

Universidade Federal de Minas Gerais  
Instituto de Geociências  
Programa de Pós-Graduação em Geografia

Cristiano Pena Magalhães Marques

**HIDROGEOMORFOLOGIA DA ILHA DA TRINDADE: FATORES  
FÍSICOS CONDICIONANTES DA ÚNICA REDE HIDROGRÁFICA  
PERMANENTE NAS ILHAS OCEÂNICAS BRASILEIRAS**

Dissertação de Mestrado: Geografia

Belo Horizonte  
2017

CRISTIANO PENA MAGALHÃES MARQUES

**HIDROGEOMORFOLOGIA DA ILHA DA TRINDADE: FATORES  
FÍSICOS CONDICIONANTES DA ÚNICA REDE HIDROGRÁFICA  
PERMANENTE NAS ILHAS OCEÂNICAS BRASILEIRAS**

Dissertação apresentada ao Programa de  
Pós-Graduação em Geografia da  
Universidade Federal de Minas Gerais,  
como requisito parcial à obtenção do título  
de Mestre em Geografia.

Área de concentração: Geografia e Análise  
Ambiental

Linha de pesquisa: Geomorfologia e  
Análise Ambiental

Orientador: Prof. Doutor Antônio Pereira  
Magalhães Júnior

Co-orientador: Prof. Doutor Fábio Soares  
de Oliveira

M357h Marques, Cristiano Pena Magalhães.

2017 Hidrogeomorfologia da Ilha da Trindade [manuscrito] : fatores físicos condicionantes da única rede hidrográfica permanente nas ilhas oceânicas brasileiras / Cristiano Pena Magalhães Marques. – 2017.

124 f., enc.: il. (principalmente color.)

Orientador: Antônio Pereira Magalhães Júnior.

Coorientador: Fábio Soares de Oliveira.

Dissertação (mestrado) – Universidade Federal de Minas Gerais, Departamento de Geografia, 2017.

Área de concentração: Análise Ambiental.

Bibliografia: f. 117-124.

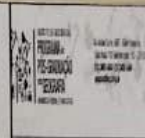
1. Geomorfologia – Teses. 2. Hidrologia – Teses. 3. Ilhas – Teses. 4. Geoprocessamento – Teses. I. Magalhães Júnior, Antônio Pereira. II. Oliveira, Fábio Soares de. III. Universidade Federal de Minas Gerais. Departamento de Geografia. IV. Título.

CDU: 551.48(815.2)



UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOGRAFIA



## FOLHA DE APROVAÇÃO

**HIDROGEOMORFOLOGIA DA ILHA DA TRINDADE: FATORES FÍSICOS  
CONDICIONANTES DA ÚNICA REDE HIDROGRÁFICA PERMANENTE NAS  
ILHAS OCEÂNICAS BRASILEIRAS**

**CRISTIANO PENA MAGALHÃES MARQUES**

Dissertação submetida à Banca Examinadora designada pelo Colegiado do Programa de Pós-Graduação em GEOGRAFIA, como requisito para obtenção do grau de Mestre em GEOGRAFIA, área de concentração ANÁLISE AMBIENTAL.

Aprovada em 26 de maio de 2017, pela banca constituída pelos membros:

Prof(a). Antonio Pereira Magalhães Junior - Orientador  
UFMG

Prof(a). Fabio Soares de Oliveira  
UFMG

Prof(a). Roberto Célio Valadão  
Universidade Federal de Minas Gerais / UFMG

Prof(a). Caroline Delpupo Souza  
Instituto Federal de Minas Gerais

Belo Horizonte, 20 de agosto de 2019.



Juliane Silva Vilela  
Aux. Adm.

Insc. UFMG 311375

À Fabio Domeniconi Cardinali de Melo  
(*in memoriam*).

## AGRADECIMENTOS

Primeiramente aos meus familiares, Virgínia, Alfredo, Alessandra e Bernardo, apoiadores desde sempre, por permitirem o meu ingresso em uma universidade pública de qualidade, etapa fundamental para a formação da pessoa que me tornei, e que representa o marco inicial disso tudo. À minha companheira e revisora, Luiza, também fundamental, com quem compartilho meus planos, visão de mundo, convicções, conquistas, angústias e obstáculos.

Aos grandes amigos, Roberto, Rafael, Renato, Luiz Felipe, Luiz Moreira e Pedro, que também representam peças fundamentais nessa caminhada.

Ao meu orientador Doutor Antônio Pereira Magalhães Júnior, que acompanha minha trajetória acadêmica desde 2011, quando ainda passava pelas etapas iniciais do curso de Graduação em Geografia da UFMG, e que considero, além de um exemplo de profissional, pesquisador e professor, um amigo. Certamente, a maneira como o processo de orientação foi conduzido ajudou a aliviar as pressões e a superar as dificuldades inerentes a um curso de pós-graduação *stricto sensu*, contornando com maestria os obstáculos impostos pela distância física, em decorrência de seu afastamento por ocasião do processo de pós-doutoramento.

Ao meu co-orientador Doutor Fábio Soares de Oliveira, por quem tenho grande admiração pelo ótimo profissional (pesquisador/professor) que é, o qual significou figura responsável por abrir as portas da ilha da Trindade para mim e que colaborou fortemente no processo de construção da pesquisa. Sobretudo diante do afastamento do Antônio, prestando apoio em todas as etapas do projeto, seja nas reuniões de orientação, possibilitando a realização das campanhas de campo, ou até mesmo viabilizando as análises laboratoriais, ao qual serei eternamente grato pelas oportunidades que me proporcionou.

Aos colegas e amigos da UFMG, sobretudo Bernardo Filizzola, Mariana Mauro e Carolina Silva, pelas revisões e apoio que sempre me deram. Ao Marcelo Leal, pela amizade formada em Trindade e parceria em campo e ao longo do mestrado como um todo. À Mariana Resende, companheira nas pesquisas de ilhas oceânicas, pelo apoio e confiança. Aos membros dos grupos de pesquisas Geomorfologia e Recursos Hídricos e TRADO, pelos ótimos encontros acadêmicos. Aos geólogos Ramon Patrício e Ana Carolina, e ao oceanógrafo Marcelo Müller, pela disponibilização fotos e dados.

À Marinha do Brasil, principalmente ao Comte. Costa Abrantes, pela gentileza e coerência na condução do PROTRINDADE e pelo apoio nas expedições. Aos militares que deram suporte em Trindade, sobretudo aqueles que nos acompanharam nas trilhas: Cb. Nery, Sgt. Marinho, Sgt. Arouca, Sgt. Reis e Sgt. Alberto. Aos oficiais e marinheiros da Corveta Caboclo e do NPpOC Amazonas, pelo apoio nas expedições.

À equipe do ICP UFMG, com destaque para seu coordenador, Adolf Horn, por facilitar a realização de análises de água, e ao apoio fundamental do Wallace e da Elizene.

Ao Laboratório de Geomorfologia da UFMG, na figura do técnico Fernando.

Ao CNPq pela concessão da bolsa.

## RESUMO

Conceitualmente consideradas como massas de terras de tamanho inferior aos continentes, circundadas de águas por todos os lados, cuja sustentação se encontra em assoalho oceânico, as ilhas oceânicas representam ambientes únicos no planeta, significando verdadeiros “laboratórios a céu aberto”. Nessa perspectiva, a ilha da Trindade, objeto de estudo do presente trabalho, representa o extremo leste do território brasileiro, assim como da Cadeia Vitória-Trindade (CVT), que corresponde a uma sequência linear de montes submarinos, de direção geral leste-oeste, localizada no Oceano Atlântico Sul. A natureza geológica e climática das ilhas vulcânicas, muitas delas com baixa pluviosidade anual e elevada pressão sobre os recursos hídricos, não favorece a ocorrência de elementos fluviais permanentes, já que a presença de drenagens superficiais perenes está associada a fatores climáticos, geológicos e geomorfológicos específicos. Contudo, Trindade apresenta nascentes e cursos d’água perenes, constatação essa que significou um dos principais elementos motivadores da realização do trabalho. Portanto, assumindo como hipótese que a configuração hidrogeomorfológica de Trindade é única no território brasileiro, a pesquisa apresenta como objetivo central caracterizar e compreender o quadro hidrogeomorfológico da rede hidrográfica de Trindade, identificando os regimes de escoamento superficial e os tipos de nascentes presentes nesse território. Como objetivos específicos, almeja-se: (i) investigar o papel das águas superficiais na configuração geomorfológica da Ilha, em termos de processos prioritários de erosão e sedimentação, e principais formas e formações superficiais resultantes; e (ii) investigar e compreender as características da componente hidrológica subsuperficial da drenagem da ilha, analisando os períodos de residência das águas no meio subterrâneo e seu papel geomorfológico. Nesse sentido, os resultados indicaram que o sistema fluvial de Trindade apresenta características típicas de zonas de produção de sedimentos, ou das denominadas bacias de cabeceira. Ademais, apontou-se a existência de áreas que exibem características distintas em relação ao comportamento da drenagem superficial, ou seja, foram identificados padrões, ou tipos de áreas de escoamento ao longo da ilha. Nessa perspectiva, foram identificadas 33 bacias hidrográficas em Trindade, além de uma infinidade de pequenas áreas de escoamento direto e 32 nascentes. Por sua vez, verificou-se que as águas das nascentes de Trindade provavelmente não representam águas extremamente recentes, que seriam resultado direto das chuvas de periodicidade quase diária que comumente ocorrem na ilha. Ou seja, isso significa que elas possivelmente permaneceram armazenadas nos sistemas de aquíferos da ilha, estando sua ocorrência mais fortemente relacionada à presença de materiais que permitem sua infiltração e estocagem, em detrimento de tais chuvas. Finalmente, destacou-se que a perda geoquímica promovida pelas nascentes de Trindade é bastante significativa, o que confirmou o papel geomorfológico exercido por esses elementos, demonstrando sua relevância como importantes veículos de desnudação geoquímica.

## ABSTRACT

Conceptually considered landmasses that are smaller than continents, surrounded by water on all sides and supported by the ocean's floor, the oceanic islands represent a unique environment on the planet, almost as outdoor labs. In this perspective, the Trindade Island, which is the studied object on the present work, represents the Far East of the Brazilian territory, as well as of the Vitória-Trindade Chain (CVT), that corresponds to a linear sequence of seamounts generally directed to the east-west and located in the South Atlantic Ocean. The geological and climatic nature of the volcanic islands, which have mostly low annual rainfall and high pressure on water resources, do not promote the occurrence of permanent fluvial elements, as the occurrence of superficial perennial drainage is associated to specific climatic, geological and geomorphological factors. However, Trindade has perennial springs and watercourses, which leads to one of the main elements that have driven the accomplishment of this work. Therefore, assuming the hypothesis that the hydro geomorphological configuration of Trindade is unique in Brazilian territory, the main objective of the research is to characterize and comprehend the hydro geomorphological framework of Trindade's hydrographic network, identifying the superficial drainage regimes and the types of springs in this territory. The specific goals are: (I) to investigate the role of the surface waters on the geomorphological configuration of the Island, in terms of priority processes of erosion and sedimentation, and its main resulting superficial forms and formations; and (ii) to investigate and comprehend the characteristics of the hydrological subsuperficial component of the drainage of the Island, analyzing the periods of the waters into the subterranean environment and their geomorphological role. In this sense, the results indicated that the Trindade's river system presents features that are typical from the sediment production zones, or from the called headwaters. In addition, the existence of areas that show different characteristics in relation to the superficial drainage behavior was pointed out, that is, patterns were identified, or types of drainage areas along the Island. From this perspective, 33 hydrographic basins were identified in Trindade, as well as a myriad of small direct drainage areas and 32 springs. In turn, it was found that the waters of the springs of Trindade are not extremely recent waters, and would be the direct result of the rain, which is common on almost daily basis in the Island. In other words, that means that they were possibly kept stored in the island's aquifer systems and their occurrence are strongly related to the presence of materials that support their infiltration and storage, to the detriment of such rain. Finally, it was pointed out that geochemical loss promoted by Trindade's springs is quite significant, which confirmed the geomorphological role played by these elements, demonstrating their relevance as important vehicles of geochemical denudation.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Seção esquemática da margem continental do tipo “Atlântica” e área oceânica adjacente.....	11
Figura 2 - Ilhas Oceânicas Brasileiras. ....	14
Figura 3 - Mapa de localização da Ilha da Trindade. ....	24
Figura 4 - Mapa batimétrico da Cadeia Vitória-Trindade, abrangendo desde a faixa litorânea continental até os arquipélagos de Trindade e Martin Vaz. ....	27
Figura 5 - Feições fisiográficas da margem continental brasileira e áreas oceânicas adjacentes. ....	28
Figura 6 - Modelo 3D em perspectiva e perfil batimétrico da ilha da Trindade (linha branca) – exagero vertical de 25 vezes.....	29
Figura 7 – Mapa de batimetria e gravimetria predita mostrando o traçado da zona de fratura de Vitória-Trindade.. ....	31
Figura 8 - Mapa geológico da Ilha da Trindade. ....	34
Figura 9 - Mapa geológico contendo as estruturas. ....	37
Figura 10 - Mapa hipsométrico de Trindade.. ....	40
Figura 11 – Mapa de declividade (%) da ilha.....	41
Figura 12 - Vista do Cânion do Córrego Vermelho, em seu trecho final, próximo à Praia do Príncipe, destacado com a seta vermelha, além de diversas outras incisões (a); Detalhe de uma ravina em avançado estágio de evolução, localizada na margem direita desse mesmo cânion (b).....	42
Figura 13 – Mapa da divisão da ilha em duas faces opostas. ....	43
Figura 14 - Mapa da Radiação Solar em Trindade no período de um ano. ....	45
Figura 15 - Aspecto mais declivoso da face ocidental (a) em comparação com as encostas mais suaves da face oriental (b).....	46
Figura 16 (a e b) - Floresta Nebular de samambaias gigantes ( <i>Cyathea delgadii</i> de Trindade). ....	46
Figura 17 - Aspecto do Monumento, na costa ocidental da ilha, observado do Planalto Axial (a); e do mar (b). ....	47

