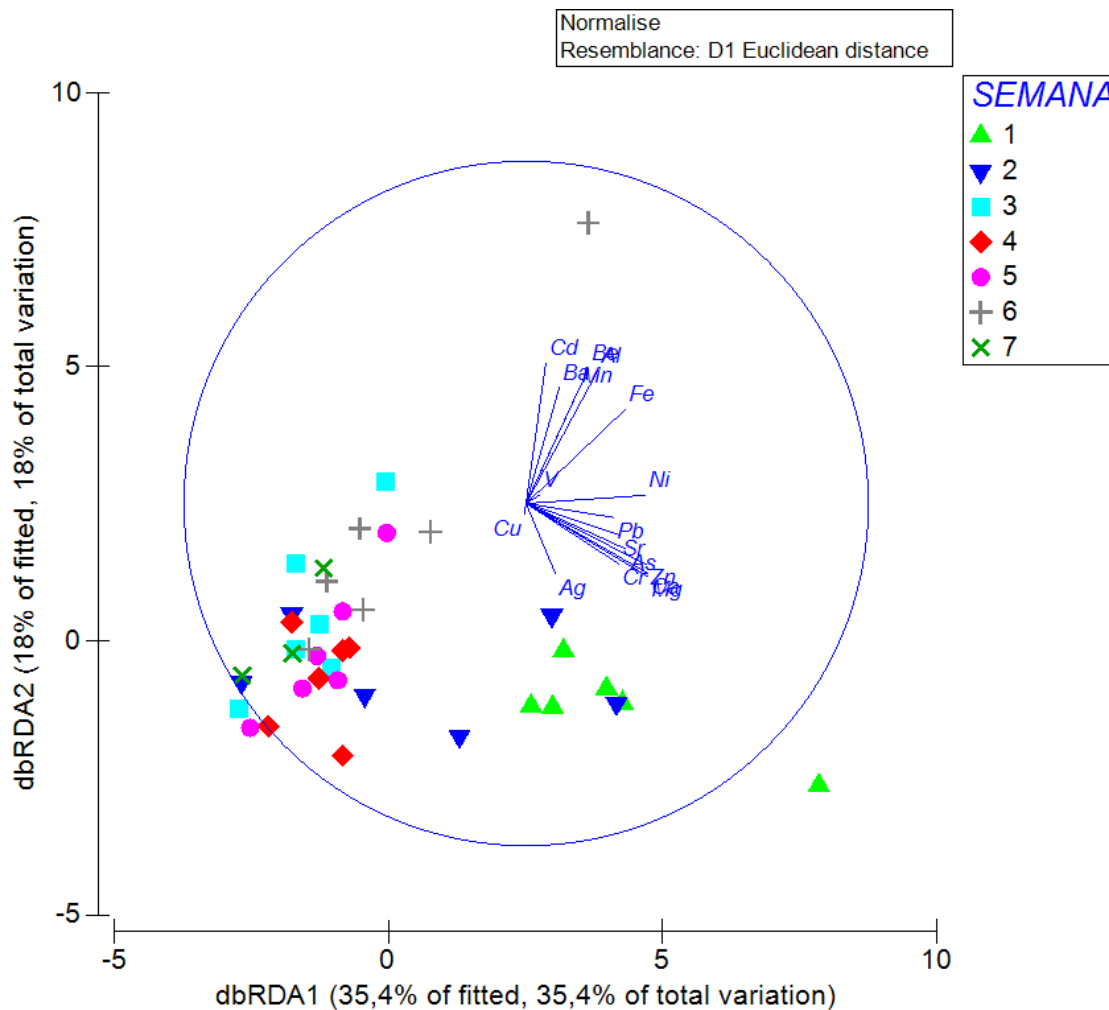
As variáveis ambientais (teor dos metais) foram plotadas como vetores e as distribuições sazonais (semanas) como pontos (Gráfico 6). No gráfico, é possível observar inicialmente a existência de dois grupos principais de vetores, as variáveis explicativas, sendo o primeiro formado por **Ca**, **Mg**, Zn, Cr, As, Sr, Pb e Ag e o segundo por **Al**, Be, Mn, Ba, Cd, **Fe**, V e Ni. O Cu apresentou comportamento diferente dos demais grupos, com ângulo da seta não inclinado para o quadrante de algum dos grupos.

Os pontos (semanas), também podem ser observados neste gráfico de acordo com suas variações sazonal. A primeira semana e parte da segunda semana apresentam maiores coeficiente de correlação positiva entre o grupo Ca e Mg com as variações respostas, isso pode estar associado a serem elementos mais solúveis. Essa correlação entre esse grupo e a variável resposta deixam de ser expressivas a partir da metade da segunda semana, quando é possível observar a movimentação dos pontos para os eixos zero.

A semana dois é marcante pela transição da correlação positiva para negativa, o que pode ser observado na terceira, quarta e quinta semanas quando os pontos estão no quadrante contrário as duas primeiras semanas. Entretanto, na sexta semana as amostras apresentaram maior correlação positiva com o grupo Be e Al e em seguida na semana sete volta para o eixo de correlação negativa.

As maiores correlações, entre os elementos metálicos desta pesquisa, foram do Fe com Al com coeficiente de 0.881 e Ca com Mg com 0.824, corroborando com os vetores apresentados no gráfico de dbRDA, assim, assume-se esses elementos como predominantes dos grupos na distribuição sazonal.

Gráfico 6 - Gráfico de ordenação (RDA) usando como variáveis explicativas, os elementos químicos, e as variáveis resposta, a distribuição sazonal em semanas.



Os metais foram correlacionados entre si (Tabela 6), os coeficientes de correlação com valores de $p < 0,05$ foram representados com célula na cor cinza. As correlações positivas ou negativas classificadas como forte magnitude ($>0,7$) estão em negrito na cor preto. As correlações classificadas como de moderada magnitude (0,4 a 0,69) estão na cor azul e em itálico e as classificadas como fraca magnitude ($< 0,39$) estão na cor preta sublinhadas.

Tabela 6 - Coeficiente de correlação Spearman dos metais analisados no Córrego de Captação.

	Ca	Mg	Zn	Al	Sr	Fe	Ba	Mn	Cu	V	Be	As	Cd	Ni	Pb	Cr
Mg	0.824															
Zn	<i>0.664</i>	<i>0.645</i>														
Al	<i>0.322</i>	<i>0.465</i>	<i>0.528</i>													
Sr	<i>0.556</i>	0.705	<i>0.410</i>	<i>0.432</i>												
Fe	<i>0.398</i>	<i>0.494</i>	<i>0.645</i>	0.881	<i>0.382</i>											
Ba	0.245	0.024	0.245	0.201	0.142	0.199										
Mn	<i>0.447</i>	0.229	<i>0.380</i>	<i>0.371</i>	0.154	<i>0.403</i>	0.913									
Cu	0.710	<i>0.696</i>	0.777	<i>0.564</i>	<i>0.553</i>	<i>0.649</i>	<i>0.446</i>	<i>0.609</i>								
V	0.156	0.248	-0.004	0.095	<i>0.346</i>	-0.017	0.301	0.312	0.207							
Be	0.210	<i>0.327</i>	0.263	<i>0.570</i>	0.250	<i>0.664</i>	0.183	0.286	<i>0.337</i>	-0.047						
As	<i>0.448</i>	<i>0.649</i>	<i>0.437</i>	<i>0.501</i>	<i>0.699</i>	<i>0.435</i>	0.112	0.148	<i>0.461</i>	<i>0.427</i>	0.289					
Cd	0.265	0.202	<i>0.438</i>	0.261	0.181	0.242	<i>0.614</i>	<i>0.515</i>	<i>0.598</i>	0.274	0.105	0.149				
Ni	<i>0.571</i>	<i>0.556</i>	<i>0.660</i>	0.266	0.361	0.357	0.048	0.189	0.755	0.157	0.193	0.278	0.154			
Pb	0.305	0.247	0.155	-0.205	0.250	-0.057	-0.150	-0.001	0.212	0.129	-0.207	0.343	-0.341	0.196		
Cr	<i>0.486</i>	0.393	0.437	-0.077	0.224	0.143	0.321	0.292	0.428	<i>0.507</i>	-0.218	0.362	0.404	<i>0.561</i>	0.341	
Ag	0.204	0.212	0.104	0.097	0.118	0.158	-0.075	0.068	0.242	0.167	-0.139	0.249	-0.222	0.300	<i>0.678</i>	0.103

6.4 CARACTERIZAÇÃO HIDROGEOQUÍMICA

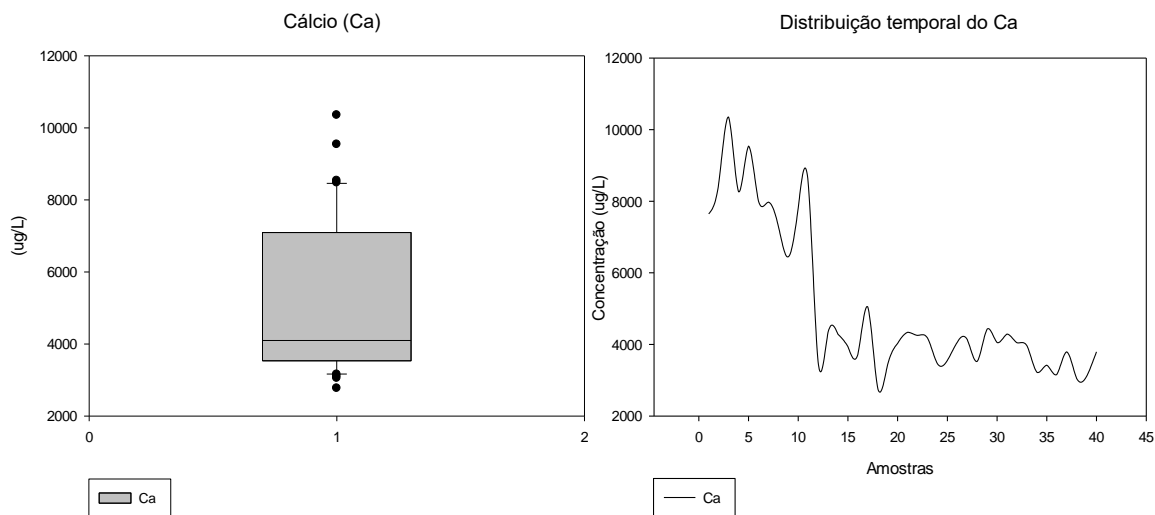
6.4.1 Metais Alcalinos

6.4.1.1 Cálcio (Ca)

O cálcio é um metal abundante, existente na maioria das rochas e ambientes aquáticos. Seus sais possuem uma solubilidade moderada a elevada dependendo de CO_2 e se precipita como carbonato de cálcio (CaCO_3), elemento pouco solúvel em meio aquoso. Ocorre principalmente nos minerais de calcita, aragonita e dolomita, em rochas calcárias, sendo o plagioclásio e a apatita as maiores fontes de cálcio nas rochas ígneas (FEITOSA et al., 2008).

No córrego de Captação os valores de cálcio variam de forma expressiva sazonalmente com concentrações entre 2.774,47 ug/L e 10.353,25 ug/L. A média foi 5.032,94 ug/L e ocorreu em concentrações acima do detectável pela ICP-MS durante todo período amostral, sendo o metal com maior abundância (Gráfico 7).

Gráfico 7 - Representação da concentração de Ca nas amostras e a variação sazonal.



Na litologia da bacia do Córrego de Captação, o Ca é encontrado nos minerais Anortita, Wallastonita, Titanita, Perovskita e Apatita. A maior concentração de CaO está nos Piroclastos Bebedourite no Complexo Trindade, seguido dos Xenólitos Bebedourite e em menores porcentagens nos Fonólitos, Fonólitos Foidite e Sannaite do Complexo Trindade e nos Fonólitos da Sequência Desejado (BONGIOLO et al., 2015).

De acordo com Sá (2010), os valores de Ca^{2+} são considerados elevados e muito elevados para todos os solos, considerando a classificação de solos de Minas Gerais, região continental. Os teores de cálcio são mais elevados em Cambissolos Háplicos por volta de 400m de altitude nos horizontes O1 (0-10 cm) e O2 (10-25 cm) e nos Organossolos no horizonte Oo1 (0-15 cm).

Nos Neossolos Litólico Eutrófico fragmentário, o Ca tem os maiores teores no horizonte RC (10-80+ cm). Já nos Neossolo Litólico Eutrófico típico ornitogênico, no horizonte A (0-10 cm) e mais próximos ao nível do mar onde existem aportes de areias carbonáticas e sedimentos bioclásticos (CLEMENTE et al., 2012; SÁ, 2010).