Figura 18 - Vista dos picos do Vigia, em primeiro plano, e Pão de Açúcar, em segundo plano (a); e detalhe do Pão de Açúcar (b), com destaque para os depósitos de tálus em suas bases, destacados com as setas vermelhas..	48
Figura 19 - Caráter geral da região da Crista do Galo, com seus cimos de aspecto serrilhado e detalhe para o Obelisco, feição indicada pela seta vermelha..	48
Figura 20 - Vulcão do Paredão..	49
Figura 21 - Diques tannbuschíticos na Praia do EME.....	50
Figura 22 - Pequenas dunas carbonáticas na Praia das Tartarugas.....	51
Figura 23 - Domínios Geomorfológicos de Trindade..	52
Figura 24 - Mapa de solos de Trindade..	55
Figura 25 - Diagrama climático de Trindade.....	58
Figura 26 – Tronco de <i>Colubrina glandulosa</i> Perk caído e em processo de decomposição....	59
Figura 27 - Rebanho de cabras no Planalto Ankaratrítico.....	59
Figura 28 - Escoamento pluvial concentrando carregando grande carga de sedimentos (a); e detalhe da água do mar colorida pelos sedimentos carregados da ilha (b).....	60
Figura 29 - Formações vegetais representativas em Trindade. ....	61
Figura 30 - a - Região do Morro Vermelho, em 1995, degrada pela ação animal; b - A mesma área em 2009, cinco anos após a erradicação dos rebanhos, colonizada principalmente por <i>Cyperus atlanticus</i> e <i>Bulbostylis nesiotis</i> ..	62
Figura 31 – Contexto da captura fluvial..	67
Figura 32 - Divisão dos componentes fluviais..	68
Figura 33 - Perfil esquemático ideal de uma cabeceira de drenagem e sua rede hidrográfica.	69
Figura 34 - Mapa da divisão hidrográfica da ilha.....	72
Figura 35 (a e b) - Canal que drena a bacia 10. ....	74
Figura 36 – Vista da bacia 24 (a) e parte do sistema de captação de água de Trindade (b). ....	75
Figura 37 - Mapa da distribuição espacial da Densidade de Drenagem por bacia hidrográfica. ....	77

Figura 38 - Espacialização das bacias hidrográficas circulares e alongadas, conforme o Índice de Circularidade.....	79
Figura 39 - Dimensão do vale do córrego Vermelho (as setas 1 e 2 indicam duas pessoas na margem esquerda do canal, servindo de escala, já a 3 está apontada para o fundo do vale), em segundo plano destacam-se o Pão de Açúcar (mais elevado) e o Vulcão do Paredão (a) ; Vista do fundo do vale, seco - a seta indica a sombra de uma pessoa, que exerce o papel de escala (b).....	82
Figura 40 (a e b) - Canal do Valado inteiramente seco e entulhado por sedimentos grosseiros. ....	83
Figura 41 – Materiais que entulham grande parte dos vales da ilha (canal principal da bacia 19, em seu trecho final). ....	84
Figura 42 (a e b) - Deposição de areia no canal principal da bacia 19. ....	84
Figura 43 - Mapa da distribuição espacial das nascentes na ilha. ....	86
Figura 44 - As três nascentes de maior vazão. ....	88
Figura 45 – Mapa da distribuição espacial das nascentes, separadas por Magnitude, segundo Meinzer (1927). ....	89
Figura 46 – Mapa da distribuição espacial das nascentes, separadas por morfologia. ....	92
Figura 47 – Mapa da distribuição espacial das nascentes, separadas por tipo de exfiltração. ....	94
Figura 48 - Síntese da morfologia e do tipo de exfiltração das nascentes. ....	96
Figura 49 - Espécies vegetais observadas nas áreas de exfiltração. ....	101
Figura 50 - Esquema de representação dos tempos de residência em um sistema aquífero...	103

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Classes de declividade, tipos de relevo e sua representatividade no território da ilha. ....	42
Tabela 2 - Bacias hidrográficas principais. ....	73
Tabela 3 - Bacias hidrográficas referentes ao padrão <i>i</i> . ....	73
Tabela 4 - Bacias hidrográficas referentes ao padrão <i>ii</i> . ....	74
Tabela 5 - Bacias hidrográficas referentes ao padrão <i>iii</i> . ....	76
Tabela 6 - Densidade de Drenagem das bacias hidrográficas. ....	78
Tabela 7- Cruzamento entre a Densidade de Drenagem e os padrões de escoamento. ....	78
Tabela 8 - Índice de Circularidade das bacias hidrográficas. ....	80
Tabela 9 - Cruzamento entre a forma das bacias (Ic) e seus padrões de escoamento. ....	81
Tabela 10 - Quantidade de nascentes por bacia hidrográfica/áreas de escoamento direto, separada por face da ilha. ....	85
Tabela 11 - Vazão das nascentes. ....	87
Tabela 12 - Proposta de classificação de nascentes - <i>springs</i> - segundo a vazão, de Meinzer (1927). ....	88
Tabela 13 - Magnitude das nascentes de Trindade, segundo Meinzer (1927). ....	88
Tabela 14 - Formações geológicas que sustentam as nascentes. ....	97
Tabela 15 - Cruzamento das unidades geológicas que sustentam as nascentes com a morfologia e o tipo de exfiltração. ....	98
Tabela 16 - Cruzamento das unidades geológicas que sustentam as nascentes e suas Magnitudes, segundo Meinzer (1927) . ....	99
Tabela 17- Cruzamento da magnitude das nascentes com a morfologia e os tipos de exfiltração. ....	100
Tabela 18 - Condutividade elétrica das nascentes. ....	108
Tabela 19 – Estatística descritiva da condutividade elétrica das nascentes, por unidade geológica. ....	108
Tabela 20 - Perda geoquímica das nascentes de Trindade. ....	111

## SUMÁRIO

1.	INTRODUÇÃO GERAL .....	10
1.1.	AS ILHAS OCEÂNICAS .....	10
1.2.	TRINDADE: A ÚNICA REDE HIDROGRÁFICA PERMANENTE NAS ILHAS OCEÂNICAS BRASILEIRAS .....	15
1.3.	OBJETIVOS .....	16
1.4.	PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS.....	17
1.4.1.	ETAPA DE CAMPO .....	17
1.4.2.	ETAPA DE GEOPROCESSAMENTO .....	19
1.4.3.	ETAPA LABORATORIAL (CONDUTIVIDADE ELÉTRICA E SÓLIDOS TOTAIS DISSOLVIDOS).....	22
2.	CARACTERIZAÇÃO DA ILHA DA TRINDADE.....	24
2.1.	INTRODUÇÃO .....	24
2.2.	CONTEXTO GEOLÓGICO E GEODINÂMICO .....	26
2.3.	CARACTERÍSTICAS GERAIS DOS VULCANISMOS DE ILHAS OCEÂNICAS .....	31
2.4.	GEOLOGIA DA ILHA DA TRINDADE .....	32
2.4.1.	LITOLOGIA.....	32
2.4.2.	ASPECTOS ESTRUTURAIS .....	36
2.5.	GEOMORFOLOGIA .....	38
2.6.	SOLOS.....	53
2.7.	ASPECTOS CLIMÁTICOS .....	56
2.8.	OCUPAÇÃO, IMPACTOS AMBIENTAIS E A ATUAL COBERTURA VEGETAL EM TRINDADE .....	58
3.	CONSIDERAÇÕES ACERCA DA ÚNICA REDE HIDROGRÁFICA PERMANENTE NAS ILHAS OCEÂNICAS BRASILEIRAS .....	63
3.1.	ESTADO DA ARTE DOS CONHECIMENTOS DA REDE HIDROGRÁFICA EM TRINDADE .....	63
3.2.	QUADRO GERAL.....	65
3.2.1.	DIVISÃO HIDROGRÁFICA.....	70
3.2.2.	AS NASCENTES .....	85
4.	A ORIGEM DA ÁGUA DAS NASCENTES DE TRINDADE E SEU TRABALHO GEOMORFOLÓGICO .....	102
4.1.	CONDUTIVIDADE ELÉTRICA .....	106
4.2.	SÓLIDOS TOTAIS DISSOLVIDOS.....	109
5.	CONSIDERAÇÕES FINAIS .....	112
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	117

## **1. INTRODUÇÃO GERAL**

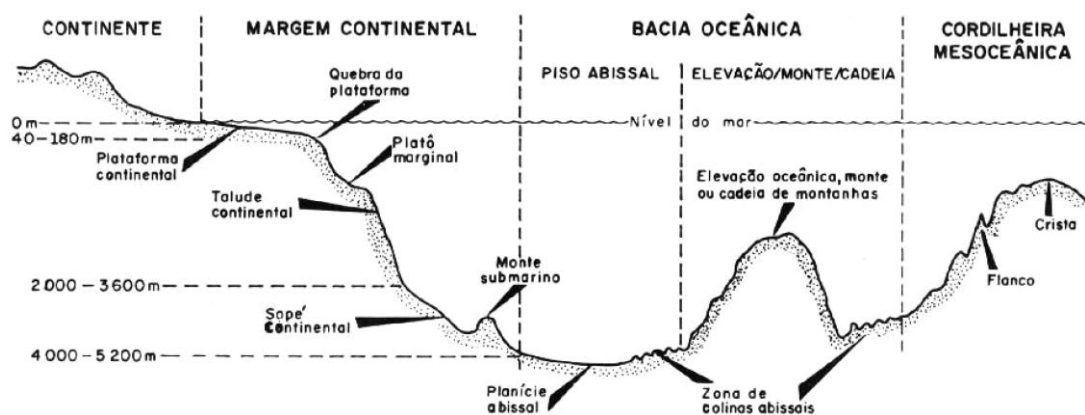
### **1.1. AS ILHAS OCEÂNICAS**

Figurando como ambientes únicos no planeta, as ilhas têm despertado, cada vez mais, o interesse da comunidade científica. Assim, se em um primeiro momento esses territórios foram alvos de expedições de caráter especialmente exploratório, cujo objetivo central era o reconhecimento e conquista de novas áreas, atualmente as ilhas representam importantes áreas de estudos da biodiversidade e da manutenção de uma infinidade de ecossistemas (OLIVEIRA, 2008).

Servindo de abrigo, ponto de descanso e renovação de forças e suprimentos, sobretudo desde a época da expansão marítima, muitas delas são como “oásis” na vastidão oceânica. Consideradas como complexos geográficos de extrema polivalência, as ilhas despontaram no mundo moderno como primeiro alerta do caráter finito da natureza e dos bens que ela oferece às sociedades humanas. Os desafios de sobreviver em um navio já eram muito bem conhecidos pelos navegantes, com reservas limitadas de água e comida, em condições limítrofes para a manutenção da vida e da saúde, e muito rapidamente puderam identificar as mesmas condições no ambiente insular (DUARTE; HORTA, 2012).

Ao longo de centenas de anos, agentes coloniais europeus ligados ao conhecimento científico presenciaram as consequências da exploração voraz a que foram submetidas as ilhas, envolvendo não só a destruição da flora e fauna, mas também o dessecamento dos cursos de água e a intensificação de processos erosivos e de movimentos de massa (DUARTE; HORTA, 2012).

Conceitualmente, as ilhas são consideradas massas de terras de tamanho inferior aos continentes, circundadas de águas doces ou salgadas por todos os lados, podendo ser classificadas como continentais ou oceânicas (OLIVEIRA, 2008). Nesse sentido, para entender essa diferenciação, Heezen et al. (1959) indicam, de maneira didática, que a divisão morfológica de primeira grandeza da crosta terrestre é feita em continentes e oceanos, ou seja, esses significam seus compartimentos principais que, por sua vez, podem ser fragmentados em unidades de menor grandeza. Portanto, com foco voltado para o oceano, esses autores propõem a compartimentação do assoalho oceânico em três unidades morfológicas principais, são elas as margens continentais, as bacias oceânicas e as cordilheiras mesoceânicas (Figura 1).



**Figura 1** - Seção esquemática da margem continental do tipo “Atlântica” e área oceânica adjacente. Fonte: Chaves (1983, p. 13). Extraído de Maia (2013). Nota: Perfil esquemático, sem relação de escala.

Nessa perspectiva, as margens continentais significam uma unidade de transição entre os continentes e o assoalho oceânico e, portanto, incluem subunidades de ambos. Do ponto de vista geológico, elas são consideradas como uma extensão dos continentes, porém, situadas abaixo do nível do mar, podendo ser classificadas como do tipo “Atlântico” e “Pacífico”. Nas margens do primeiro tipo, como é o caso da margem continental brasileira, ela pode ser subdividida segundo os critérios propostos por Heezen et al. (1959): plataforma continental, talude continental (unidade que geralmente marca o limite aproximado entre as crostas continentais e as oceânicas), e sopé ou elevação continental (Figura 1).

As bacias oceânicas, por sua vez, são formadas em regiões localizadas entre as margens continentais e os flancos das cordilheiras meso-oceânicas. Nessas unidades são observadas grandes áreas de sedimentação, de topografia mais aplainada, denominadas de planícies abissais, além de áreas de relevo mais acidentado. Nesse caso, essas feições de relevo mais movimentado podem se encontrar abaixo do nível do mar, como é o caso das colinas abissais, dos picos e das cadeias de montes submarinos (*guyots*), ou acima dele, como é o caso das ilhas, conjunto de ilhas e arquipélagos, feições essas formadas pelo soerguimento do substrato oceânico, causado principalmente por falhamentos e atividades magmáticas.

Assim, as *ilhas continentais* estão associadas às margens continentais, ou seja, às faixas litorâneas continentais, e estão localizadas, sobretudo, entre a plataforma e o talude continental, apresentando os mesmos aspectos geológicos e estruturais dos continentes. Por sua vez, as *ilhas oceânicas* são aquelas cuja sustentação se encontra em assoalho oceânico, ou seja, inseridas em contextos de bacias oceânicas e, conseqüentemente, fora dos limites das

margens continentais, podendo ser formadas por processos vulcânicos, tectônicos e biológicos (OLIVEIRA, 2008; ALMEIDA, 2006).

A morfogênese de uma ilha ou o conjunto delas pode estar associada a processos bastante diversificados, sendo seus resultados perceptíveis no mosaico de ambientes litoestruturais que as constituem. A teoria mais aceita sobre a formação das ilhas vulcânicas está baseada na ação de *hotspots*, ou seja, erupções vulcânicas seriam geradas em determinada localidade no assoalho oceânico (*hotspot*), onde o magma proveniente do manto terrestre ascenderia, formando as ilhas. Esse ponto seria móvel, diante da ação das forças convectivas do manto e do movimento das placas tectônicas, podendo gerar, portanto, ilhas, arquipélagos, ou *guyots* (SANTAMARTA CEREZAL et al., 2014; OLIVEIRA, 2008).