A variação sazonal dos teores de Ca nas águas do Córrego de Captação pode ser observada no gráfico de RDA seguindo o grupo Ca x Mg, onde apresentaram nas

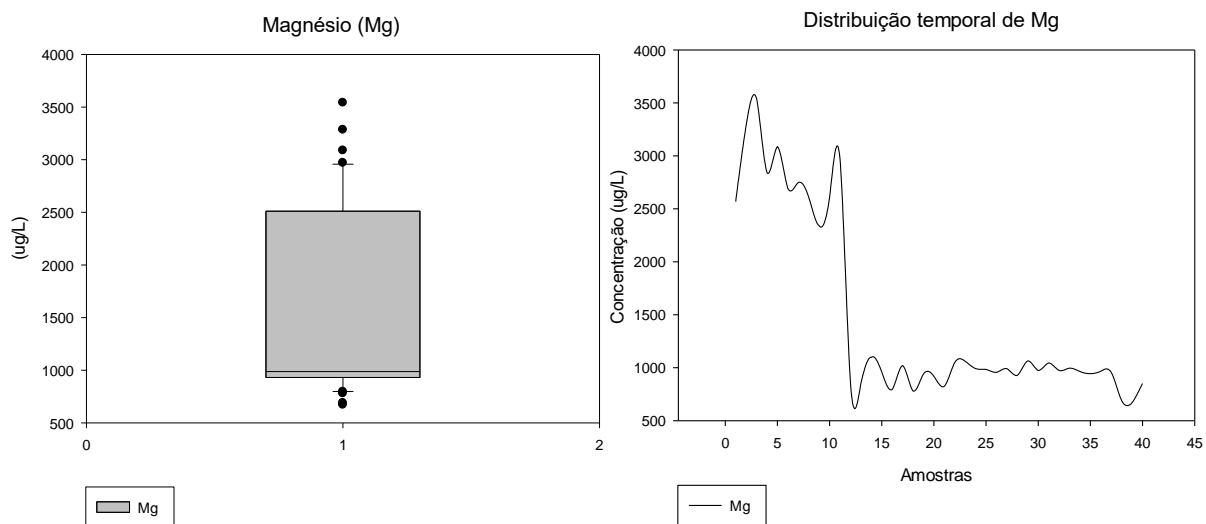
primeiras 10 amostras maiores concentrações e nas semanas subsequentes a diminuição dos teores. Essa variação deve estar relacionada as variações do volume de chuvas que incidem de forma diferente na ilha e promove variações das taxas de infiltração de água no solo e na rocha e também altera o volume de vazão.

6.4.1.2 Magnésio (Mg)

O magnésio apresenta propriedades e comportamentos geoquímicos similares ao cálcio, sendo mais solúvel e mais difícil de precipitar, em geral, ocorre na forma de bicarbonato principalmente em rochas carbonatadas, e tem como minerais fontes mais frequentes a magnesita, a biotita e a olivina (FEITOSA et al., 2008).

Os valores da concentração de magnésio no Córrego de Captação variaram entre 670,88 ug/L e 3541,23 ug/L (Gráfico 8). A média foi de 1459,89 ug/L e ocorreu em concentrações acima do detectável pela ICP-MS durante toda amostragem, sendo o segundo metal com maior abundância. Assim como o Ca, apresentou nas primeiras 10 amostras maiores concentrações e nas semanas subsequentes a diminuição dos teores.

Gráfico 8 - Representação da concentração média de Mg nas amostras de água e a variação sazonal no Córrego de Captação.



Na litologia da bacia do Córrego de Captação, o Mg é encontrado nos minerais Diopsídio e nas Olivinas principalmente. O Diopsídio é o mineral com maior percentual

na composição dos Piroclastos Bebedourite no Complexo Trindade e Xenólitos Bebedourite, sendo estas rochas as com maiores taxas de MgO. Em menores porcentagens o MgO está nos Fonólitos, Fonólitos Foidite e Sannaite do Complexo Trindade e nos Fonólitos da Sequência Desejado (BONGIOLO et al., 2015).

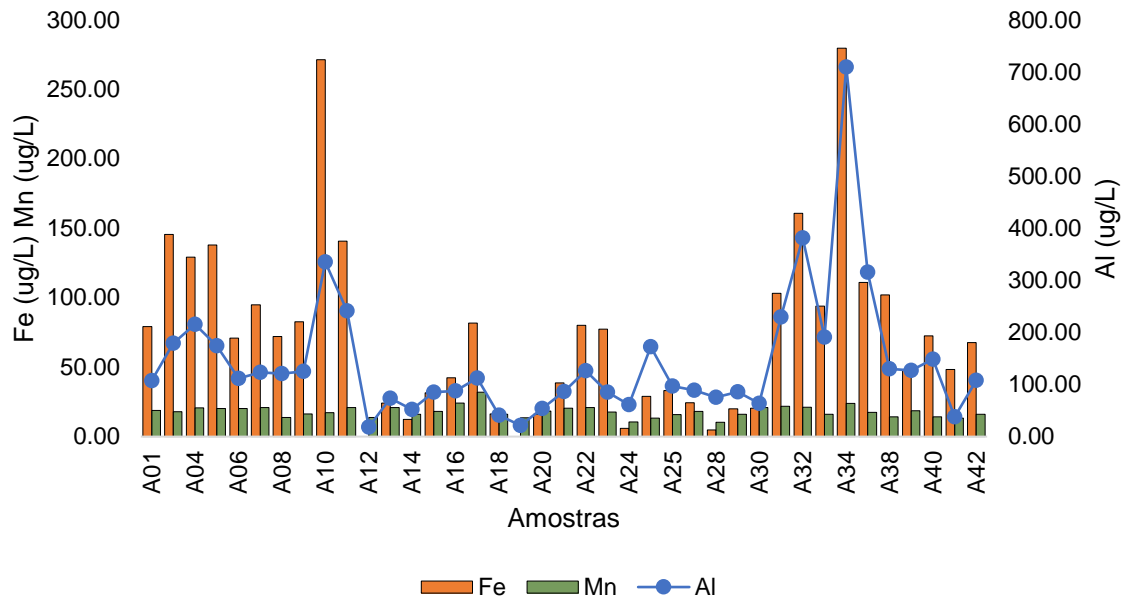
Dos solos que compõem a bacia do Córrego de Captação, o Mg está em maior concentração Neossolos Litólico Distrófico típico ornitogênico no horizonte A (0-10 cm) e nos Neossolo Litólico Eutrófico fragmentário nos horizontes A (0-10 cm) e RC (10-80+ cm). Em menor teor é encontrado nos horizontes superficiais, O1 e O2 dos Cambissolos e nos Organossolos no horizonte Oo1. Este magnésio está associado a minerais ferromagnesianos presentes nos materiais piroclásticos presentes nas partes mais baixas e menos intemperizadas (CLEMENTE et al., 2012; SÁ, 2010).

A variação sazonal dos teores de Mg nas águas do Córrego de Captação pode ser observada no gráfico de RDA seguindo o grupo Ca/Mg, onde apresentaram nas primeiras 10 amostras maiores concentrações e nas semanas subsequentes a diminuição dos teores. Essa variação, assim como o Ca, deve estar relacionada as variações do volume de chuvas que incidem de forma diferente na ilha e promove variações das taxas de infiltração de água no solo e na rocha e também altera o volume de vazão.

6.4.2 Formadores de óxidos

Os elementos Al, Fe e Mn representam óxidos/hidróxidos e são importantes para o entendimento da mobilidade, complexação e segregação de diversos elementos químicos presentes no ambiente (ALMEIDA, 2017). Os metais formadores de óxido estão representados na unidade ug/L (Gráfico 9).

Gráfico 9 - Variação das concentrações e sazonalidade do Fe, Mn e Al no Córrego de Captação.



6.4.2.1 Alumínio (Al)

Sendo o alumínio o terceiro elemento metálico mais abundante na crosta terrestre, principalmente como aluminossilicatos, não seria estranho ser encontrado na composição química das águas superficiais do Córrego de Captação. As águas naturais possuem baixos teores de Al, quando presente, acontece em sua maioria na forma de íon trivalente que é depositado nos sedimentos como hidróxido. O transporte do alumínio se dá em fluxos hidrossedimentológicos, interações solo-água e pelas influências geológicas e pedológicas (ALMEIDA, 2017).

No Córrego de Captação as concentrações de alumínio variaram de 18,19 µg/L a 709,486 µg/L. A média foi de 143,59 µg/L e esteve presente em concentrações acima do detectável pela ICP-MS em todo período amostral, sendo o quinto metal com maior abundância. O alumínio, diferente dos metais do grupo Ca x Mg, não apresentou valores elevados nas 10 primeiras amostragens, entretanto, junto com o Fe nas amostras A32 e A38, correspondente a sexta semana, apresentaram elevados teores.

Na litologia da bacia do Córrego de Captação, o Al é encontrado nos minerais Ortoclásio, Albita, Anortita e Nefelina, sendo estes os minerais com maior percentual

na composição dos Fonólitos, Fonólitos Foidite e Sannaite do Complexo Trindade e nos Fonólitos da Sequência Desejado. Das rochas que compõe a bacia, Al_2O_3 está em maior percentual nos Fonólitos da Sequência Desejado, seguido dos Fonólitos, Fonólitos Foidite e Sannaite, em menores percentuais nos Xenólitos Bebedourite e Piroclastos Bebedourite (BONGIOLO et al., 2015).

Nos solos, os maiores teores de Al foram encontrados nos Cambissolos Háplico Ta Distrófico léptico no horizonte C (45-60 cm). Nos Organossolo Háplico Fíbrico típico ornitogênico, possuem maior concentração no horizonte A (30-40 cm). Na composição dos Neossolos possuem pouco ou inexistentes teores. No Neossolo Litólico Eutrófico típico ornitogênico, por exemplo, possui $0 \text{ cmol}_c.\text{dm}^{-3}$ no horizonte A (0-10 cm) e apenas $0,29 \text{ cmol}_c.\text{dm}^{-3}$ no AC (10-30 cm) (SÁ, 2010).

Os solos sobre as rochas fonolíticas na unidade geológica Sequência Desejado, Organossolos e Cambissolos, apresentam maiores teores de Al em solução, isso se dá por serem as áreas mais altas da paisagem, clima mais úmido e o acúmulo de matéria orgânica em condições mais ácidas, permitindo maior lixiviação e remoção das bases do solo. Em seguida estão em solos ornitogênicos, que também apresentam altas atividades de Al^{3+} em solução (CLEMENTE et al., 2012; SÁ, 2010).

6.4.2.2 Ferro (Fe)

O comportamento químico do ferro e sua solubilidade em água dependem fortemente da intensidade de oxidação no sistema em que ele ocorre. Minerais de rocha ígnea, cujo teor de ferro é relativamente alto, incluem os piroxênios, os anfibólios, a biotita, magnetita e, especialmente, os nesosilicato (HEM 1985).

A presença de ferro nas amostras de água do Córrego de Captação não obteve concentração detectável pela ICP-MS em duas amostras, assim, a concentração máxima foi de $279,53 \text{ ug/L}$ e a média foi de $79,52 \text{ ug/L}$. Assim como o Al, o Fe apresentou maiores concentrações entre as amostras correspondentes a sexta semana, se diferenciando do grupo Ca x Mg.

O Fe está presente nos minerais Diopsídio, Olivina, Ilmenita e Magnetita. A maior concentração de FeO_t está nas rochas Piroclásticas Bebedourite do Complexo Trindade e os Xenólitos Bebedourite. Em menores porcentagens é encontrado nos Fonólitos, Fonólitos Foidite, Sannaite do Complexo Trindade e nos Fonólitos da Sequência (BONGIOLO et al., 2015).

O Fe é encontrado em concentrações elevadas para todas classes de solos da bacia. Os solos formados por tufos e lavas basálticas são mais ricos em minerais máficos e também são materiais mais facilmente intemperizadas, o que facilita a formação de maior quantidade de óxidos de Fe cristalinos (CLEMENTE et al., 2012).

As águas que contêm Fe caracterizam-se por apresentar cor elevada e turbidez baixa. Em períodos de maior precipitação, a concentração de Fe tende a aumentar devido ao carreamento de sedimentos oriundo da predominância dos processos de erosões física dos solos e das margens dos canais (ALMEIDA, 2017; ESTEVES, 1998).

6.4.2.3 Manganês (Mn)

O manganês, por sua facilidade em oxidação, ocorre na maioria das vezes sob a forma de óxido de manganês bivalente e origina precipitados de coloração preta. Na forma bivalente, está presente em diversos tipos de rochas ígneas e metamórficas, principalmente aquelas que contêm olivinas, piroxênio e anfibólio, podendo substituir elementos como o Fe, Mg e o Ca em estruturas silicáticas (HEM, 1985).

Além da forma bivalente, sua forma ionizada possui mais dois estados de valência (Mn^{3+} e Mn^{4+}) formando larga variedade de óxidos. O estado Mn^{+2} é o mais solúvel, o Mn^{3+} é o mais instável podendo oxidar ou reduzir de forma natural formando outros compostos, o Mn^{4+} é o estado menos solúvel (HEM, 1985; ROITZ; FLEGAL; BRULAND, 2002).

Segundo Feitosa et al. (2008) a concentração de Mn em águas naturais é de $0,2 \text{ mg.L}^{-1}$ em média, entretanto, a menor concentração de Mn encontrado no Córrego de Captação foi de $10,24 \text{ ug/L}$ e o maior foi $31,91 \text{ ug/L}$. A média geral de Mn foi de $17,95 \text{ ug/L}$,

ocorrendo concentrações acima do detectável pela ICP-MS durante todo o período amostral. O Mn apresentou maior afinidade com o grupo Fe x Al na análise dbRDA, entretanto, apresentou comportamento sazonal distinto do Fe e o Al, tendo as maiores concentrações na terceira semana de amostragem e um aumento na média na quinta semana.

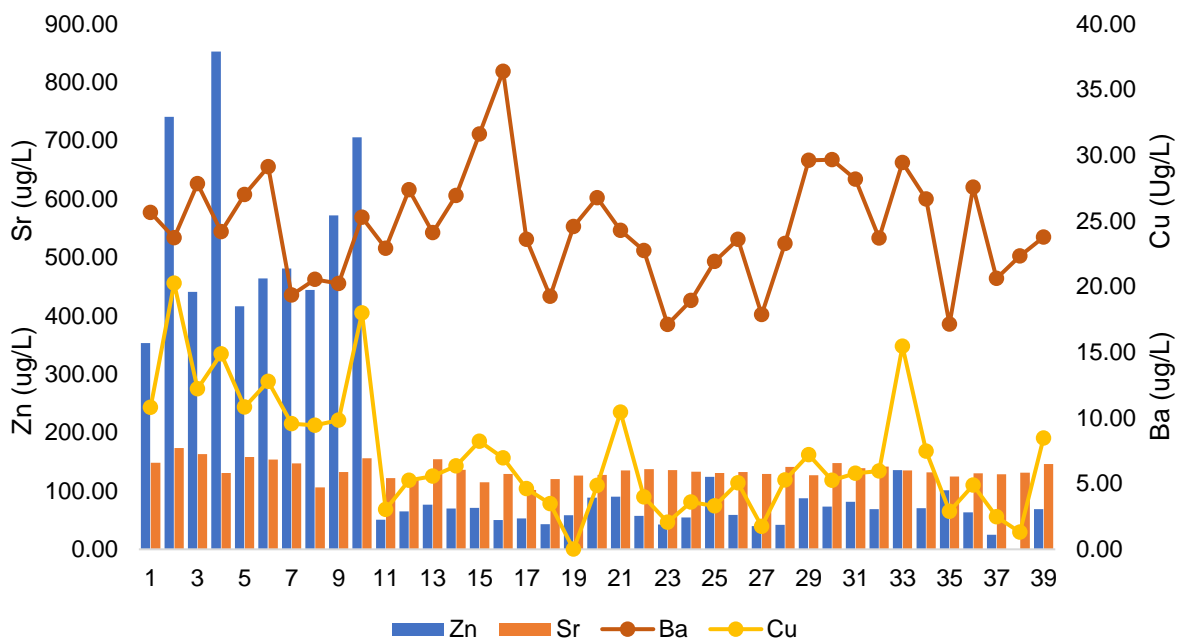
O manganês na litologia no Córrego de Captação deve ocorrer em minerais que apresentam Ca, Mg e Fe em suas composições, pois, este elemento pode os substituir em estruturas silicáticas. Apesar do baixo percentual de Mn na composição litológica da bacia é encontrado principalmente nos Piroclastos Bebedourite do Complexo Trindade e os Xenólitos Bebedourite (BONGIOLO et al., 2015).

Teores elevados de Mn estão presentes em solos originados de rochas basálticas, se comportam da mesma forma que os óxidos de Fe cristalinos com frações solúvel e trocáveis baixas em todos as classes. Durante o intemperismo, o Mn se dissolve principalmente na forma de bicarbonato $Mn(HCO_3)_2$. O Mn se dissolve nas águas que contêm CO_2 e sulfatos com mais facilidade que o Fe e os compostos manganosos são mais estáveis em solução que os ferrosos (CLEMENTE et al., 2012).

6.4.3 Elementos metálicos (> 2ug/L)

Este grupo é formado pelos elementos metálicos que apresentaram concentração média total maior que 2 ug/L. Os metais que compõem este grupo são: Zinco (Zn), estrôncio (Sr), Bário (Ba) e Cobre (Cu) (Gráfico 10).

Gráfico 10 - Concentração e variação sazonal do Zn, Sr, Ba e Cu no Córrego de Captação.



6.4.3.1 Zinco (Zn)

O Zn ocorre predominantemente na forma livre ou sob a forma de minerais, tais como: blenda ou esfalerita (ZnS), smithsonita ($ZnCO_3$) e zincita (ZnO). A principal ocorrência de zinco no mundo vem da mineralização de sulfetos de zinco e muitas vezes associados as mineralizações de chumbo, cádmio, cobre e ferro (SMITH et al., 1997).

Em águas superficiais, o Zn ocorre como cátion divalente Zn^{2+} formando hidretos iônicos, carbonatos e complexos orgânicos. A sorção para sedimentos em suspensão, incluindo ferro hidratado, óxidos de manganês, minerais argilosos e matéria orgânica, é o destino primário do zinco em ambientes aquáticos. A sorção do zinco aumenta conforme o aumento do pH e a diminuição da salinidade (KADLEC; SCOTT, 2009; SMITH et al., 1997).

A presença de zinco no Córrego de Captação não ocorreu em concentrações detectáveis pela ICP-MS em apenas uma amostra. A concentração máxima detectada foi de 852,41 ug/L e a média no período amostral foi de 194,21 ug/L. Como observado no gráfico de dbRDA, o Zn apresentou uma maior afinidade com o grupo Ca x Mg e teve

comportamento similar à estes metais, nas primeiras 10 amostras apresentou valores maiores que no período restante.

Na litologia da bacia do Córrego de Captação os maiores teores de Zn ocorrem nos Piroclastos do Complexo Trindade com 250 ppb e nos Xenólitos Bebedourite com 225,5 ppb. Ocorre nas outras rochas também, entretanto, com teores entre 145 e 110 ppb (BONGIOLO et al., 2015). As concentrações encontradas na litologia são baixas quando comparadas as encontradas no Córrego de Captação.

Nos solos da Ilha da Trindade, Clemente et al. (2012) descreveu que os teores de Zn são uniformes, entretanto, não apresentou os valores das concentrações. Nos perfis de rochas alcalinas, os teores de Zn ligados a fração matéria orgânica foram menores, mesmo com elevada quantidade de matéria orgânica (CLEMENTE et al., 2012).

Trabalhos como os de Liu et al. (2006) e Oliveira et al. (2009) apontam que quando encontrado altos teores de Zn em solos de ilhas oceânicas não correspondentes aos aportes absolutos dos produtos em decomposição das rochas, a provável fonte são os excrementos (guano) de aves que sobrevoam e nidificam nesta região.

Em concordância, Machado et al. (2017) também aponta que o guano depositado e as formações superficiais inconsolidadas (solos) interagem através de reações físico-químicas resultando em alterações mineralógicas e geoquímicas atuando na gênese dos solos ornitogênicos, como os que compõe a bacia do córrego de Captação. Desta forma, pode se observar uma possível relação entre a ocorrência de Zn nas águas superficiais de ilhas oceânicas vulcânicas com a presença de aves nidificando nos costões rochosos.

6.4.3.2 Estrôncio (Sr)

O estrôncio é um metal alcalino terroso com propriedades químicas semelhantes ao cálcio. É um elemento comum e em minerais de rochas ígneas pode substituir o cálcio e o potássio, embora aparentemente favoreça aquelas espécies típicas das rochas graníticas e sieníticas em vez de rochas ultra-básicas. O carbonato SrCO_3 (Estroncianita)

e o sulfato SrSO_4 (celestita) são comuns nas formações superficiais inconsolidadas (HEM, 1985).

A presença do Sr no Córrego de Captação ocorreu durante todo período amostral, sendo o quarto elemento com maior concentração está na frente do Al, Fe e Mn (elementos em maior abundância na crosta terrestre). A concentração máxima de Sr foi de 173,37 ug/L e a mínima 101,71 ug/L, a média foi de 135,33 ug/L.

As maiores concentrações de Sr ocorrem nas primeiras 10 amostras, assim como o Ca e Mg, grupo em que teve maior afinidade nos resultados de dbRDA, entretanto, não apresentou variação expressiva das concentrações nas amostras iniciais com as demais, como apresentado por esses elementos.

Na litologia das rochas que compõem a bacia desta pesquisa o Sr é encontrado em concentrações mais altas nos Fonólitos (2437,33 ppm) e Fonólito Foidite (2443 ppm) do Complexo Trindade e também nos Fonólitos da Sequência Desejado com 2009 ppm. Nos Piroclastos, Lamprófiros Sannaite do Complexo Trindade e Xenólitos Bebedourite tem concentrações entre 1435 ppm e 1245,25 ppm (BONGIOLO et al., 2015).

Nas classes de solos da bacia do Córrego de Captação, o estrôncio apresentou concentrações nos Neossolos em altitudes de 26m, 49m e 196m e em Cambissolos de 448m de altitude, em teores abaixo de 5000 mg/Kg (valores estimados em leitura gráfica) (CLEMENTE et al., 2012).

Como apontado por Liu et al. (2006) e Oliveira et al. (2009) o Sr é um metal que pode estar sendo aportado (em generosa contribuição) por aves que nidificam nas fendas e costões rochosos de ilhas oceânicas assim como o Zn, Cu, Cd, Pb, V e As. Esse aporte deve ocorrer aos cursos d'água das ilhas oceânicas vulcânicas provenientes dos processos de intemperismo físico e químicos que ocorrem nas bacias hidrográficas deste ambiente.

6.4.3.3 Bário (Ba)

O Ba é um elemento raro nas águas naturais, em teores que podem variar de 0,0007 a 0,9 mg.L⁻¹. Suas principais fontes naturais são provocadas pelo intemperismo e erosão de depósitos naturais, tendo sua forma mais comum a barita (BaSO₄) ou feldspatos ricos em Ba (HEM, 1985; SAVAZZI, 2008).

A forma sulfatada e carbonato de Ba não são solúveis em água, assim tendem a permanecer por mais tempo em meio aquoso. Entretanto, o Ba(NO₃)₂, BaCl₂ e o Ba(OH)₂ são solúveis em meio aquoso, desta forma, possuem menor tempo de durabilidade no ambiente e por isso são mais raros de serem encontrados em amostras de águas superficiais (HEM, 1985; SAVAZZI, 2008).

As concentrações de Ba ocorreram durante todo período amostral acima dos limites de detecção da ICP-MS no Córrego de Captação, sendo a maior concentração 36,39 ug/L, a menor 17,11 ug/L e a média 24,48 ug/L. O comportamento sazonal do Ba foi de maior afinidade com o grupo Fe e Al, entretanto, suas maiores concentrações ocorrem na terceira semana, comportamento similar ao apresentado pelo Mn que possui correlação classificada como de forte magnitude (> 0,7).

Na composição litológica da bacia o Ba acontece em maior concentração nos Fonólitos da Sequência Desejado com 1494 ppm, seguido dos Fonólitos Foidite com 1412 ppm e Lamprófiros Sannaite com 1173 ppm. Nos Xenólitos Bebedourite tem concentração de 1203,25 ppm e também ocorre em menores concentrações nos Fonólitos e Piroclástos do Complexo Trindade (BONGIOLO et al., 2015).

Nos solos, o trabalho que analisou Ba foi de Clemente et al., (2012), entretanto, os valores encontrados foram muito baixos e não representados graficamente. Logo, infere-se que o aporte de Ba deve ser proveniente das rochas e solos.

6.4.3.4 Cobre (Cu)

O cobre é um elemento essencial no metabolismo vegetal e animal e muito abundante na crosta terrestre. O grupo sulfetados ocorre em zonas mais profundas da crosta, já o grupo oxidados é de origem mais superficial. É encontrado associado a outros elementos químicos que formam diversos minerais, já que em seu estado puro é raramente identificado na natureza (RIBEIRO, 2001).

O Cu no Córrego de Captação ocorreu em concentração máxima de 20,24 ug/L, mínima de 1,31 ug/L e a média de 7,17 ug/L, estando presente em concentrações detectáveis pela ICP-MS durante todo o período amostral. O Cu não apresentou afinidade na análise dbRDA com os grupos Ca e Mg ou Fe e Al, entretanto, seu comportamento sazonal apresentou variações de acordo com os dois grupos, tendo nas primeiras duas semanas as maiores concentrações do período, como o grupo Ca e Mg, e na sexta semana também como as variações do grupo Fe e Al.

O cobre apresentou coeficientes de correlação classificado em forte magnitude com Ca, Zn e Ni, moderada magnitude com Mg, Al, Sr, Fe, Ba, Mn, As e Cd, já na classe fraca magnitude apresentou correlação apenas com Be.

A disponibilidade de Cu em ambientes fluviais está relacionada com fatores como a complexação com ligantes inorgânicos (CO_3^{2-} , OH^- , HS^-), orgânicos (ácido húmico), na forma dissolvida, como cátion bivalente (Cu^{2+}), adsorvido por óxidos metálicos, onde fatores como o pH e a presença de matéria orgânica particulada controlam as concentrações e interage com argilominerais, onde é co-precipitado (ALMEIDA, 2017; GUNDERSEN; STEINNES, 2003).