Destaca-se que o isolamento geográfico significa um dos elementos de maior relevância no âmbito das pesquisas científicas em ilhas oceânicas, tendo em vista que a acessibilidade e as conexões com outros territórios dificultam, e até privam sua biota de estabelecer relações ecológicas com outros ambientes (MACHADO, 2016; WALTER, 2004). Por representarem massas terrestres com extensões inferiores às continentais, as relações ecológicas tornam-se menos complexas e mais facilmente identificadas, em relação aos continentes. Isso ocorre porque a relação espécie-área, uma das premissas básicas da ecologia, atua no sentido da menor diversificação das espécies em uma relação proporcional à área. Isto é, quanto menor a área, menor será o número de espécies vegetais e faunísticas colonizadoras (MACHADO, 2016; GOTELLI, 2009). Associado às condições específicas de formação geológica e evolução biológica, esses fatores são responsáveis pela indução de um conjunto de fatores bióticos e abióticos bastante particulares, tais como alto grau de endemismo e participação ativa na reprodução e alimentação de diversos organismos marinhos e terrestres, como as aves migratórias (OLIVEIRA, 2008).

Embora os ecossistemas insulares, principalmente àqueles isolados de qualquer massa continental por largas distâncias, possuam limites geográficos definidos, podendo ser considerados sistemas autônomos, é possível indicar que há uma nítida interface entre os ambientes terrestres das ilhas e as áreas marinhas adjacentes, ocorrendo uma relação de interdependência e conectividade entre ambos. A ciclagem de nutrientes, por exemplo, tem papel fundamental nos ciclos biogeoquímicos, a partir dos quais nutrientes minerais são transformados, transportados e disponibilizados aos organismos, possibilitando o desenvolvimento da biodiversidade, tanto terrestre quanto marinha (MACHADO, 2016).

Nesse sentido, Myers et al. (2000) e Roberts et al. (2002) destacam que 8 dos 10 *hotspots*<sup>1</sup> da biodiversidade marinha e 14 dos 18 centros de endemismo são adjacentes aos *hotspots* de biodiversidade terrestre. Assim, um terço dos *hotspots* da biodiversidade abrangem ilhas e mais da metade da biodiversidade marinha tropical encontra-se nas proximidades de ilhas oceânicas (MACHADO, 2016; MARIN et al., 2004).

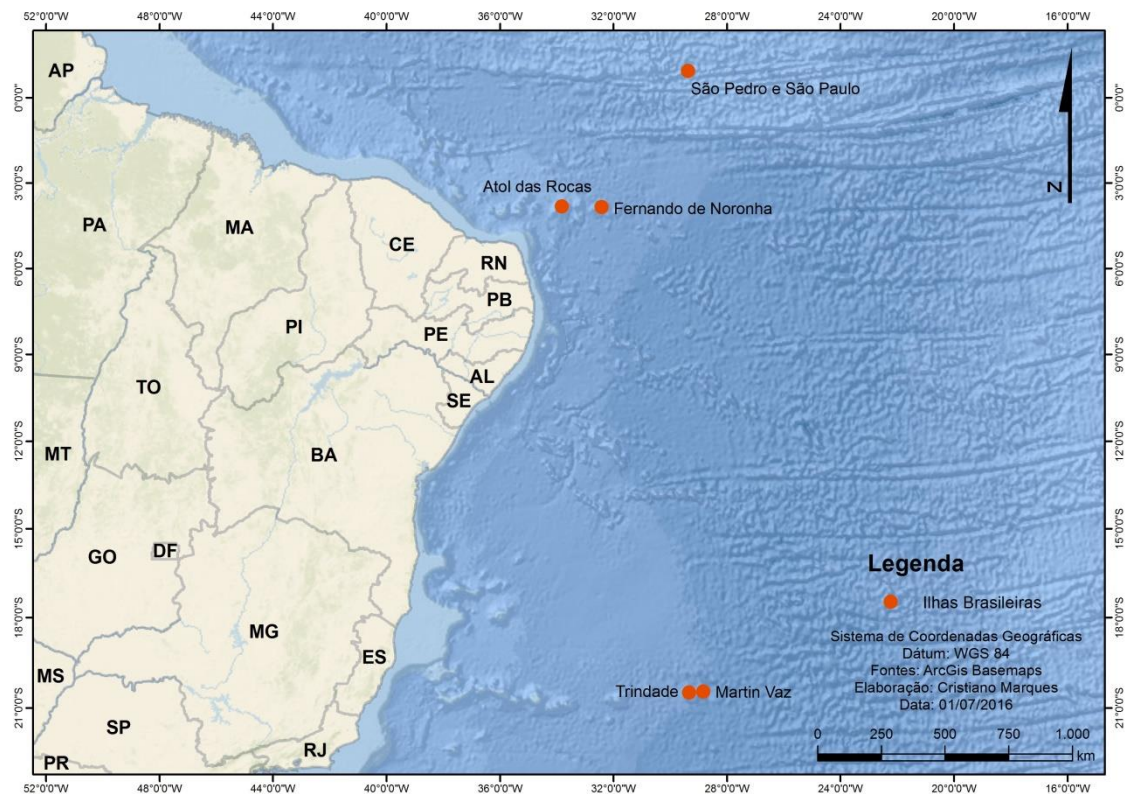
Conforme destacam Mohr et al. (2009), o Brasil detém a maior diversidade biológica do mundo, incluindo um conjunto de cinco ilhas oceânicas de beleza cênica ímpar e rica biodiversidade, com grande número de endemismos: Arquipélago de Fernando de Noronha, Ilha da Trindade, Arquipélago Martim Vaz, Atol das Rocas e Arquipélago de São Pedro e São Paulo (ASPSP), território que abrange uma área de aproximadamente 3,6 milhões de km<sup>2</sup>, e é conhecido sob a alcunha de Amazônia Azul (Figura 2).

No contexto da Convenção das Nações Unidas sobre os Direitos do Mar - CNUDM - e a ratificação deste tratado internacional em fins dos anos de 1980 pelo Estado Brasileiro, emergiu a necessidade de ocupação e de avanço do conhecimento técnico-científico das ilhas oceânicas brasileiras. Esse tratado garantiu aos Estados signatários o direito de explorar e de aproveitar os recursos naturais da coluna d'água, do solo e do subsolo dos oceanos circundantes às porções de terra emersas em um raio de até 200 milhas náuticas, na chamada Zona Econômica Exclusiva – ZEE (CNPq, S/D).

O referido tratado exige a presença permanente de civis nas ilhas, com fins pacíficos e de exploração das potencialidades bióticas e abióticas. É neste cenário que, a partir de 1996, foram esboçados os primeiros passos para a concretização de programas de pesquisas científicas no território insular brasileiro, com a criação do PROARQUIPELAGO, voltado ao ASPSP e, posteriormente, em 2007, com a criação do PROTRINDADE, voltado para Trindade e Martin Vaz. A partir de 2004 o CNPq (Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico) internalizou esses programas em sua estrutura de fomento e, em 2009, começou a apoiar as iniciativas científicas desenvolvidas nesses territórios (CNPq, S/D).

---

<sup>1</sup> Proposto por Myers (1988), o termo *hotspot*, nesse caso, se refere a uma área prioritária para conservação, caracterizada por dois elementos: possuir concentrações excepcionais de espécies com alto nível de endemismo e estar experimentando taxas extraordinariamente rápidas de esgotamento. Tais elementos associados selecionam os *hotspots* do planeta que necessitam de ações conservacionistas mais urgentes.



**Figura 2 - Ilhas Oceânicas Brasileiras. Fonte: elaboração do autor.**

Além da importância para a conservação da biodiversidade, três destas Ilhas – Trindade, Martim Vaz e ASPSP – também apresentam uma importância estratégica para o Brasil, principalmente o último, que possibilitou o aumento da Zona Econômica Exclusiva (ZEE). Para tanto, Trindade e ASPSP, de responsabilidade da Marinha do Brasil, são continuamente guarnecidos, o primeiro com o Posto Oceanográfico da Ilha da Trindade (POIT - erguido em 1957) e um destacamento militar; e o segundo, com uma estação científica, ocupada continuamente por pesquisadores em sistema de revezamento. Já o Arquipélago de Fernando de Noronha e o Atol das Rocas são Unidades de Conservação federais, geridas pelo Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade (ICMBio), autarquia vinculada ao Ministério do Meio Ambiente. No primeiro, foram criadas uma Área de Proteção Ambiental e um Parque Nacional Marinho; no segundo, uma Reserva Biológica Marinha, que desde 1979 protege o único atol do Oceano Atlântico sul.

## **1.2. TRINDADE: A ÚNICA REDE HIDROGRÁFICA PERMANENTE NAS ILHAS OCEÂNICAS BRASILEIRAS**

A natureza geológica e climática das ilhas vulcânicas, muitas delas com baixa pluviosidade anual e elevada pressão sobre os recursos hídricos, não favorece a ocorrência de elementos fluviais permanentes, já que a presença de drenagens superficiais perenes está associada a fatores climáticos, geológicos e geomorfológicos específicos. Somado a isso, a incidência de intensos processos erosivos e de movimentos de massa, impulsionados pela presença de altas declividades, combinadas à cobertura vegetal de porte baixo, significam outros obstáculos impostos em grande parte das ilhas vulcânicas (SANTAMARTA CEREZAL, 2013).

Em pesquisa bibliográfica realizada acerca dessa temática em algumas ilhas vulcânicas localizadas no Oceano Atlântico, é possível indicar que, nos arquipélagos de Açores e Madeira (Portugal), Canárias (Espanha) e Cabo Verde, todos localizados no Atlântico Norte, apenas algumas ilhas dos Açores apresentam águas superficiais lóticicas de caráter permanente (SANTAMARTA CEREZAL, 2013; CYMBRON et al., 2006; GOMINHO, 2010; PRADA, 2000). São elas as ilhas de Santa Maria, que possui uma área de 97,2 km<sup>2</sup>, São Miguel, com 746,8 km<sup>2</sup>, São Jorge, com 245,8 km<sup>2</sup>, Faial 173,1 km<sup>2</sup> e Flores 141,7 km<sup>2</sup>. Outras ilhas açorianas, Graciosa (61,2 km<sup>2</sup>), Pico (447,7 km<sup>2</sup>) e Corvo (17,1 km<sup>2</sup>) apenas apresentam drenagens temporárias (CYMBRON et al., 2006).

Em relação às Ilhas Canárias, Santamarta Cerezal (2013) ressalta que, embora tenham existido lagos e lagoas há cerca de 100 anos, não se verifica mais a presença de elementos fluviais perenes, à exceção dos reservatórios formados por represas construídas. Além disso, o autor ressalta que há apenas um rio com certa continuidade temporal.

Quanto à Ilha da Madeira, Prada (2000) destaca a presença de muitos vales profundos, escavados pelas águas fluviais que correm sem regularidade, sem permanência, mas de caráter essencialmente torrencial. Em Cabo Verde, Gominho (2010) indica que não existem cursos de água superficial permanentes. Para a autora, a água superficial surge apenas durante algumas horas após as chuvas, pois as características vulcânicas e/ou íngremes do arquipélago não favorecem sua infiltração, facilitando o escoamento superficial de forma rápida.

Entre as ilhas oceânicas brasileiras, todas localizadas no Atlântico (sul e equatorial), Trindade é a única que apresenta cursos d'água e nascentes perenes. Nem mesmo Fernando de

Noronha, que possui uma estrutura geológica bastante semelhante e uma área bem maior (cerca de 20 km<sup>2</sup>), apresenta esses elementos fluviais. Ou seja, a presença de água nos canais de drenagem de Fernando de Noronha, assim como na maioria das ilhas vulcânicas, está condicionada à ocorrência de eventos pluviométricos de maior relevância (MONTENEGRO et al., 2009).

Portanto, a ilha da Trindade emerge como uma situação de destaque, uma vez que, embora apresente elementos desfavoráveis à ocorrência de drenagens superficiais permanentes, ela apresenta nascentes e cursos d'água que drenam ao longo de todo o ano. Entre esses obstáculos se destacam sua idade (de não mais que 3,5 milhões de anos, sendo considerada jovem) e sua área emersa (cerca de 10 km<sup>2</sup>, ou seja, relativamente pequena) tendo em vista que terrenos mais antigos e maiores tendem a apresentar redes de drenagem mais complexas. Além disso, é importante salientar que a ilha experimentou mudanças ambientais drásticas, resultantes da ação humana, e está inserida em um contexto climático do tipo tropical semiúmido, de tendência a semiárido, com baixa pluviosidade média anual.

### **1.3.OBJETIVOS**

Face ao exposto, as especificidades apresentadas por Trindade são responsáveis por imprimir à ilha um arranjo hidrogeomorfológico *suis generis*. Considerando a hidrogeomorfologia como o campo do conhecimento “que busca compreender como os processos hidrológicos contribuem para a formação e evolução da paisagem e ainda como as formas de relevo condicionam ou controlam os processos hidrológicos em diferentes escalas temporais e espaciais” (GOERL et al., 2012), assume-se como hipótese deste trabalho que a configuração hidrogeomorfológica de Trindade é única no território brasileiro.

A partir de tal premissa, o objetivo central deste trabalho foi caracterizar e compreender o quadro hidrogeomorfológico da rede hidrográfica de Trindade, identificando os regimes de escoamento superficial e os tipos de nascentes presentes nesse território.

Nesse sentido, colocam-se como objetivos específicos:

- Investigar o papel das águas superficiais na configuração geomorfológica da Ilha em termos de processos prioritários de erosão e sedimentação, e principais formas e formações superficiais resultantes;
- Investigar e compreender as características da componente hidrológica subsuperficial da drenagem da ilha, analisando os períodos de residência das águas no meio subterrâneo e seu papel geomorfológico;

#### **1.4.PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS**

Todas as etapas descritas a seguir foram realizadas paralelamente à revisão bibliográfica, a qual permitiu a construção do embasamento teórico-conceitual da pesquisa e possibilitou o diálogo entre os resultados obtidos e os trabalhos já publicados na literatura acadêmica. Posteriormente a essas etapas foi realizada uma etapa final, de gabinete, que buscou interpretar e articular, de maneira sintética, o trabalho produzido nas etapas anteriores.

##### **1.4.1. ETAPA DE CAMPO**

Trindade foi visitada em duas campanhas de campo, sendo a primeira mais longa, realizada entre os dias 17 de junho e 14 de agosto de 2015, com permanência por um período de aproximadamente 50 dias. Já a segunda, mais curta, foi realizada entre os dias 18 e 27 de maio de 2016, e compreendeu uma estadia de apenas três dias.