Na composição da litologia na bacia hidrográfica do Córrego de Captação o Cu é encontrado em baixas concentrações, sendo: nos Xenólitos Bebedourite média de 90 ppb, nos Piroclástos Bebedourite 60 ppb e as demais classes com concentrações abaixo de 30 ppb (BONGIOLO et al., 2015).

Na composição pedológica da bacia Clemente et al. (2012) destacou que teores de Cu foram altamente variáveis, mas em concentrações baixas quando comparados com Ca,

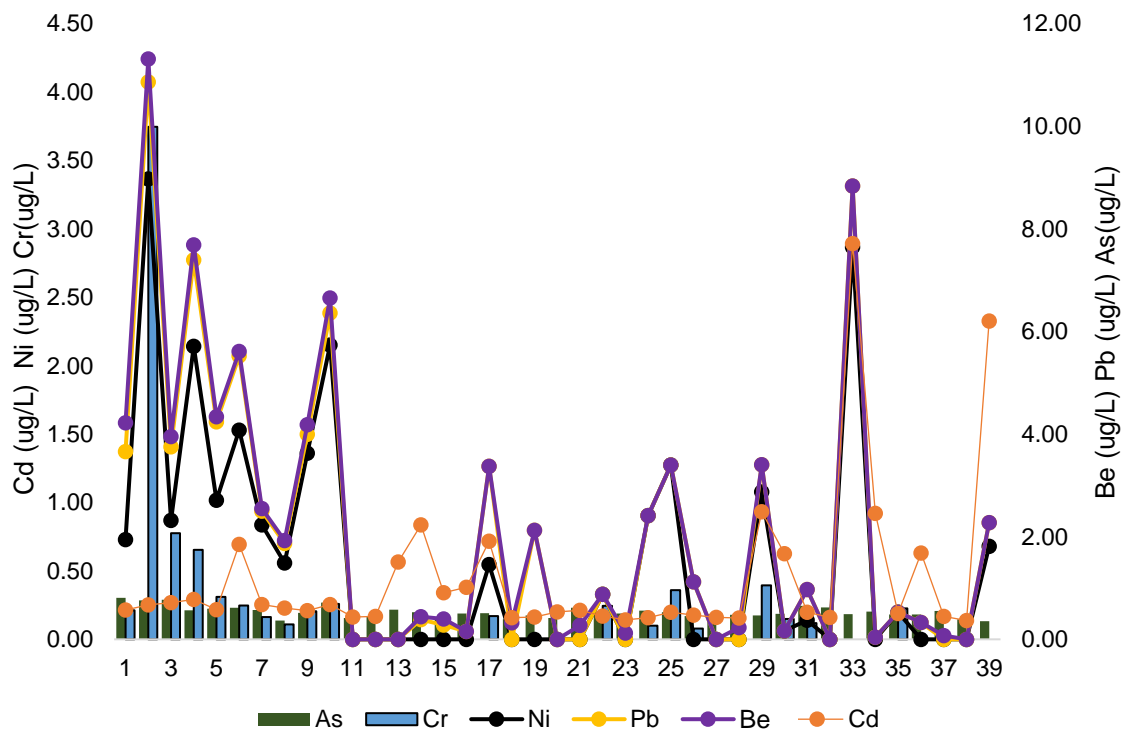
Mg, Fe e Al (observação gráfica). O Cu ligado a matéria orgânica tem maior concentração nos solos mais elevados, já o Cu total foi maior nos solos em cotas altimétricas mais baixas e solos mais jovens com menores teores nos solos derivados de rochas alcalinas (CLEMENTE et al., 2012).

O aporte de Cu as formações superficiais inconsolidadas pode estar diretamente relacionado as atividades de avifauna que nidificam nos costões rochosos que compõem a bacia, como destacou Liu et al. (2006) e Oliveira et al. (2009) e não apenas associados ao substrato geológico. Assim, deve-se compreender que o Cu encontrado nas águas do Córrego de Captação é também aportado pela atividade avifauna da bacia hidrográfica.

6.4.4 Elementos metálicos e semimetálicos (< 2ug/L)

Este grupo é formado por metais que continham concentrações média total menores que 2 ug/L durante o período amostral. É composto por Cd, Ni, Cr, Be, Pb e As (Gráfico 11).

Gráfico 11 - Distribuição das concentrações e as variações sazonais dos metais pesados As, Cr, Ni, Pb, Ag e Cd.



6.4.4.1 Cádmió (Cd)

O Cd em sua geoquímica está fortemente associado ao Zn, mas tem maior mobilidade que o Zn em ambientes mais ácidos. Os compostos Cd são conhecidos por serem isotípicos com compostos correspondentes de cátions como Zn^{2+} , Co^{2+} , Ni^{2+} , Fe^{2+} , Mg^{2+} , e, em alguns casos, de Ca^{2+} (KABATA-PENDIAS, 2000).

É removido das águas naturais pela precipitação e sorção em superfícies minerais, especialmente minerais oxidados e em valores de pH mais básicos. Possui relação direta com o pH, quanto mais básico, maior será a remoção. A sorção também está influenciada pela capacidade de troca catiônica de argilas e minerais carbonatados e matéria orgânica presente nas partículas (SMITH et al., 1997).

O valor máximo encontrado foi de 7,71 ug/L e o mínimo foi de 0,37 ug/L, enquanto a média foi de 1,17 ug/L e esteve presente em concentrações detectável pela ICP-MS durante todo o período amostral. Apresentou afinidade com o grupo Fe e Al, entretanto, não apresentou variações consideráveis na semana seis, tendo um comportamento uniforme durante a amostragem. Teve correlação de moderada magnitude com Zn, Ba, Mn e Cu.

Ainda não ocorreram publicações da ocorrência e concentrações de Cd para litologia de Trindade. Nos solos foi analisado por Clemente et al. (2012), entretanto, não foi representado em gráfico por apresentar teores baixos. Assim, carece de mais estudos para indicar as possíveis fontes deste elemento presente nas águas superficiais do Córrego de Captação.

6.4.4.2 Cromo (Cr)

O cromo é um dos elementos menos comuns e não ocorre naturalmente na forma elementar, apenas em compostos. A mobilidade do cromo depende das características de sorção do solo, incluindo o teor de argila, o teor de óxido de ferro e a quantidade de

matéria orgânica presente. O cromo pode ser transportado por escoamento superficial para águas superficiais em sua forma solúvel ou precipitada (SMITH et al., 1997).

O Cr ocorreu em concentrações detectável pela ICP-MS no Córrego de Captação durante 19 amostras do período analisado sendo a concentração máxima de 9,99 ug/L e a média foi de 0,58 ug/L. Apresentou afinidade com o grupo Ca e Mg e o comportamento sazonal com concentrações maiores nas primeiras 10 amostras.

Na litologia que compõe a bacia o Cr apresenta baixas concentrações, sendo: 20 ppb nos Lamprófiros Sannaite do Complexo Trindade e em concentrações menor que 20 ppb nas demais litologias (BONGIOLO et al., 2015).

Segundo Clemente et al. (2012) os teores trocáveis mais elevados de Cr foram obtidos em solos desenvolvidos de tufos que também revelou os maiores teores totais, denotando influência mantélica mais profunda (ultramáfica) nestes solo. Dos solos que compõem a bacia, os Neossolos em altitudes entre 90m e 200m e em Cambissolos a 478m possuem maiores teores quando comparado com as demais classes.

6.4.4.3 Níquel (Ni)

Existe uma semelhança geral entre as distribuições de Ni, Co e Fe na crosta terrestre. De acordo com a classificação dos elementos químicos em suas fases preferidas o Ni é siderófilo e se unirá ao Fe metálico sempre que possível. O Ni pode ser transportado em sedimentos precipitados com material orgânico e é facilmente mobilizado pelo intemperismo, depois co-precipitado principalmente com óxidos de Fe e Mn (KABATA-PENDIAS, 2000).

Entretanto, ao contrário do Mn^{2+} e do Fe^{2+} , o Ni^{2+} é relativamente estável em soluções aquosas, assim, sua alta mobilidade permite seu transporte e distribuição por diversos compartimentos da paisagem em processos químicos, físicos e biológicos (ALMEIDA, 2017; KABATA-PENDIAS, 2000).

A concentração máxima de Ni no Córrego de Captação foi de 3,36 ug/L e a média de 0,905 ug/L. Ocorreu em concentrações acima do detectável pela ICP-MS em 21 amostras. Na análise estatística o Ni apresentou maior afinidade com o grupo Ca e Mg, tendo o comportamento sazonal com maiores concentrações nas primeiras 10 amostras.

Na composição da litologia presente na bacia o Ni é encontrado em baixas concentrações, por exemplo: nos Piroclastos Bebedourite com média de 60 ppb, nos Xenólitos Bebedourite e Lamprófiros Sannaite com 30 ppb e as demais classes com concentrações abaixo de 20 ppb (BONGIOLO et al., 2015).

Como destacou Clemente et al. (2012), nas rochas alcalinas há pobreza generalizada de Ni ocorrendo às vezes em rochas básicas e em particular nas ultrabásicas formando minerais contendo Fe-Ni. Praticamente todo o Ni relacionado aos solos se encontra na fração total comprovando a existência de Ni apenas nas estruturas dos minerais (CLEMENTE et al., 2012).

Logo, o Ni encontrado nas águas do Córrego de Captação deve estar sendo aportado pelos processos de intemperismo nas rochas e solos que compõem a bacia e também por material orgânico.

6.4.4.4 Arsênio (As)

O arsênio é um elemento semimetálico que ocorre em uma grande variedade de minerais, principalmente como As_2O_3 e pode ser recuperado do processamento de minérios contendo principalmente cobre, chumbo, zinco, prata e ouro. Também está presente nas cinzas da combustão do carvão (SMITH et al., 1997).

É abundante na crosta terrestre e amplamente envolvido em processos bioquímicos. Pode assumir propriedades metálicas e não metálicas sendo transportado basicamente por meios aquosos em sua forma iônica pentavalente (As^{5+}) ou arsenita (As^{3+}) oxiânion (HEM, 1985).

A concentração máxima de As foi 0,81 ug/L, a mínima 0,35 ug/L e a média 0,508 ug/L. Foram aferidas concentrações de As acima do detectável pela ICP-MS durante todo o período amostral. Ainda não foram publicados trabalhos com as concentrações de As das rochas e solos na Ilha da Trindade. Apresentou coeficiente de correlação moderado com Ca, Mg, Zn, Al, Sr, Fe, Cu e V.

Conforme destacado por Liu et al. (2006) e Oliveira et al. (2009) em ilhas oceânicas, o enriquecimento de As na formação dos solos tem ligação direta com as atividades de avifauna na produção e depósito de guano. Como a bacia do Córrego de Captação possui estas características (forte presença de atividade avifauna) o aporte de As deve ocorrer pelo aporte de sedimentos ligados as atividades biológicas.

6.4.4.5 Chumbo (Pb)

O Pb no ambiente possui baixa mobilidade, densidade próxima a 11g/cm^3 e sua forma iônica mais comum é o Pb^{2+} , sendo o Pb^{4+} responsável por formar minerais altamente insolúveis. Como se espera da forte complexação do Pb^{2+} pela matéria orgânica, o chumbo bioacumula na camada superficial rica em húmus dos solos (MCBRIDE, 1994).

O Pb ocorreu em concentrações detectáveis no Córrego de Captação em 22 amostras tendo o valor de concentração máximo 0,80 ug/L e a concentração média 0,20 ug/L. Não apresentou correlações significativas com nenhum outro metal, entretanto, na análise dbRDA apresenta maior afinidade com o grupo Ca e Mg. Seu comportamento sazonal se difere dos demais metais deste grupo, apresentando oscilações durante todo período amostral.

Em meio natural com condições normais de temperatura e pressão é encontrado em estado indissolúvel. O mineral galena (PbS), principal fonte natural, é um sulfeto que ao se oxidar se transforma em sulfato de chumbo (sal instável), libera o Pb que reage com o carbonato do meio aquoso e pode ser incorporado aos óxidos de Fe, Mn, à argilominerais e até mesmo matéria orgânica (ALMEIDA, 2017).

Em águas superficiais, após a deposição e divisão do Pb entre os sedimentos e a fase aquosa sofre a influência do pH, dos sais dissolvidos e compostos orgânicos (como o ácido húmico), sendo estes últimos componentes os principais responsáveis pelo transporte e disponibilidade do elemento na água (PAOLIELLO; CHASIN, 2001).