Uma etapa preliminar às campanhas de campo foi realizada, em gabinete, com o objetivo de reunir informações disponíveis para área, sobretudo bases cartográficas, mapeamentos e produtos de sensoriamento remoto. Esse material permitiu a marcação de pontos de investigação, os quais foram visitados em campo posteriormente. Ademais, a realização da etapa de campo contou com o auxílio de profissionais da Marinha do Brasil, conhecedores da área de estudo, que além de facilitarem a navegação em Trindade, indicaram locais passíveis de serem averiguados, conforme os objetivos da pesquisa.

Nessa primeira campanha, que permitiu um maior contato com o objeto de estudo, buscou-se, em conformidade com as normas de segurança estabelecidas pela Marinha, percorrer todos os

trechos terrestres acessíveis da ilha, com o intuito de fazer o reconhecimento da área, e visitar os pontos de checagem previamente estabelecidos. Além disso, também foi possível percorrer todo o entorno de Trindade via mar, com o apoio de embarcação (bote) da Marinha, sendo todo esse percurso, tanto terrestre como por aquático, registrado por fotos e vídeos.

Assim, essa etapa exploratória permitiu a identificação dos cursos d'água que drenam esse território insular. Almejou-se, então, detectar as principais características pertinentes a tais elementos fluviais, buscando identificar seus padrões de escoamento e de sedimentação/erosão, e calcular sua vazão.

Em seguida, conforme metodologia proposta por Felipe (2009), os cursos d'água foram percorridos de jusante para montante, procedimento que possibilitou a localização das nascentes. Neste trabalho, concebe-se uma nascente “como um sistema ambiental em que o afloramento da água subterrânea ocorre naturalmente de modo temporário ou perene, e cujos fluxos hidrológicos na fase superficial são integrados à rede de drenagem” (FELIPPE; MAGALHÃES JR, 2013). Por se caracterizarem-se pela passagem da água do meio subterrâneo para o superficial, definindo assim a espacialização da rede hidrográfica (FELIPPE, 2013), as nascentes foram selecionadas como um dos eixos norteadores da caracterização da rede hidrográfica da ilha.

As nascentes foram localizadas via receptor GPS portátil modelo Garmim GPSmap 60CSx, através da marcação de pontos (Dátum WGS 1984 – Sistema de Coordenadas UTM, fuso 26K). Para reduzir o erro da marcação, estabeleceu-se como critério a retirada de uma média de no mínimo 20 pontos para o mesmo local, calculada automaticamente no aparelho. Dessa forma, o raio de imprecisão do dispositivo sempre se manteve abaixo de dez metros, o que foi considerado satisfatório para os propósitos do trabalho.

Seguindo na aquisição de dados referentes às nascentes, ainda com base em Felipe (2009), buscou-se caracterizar o tipo de exfiltração e a morfologia, além de calcular a vazão de cada um dos elementos identificados. Por constituem aspectos qualitativos, o tipo de exfiltração e a morfologia foram obtidos através da observação fisiográfica. Por sua vez, o procedimento de medida de vazão, tanto para as nascentes, quanto para os cursos d'água, baseou-se na coleta da água do fluxo em bolsas plásticas de diferentes tamanhos (que eram selecionadas conforme cada caso), acompanhada da medição do tempo em cronômetro digital. A água coletada era, então, transportada para um medidor graduado, sendo realizada a leitura do volume. Para

minimizar os possíveis erros de coleta, foram feitas no mínimo três medições em cada ponto amostrado.

Embora o tempo de permanência em Trindade tenha sido considerado suficiente perante os objetivos do trabalho, o fato de se tratar de uma área localizada em ambiente tropical, ou seja, que está susceptível à sazonalidade climática, deixa clara a necessidade de realização de campanhas de campo sistemáticas na ilha, com o intuito de monitorar a dinâmica de sua rede hidrográfica ao longo do tempo. Contudo, diante dos desafios logísticos inerentes à área de estudo, essa etapa não pôde ser cumprida com a realização do presente trabalho, ou seja, esta pesquisa apresenta um recorte temporal da dinâmica hidrográfica de Trindade.

Nesse sentido, embora Trindade ainda careça de estudos climáticos mais aprofundados e atualizados, Alves (1998) indica que os meses de abril, maio e junho apresentam os maiores índices pluviométricos (em torno de 100 mm mensais), sendo agosto e, em seguida, janeiro, os meses mais secos (em torno de 55 mm). Deste modo, a primeira etapa de campo, que permitiu a coleta dos principais dados, foi realizada ao final da estação úmida, tendo sido a segunda campanha, realizada no meio da estação úmida.

#### **1.4.2. ETAPA DE GEOPROCESSAMENTO**

Esta etapa foi desenvolvida após a coleta dos dados de campo. Para sua realização foi utilizado o software *ArcGIS®* versão 10.1, sendo que a obtenção das bases de dados principais ocorreu através da disponibilização pela Marinha do Brasil (curvas de nível - topografia) e da obtenção em Almeida (1961) e Patrício (2012) (geologia). Já as bases referentes à rede hidrográfica e às bacias hidrográficas, ambas foram criadas através do referido software, de maneira automática, com ajuste manual, utilizando-se como base os dados topográficos e as campanhas de campo. Foram utilizadas as ferramentas da sessão “*hydrology*” (hidrologia), inseridas no pacote de ferramentas “*Spatial Analyst Tools*” (ferramentas de análise espacial).

A base de dados de nascentes foi obtida através dos pontos de GPS coletados nas etapas de campo. As imagens de satélite utilizadas foram obtidas pela ferramenta *ArcGIS On Line*, do referido software. O MDE da ilha (modelo digital de elevação) foi criado através da base de

dados de curvas de nível, com a utilização da ferramenta “*Create TIN*” (criar grade irregular – TIN), inserida no pacote de ferramentas “*3D Analyst tools*” (ferramentas de análise 3D).

Nessa etapa também foram calculados dois índices morfométricos para cada bacia hidrográfica de Trindade, a saber: Densidade de Drenagem (Dd) e Índice de Circularidade (Ic). Esse tipo de estudo geomorfológico foi introduzido por Horton (1945) visando entender a configuração e a evolução das bacias e de suas redes de drenagem (CHEREM, 2008). Destaca-se que a seleção desses índices foi realizada de acordo com os objetivos da pesquisa.

Segundo Cherem (2008), a Densidade de Drenagem estabelece a relação entre o comprimento total dos canais de drenagem (incluindo efêmeros, temporários e permanentes) e a área de drenagem, sendo dado pela Equação 1:

$$Dd = L_t/A \quad (1)$$

onde:  $L_t$  é o comprimento total dos canais; A é a área total da bacia.

Esse índice pode variar de valores inferiores a  $0,5 \text{ km/km}^2$  em bacias com drenagem pobre, a  $3,5 \text{ km/km}^2$ , ou mais, em bacias excepcionalmente bem drenadas, sendo que os valores intermediários são classificados da seguinte maneira: valores superiores a 0,5 e menores ou iguais a 1,5 indicam bacias com drenagem regular; valores maiores ou iguais a 1,5 e menores que 2,5 apontam bacias bem drenadas; e por fim, valores maiores ou iguais a 2,5 e inferiores a 3,5 marcam bacias muito bem drenadas.

O Índice de Circularidade, por sua vez, proposto por Miller em 1953 (CHRISTOFOLETTI, 1980), constitui na relação entre a área da bacia e a área de um círculo de perímetro igual ao da área total da bacia. Tal índice é dado pela Equação 2:

$$Ic = A/A_c \quad (2)$$

onde: A é a área da bacia;  $A_c$  é a área de um círculo que tenha o perímetro idêntico ao da bacia considerada.

Conforme apresentam Alves e Castro (2003), o valor máximo considerado para esse parâmetro é igual a um. Esses autores também ressaltam que índices inferiores a 0,51 indicam a presença de bacias hidrográficas mais alongadas, formato que favorece o escoamento rápido dos fluxos. Por outro lado, valores maiores ou iguais a 0,51 denotam bacias circulares, que não favorecem o escoamento dos fluxos, ou seja, que apresentam grande susceptibilidade à

ocorrência de cheias rápidas. “Além dessa relação com a velocidade do fluxo de água, esse parâmetro representa a transmissividade do escoamento superficial concentrado, isto é, se o tempo de concentração da bacia é lento ou rápido” (CHEREM, 2008)

A seguir são apresentadas algumas observações sobre os produtos cartográficos gerados neste trabalho:

- **Mapa de Declividade e Mapa da divisão da ilha em duas faces opostas:** para a confecção do primeiro produto cartográfico foi utilizada a ferramenta “*slope*” (declividade), dentro do pacote de ferramentas “*Spatial Analyst Tools*” (ferramentas de análise espacial), através da utilização da base de dados de curvas de nível. A definição das classes de declividade foi feita de acordo com Embrapa (1999), a saber: relevo plano (declividades entre 0 a 3%), relevo suavemente ondulado (declividades entre 3 a 8%), relevo ondulado (declividades entre 8 a 20%), relevo fortemente ondulado (declividades entre 20 a 45%), relevo montanhoso (declividades entre 45 a 75%) e relevo fortemente montanhoso (declividades superiores a 75%). Já em relação ao segundo, a linha divisória entre as faces da ilha foi delimitada com base na linha de cumeada fornecida pela base de dados topográficos. Em seguida, a ferramenta “*hillshade*” (relevo sombreado) foi utilizada para servir como plano de fundo para o resultado obtido.
- **Mapa da radiação solar durante o período de um ano:** o referido mapa foi confeccionado através da utilização da ferramenta “*area solar radiation*” (radiação solar de uma área específica).
- **Mapa do contexto da captura fluvial:** tal produto cartográfico foi desenvolvido com a utilização das seguintes bases de dados: topografia, rede hidrográfica e bacias hidrográficas, que foram plotadas sobre imagens de satélite. Além disso, foram utilizadas algumas fotografias, de autoria do próprio autor, com o intuito de facilitar a visualização da área, sendo que os pontos aproximados de aquisição dessas imagens, e suas direções de visada, foram plotados no mapa.
- **Mapa da divisão hidrográfica, Mapa da distribuição espacial da Densidade Hidrográfica por bacia hidrográfica e Mapa da espacialização das bacias hidrográficas circulares e alongadas, conforme o Índice de Circularidade:** a produção do primeiro mapa foi possível através da criação das bases de dados de bacias hidrográficas e da rede hidrográfica. O segundo e o terceiro mapa representam

desdobramentos do primeiro, sendo que os resultados dos cálculos dos respectivos parâmetros morfométricos foram especializados em cada um deles.

- **Mapa da distribuição espacial das nascentes na ilha, Mapa da distribuição espacial das nascentes, separadas por morfologia e Mapa da distribuição espacial das nascentes, separadas por tipo de exfiltração:** o primeiro produto foi facilitado pelo desenvolvimento da base de dados de nascentes e, também, pela referente à rede hidrográfica. Os demais significam desdobramentos do primeiro, sendo que as nascentes foram classificadas por morfologia e tipo exfiltração, respectivamente.

#### 1.4.3. ETAPA LABORATORIAL (CONDUTIVIDADE ELÉTRICA E SÓLIDOS TOTAIS DISSOLVIDOS)

As análises foram desenvolvidas no Laboratório de Geomorfologia da UFMG. A condutividade elétrica (EC) foi lida em condutivímetro de bancada, previamente calibrado com soluções-padrão. As amostras coletadas foram analisadas *in natura*, sem filtragem ou acidificação, sendo que este parâmetro foi utilizado para interpretação do grau de mineralização das águas (FELIPPE, 2013).

Para a determinação dos sólidos totais dissolvidos (TDS) foi utilizado o método gravimétrico, subsídio à interpretação do papel geomorfológico das nascentes de Trindade. Este “representa o método imediato para definição da concentração do resíduo seco em função do volume de água” (FELIPPE, 2013), e que é recomendado pelo “*Standard methods for the examination of water and wastewater*”. As amostras foram inicialmente filtradas através do conjunto de filtragem Millipore e papel de filtro 0.45 µm. Posteriormente, foi pipetado um volume de 100 mL de cada amostra que, em seguida, foi transferido individualmente para cápsulas de porcelana previamente pesadas. As cápsulas foram então submetidas ao aquecimento a 180°C por um período de 24 horas e, passado esse prazo, foram levadas até um dessecador, para que fossem totalmente resfriadas. Por fim, as cápsulas foram novamente pesadas, nesse caso, já com o resíduo seco referente a cada amostra.

Para a obtenção dos resíduos totais, utiliza-se a Equação 3:

$$RT = (P_{\text{final}} - P_{\text{inicial}}) / (V_{\text{amostra}}) * 1,0 * 10^3 \quad (3)$$

Em que RT são os resíduos totais,  $P_{\text{final}}$  é o peso final da cápsula,  $P_{\text{inicial}}$  é o peso inicial da cápsula e  $V_{\text{amostra}}$  é o volume da amostra.

A partir do TDS é possível calcular a perda de massa proporcionada pelo esvaziamento geoquímico. Sua obtenção foi feita através da Equação 4, que leva à perda geoquímica instantânea (mg/s), e da Equação 5, que leva à perda geoquímica total (kg/ano) (FELIPPE, 2013).

$$PG_{\text{inst}} = \text{TDS} * Q \quad (4)$$

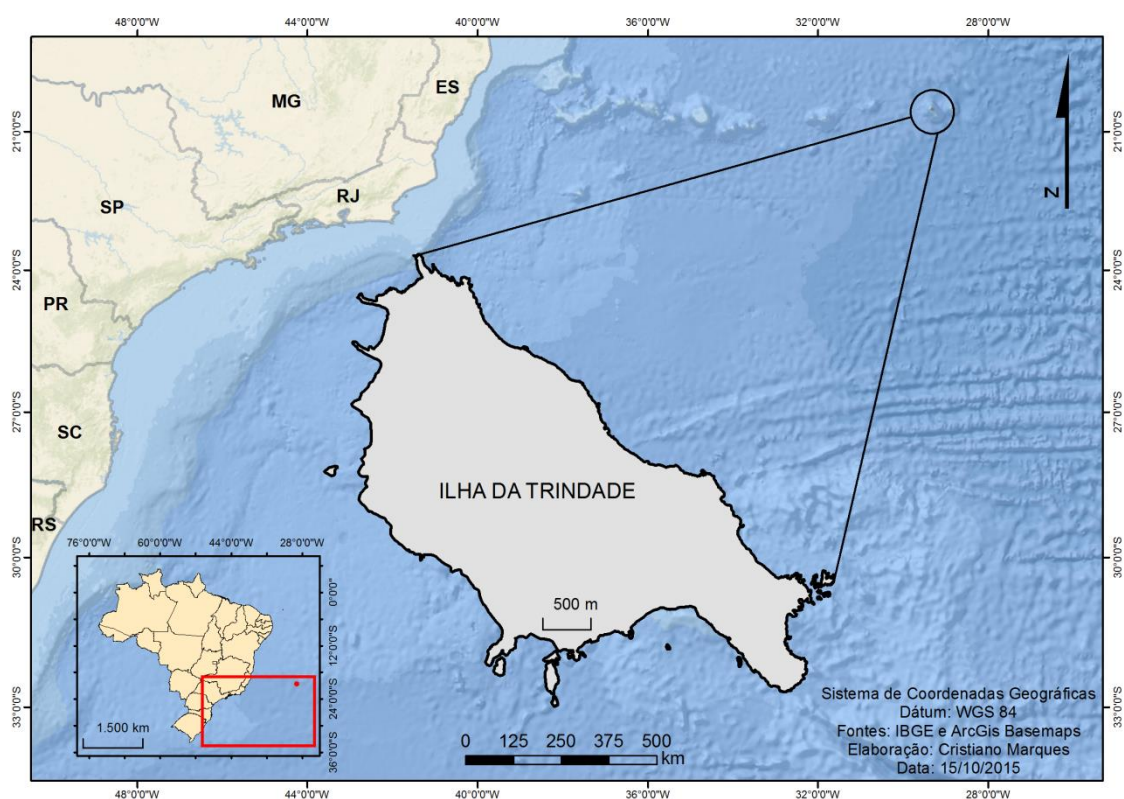
$$PG_{\text{anual}} = (PG_{\text{inst}} * 31536) / (1,0 * 10^3) \quad (5)$$

Em que  $PG_{\text{inst}}$  é a perda geoquímica instantânea, TDS é o valor obtido na análise de sólidos totais dissolvidos de cada nascente e Q é a vazão da nascente. Por sua vez,  $PG_{\text{anual}}$  é a perda geoquímica anual.

## 2. CARACTERIZAÇÃO DA ILHA DA TRINDADE

### 2.1. INTRODUÇÃO

A Ilha da Trindade (Figura 3) representa o extremo oriental do território brasileiro, juntamente com o Arquipélago de Martin Vaz. Localizada no Oceano Atlântico sul, ela é a mais recente, heterogênea e topograficamente variada ilha oceânica brasileira (SCHAEFER; OLIVEIRA, 2015). Com superfície de cerca 10 km<sup>2</sup> e localizada entre os paralelos 20°29' e 20°32' S e entre os meridianos 29°21' e 29°17' W, Trindade está afastada por cerca de 1.200 km da linha de costa brasileira, sobre a Cadeia Vitória-Trindade.



**Figura 3 - Mapa de localização da Ilha da Trindade. Fonte: elaboração do autor.**

Embora venha sendo visitada por navegadores, pesquisadores e naturalistas desde o século XVI, apenas no final do século XIX e início do século XX, a natureza vulcânica da Ilha da Trindade foi reconhecida. Almeida (2002) destaca que, já em 1797, Milet-Mureau reconheceu a presença de basaltos em Trindade, mas foi o geólogo Prior (1900) que, examinando o material coletado pela expedição de James Ross (1839), indicou sua natureza vulcânica e sua semelhança com Fernando de Noronha (ULBRICH et al., 2004).

Foi, contudo, o trabalho de Almeida (1961), que forneceu a base fundamental do conhecimento geológico e geomorfológico de Trindade. Assim como havia realizado para Fernando de Noronha em 1955, a monografia publicada pelo autor oferece descrições minuciosas sobre as feições geomorfológicas e geológicas da ilha, além de apresentar seu respectivo mapa geológico (ULBRICH et al., 2004).

Apesar de possuir uma geomorfologia única no Brasil, desenvolvida sobre estruturas vulcânicas variadas bastante preservadas (PIRES et al., 2013), há certa escassez de estudos geomorfológicos em Trindade. Soma-se a isso, que embora a presença de água doce na Ilha da Trindade venha sendo documentada desde que seu território foi acessado pelos primeiros visitantes, constatou-se que ainda não há estudos focados, especificamente, nessa temática. Um importante indicativo desse quadro é que, até a presente data, não há nenhum trabalho científico publicado sobre as ilhas oceânicas brasileiras no principal periódico de geomorfologia brasileiro, a Revista Brasileira de Geomorfologia<sup>2</sup> e, tampouco, nos demais periódicos brasileiros mais bem qualificados pela CAPES na área de Geografia - nível máximo: A1 (CAPES, 2014): GEOgraphia, vinculado à Universidade Federal Fluminense) e Mercator, da Universidade Federal do Ceará.

Entre os trabalhos já publicados sobre Trindade, destacam-se os estudos realizados por Almeida (1961; 2002; 2006) que, de maneira geral, abordam a geologia da ilha; Alves (1998), que desenvolveu um ensaio geobotânico bastante abrangente para a área; Clemente (2006), que elaborou um estudo de caracterização de seus ambientes terrestres; Firme Sá (2010), que classificou e mapeou os solos da ilha; Castro (2010), que desenvolveu estudo de geologia ambiental; Pires et al. (2013), que realizaram um estudo de geoconservação; Schaefer e Oliveira (2015), que apresentam os aspectos gerais do relevo de Trindade e Fernando de Noronha; e finalmente Machado (2016), que elaborou um estudo sobre as interações da avifauna com os substratos da ilha (rochas e solos).

Por se tratar de um trabalho inédito em tais veículos de publicação, buscou-se, em um primeiro momento, fazer uma apresentação mais detalhada da área de estudo, fornecendo um panorama geral dos vulcanismos de ilhas oceânicas, do contexto geológico e geodinâmico de inserção da Ilha da Trindade, de seus aspectos estruturais, de sua litologia, da sua configuração geomorfológica, de suas coberturas pedológicas e, finalmente, de seus aspectos

---

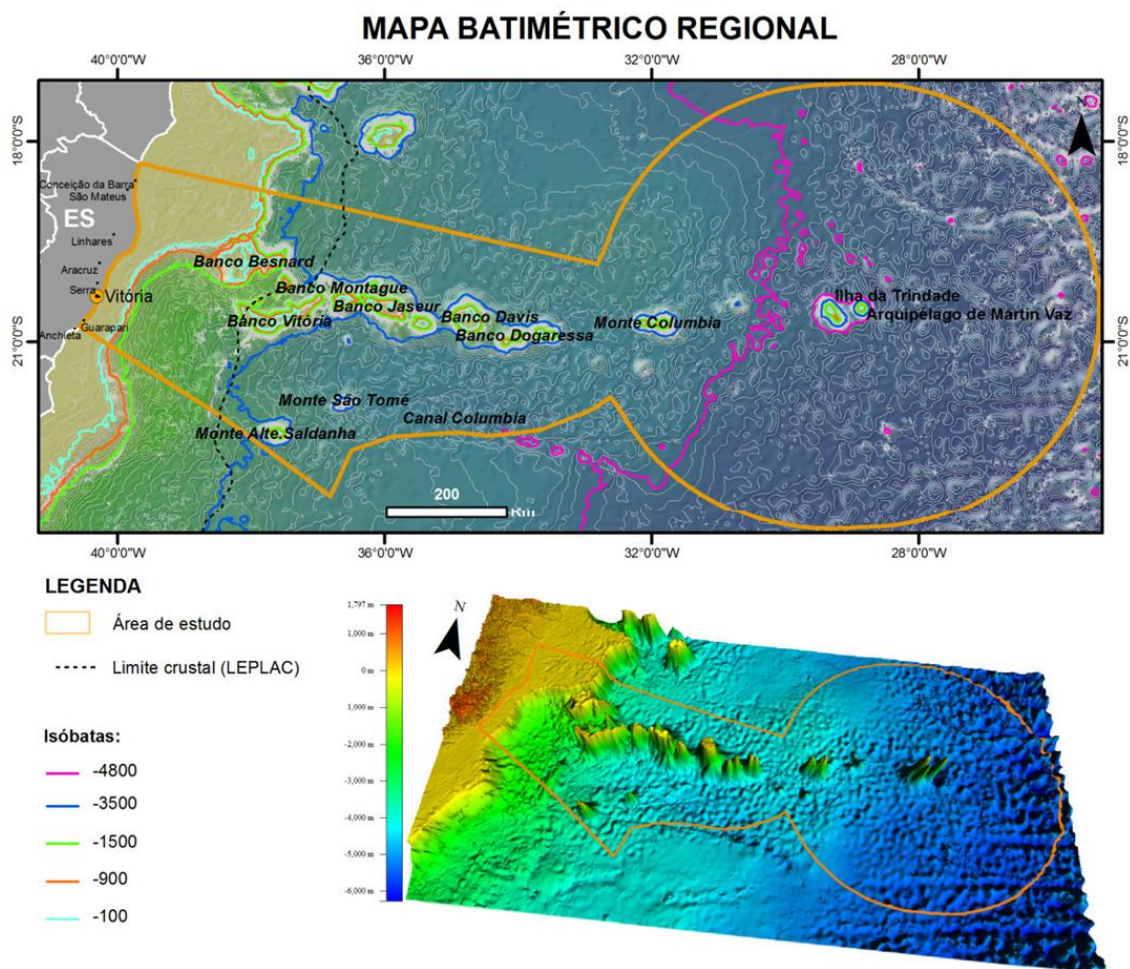
<sup>2</sup> Motoki et al. (2012) desenvolveram trabalho sobre a geomorfologia submarina da Cadeia Vitória-Trindade, citando brevemente alguns aspectos relacionados à Trindade.

climáticos. Em seguida foram feitas considerações acerca do quadro hidrográfico/fluvial de Trindade, abrangendo seu histórico de ocupação e a caracterização de seus elementos fluviais. Por fim é abordada a temática da origem da água das nascentes de Trindade e seu papel geomorfológico.

## **2.2.CONTEXTO GEOLÓGICO E GEODINÂMICO**

Conforme destacam Ulbrich et al., (2004), as ilhas oceânicas representam as porções emersas de edifícios vulcânicos de grandes dimensões, localizados em diferentes regiões da crosta oceânica, a maioria deles afastados das bordas das placas, ou seja, ambientes de vulcanismo intraplaca. Sendo assim, a origem das ilhas tem sido um tema debatido na literatura nacional e internacional. Contudo, ainda não existe um consenso sobre os seus principais mecanismos formadores e, da mesma forma, a gênese do edifício vulcânico da ilha da Trindade é também assunto controverso (ULBRICH et al., 2004).

Juntamente com a ilha de Martin Vaz, Trindade representa o extremo leste da Cadeia Vitória Trindade (CVT), que corresponde a uma sequência linear de montes submarinos, de direção geral leste-oeste, que se situa na região pelágica do Estado do Espírito Santo, no Oceano Atlântico Sul (Figura 4).

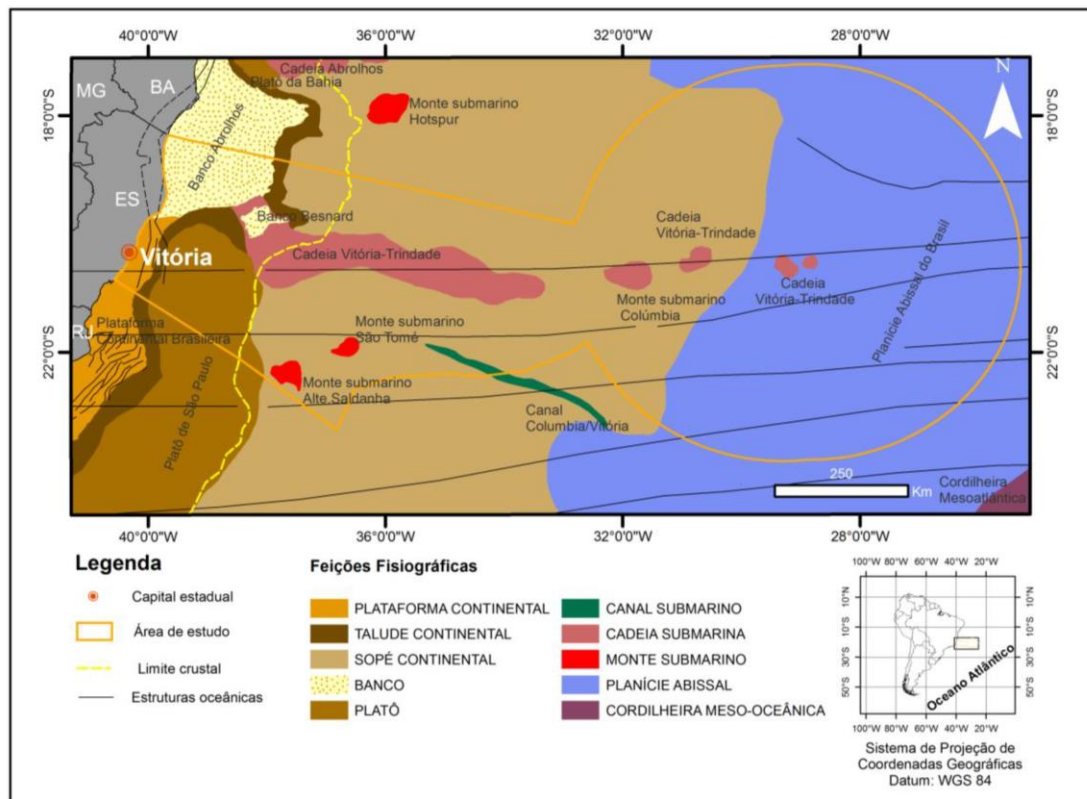


**Figura 4 - Mapa batimétrico da Cadeia Vitória-Trindade, abrangendo desde a faixa litorânea continental até os arquipélagos de Trindade e Martin Vaz<sup>3</sup>. Fonte: Extraído de Maia, 2013.**

Localizada ao longo da latitude 20°30' S, a referida cadeia apresenta cerca de 950 km de comprimento, abrangendo aproximadamente 30 montes submarinos de forma cônica, considerados morfologicamente como edifícios vulcânicos de escudo (*shield volcano*). Dentre esses, 17 têm altura relativa superior a 2500 m e, além de Trindade e Martin Vaz, outros quatro montes já foram confirmados como vulcões, por meio das amostragens e estudos petrológicos: Monte Submarino de Columbia, Banco de Dogaressa, Banco de Davis e Monte Submarino de Jaseur (MOTOKI et al., 2012).