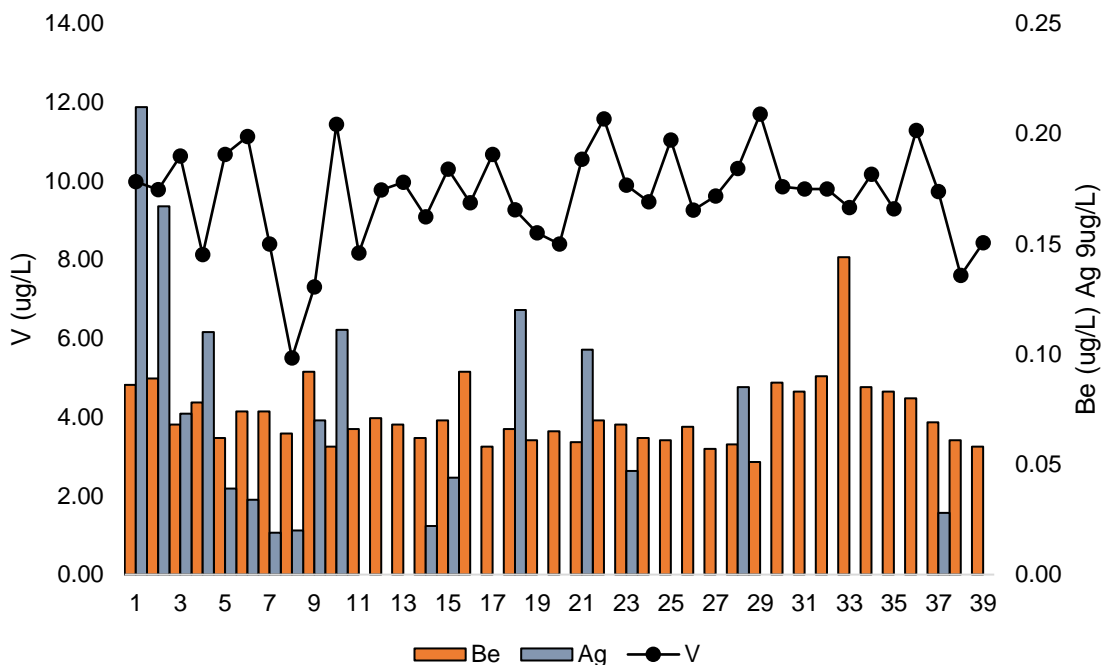
Em ilhas oceânicas, segundo Liu et al. (2006) e Oliveira et al. (2009) pela forte presença de aves, o aporte de chumbo às formações superficiais inconsolidadas deve estar diretamente relacionado as atividades de avifauna, logo, a ocorrência nas amostras de águas desta pesquisa pode estar ocorrendo pelo aporte biológico.

As baixas concentrações de Pb na litologia que compõe a bacia estão nos Fonólitos (14,5 ppb) e Fonólitos Foidite (12 ppb) do Complexo Trindade e Fonólitos (9 ppb) da Sequência Desejado, seguido dos Lamprófios Sannaite (9 ppb) e menores concentrações nas demais classes litológicas (BONGIOLO et al., 2015). Em relação aos solos, não possui publicações de análises que descrevam as concentrações de Pb na Ilha da Trindade.

6.4.5 Outros elementos metálicos

Este grupo é formado por metais diversos que apresentaram variações significativas durante o período amostral do Córrego de captação. Este grupo é composto pelos metais vanádio, berílio e prata (Gráfico 12).

Gráfico 12 - Concentrações e variações sazonais de V, Be e Ag no Córrego de Captação.



*Foi omitido o valor 0,67ug/L da amostra 25 de prata por questões gráficas, considerada *outlier*.

6.4.5.1 Vanádio (V)

O vanádio é um elemento químico relativamente abundante na crosta terrestre constituindo cerca de 0,01% e está envolvido em processos bioquímicos da matéria viva. No ambiente é caracterizado como um constituinte em diversos sistemas enzimáticos como em bactérias fixadoras de nitrogênio que reduzem o nitrogênio atmosférico em amônia (HEM, 1985; WHO, 2001).

Durante a amostragem deste trabalho, o V ocorreu em concentrações detectáveis durante em toda amostragem, sendo: em concentração máxima 11,70 Ug/L, mínima 5,50 ug/L e média 9,62 ug/L. Apresentou afinidade com o grupo Fe e Al, entretanto, seu comportamento sazonal apresenta uniformidade ao longo das semanas. Teve correlação moderada com os elementos Cr e As e na classificação fraca magnitude teve correlação com Sr.

O V é conhecido por formar vários complexos de óxidos catiônicos, aniônicos e óxidos hidroxílicos, portanto, exhibe diversos comportamentos em soluções aquosas.

Normalmente não forma seus próprios minerais, mas substitui outros metais (Fe, Ti e Al) em estruturas cristalinas. A associação de V com Mn e com o conteúdo de K do solo também já foi relatado, pois vanádio tende a ser associado à matéria orgânica, portanto, sua elevada concentração em xistos orgânicos e outros compostos orgânicos é comum (KABATA-PENDIAS, 2000).

Na litologia da bacia do Córrego de Captação o vanádio ocorre nos Piroclastos Bebedourite do Complexo Trindade em concentrações de 400 ppm, nos Xenólitos Bebedourite em concentrações de 368,75 ppm e em concentrações entre 176 ppm e 62,83 ppm nas demais classes litológicas (BONGIOLO et al., 2015). Para os solos não se tem valores de concentrações de V publicados. Assim, deve se assumir que o aporte de V nas águas do Córrego de Captação provém das rochas e formações superficiais inconsolidadas podendo ocorrer também o aporte biológico.

6.4.5.2 Berílio (Be)

Embora nominalmente incluído no grupo terra alcalina o elemento berílio tem pouco em sua química que está em comum com os metais alcalino-terrosos típicos. Os íons de berílio são pequenos o suficiente para substituir o silício em minerais de rocha ígnea. Um dos minerais mais importantes em que o berílio é um constituinte essencial é o berilo, um silicato de alumínio e berílio que é encontrado mais comumente em pegmatitos (HEM, 1985).

O Be ocorreu em concentrações acima do detectável pela ICP-MS durante todo período amostral no Córrego de Captação. Apresentou valor máximo de 0,14 ug/L, mínimo de 0,05 ug/L e médio de 0,07 ug/L. Na variação sazonal apresentou afinidade com o grupo Fe e Al, onde ocorreu em elevadas concentrações na sexta semana. Apresentou coeficiente de correlação de moderada magnitude com Al e Fe.

Embora amplamente distribuído ocorre em quantidades relativamente pequenas na litologia, compreendendo menos de 10 ppm dos principais tipos de rocha e está associado a micas e alguns minerais escuros. O Be ocorre na maioria das vezes como o

cátion divalente, mas seus íons complexos também são conhecidos como $(\text{BeO}_2)^{2-}$, $(\text{Be}_2\text{O}_3)^{2-}$, $(\text{BeO})^{6-}$ e $(\text{Be}_2\text{O})^{2-}$ (KABATA-PENDIAS, 2000).

Na litologia da bacia, o Be ocorre nos Fonólitos (7,5 ppm), Fonólitos Foidite (6 ppm) e nos Lamprófiros Sannaite (4 ppm) do Complexo Trindade. Nos Fonólitos da Sequência Desejado em concentração de 6 ppm e nos Xenólitos Bebedourite e Piroclastos do Complexo Trindade em concentrações entre 3 e 1 ppm (BONGIOLO et al., 2015). Para os solos não se tem valores das concentrações de Be publicados.

A presença nas águas superficiais do Córrego de Captação deve ser aportada pelos processos de intemperismos nas rochas e nas formações superficiais inconsolidadas que compõem a Ilha da Trindade.

6.4.5.3 Prata (Ag)

O íon de prata é um ácido "macio" apresentando uma afinidade extremamente alta para bases "macias", particularmente ligas contendo SH^- , tais como sulfidrilas e sulfeto. Na medida em que a matéria orgânica do solo contém grupos sulfidrílicos, a prata deve se associar fortemente com a fração orgânica dos solos (MCBRIDE, 1994).

A prata ocorreu em concentrações acima do detectável em 18 amostras desta pesquisa. A concentração máxima foi de 0,67 $\mu\text{g/L}$ e a média foi de 0,07 $\mu\text{g/L}$. Mesmo apresentando afinidade com o grupo Ca e Mg seu comportamento sazonal se diferiu dos elementos deste grupo.

Na litologia da bacia do Córrego de Captação ocorre em baixas concentrações nos Fonólitos Foidite (7,5 ppb) e Lamprófiros Sannaite (3,6 ppb) do Complexo Trindade, nos Fonólitos da Sequência Desejado (5,7 ppb), nos Xenólitos Bebedourite (4,43 ppb) e nos Piroclastos do Complexo Trindade (2,7 ppb) (BONGIOLO et al., 2015). Nos solos não tem publicações que indiquem a concentração deste metal na Ilha da Trindade.

6.5 FATORES CONDICIONANTES

Os resultados apresentaram a correlação de forte magnitude entre a condutividade elétrica (CE) e os Sólidos Totais Dissolvidos (STD) (Tabela 7). Como já é sabido, esta correlação ocorre quando íons eventualmente solubilizados em água funcionam como meios para a transferência da energia. A relação direta entre estes parâmetros é de quanto maior a carga de STD na água maior deverá ser a CE, como pode ser observado (Gráfico 5).

Tabela 7 - Representação dos coeficientes de correlação entre parâmetros físico-químicos e os metais. As células na cor cinza correspondem as correlações com $p < 0,05$. Os coeficientes em negrito representam a classificação forte magnitude de correlação e em itálico na cor azul correlação moderada.

	CE	STD	TB	Css	VENTOS	VAZÃO
STD	0.881					
TB	-0.127	-0.155				
Css	-0.297	-0.293	0.954			
VENTOS	0.435	0.316	-0.561	-0.557		
VAZÃO	-0.200	0.000	0.000	-0.316	-0.171	
Ca	0.650	0.849	-0.267	-0.364	0.108	0.095
Mg	0.700	0.882	-0.250	-0.321	0.247	0.714
Zn	0.400	0.336	0.317	0.312	0.205	-0.214
Al	-0.600	-0.588	0.500	0.277	0.251	0.524
Sr	0.400	0.336	0.317	0.312	0.205	0.905
Fe	-0.600	-0.588	0.500	0.277	0.251	0.524
Ba	0.400	0.336	0.317	0.312	0.205	-0.214
Mn	-0.600	-0.588	0.500	0.277	0.251	0.524
Cu	0.450	0.420	0.100	0.017	0.231	0.048
V	0.283	-0.277	0.167	0.243	-0.146	0.119
Be	-0.053	0.013	0.488	0.281	0.119	0.485
As	0.133	0.126	0.633	0.390	0.092	0.635
Cd	0.217	-0.143	0.050	0.087	0.038	-0.214
Ni	0.900	0.900	-0.600	-0.667	<i>0.541</i>	-1.000
Pb	0.464	0.883	-0.036	-0.257	0.055	0.500
Cr	0.657	0.319	-0.029	-0.177	0.230	-0.500
Ag	-1.000	-1.000	1.000	1.000	-0.165	-1.000

A turbidez (TB) apresenta forte correlação com a Concentração de Sedimentos em Suspensão (Css) sendo estes parâmetros indicadores de processos de intemperismo

físico na bacia, pois, os sedimentos sendo transportados pelo curso fluvial em altas concentrações dificultará a passagem de luz pela água, logo, aumentará o índice turbidez (UNT). A variação sazonal da TB e do C_{ss} apontados nesta pesquisa para o Córrego de Captação demonstram que nos períodos de maior incidência de chuvas ocorre a predominância de intemperismos físicos na bacia (Gráfico 5).

O Ca com o STD apresentam correlação de forte magnitude e esse nexos deve-se pelas altas concentrações de Ca nas amostras, sendo esse o elemento mais abundante nas águas do Córrego de Captação no período amostral. Observando que o Ca é um elemento presente em quase todas as classes de solos e em todas as litologias da bacia, este resultado representa uma forte ocorrência de processos de intemperismo químico do Ca nos solos e rocha, inclusive sugerindo um tempo de residência da água no subsolo (Tabela 8 Tabela 9), mas também aponta um possível aporte biológico deste elemento pelas atividades da avifauna e caranguejos terrestre.

O Mg apresentou correlações de forte magnitude com a CE, STD e a Vazão. Sendo esse o segundo elemento mais abundante na amostragem, mais solúvel que o Ca e com abundância nas composições dos solos e rochas, essas correlações devem-se aos processos de intemperismos físico-químico das rochas e solos da bacia.

O Sr apresenta forte correlação com a Vazão indicando possíveis processos de intemperismo físicos dos solos (por exemplo, Cambissolos em 448m altitude e Neossolos em 196m de altitude) e também das rochas da bacia, entretanto, este nexos aponta também o possível aporte orgânico das aves que presentes nos costões rochosos da Ilha da Trindade.

O Pb apresentou forte correlação com os STD indicando o transporte deste elemento na forma de solutos pelas águas do Córrego de Captação, sendo seu intemperismo químico potencializado por águas mais ácidas cabe maiores investigações de sua origem, podendo também sinalizar uma interação com as atividades da avifauna. O Ni apresentou o coeficiente de correlação de moderada magnitude com a direção dos ventos, no entanto, nesta pesquisa não se encontrou uma provável causa para essa correlação,

podendo indicar causalidade, cabe-se melhor investigação já que este elemento é comum na litologia de rochas ígneas.