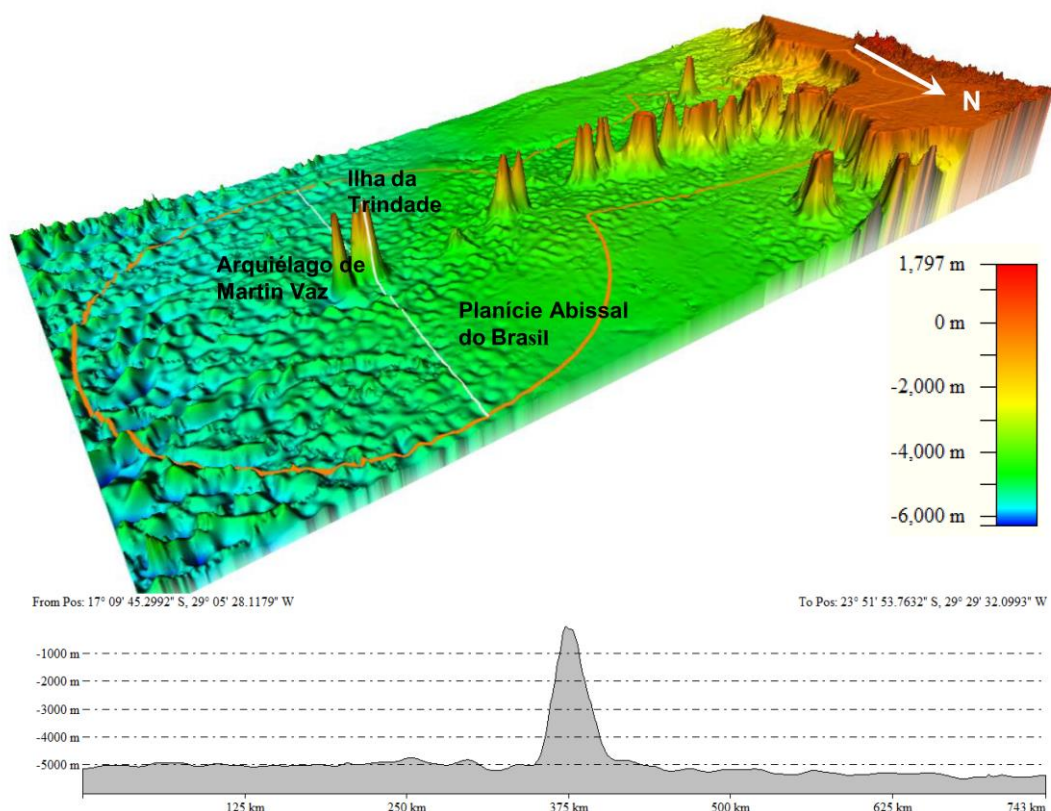
<sup>3</sup> A área de estudo delimitada no mapa corresponde à CVT e áreas oceânicas adjacentes, abrangendo as 200 milhas náuticas da Zona Econômica Exclusiva (ZEE), incluindo a porção proposta para extensão da Plataforma Continental Jurídica Brasileira (PCJB), contidas no polígono de coordenadas geográficas 17°00'00"S e 24°45'00"S (latitudes) e 41°20'00"W e 25°06'30"W (longitudes), perfazendo cerca de 838.000 km<sup>2</sup> (MAIA, 2013); LEPLAC – Plano de levantamento da plataforma continental brasileira.

A Figura 5 ilustra o contexto de inserção da CVT em relação às feições fisiográficas da margem continental brasileira e áreas oceânicas adjacentes. A partir dela é possível notar que o segmento da cadeia submarina correspondente à Trindade já se encontra fora dos limites do platô continental, localizada na Planície Abissal do Brasil.



**Figura 5 - Feições fisiográficas da margem continental brasileira e áreas oceânicas adjacentes. Fonte: Extraído de Maia, 2013.**

A grande altura dos vulcões e os extensos topos de morfologia planar que esses montes apresentam sugerem que eles formavam ilhas vulcânicas de milhares metros de altitude original, as quais teriam sido fortemente erodidas ao longo do tempo geológico. Portanto, as ilhas de Trindade e Martin Vaz não corresponderiam ao topo dos vulcões que as formaram, mas sim a um perfil horizontal da parte superior dos edifícios vulcânicos (Figura 6; MOTOKI et al., 2012).



**Figura 6 - Modelo 3D em perspectiva e perfil batimétrico da ilha da Trindade (linha branca) – exagero vertical de 25 vezes. Fonte: Extraído de Maia (2013).**

Nesse sentido, a construção do conhecimento sobre a origem da CVT e, consequentemente de Trindade, vem evoluindo muito, sobretudo através da utilização de dados cada vez mais precisos (principalmente geofísicos, cronológicos, geológicos e geomorfológicos).

A partir do pioneiro trabalho de Almeida (1961), foi indicado que Trindade fazia parte de uma extensa e elevada cadeia vulcânica, sem qualquer ligação com o cráton americano, sendo, portanto, um componente estrutural oceânico. Além disso, esse autor também já indicava a existência de uma zona de fraturas que se estendia desde Trindade até a plataforma continental brasileira, a oeste, e defendia que essas estruturas não pareciam ter relações estruturais com a cadeia mesoceânica.

A partir do trabalho de Herz (1977), e posteriores contribuições de diversos outros autores (CORDANI; TEIXEIRA, 1979; MIZUSAKI et al., 1994; THOMAZ FILHO; RODRIGUES, 1999), foi levantada a hipótese de que a origem do alinhamento de rochas alcalinas localizados ao longo da faixa litorânea brasileira, de direção WNW-ESSE, denominado Alinhamento Poços de Caldas (MG)-Cabo Frio (RJ), estaria ligada a atividades tectonomagmáticas cenozoicas ocorridas durante o processo de deslocamento da Placa Sul-

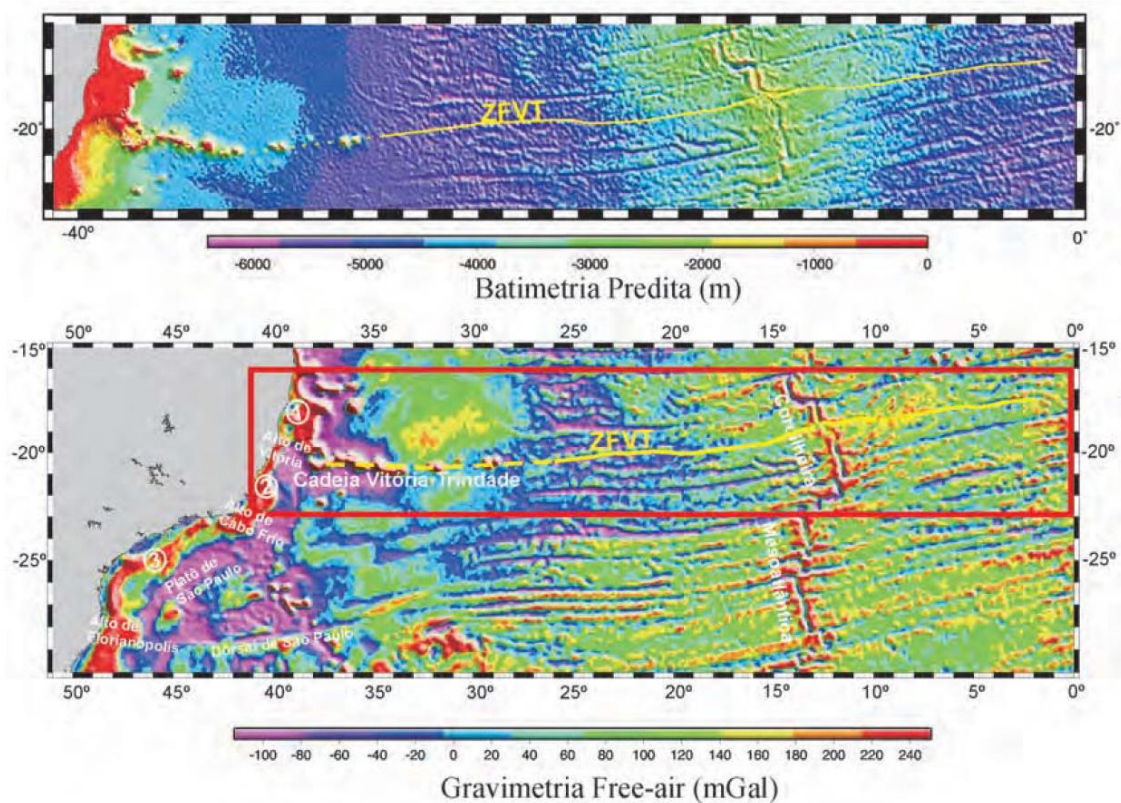
Americana, sob a ação de um *hotspot*, quando a referida placa passou a derivar-se para oeste e afastar-se do continente africano, no Eoceno. Nesse sentido, a Cadeia Vitória-Trindade corresponderia, portanto, ao seu prolongamento em contexto de crosta oceânica, desenvolvida após o rifteamento continental.

Conforme destacam Thomaz Filho e Rodrigues (1999):

Essa interpretação encontra suporte nos estudos realizados por Gibson et al. (1995 e 1997), quando se referem ao impacto de uma pluma mantélica a que denominaram Trindade, no Cretáceo Superior, nas regiões oeste, central e sudeste do Brasil. O calor gerado por esta pluma teria propiciado a fusão, em larga escala, de parte do manto litosférico subcontinental. Concluem os referidos autores que a estreita cadeia de ilhas oceânicas e montes submarinos que culmina, a leste, com as ilhas de Trindade e Martin Vaz, seria o resultado do traçado de um hot spot desenvolvido nas bordas da pluma mantélica de Trindade (THOMAZ FILHO; RODRIGUES, 1999, p. 190).

Alves et al. (2006) indicam que a Zona de Fraqueza Oceânica, anteriormente denominada de Zona de Fratura de Hotspur, e posteriormente renomeada por Alves (2002) como Zona de Fratura de Vitória-Trindade (ZFVT), posicionada desde a cordilheira mesoceânica até a margem continental brasileira, pode ter condicionado, ao menos em parte, o magmatismo e o tectonismo Meso-Cenozóico do Sudeste Brasileiro.

Esses mesmos autores refinam as hipóteses levantadas sobre a origem da CVT, confirmando sua origem tectonomagmática, ou seja, eles indicam que os processos de erupção vulcânica que levaram sua formação estão geneticamente associados à Pluma Mantélica de Trindade, com a passagem da Placa Sul-Americana sobre ela e, além disso, que este vulcanismo foi controlado pela reativação da ZFVT (Figura 7) em conjugação com o *Hotspot* de Trindade (ALVES et al., 2006).



**Figura 7 – Mapa de batimetria e gravimetria predita mostrando o traçado da zona de fratura de Vitória-Trindade. Fonte: Extraído de Alves et al. (2006).**

Finalmente,

considerando-se as evidências sismoestratigráficas, geológicas, geoquímicas e sismológicas (alinhamento de epicentros de terremoto), pode-se concluir que a ZFVT ainda continua atuando como uma zona de fraqueza, canalizando os processos de erupções vulcânicas relacionados à Pluma Mantélica de Trindade em função da passagem da Placa Sul-Americana (ALVES et al., 2006, p. 124).

### **2.3. CARACTERÍSTICAS GERAIS DOS VULCANISMOS DE ILHAS OCEÂNICAS**

Conforme destacam Ulbrich et al. (2004), nos casos de vulcanismo intraplaca o magmatismo pode ter caráter toleítico e/ou alcalino, resultando em associações distintas de rochas básicas: olivina toleítos e quartzo toleítos ou nefelinitos e álcali basaltos, além de vários tipos de rochas diferenciadas. Assim, o termo “basaltos de ilhas oceânicas” (OIB) é comumente empregado na literatura para caracterizar o conjunto de rochas vulcânicas que ocorrem nesses ambientes.

De acordo com Almeida (1955; 1961), nas ilhas oceânicas brasileiras as rochas intermediárias (i.e., fonólitos) são as mais antigas e ocorrem como corpos subvulcânicos, enquanto o vulcanismo mais recente se caracteriza essencialmente por derrames de lavas de melaneferinitos (ankaratritos), rochas estas ultramáficas e ultrabásicas, fortemente insaturadas em sílica.

Assim como é observado em Fernando de Noronha, o magmatismo de Trindade apresenta natureza totalmente alcalina, caracterizada pela ausência de quartzo<sup>4</sup> nas rochas, pela presença de feldspatóides entre os minerais félsicos, e por possuir clinopiroxênios e/ou anfibólios alcalinos. Destaca-se, portanto, que os tipos litológicos variam de ultrabásicos ( $\text{SiO}_2 < 45\%$  em peso) e básicos ( $\text{SiO}_2$  entre 45 - 52% em peso) até intermediários ( $\text{SiO}_2$  entre 52 e 62% em peso). Além disso, ressalta-se que o caráter alcalino do vulcanismo e a predominância de melaneferinitos em Fernando de Noronha e, particularmente em Trindade, são únicos entre as ilhas do Atlântico Sul (Ascensão, Bouvet, Gough e Tristão da Cunha), sendo somente comparável com o das ilhas de Cabo Verde (ULBRICH et al., 2004).

Tendo em vista que, em termos de volume, as rochas alcalinas respondem por não mais que 1% das rochas ígneas expostas na superfície da Terra (GILL, 2014), merece destaque o fato de que a série vulcânica de Trindade caracteriza-se por ser altamente subsaturada em sílica e acentuadamente sódico-alcalina. Almeida (1961), inclusive, indicou que a série vulcânica alcalina de Trindade representa uma das mais sódicas investigadas no mundo.

## **2.4. GEOLOGIA DA ILHA DA TRINDADE**

### **2.4.1. LITOLOGIA**

Almeida (1961) reconheceu cinco episódios vulcânicos em Trindade, sendo os quatro mais novos claramente individualizados (Figura 8). Já o mais antigo, que representa a parte basal da ilha, é denominado como Complexo de Trindade e inclui depósitos piroclásticos e um

---

<sup>4</sup> É importante distinguir corretamente o teor de sílica de uma rocha (que em regra está entre 40 e 75%) e o teor de quartzo (raras vezes acima de 30%, quando não é nulo). A sílica ( $\text{SiO}_2$ ) é um componente químico presente em todos os minerais silicatados, ao passo que o quartzo (que tem a mesma composição,  $\text{SiO}_2$ ), é um mineral com uma composição e uma estrutura cristalina específicas. O quartzo representa o excesso de  $\text{SiO}_2$ , isto é, o teor remanescente após todos os outros minerais silicatados terem sequestrado suas respectivas cotas de sílica disponíveis no líquido magmático (GILL, 2014).

grande conjunto de rochas subvulcânicas que aparecem expostas nas regiões costeiras, principalmente na forma de domos, necks e diques fonolíticos e subordinadamente como diques de rochas ultrabásicas. A idade mais antiga obtida por Cordani (1970) para rochas da ilha foi de 3,6 Ma, num dique de rocha ultrabásica em tufos da praia dos Cabritos, sendo que as grandes intrusões fonolíticas acusaram idades de 2,3 a 2,9 Ma.

Após um longo período de erosão que removeu os derrames, expondo seus diques alimentadores, ocorreu um novo episódio vulcânico em Trindade, denominado Sequência Desejado, a qual é formada por uma sucessão de derrames de fonólitos, grazinitos (ou tefritos fonolíticos, uma variedade de nefelinito contendo analcima, porém não olivina) e nefelinitos intercalados por piroclastos de composição equivalente, com espessura total variando entre 180 e 400 m. Sua base encontra-se aproximadamente a 360 m de altitude, correspondendo claramente a uma superfície de erosão que trunca o Complexo Trindade. As idades obtidas para os derrames da Sequência Desejado compreendem-se entre 1,60 e 2,63 Ma (CORDANI, 1970).

Os três episódios vulcânicos mais recentes, as formações Morro Vermelho, Valado e Vulcão do Paredão são constituídos exclusivamente por rochas ultrabásicas. A mais antiga delas, a Formação Morro Vermelho, resulta de uma única e continuada manifestação vulcânica, em parte de caráter explosivo, com derrames de lava ankaratrítica, uma variedade melanocrática de olivina nefelinito contendo biotita, localizados na porção oriental da ilha, nas proximidades do Morro Vermelho. Na Formação Morro Vermelho que, de acordo com Cordani (1970), não seria mais antiga que 170.000 anos, raramente são encontrados tufos e sua espessura não ultrapassa 230 m.

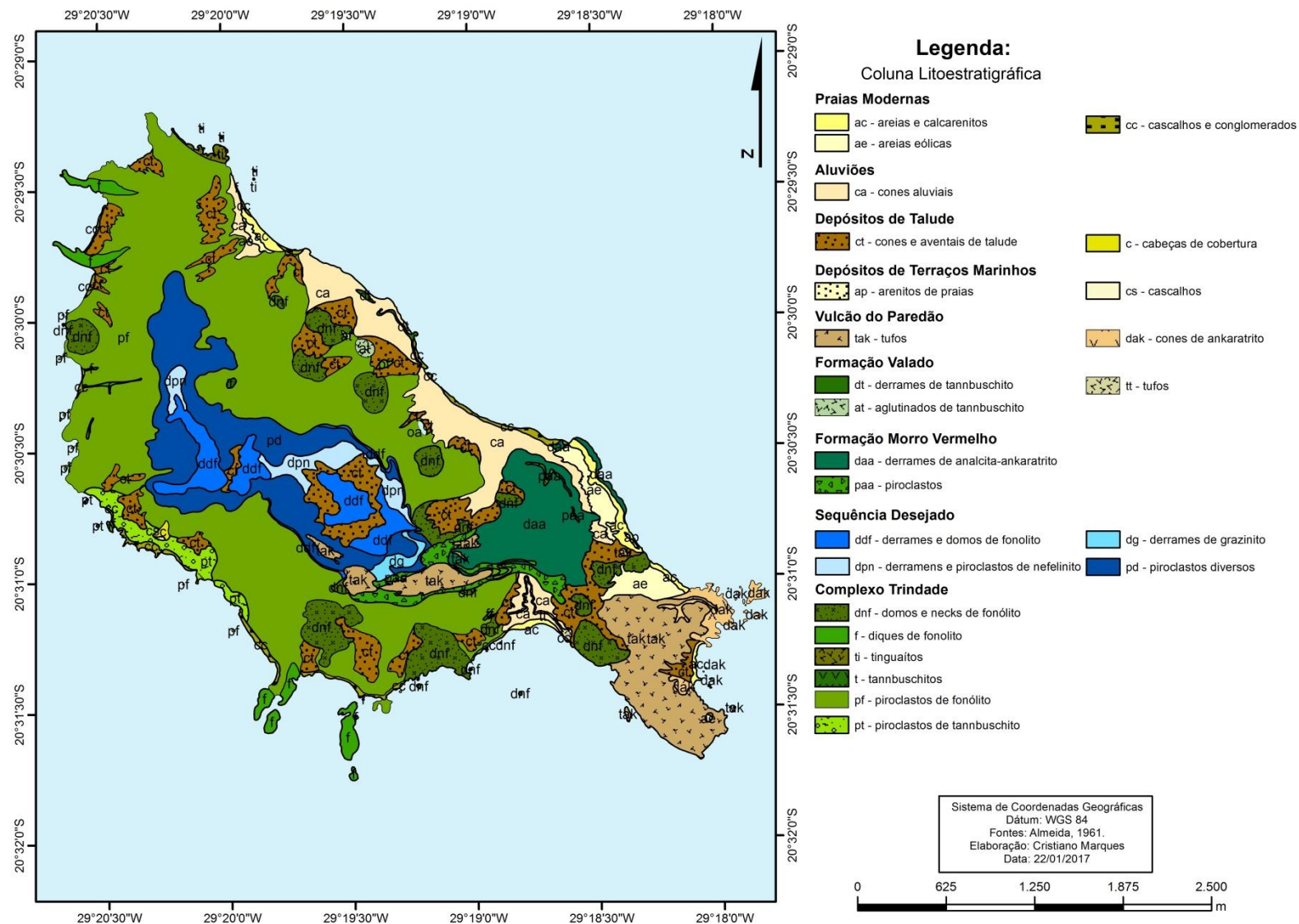


Figura 8 - Mapa geológico da Ilha da Trindade. Fonte: Elaboração do autor.

A Formação Valado, quarto evento efusivo, é constituída por derrames de caráter melanafelinítico (tannbuschitos) e depósitos piroclásticos, que ocorrem em uma faixa relativamente estreita (cerca de 20 m de espessura), possivelmente formada pela erupção a partir de uma fenda paralela à costa, localizada na parte norte da ilha, desde a Ponta do Valado até a Ponta do Tubarão. Camadas de tufos, também atribuídos a esta mesma formação, são encontradas no sul da ilha, ao norte da Praia do Príncipe. Destaca-se que, devido a sua pouca idade, não foi possível ser datada por Cordani (1970) pelo método K-Ar, contudo, segundo indica Patrício (2012), as evidências geomorfológicas da ilha apontam se tratar de um evento pós-glacial.

O episódio vulcânico mais recente, Vulcão do Paredão, tem sua manifestação observada, sobretudo, pelo resto de uma cratera de um edifício vulcânico, situado na extremidade oriental da ilha, o qual está sendo destruído pela erosão marinha, e que representa o único resquício reconhecível de um vulcão em território brasileiro. O cone vulcânico é constituído essencialmente por materiais piroclásticos (tufos lapilíticos com blocos e bombas, brechas, tufo-brechas e aglomerados brechóides) de composição ankaratrítica, com algumas intercalações de lavas ultrabásicas, altamente vesiculadas na parte superior dos derrames e restritas à sua porção norte, onde foram identificados onze derrames em direção à Praia das Tartarugas. Finas camadas de tufos e cinzas, transportadas por ventos, foram depositadas a distâncias de até 2 km do edifício vulcânico, nas encostas do Morro das Tartarugas e do Pico do Castelo, próximo ao topo do Morro Vermelho e do Pico Verde, como também na borda leste do Pico das Graziñas, onde atingem a espessura de 5 m.

Assim como foi observado para a Formação Valado, por se tratar de rochas muito recentes, as rochas do Vulcão do Paredão não puderam ser datadas por Cordani (1970). Portanto, recorreu-se à geomorfologia para estimar sua idade, que então parece ser pós-gracial, mas anterior ao chamado ótimo climático, ao qual parece atribuível o mais recente terraço marinho reconhecível na ilha. Teria então idade de poucos milhares de anos somente (PATRÍCIO, 2012).

#### 2.4.2. ASPECTOS ESTRUTURAIS

Conforme Almeida (1961), o arcabouço geológico de Trindade é extremamente fraturado, sendo que quanto mais antigas as unidades geológicas, mais fraturadas elas se encontram. Logo, é no Complexo Trindade que essas estruturas são mais evidentes. Segundo ele, a origem desses fraturamentos tem causas locais e, portanto, está relacionada ao próprio resfriamento do magma, ou aos processos intempéricos em geral (Figura 9).

Embora essas estruturas possam ser observadas em qualquer afloramento rochoso de Trindade, existem basicamente dois conjuntos principais de fraturas na ilha, que se destacam por sua extensão e uniformidade de traçado e orientação: *fraturas radiais* e *fraturas de orientação NW* (ALMEIDA, 1961). A maioria dos diques, bem como muitos dos grandes necks e domos fonolíticos, e as manifestações efusivas mais modernas, parecem estar relacionados à presença desses sistemas de fraturas, embora as rochas produzidas por essas últimas apresentem fraturas próprias.

Em relação às fraturas radiais, destaca-se que esse sistema se distribui por toda a face ocidental da ilha, cujo traçado irradia do planalto axial<sup>5</sup> em direção à costa. Apresentam caráter retilíneo e são inclinadas verticalmente, expondo ângulos que superam os 60°, algumas delas apresentando cerca de 500 metros de extensão. Muitas dessas fraturas estão preenchidas por diques: “se alojam [nessas fraturas] os mais possantes diques fonolíticos observados em Trindade, sendo possível que as intrusões do Monumento e do pico Desconhecido tenham se processado através delas” (ALMEIDA, 1961). Por isso é tão elevado o número de estruturas como essas que avançam em direção ao mar nessa face da ilha, constituindo proeminentes saliências do traçado da linha de costa (ALMEIDA, 1961).

---

<sup>5</sup> Unidade geomorfológica que será detalhada em seguida no trabalho (ver página 35).

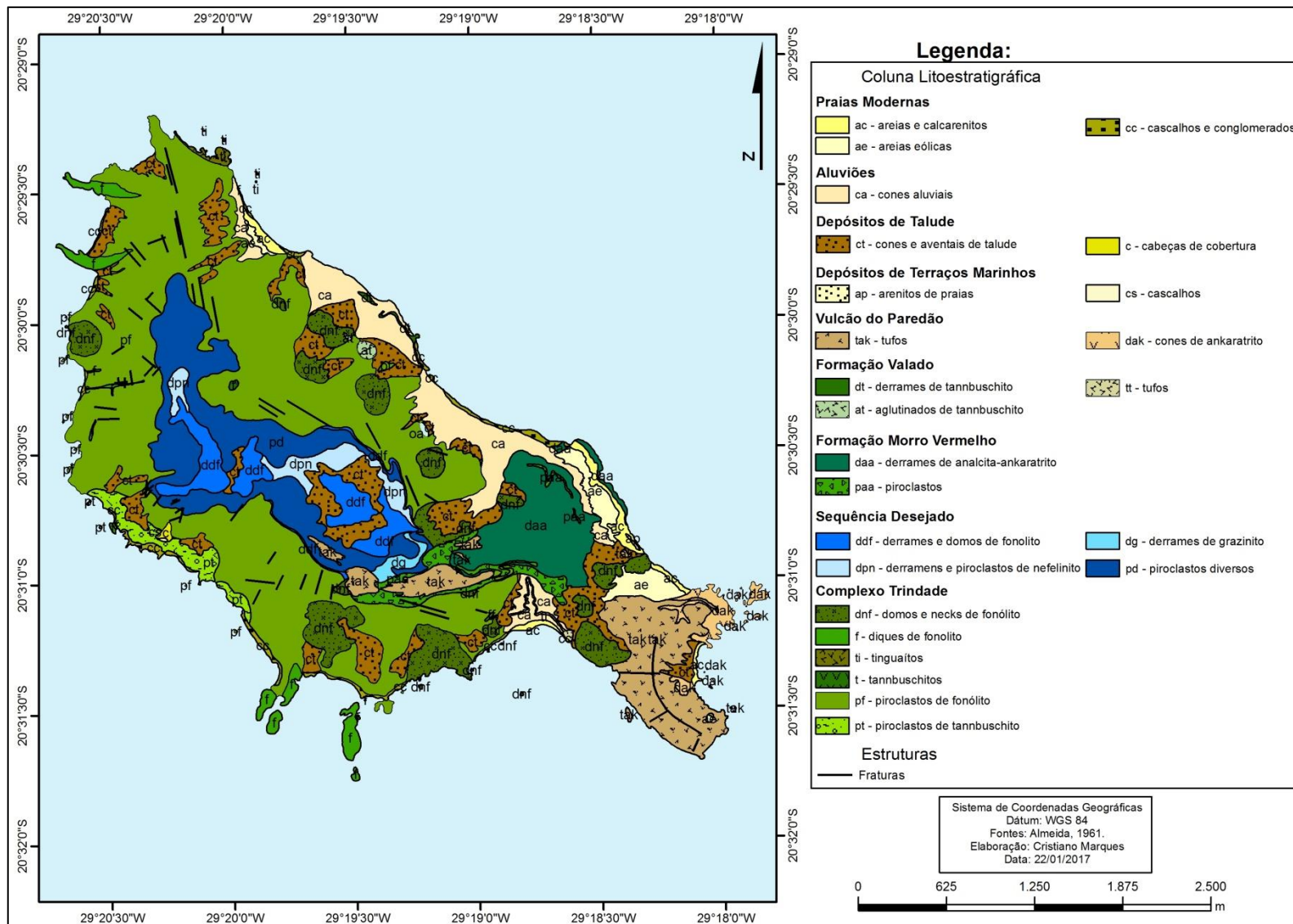


Figura 9 - Mapa geológico contendo as estruturas. Fonte: elaboração do autor.

As fraturas de orientação SW ocorrem basicamente na faixa territorial que se inicia na região da Crista do Galo e vai até as proximidades do planalto ankaratrítico, ou seja, numa área que percorre grande parte da face oriental da ilha. Sua manifestação pode ser observada, de maneira geral, próxima às áreas de contato entre a Sequência Desejado e o Complexo Trindade, através de sequências de fraturas que descrevem um traçado que acompanha paralelamente o planalto axial. Além disso, destaca-se que é muito comum que haja sequências paralelas de fraturas, algumas muito próximas às outras.

Segundo Almeida (1961), essas fraturas retalham os piroclastos da unidade geológica homônima à ilha em chapas subverticais, o que teria favorecido fortemente o desenvolvimento de escarpas abruptas nessa face da ilha, marcadamente na região que está voltada para a Enseada dos Portugueses: “são diáclases mergulhadas para o mar ou para o interior da ilha, de ângulos geralmente superiores a 70°. Algumas delas têm centenas de metros de desenvolvimento retilíneo, paralelo ao litoral” (ALMEIDA, 1961). Esse autor ainda destaca que vários importantes diques de rochas eruptivas se alojaram nessas estruturas, e que a maioria dos necks e domos fonolíticos<sup>6</sup> está situada na faixa compreendida por tal sistema, os quais teriam sido formados como expansões locais do magma injetado nessas fraturas.