Outro fator ambiental abordado nesta pesquisa foi a distribuição pluviométrica em um transecto leste/oeste na Ilha da Trindade. Em primeiro momento não se obteve correlação significativa das variações sazonais dos metais com os índices pluviométricos acumulados para o dia. Assim, foram feitos testes de correlação dos índices pluviométricos de diferentes dias anteriores as coletas das amostras de água com a concentração dos metais para a cabeceira de drenagem (Tabela 8) e a para o lado leste (Tabela 9).

Os elementos Ca e Mg apresentam correlações significativas com os índices pluviométricos de chuvas acumuladas entre 40 e 60 dias anteriores as coletas das amostras do lado leste e topo, sendo o maior coeficiente de correlação no dia 60 na cabeceira de drenagem. Para as chuvas do lado leste, os coeficientes são menores em relação ao topo, mantendo o maior valor para chuvas do dia 60 anterior a coleta. Estes resultados apontam que o aporte de Ca e Mg nas águas do Córrego de Captação devem ocorrer das rochas e solos de todas camadas, mas aponta um possível maior aporte de águas residuais do subsolo da Ilha da Trindade, já que esta amostragem ocorreu em período de menor incidência de chuvas.

O Zn tem maiores correlações com as chuvas do topo a partir de 35 dias anterior a coleta, tendo a máxima no dia 45. Já com as chuvas do lado leste, apresenta significativa correlação a partir do dia 15 anterior a coleta, tendo as maiores correlações do dia 40 até o dia 60, sendo esse dia a maior correlação. Os coeficientes de correlação do Zn se diferem das chuvas acumuladas do lado leste e do topo apontando diferentes aportes de acordo com a altitude.

O Al tem os maiores coeficientes de correlação com as chuvas acumuladas de 20 e 25 dias anterior a coleta da amostra de água. Entretanto, no lado leste a maior correlação ocorre com as chuvas de 10 e 15 dias anteriores a data da coleta. O Sr apresenta apenas fraca correlação com as chuvas acumuladas, sendo mais correlacionado com a vazão.

O Fe apresenta significativa correlação com as chuvas acumuladas de 20 e 45 dias anteriores a coleta, mas com pequena diminuição do coeficiente entre os dias 25 e 35. A maior correlação de Fe com as chuvas acontece com os índices pluviométricos acumulados de 40 dias anterior a coleta de água. No lado leste, o Fe apresenta maiores correlações com as chuvas a partir de 10 dias anterior a coleta de água até 60 dias, sendo a maior correlação no dia 10.

Tabela 8 - Correlação entre os metais e as chuvas acumuladas na cabeceira de drenagem do Córrego de Captação anteriores a coleta das amostras de água.

	Ca	Mg	Zn	Al	Sr	Fe	Ba	Mn	Cu	V	Be	As	Cd	Ni	Pb	Cr	Ag
60 dias	0.68	0.63	0.585	0.047	0.324	0.269	-0.069	0.103	0.551	3E-04	0.201	0.427	0.087	0.519	0.445	0.321	0.198
55 dias	0.58	0.51	0.547	0.107	0.215	0.364	0.105	0.222	0.608	-0.028	0.267	0.365	0.258	0.376	0.397	0.385	0.0421
50 dias	0.49	0.37	0.483	0.038	0.228	0.306	0.149	0.144	0.547	-0.107	0.247	0.261	0.321	0.444	0.327	0.399	-0.0115
45 dias	0.48	0.42	0.622	0.264	0.29	0.467	0.048	0.105	0.584	-0.131	0.353	0.289	0.281	0.303	0.00453	0.0944	-0.245
40 dias	0.41	0.43	0.607	0.407	0.346	0.615	0.071	0.107	0.613	-0.104	0.381	0.361	0.283	0.456	0.261	0.395	-0.122
35 dias	0.31	0.31	0.505	0.343	0.36	0.517	0.128	0.107	0.515	-0.012	0.432	0.332	0.287	0.373	0.27	0.425	-0.0158
30 dias	0.07	0.13	0.363	0.378	0.253	0.49	0.009	-0.04	0.362	-0.075	0.409	0.206	0.201	0.272	0.0498	0.225	-0.153
25 dias	-0	0.09	0.396	0.485	0.287	0.536	-0.009	-0.081	0.276	-0.104	0.381	0.285	0.158	0.129	-0.0881	0.273	-0.306
20 dias	-0	0.03	0.358	0.474	0.192	0.477	0.014	-0.021	0.247	-0.129	0.329	0.145	0.093	0.0995	0.039	0.178	-0.235
15 dias	-0.2	-0.06	0.125	0.383	0.185	0.325	0.203	0.098	0.143	0.021	0.453	0.106	0.183	-0.00455	-0.269	0.182	-0.454
10 dias	-0.2	-0.23	0.109	0.328	-0.11	0.313	-0.001	-0.027	-0.049	-0.185	0.213	-0.068	-0.099	-0.0782	-0.0691	0.0685	-0.268
5 dias	-0.2	-0.2	0.012	0.161	-0.02	0.034	0.138	0.04	-0.076	-0.037	0.16	0.097	-0.053	-0.0619	-0.0323	0.125	-0.445
4 dias	-0.2	-0.19	-0.11	0.088	-0.01	-0.01	0.131	0.032	-0.115	0.009	0.042	0.153	-0.158	-0.0457	0.145	0.178	-0.311
3 dias	-0.2	-0.2	0.041	0.078	-0.09	0.037	0.177	0.096	-0.099	-0.094	0.093	0.162	-0.005	-0.212	0.16	0.171	-0.341
2 dias	-0.2	-0.28	0.024	0.079	-0.22	0.001	0.284	0.203	-0.106	-0.135	0.118	0.014	0.056	-0.228	0.0514	0.0648	-0.383
1 dia	-0	-0.17	0.013	0.102	-0.13	0.113	0.245	0.219	-0.026	-0.2	0.145	0.04	-0.005	-0.00594	-0.012	0.296	0.00913

Tabela 9 - Correlação entre os metais e as chuvas acumuladas no lado leste (área de amostragem) do Córrego de Captação anteriores a coleta das amostras de água.

	Ca	Mg	Zn	Al	Sr	Fe	Ba	Mg	Cu	V	Be	As	Cd	Ni	Pb	Cr	Ag
60 dias	0.499	0.532	0.650	0.334	0.368	0.548	0.071	0.140	0.593	-0.071	0.422	0.478	0.193	0.312	0.200	0.387	-0.106
55 dias	0.471	0.461	0.643	0.309	0.213	0.531	0.124	0.200	0.641	-0.126	0.400	0.294	0.319	0.399	0.189	0.397	-0.176
50 dias	0.479	0.414	0.628	0.228	0.280	0.468	0.128	0.144	0.610	-0.098	0.329	0.299	0.343	0.498	0.222	0.474	-0.064
45 dias	0.441	0.432	0.635	0.274	0.188	0.466	0.080	0.163	0.582	-0.008	0.368	0.289	0.355	0.410	0.028	0.301	-0.033
40 dias	0.444	0.428	0.627	0.299	0.287	0.519	0.131	0.172	0.647	-0.144	0.325	0.287	0.333	0.433	0.133	0.374	-0.215
35 dias	0.377	0.370	0.539	0.254	0.245	0.468	0.033	0.063	0.521	-0.076	0.307	0.250	0.327	0.358	0.071	0.424	-0.089
30 dias	0.124	0.127	0.423	0.293	0.108	0.419	0.027	-0.027	0.330	-0.200	0.252	0.130	0.253	0.207	-0.080	0.286	-0.375
25 dias	0.040	0.147	0.463	0.456	0.187	0.547	0.039	-0.002	0.367	-0.126	0.382	0.222	0.310	0.157	-0.193	0.351	-0.338
20 dias	0.008	0.041	0.435	0.445	0.177	0.545	0.175	0.094	0.344	-0.132	0.385	0.163	0.290	0.131	-0.001	0.411	-0.224
15 dias	0.003	0.112	0.405	0.511	0.219	0.550	0.172	0.111	0.325	-0.066	0.464	0.179	0.266	0.124	-0.217	0.257	-0.491
10 dias	0.046	0.183	0.360	0.616	0.163	0.601	-0.019	0.021	0.252	-0.046	0.392	0.226	0.000	0.141	-0.134	0.170	-0.400
5 dias	-0.012	0.210	0.219	0.408	0.226	0.229	0.115	0.104	0.089	0.186	0.219	0.361	-0.038	-0.113	0.105	0.230	-0.210
4 dias	-0.013	0.143	0.142	0.341	0.169	0.208	0.213	0.212	0.061	0.236	0.120	0.266	-0.046	-0.048	0.155	0.388	-0.215
3 dias	0.063	0.151	0.307	0.363	0.139	0.305	0.279	0.309	0.140	0.149	0.112	0.295	0.062	-0.071	0.307	0.408	-0.139
2 dias	0.047	0.075	0.336	0.337	0.039	0.249	0.288	0.316	0.206	0.039	0.050	0.210	0.063	0.134	0.253	0.480	-0.032
1 dia	0.052	-0.013	0.308	0.321	-0.011	0.279	0.281	0.317	0.185	-0.033	0.042	0.198	0.054	0.180	0.227	0.470	0.204

Para o Cu as correlações com as chuvas do topo sendo mais relevantes a partir do dia 35 até 60 dias anteriores a coleta e maior correlação com as chuvas acumuladas de 40 dias. Em relação ao lado leste, o Cu apresenta comportamento similar ao topo tendo maiores correlações a partir do dia 35 e a maior correlação com as chuvas acumuladas de 40 dias anterior a coleta de água.

O Be apresenta significativas correlações com as chuvas acumuladas do topo entre 15 e 40 dias anterior as coletas de água no Córrego de Captação, no entanto, as correlações mais significativas estão nos dias 15 e 35. Com as chuvas do lado leste, o Cu apresenta maior correlação com as chuvas acumuladas de 15 dias anterior a coleta de água.

O As possui correlação maior com as chuvas de 60 dias anterior a coleta do topo e do lado leste. O Cd apresenta uma fraca correlação com as chuvas de 50 dias do topo e entre 35 e 50 dias com as chuvas acumuladas do lado leste. O Ni apresenta maior correlação com as chuvas do topo de 40, 50 e 60 dias anterior a coleta, no lado leste, com as chuvas de 40 e 50 dias.

O Pb apresentou maior correlação com as chuvas de 60 dias do topo, não apresentando correlação significativa com as chuvas do lado leste. O Cr não apresenta correlação com as chuvas do topo, no entanto, com as chuvas do lado leste apresenta correlações com as chuvas de 2 dias e 50 dias anterior as coletas. A Ag apresenta correlação com as chuvas de 10 dias anterior as coletas para o topo e para o lado leste.

Estas correlações das concentrações dos metais totais com as chuvas de dias anteriores as coletas indicam que a distribuição espacial e temporal dos eventos pluviométricos é um forte fator influenciador dos processos intempéricos na Ilha da Trindade. Com as chuvas constantes, quase diárias, influenciadas pelo fator orográfico nos pontos mais elevados, as ações de intemperismo químico nos solos e rochas tendem a ser permanentes.

No entanto, com o aumento na intensidade de eventos de chuvas e a saturação dos solos que compõem a bacia, ocorre a intensificação do intemperismo físico, majoritariamente nos solos, por serem compostos principalmente de materiais argilosos e estarem muitas vezes expostos (pouca ou sem cobertura vegetal) susceptíveis a desagregação por salpicamento (*efeito splash*) e posteriormente o transporte por fluxos laminares até o canal fluvial principal.

7. CONSIDERAÇÕES FINAIS

As investigações físico-químicas das águas fluviais do Córrego de Captação apontaram o predomínio das concentrações de Ca e Mg, seguidas de Zn, Sr, Al, Fe, Ba, Mn, Cu e V. Em menor concentração a presença de Be, As e Cd durante todo período amostral e, em algumas amostras, a presença de Ni, Pb, Cr e Ag.

Considerando as concentrações e a predominância do elemento Ca nas amostras do Córrego de Captação o aporte deste metal deve-se, além do intemperismo das rochas e solos, aos sedimentos inconsolidados formados a partir de eventuais cascas de ovos, excrementos da atividade de avifauna e dos exoesqueletos de caranguejos terrestres que infestam todas as partes da ilha. No caso do Mg, suas concentrações apontam para uma associação como os minerais das rochas e solos presentes na Ilha da Trindade

A presença do Al e Fe possivelmente está associado aos processos intempéricos das rochas e solos, já que são metais abundantes em todas as classes pedológicas e litológicas. O Sr está presente em algumas classes de solos e rochas, mas também aponta o possível aporte biológico da avifauna para composição geoquímica das águas superficiais da Ilha da Trindade.

Elementos como Cu, Mn, Ni, V e Zn são encontrados em maiores teores na fração ligada a matéria orgânica dos solos e reforçam essa interação das aves com as formações superficiais inconsolidadas, que associados aos volumes pluviométricos e de vazão, influenciam os parâmetros físico-químicos das águas superficiais da Ilha da Trindade. Os outros metais devem estar ligados principalmente ao aporte litológico e também resultante do excremento das aves que nidificam na região da bacia compondo a matéria orgânica dos solos.

Estes metais totais apresentaram variações de concentrações influenciados pelo volume de chuvas acumuladas anteriores a coleta, indicando o efeito do tempo de residência da água em subsuperfície. Essa indicação é corroborada com os

expressivos valores de STD, que assim como a CE, apresentam forte correlação inversamente proporcional ao volume de vazão.

A vazão não apresentou correlações diretas com as chuvas acumuladas, entretanto, se faz necessário uma melhor amostragem temporal deste parâmetro considerando as limitações morfológicas do curso fluvial para esta medição. A C_{ss}, por sua vez, apresenta correlação positiva com os índices pluviométricos e vazão, principalmente as chuvas no lado leste, área da bacia hidrográfica analisada, assim como a turbidez.

A distribuição de chuvas na Ilha da Trindade não é uniforme, ocorrem variações sazonais e espaciais durante o ano. Essa distribuição desigual de chuvas espacialmente deve-se à disposição morfológica das encostas e a orientação das vertentes, como apresentado em trabalhos anteriores, sendo influenciadas pelas massas de ar Antárticas e da linha equatorial que cadenciam as dinâmicas climáticas do Oceano Atlântico Sul.

A distribuição de chuvas ao longo do transecto longitudinal, apontadas nesta pesquisa, demonstra que o monitoramento apenas do lado leste a nível do mar não se faz eficiente na caracterização dos totais pluviométricos de ilhas oceânicas em clima tropical, tal como Ilha da Trindade. Neste sentido, recomenda-se a instalação na Ilha da Trindade de estações meteorológicas, além da presente na EMIT, no Pico do Desejado ou Fazendinha, Praia do EME, Platô Noroeste e próximo ao Vulcão do Paredão, para compreensão de sua expressão espacial da distribuição das chuvas.

Aos trabalhos que utilizam as dinâmicas ambientais (chuvas, ventos, umidade e temperatura) como parâmetro em ilhas oceânicas vulcânicas tropicais, tais como a Ilha da Trindade, recomenda-se considerar a variação dos índices pluviométricos desigual intra-ilha, pois, como demonstrado nesta pesquisa, existem variações expressivas entre os índices pluviométricos ao nível do mar com o topo, possivelmente, há variações dos parâmetros climáticos também.

7.1 SUGESTÃO PARA FUTURAS PESQUISAS

Para os trabalhos futuros e maior compreensão dos processos intempéricos ocorrentes em bacias hidrográficas em ilhas vulcânicas, tais como a Ilha da Trindade, são sugeridos que:

- O monitoramento de chuvas em distintos pontos da bacia, com amostragem de pelo menos um ano.
- O monitoramento da vazão mensal em período mínimo de um ano.
- A coleta de água para análises de metais totais em distribuição longitudinal na bacia, assim como a distribuição sazonal.
- Investigação das variações temporais e longitudinais, além das concentrações de fósforo, potássio e nitrogênio.
- Monitoramento dos valores de pH e ORP.
- A medição dos índices de precipitação pluvial, interceptação foliar e infiltração de água em diferentes pontos da bacia em conjunto com a medição da vazão.

REFERÊNCIAS

ALMEIDA, F. F. M. DE. **Monografia XVII Geologia e Petrologia da Ilha da Trindade**. Rio de Janeiro - RJ: Serviço Gráfico do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - IBGE, 1961.

ALMEIDA, F. F. M. DE. Ilhas oceânicas brasileiras e suas relações com a tectônica atlântica. **Terrae Didactica**, v. 2, n. 1, p. 3–18, 30 jun. 2006.

ALMEIDA, G. S. **Caracterização hidrogeoquímica da microbacia de drenagem do córrego do Bule, Ouro Branco, MG**. [s.l.] Universidade Federal Fluminense, 2017.

ALVES, E. DA C. et al. Zona de fratura de Vitoria-Trindade. **Revista Brasileira de Geofísica**, v. 24, n. 1, p. 117–127, 2006.

ALVES, R. V.; SILVA, N. G. **Três Séculos de História Natural na Ilha da Trindade com Comentários Sobre Sua Conservação**. [s.l.] Smashwords, 2016.

ALVES, R. J. V. **Ilha da Trindade & Arquipélago Martin Vaz: Um Ensaio Geobotânico**. Rio de Janeiro - RJ: Serviço de Documentação da Marinha, 1998. v. 24

ANGULO, R. J. et al. Quaternary sealevel changes and coastal evolution of the Island of Trindade, Brazil. **Journal of South American Earth Sciences**, v. 84, n. April, p. 208–222, 2018.

APHA, A. P. H. A. **Standard methods for examination of water and wastewater**. 20 ed ed. Denver: APHA, 2005.

AUGUSTIJN, D.; FARES, A.; TRAN, D. N. Temporal and Spatial Variations in Total Suspended and Dis-solved Solids in the Upper Part of Manoa Stream, Hawaii. **Journal of Sustainable Watershed Science and Management**, v. 1, n. 1, p. 1–9, 1 jan. 2011.

BARRETO, H. N. et al. Estudo das taxas de denudação química da Serra do Espinhaço Meridional (MG), com base na carga catiônica dissolvida. **Revista Geosciences**, v. 31, n. 4, p. 534–552, 2012.

BARRY, R. G.; CHORLEY, R. J. **Atmosfera, tempo e clima**. Porto Alegre: Bookman, 2013.

BONGIOLO, E. M. et al. Geochemical modeling and Nd–Sr data links nephelinite–phonolite successions and xenoliths of Trindade Island (South Atlantic Ocean, Brazil). **Journal of Volcanology and Geothermal Research**, v. 306, p. 58–73, nov. 2015.

BONI LICHT, O. A. **A geoquímica multielementar na gestão ambiental. Identificação e caracterização de províncias geoquímicas naturais, alterações antrópicas da paisagem, áreas favoráveis à prospecção mineral e regiões de risco para a saúde no estado do Paraná, Brasil.** [s.l.] Universidade Federal do Paraná, 2001.

CALLIARI, L. J. et al. Sandy Beaches of Brazilian Oceanic Islands. In: **Coastal Research Library.** Switzerland: Springer International Publishing, 2016. v. 17p. 543–571.

CAMPOS, Y. D. O. **Gestão Ambiental: Complexidade Sistêmica.** [s.l.] UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA, 2010.

CARVALHO, R. G. DE. As Bacias Hidrográficas Enquanto Unidades De Planejamento E Zoneamento Ambiental No Brasil. **Caderno Prudentino De Geografia**, v. 36, p. 26–43, 2014.

CARVALHO, I. G. **Fundamentos da geoquímica dos processos exógenos.** Salvador - BA: Bureau Grafica e Editora, 1995.

CASTRO, J. W. A. Ilhas oceânicas da Trindade e Fernando de Noronha, Brasil: Uma visão da Geologia Ambiental. **Revista da Gestão Costeira Integrada**, v. 10, n. 3, p. 303–319, 2010.

CAYLOR, K. K.; MANFREDA, S.; RODRIGUEZ-ITURBE, I. On the coupled geomorphological and ecohydrological organization of river basins. **Advances in Water Resources**, v. 28, n. 1, p. 69–86, jan. 2005.

CHESTER, R. **Marine geochemistry.** London: Unwin Hyman, 1990.

CHORLEY, R. J. **Geomorphology and General Systems Theory.** 500-B. ed. WASHINGTON: UNITED STATES GOVERNMENT PRINTING OFFICE, 1962.

CHRISTOFOLETTI, A. **Geomorfologia Fluvial.** 1ª ed. São Paulo: Editora Edgard Blucher Ltda, 1981.

CLEMENTE, E. D. E. P. **Ambientes terrestres da ilha da Trindade, Atlantico Sul: Caracterização do solo e do meio físico como subsídio para criação de uma unidade de conservação.** [s.l.] Universidade Federal de Viçosa, 2006.

CLEMENTE, E. D. P. et al. Fracionamento da Matéria Orgânica dos Solos da Ilha da Trindade. **Geography Department University of Sao Paulo**, v. 36, p. 48–62, 20 dez. 2018.

CLEMENTE, E. DE P. et al. Topossequência de solos na ilha da Trindade, Atlântico Sul. **Revista Brasileira de Ciencia do Solo**, v. 33, n. 5, p. 1357–1371, 2009.

CLEMENTE, E. DE P. et al. Geoquímica dos Solos da Ilha da Trindade, Atlântico Sul, Brasil. **Revista Geociências**, v. v. 31, n. n. 1, p. 57–67, 2012.

CLEMENTE, E. P.; SCHAEFER, C. E. R. G.; OLIVEIRA, F. S. Proposta de Zoneamento Ambiental para a Ilha da Trindade (ES). **Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento**, p. 24, 2011.

COELHO NETTO, A. L. Hidrologia de Encosta na Interface com a Geomorfologia. In: GUERRA, A. T.; CUNHA, S. B. (Eds.). . **Geomorfologia, uma atualização de bases e conceitos**. [s.l.] Bertrand Brasil, 1995. p. 93–144.

CORDANI, U. G. Idade do vulcanismo no Oceano Atlântico Sul. **Boletim IGA**, v. 1, p. 09–75, 1970.

CRUZ, J. V. et al. Chemical monitoring of river water bodies in an EU outermost region: Examples from the Azores archipelago (Portugal). **Journal of Environmental Monitoring**, v. 12, n. 12, p. 2216–2225, 2010.

CRUZ, J. V.; FREIRE, P.; COSTA, A. Mineral waters characterization in the Azores archipelago (Portugal). **Journal of Volcanology and Geothermal Research**, v. 190, n. 3–4, p. 353–364, fev. 2010.

DESMET, P. J. J.; GOVERS, G. A GIS procedure for automatically calculating the USLE LS factor on. **Journal of Soil and Water Conservation**, v. 51, n. 5, p. 427–433, 1996.

DREVER, J. . **The Geochemistry of Natural Waters: Surface and Groundwater Environments**. Englewood Cliffs: Pearson, 1997.

DUNE, T.; LEOPOLD, L. B. **Water: in environmental planning**. 1ª ed. United State of America: W. H. Freeman, 1978.

DURÃES, M. F.; DE MELLO, C. R.; BESKOW, S. Trends in the hydrometeorological regime on an island in the South Atlantic Ocean. **Revista Brasileira de Climatologia**, v. 18, n. 2013, p. 242–255, 15 jul. 2016.

ESTEVES, F. D. A. **Fundamentos de Limnologia**. 2a Ed. ed. Rio de Janeiro - RJ: Interface, 1998.

FEITOSA, F. A. C. et al. **Hidrogeologia: conceitos e aplicações**. 3 ed ed. Rio de Janeiro - RJ: CPRM : LAHID, 2008.

FELIPPE, M. F. **Gênese e dinâmica de nascentes: Contribuições a partir da investigação hidrogeomorfológica em região tropical**. [s.l.] Universidade Federal de Minas Gerais, 2013.

FERRIER, K. L. et al. Covariation of climate and long-term erosion rates across a steep rainfall gradient on the Hawaiian island of Kaua'i. **Bulletin of the Geological Society of America**, v. 125, n. 7–8, p. 1146–1163, 2013.

GOLDICH, S. S. A Study in Rock-Weathering. **The Journal of Geology**, v. 46, n. 1, p. 17–58, jan. 1938.

GUNDERSEN, P.; STEINNES, E. Influence of pH and TOC concentration on Cu, Zn, Cd, and Al speciation in rivers. **Water Research**, v. 37, n. 2, p. 307–318, jan. 2003.

HEM, J. D. **Study and interpretation of the chemical characteristics of natural water**. 3a Ed. ed. Alexandria, VA: U. S. Geological Survey, 1985. v. 1

JEFFERSON, A. et al. Coevolution of hydrology and topography on a basalt landscape in the Oregon Cascade Range, USA. **Earth Surface Processes and Landforms**, v. 35, n. 7, p. 803–816, 2010.

JEFFERSON, A. J. et al. Controls on the Hydrological and Topographic Evolution of Shield Volcanoes and Volcanic Ocean Islands. In: **The Galapagos: A Natural Laboratory for the Earth Sciences**. [s.l.: s.n.]. p. 185–213.

KABATA-PENDIAS, A. **Trace Elements in Soils and Plants**. [s.l.] CRC Press, 2000. v. 2

KADLEC, R. H.; SCOTT, W. **Treatment Wetlands**. 2 Ed. ed. Boca Raton, FL: Press, CRC, 2009. v. 1

KIRKBY, M.; BRACKEN, L.; REANEY, S. The influence of land use, soils and topography on the delivery of hillslope runoff to channels in SE Spain. **Earth Surface Processes and Landforms**, v. 27, n. 13, p. 1459–1473, dez. 2002.

KRAUSKOPF, K. B. **Introdução à geoquímica 1**. São Paulo: Polígono, 1972.

LEGENDRE, P.; GALLAGHER, E. D. Ecologically meaningful transformations for ordination of species data. **Oecologia**, v. 129, n. 2, p. 271–280, 1 out. 2001.

LEGENDRE, P.; LEGENDRE, L. **Numerical ecology. Developments in environmental modeling**. 3rd. ed. Amsterdam: Elsevier, 2012. v. 24

LEITE, A. F. **Hidrogeoquímica e intemperismo na bacia do Rio Bananal (SP/RJ)**. [s.l.] Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2006.

LE MOS, F. H. **Fluxos hidrossedimentológicos e de nutrientes no rio Duas Bocas, Cariacica - ES**. [s.l.] Universidade Federal do Espírito Santo, 2018.

LIU, X. D. et al. Geochemical evidence for the variation of historical seabird population on Dongdao Island of the South China Sea. **Journal of Paleolimnology**, v. 36, n. 3, p. 259–279, 4 out. 2006.

LOPES, J. C. Composições Mineralógicas Virtuais em Rochas Ígneas: Norma CIPW. **Universidade de Évora**, p. 30, 2012.

MACHADO, M. D. R. et al. Endemismo Pedológico e os Solos da Ilha da Trindade – Atlântico Sul, Brasil. **Geography Department University of Sao Paulo**, v. 11, n. spe, p. 238, 2017.

MAGALHÃES MARQUES, C. P.; MAGALHÃES JÚNIOR, A. P.; DE OLIVEIRA, F. S. Hidrogeomorfologia da Ilha da Trindade: a única rede hidrográfica permanente nas ilhas oceânicas brasileiras. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v. 20, n. 2, 31 mar. 2019.

MAIA, M.; CASTRO, J.; DE OLIVEIRA, C. Compartimentos Fisiográficos Da Cadeia De Montes Vulcânicos Submarinos Vitória -Trindade: Subsídio a Geodiversidade Marinha No Atlântico Sul. **Revista Brasileira de Cartografia**, v. 67, n. 6, p. 1167–1182, 2015.

MARQUES, C. P. M. **Hidrogeomorfologia da Ilha da Trindade: fatores físicos condicionantes da única rede hidrográfica permanente nas ilhas oceânicas brasileiras**. [s.l.] Universidade Federal de Minas Gerais, 2017.

MARQUES, L. S. et al. Petrology, geochemistry and Sr–Nd isotopes of the Trindade and Martin Vaz volcanic rocks (Southern Atlantic Ocean). **Journal of Volcanology and Geothermal Research**, v. 93, n. 3–4, p. 191–216, nov. 1999.

MARTÍNEZ-CARRERAS, N. et al. The use of sediment colour measured by diffuse reflectance spectrometry to determine sediment sources: Application to the Attert River catchment (Luxembourg). **Journal of Hydrology**, v. 382, n. 1–4, p. 49–63, 2010.

MCBRIDE, M. B. **Environmental chemistry of soils**. New York: Oxford University Press, 1994. v. 1

MCGREGOR, G. R.; NIEUWOLT, S. **Tropical climatology: an introduction to the climates of the low latitudes**. Chichester: John Wiley & Sons, 1998.

MELO, M. S. et al. Processos e produtos morfogenéticos continentais. In: SOUZA, C. R. G. et al. (Eds.). **Quaternário do Brasil**. 1. ed. Ribeirão Preto: Holos, 2005. p. 258–275.

MENARD, H. W. Insular Erosion, Isostasy, and Subsidence. **Science**, v. 220, n. 4600, p. 913–918, 1983.

MENDONÇA, F.; DANNI-OLIVERIA, I. M. **Climatologia: noções básicas e climas do Brasil**. São Paulo: Oficina de texto, 2007.

MENDONÇA, L. N. F. A Ilha da Trindade. In: **Boletim Geográfico** 224. 30 (224) ed. Rio de Janeiro - RJ: Instituto Brasileiro de Geografia - IBGE, 1971. p. 158.

MURPHY, R. C. The Bird life of Trinidad Islet. **Auk**, v. XXXII, p. 332–348, 1915.

NOGUEIRA, G.; EFFGEN, J. F.; MARCHIORO, E. Análise Morfométrica e Morfológica da Ilha da Trindade, Atlântico Sul, Brasil. **Sociedade & Natureza**, v. 32, p. 236–261, 13 abr. 2020.

NOGUEIRA, G. S.; EFFGEN, J. F.; MARCHIORO, E. **Descrição Do Relevo E a Relação Entre Morfologia E Morfometria Na Ilha Da Trindade, Brasil, a Partir De Geomorphons**. MEDIÇÃO, MODELAGEM, TÉCNICAS E TECNOLOGIAS NO CONTEXTO DA HIDROSEDIMENTOLOGIA. **Anais...Vitória - ES: XIII ENES - Encontro Nacional de Engenharia de Sedimentos e I PiA - Partículas nas Américas (Particles in the Americas)**, 2018Disponível em: <<http://anais.abrh.org.br/works/4105>>

NUNN, P. D. Small Islands and Geomorphology: Review and Prospect in the Context of Historical Geomorphology. **Transactions of the Institute of British Geographers**, v. 12, n. 2, p. 227, 1987.

OLIVEIRA, S. M. B. DE et al. Evidência geoquímica de solos formados pela interação de guanos com rochas vulcânicas, Ilha Rata, Fernando de Noronha (PE). **Geologia USP. Série Científica**, v. 9, n. 2, p. 03–12, 1 out. 2009.

PALHARES, J. C. P. et al. Medição da Vazão em Rios pelo Método do Flutuador. **Comunicado Técnico - EMBRAPA**, v. 455, p. 2–5, 2007.

PAOLIELLO, M. M. B.; CHASIN, A. A. M. **Ecotoxicologia do chumbo e seus compostos**. v. 03 ed. Salvador - BA: CRA, 2001.

PEDROSO, D.; PANISSET, J. DE S.; ABDO, L. B. B. Climatologia da Ilha da Trindade. In: **Protrindade Programa de pesquisa científica na ilha da Trindade 10 anos de pesquisa**. 1. ed. Brasília - DF: Secretaria da Comissão Interministerial para os Recursos do Mar., 2018. p. 200.

PINHEIRO, H. T. et al. Fish biodiversity of the Vitória-Trindade seamount chain, southwestern Atlantic: An updated database. **PLoS ONE**, v. 10, n. 3, p. 1–17, 2015.

PINHEIRO, H. T. **Diagnóstico Biológico e Sócio-Econômico para a proposta de criação de uma Área de Proteção Ambiental (APA) e um Monumento Natural Marinho (MONA) no**. Vitória: [s.n.]. Disponível em: <https://www.icmbio.gov.br/portal/images/stories/o-que-fazemos/consultas_publicas/estudos_criacao_ilha_trindade.pdf.pdf>.

PIRES, G. L. C. et al. New⁴⁰Ar/³⁹Ar ages and revised⁴⁰K/⁴⁰Ar* data from nephelinitic–phonolitic volcanic successions of the Trindade Island (South Atlantic Ocean). **Journal of Volcanology and Geothermal Research**, v. 327, p. 531–538, 2016.

PRADA, S. et al. Fog precipitation and rainfall interception in the natural forests of Madeira Island (Portugal). **Agricultural and Forest Meteorology**, v. 149, n. 6–7, p. 1179–1187, jun. 2009.

PRIZE, P. M. et al. **Principles of igneous and metamorphic petrology**. [s.l.: s.n.]. v. 47

PROBST, J. L.; AMIOTTE-SUCHET, P.; TARDY, Y. Global continental erosion and fluctuations of atmospheric CO₂ consumed during the last 100 years. In: KHARAKA, Y. K.; MAEST, A. S. (Eds.). . **Water-rock interaction**. Rotterdam: International Symposium on Water-Rock Interaction, 1992. p. 483–487.

PROVETE, D. B. **Estatística aplicada à ecologia usando o R**. 1. ed. São José do Rio Preto: Unesp, 2011.

PRYET, A. et al. Quantification of cloud water interception along the windward slope of Santa Cruz Island, Galapagos (Ecuador). **Agricultural and Forest Meteorology**, v. 161, p. 94–106, ago. 2012.

RANKAMA, K.; SAHAMA, T. G. **Geochemistry**. Chicago: The University of Chicago Press, 1950.

REZENDE, É. A. et al. A influência litológica nas taxas de denudação geoquímica do médio Espinhaço Meridional – MG. **Sociedade & Natureza**, v. 22, n. 3, p. 503–514, 2010.

RIBEIRO, J. A. S. **Balanço Mineral Brasileiro**. Brasília - DF: Departamento Nacional de Produção Mineral (DNPM), 2001.

ROGERSON, P. A. **Statistical Methods for Geographers**. 1. ed. London: SAGE Publications, 2001. v. 1

ROITZ, J. S.; FLEGAL, A. R.; BRULAND, K. W. The Biogeochemical Cycling of Manganese in San Francisco Bay: Temporal and Spatial Variations in Surface Water Concentrations. **Estuarine, Coastal and Shelf Science**, v. 54, n. 2, p. 227–239, fev. 2002.

ROSE, A. W.; HAWKES, H. E.; WEBB, J. S. **Geochemistry in mineral exploration**. 2ed. ed. New York: Academic Press, 1979.

SÁ, M. M. F. **Caracterização ambiental, classificação e mapeamento dos solos da Ilha da Trindade, Atlântico Sul - Brasil**. [s.l.] Universidade Federal de Viçosa, 2010.

SAHOO, G. B.; RAY, C.; DE CARLO, E. H. Use of neural network to predict flash flood and attendant water qualities of a mountainous stream on Oahu, Hawaii. **Journal of Hydrology**, v. 327, n. 3–4, p. 525–538, ago. 2006.

SANTOS, E. K. P. **Gênese e significado paleoambiental de beachrocks das ilhas oceânicas brasileiras da Trindade e Fernando de Noronha**. [s.l.] Universidade Federal do Paraná, Setor de Ciências da Terra, Programa de Pós-Graduação em Geologia, 2018.

SAVAZZI, E. A. **Determinação da presença de Bário, Chumbo e Crômio em amostras de água subterrânea coletadas no Aquífero Bauru**. [s.l.] Faculdade de Ciências Farmacêuticas de Ribeirão Preto/USP, 2008.

SHANLEY, J. B.; MCDOWELL, W. H.; STALLARD, R. F. Long-term patterns and short-term dynamics of stream solutes and suspended sediment in a rapidly weathering tropical watershed. **Water Resources Research**, v. 47, n. 7, p. 1–11, jul. 2011.

SILVA, N. G.; ALVES, R. J. V. Artigo de Opinião / Point of View Paper: The eradication of feral goats and its impact on plant biodiversity – a milestone in the history of Trindade Island, Brazil Abstract The recent signs of recovery of the native and endemic flora of Trindade Island. **Rodriuesia**, v. 62, n. 3, p. 717–719, 2011.

SILVEIRA, A. L. L. Ciclo Hidrológico e Bacia Hidrográfica. In: TUCCI, C. E. M. (Ed.). **Hidrologia: Ciência e Aplicação**. Porto Alegre - ES: Ed. Universidade/UFRGS: ABRH, 2001. p. 35–51.

SKOULIKIDIS, N. T.; KONDYLAKIS, J. C. Seasonal variations of biogeochemical processes affecting Greek rivers composition. **GEOCHEMICAL JOURNAL**, v. 31, n. 6, p. 357–371, 1997.

SMITH, L. A. et al. **Remediation of Metals-Contaminated Soils and Groundwater Gwrtac E Series Report**. New York: GWRTAC, 1997. Disponível em: <<https://clu.in.org/download/toolkit/metals.pdf>>.

STRAHLER, A. N. Dynamic Basis of Geomorphology. **Bulletin of the Geological Society of America**, v. 63, n. 11, p. 923–938, 1952.

SUMMERFIELD, M. A. **Global Geomorphology: An introduction to the study of landforms**. 1ª ed. London: Routledge, 1991. v. 53

TASSI, R.; COLLISCHONN, W. **Notas de aula de hidrologia**. Porto Alegre - RS: UFRGS, 2007.

TORRES, F. T. P.; MACHADO, P. J. O. **Introdução à climatologia**. São Paulo - SP: Cengage Learning, 2012.

TUCCI, C. E. M. **Hidrologia: Ciencia e Aplicação**. Porto Alegre - ES: Ed. Universidade/UFRGS : ABRH, 2001. v. 4

U. S. EPA. **Method 3015A (SW-846): Microwave Assisted Acid Digestion of Aqueous Samples and Extracts**. Disponível em: <<https://www.epa.gov/sites/production/files/2015-12/documents/3015a.pdf>>. Acesso em: 13 jul. 2020.

VISHER, F. N.; MINK, J. F. **Ground-water resources in southern Oahu, Hawaii** U.S. Geological Survey Water Supply Paper 1778. Washington, DC: [s.n.]. Disponível em: <<https://pubs.usgs.gov/wsp/1778/report.pdf>>.

WHO, W. H. O. **Vanadium pentoxide and other inorganic vanadium compounds**. Geneva: [s.n.]. Disponível em: <<https://www.who.int/ipcs/publications/cicad/en/cicad29.pdf>>.