## **2.5.GEOMORFOLOGIA**

A estrutura do edifício vulcânico de Trindade caracteriza-se por sua heterogeneidade (ALMEIDA, 1961). De um lado se apresentam rochas vulcânicas que, graças às condições de exposição, oferecem significativa resistência às ações intempéricas, embora mecanicamente se desfaçam em blocos, devido à existência de juntas de contração. De outro, grandes massas de materiais piroclásticos se mostram altamente susceptíveis aos processos intempéricos e à erosão. Portanto, a configuração geomorfológica da ilha é o resultado da atuação de processos destrutivos que atuam sobre um maciço rochoso heterogêneo e que, portanto, apresenta diferentes resistências frente a eles (ALMEIDA, 2002).

Depois de cessado o período de vulcanismo ativo, Trindade vem passando por um ciclo de acentuado intemperismo sobre o maciço vulcânico original, ciclo esse que pode ser considerado curto, tendo em vista a idade recente das últimas formações geológicas da ilha.

---

<sup>6</sup> Idem.

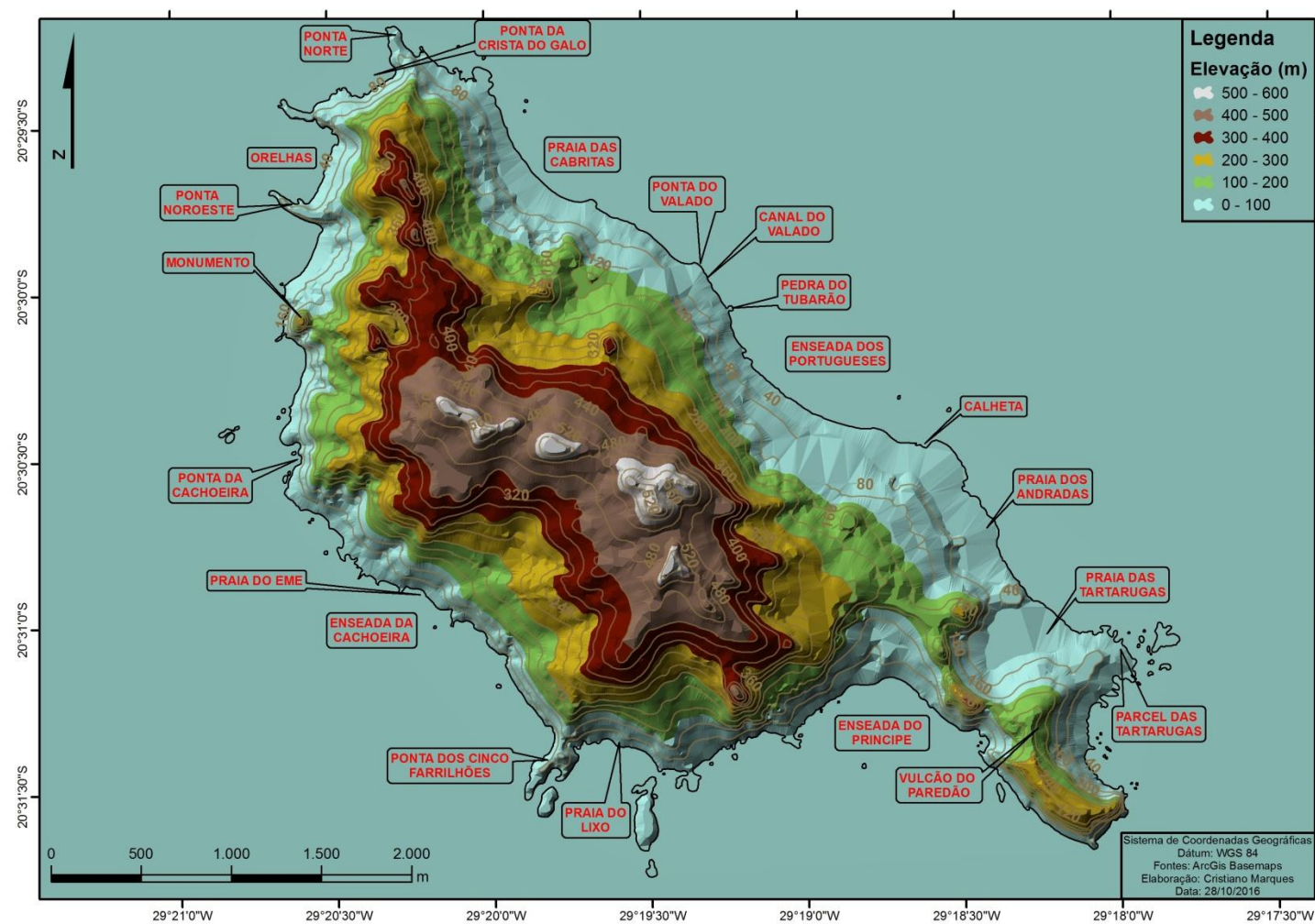
Nesse cenário, é possível indicar que a morfogênese é preponderante em relação à pedogênese, quadro esse que foi intensificado diante das alterações ambientais provocadas pela ação humana (CLEMENTE, 2006).

Sendo assim, o relevo da ilha se mostra extremamente acidentado, onde as principais feições geomorfológicas correspondem a vales estreitos e profundos, encostas íngremes, vertentes escarpadas, picos proeminentes e praias estreitas, com pontos culminantes alcançando cerca de 620 m de altitude (Figura 10). Platôs e terraços estáveis ocorrem em pequenas porções da ilha, concentrando nos primeiros os solos mais desenvolvidos e profundos (CLEMENTE, 2006).

O Mapa de Declividade da ilha (Figura 11) retrata bem as características anteriormente mencionadas, uma vez que, segundo Embrapa (1999), o tipo de relevo predominante em Trindade é o Montanhoso (declividades entre 45 e 75%), o qual abrange 32% de seu território. Em seguida estão os tipos Fortemente Ondulado (declividades entre 20 e 45%) e Fortemente Montanhoso (declividades superiores a 75%), ambos abrangendo 29% da superfície insular, cada (Tabela 1). Portanto, as declividades muito acentuadas correspondem, neste universo, 90% do território total de Trindade.

Ademais, destaca-se que os afloramentos rochosos e piroclastos dominam a paisagem, o que associado às condições gerais do relevo, anteriormente destacadas (alta declividade), reflete-se na ocorrência de coberturas pedológicas predominantemente pouco espessas e fortemente incididas por feições erosivas, como sulcos e ravinas, e até mesmo por cânions profundos (Figura 12a e 12b), os quais podem ser observados onde esses processos tiveram atuação mais pronunciada (CLEMENTE, 2006).

Certamente uma das características mais marcantes de Trindade é a presença de uma linha de cumeada, de sentido NW-SE, localizada na parte central de seu território, que o divide em duas faces opostas, comumente denominadas como “face oriental” e “face ocidental”, termos que também serão adotados no presente trabalho (Figura 13).



**Figura 10 - Mapa hipsométrico de Trindade. Fonte: elaboração do autor<sup>7</sup>.**

<sup>7</sup> Embora se saiba que a elevação da ilha supera os 600 metros de altitude, as bases de dados disponíveis fornecem elevações que não superam os 600 metros, o que demonstra as suas limitações.

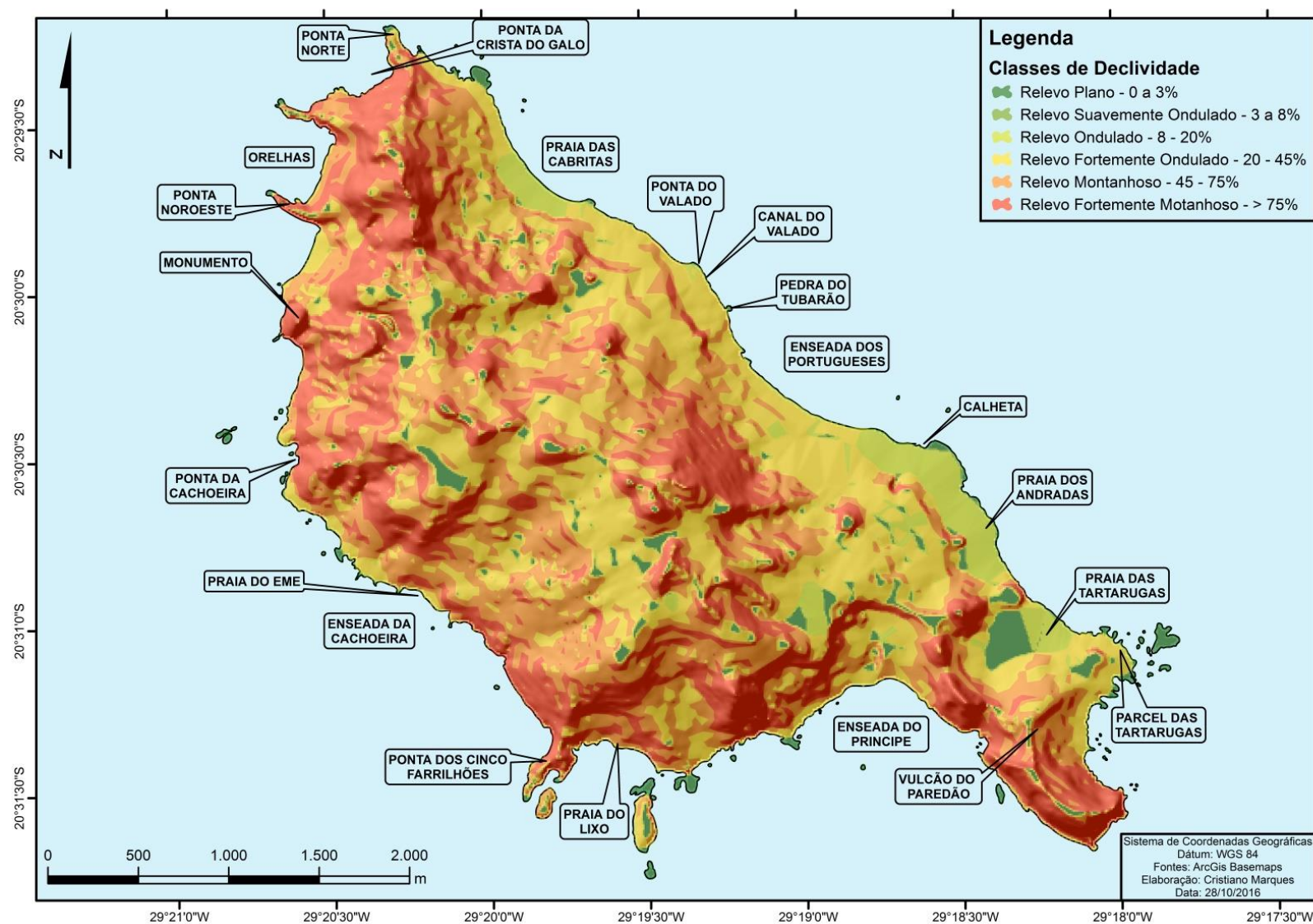
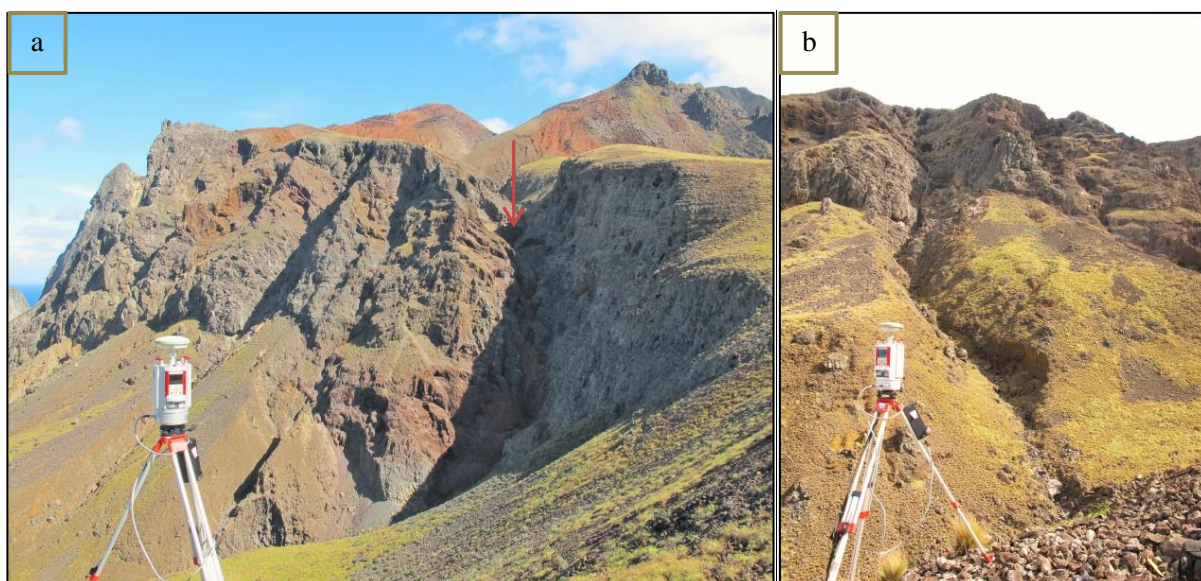


Figura 11 – Mapa de declividade (%) da ilha. Fonte: Elaboração do autor.

Declividade (% / °)	Tipo de relevo	Área (%)
0 - 3% / 0 a 1,7°	Relevo Plano	3%
3 - 8% / 1,7 a 4,5°	Relevo Suavemente Ondulado	1%
8 - 20% / 4,5 a 11,3°	Relevo Ondulado	6%
20 - 45% / 11,3 a 24,2°	Relevo Fortemente Ondulado	29%
45 - 75% / 24,2 a 36,8°	Relevo Montanhoso	32%
> 75% ou > 36,8°	Relevo Fortemente Montanhoso	29%

**Tabela 1 - Classes de declividade, tipos de relevo e sua representatividade no território da ilha. Fonte: Elaboração do autor, classes de declividade segundo Embrapa (1999).**



**Figura 12 - Vista do Cânion do Córrego Vermelho, em seu trecho final, próximo à Praia do Príncipe, destacado com a seta vermelha, além de diversas outras incisões (a); Detalhe de uma ravina em avançado estágio de evolução, localizada na margem direita desse mesmo cânion (b). Fonte: Acervo do autor.**

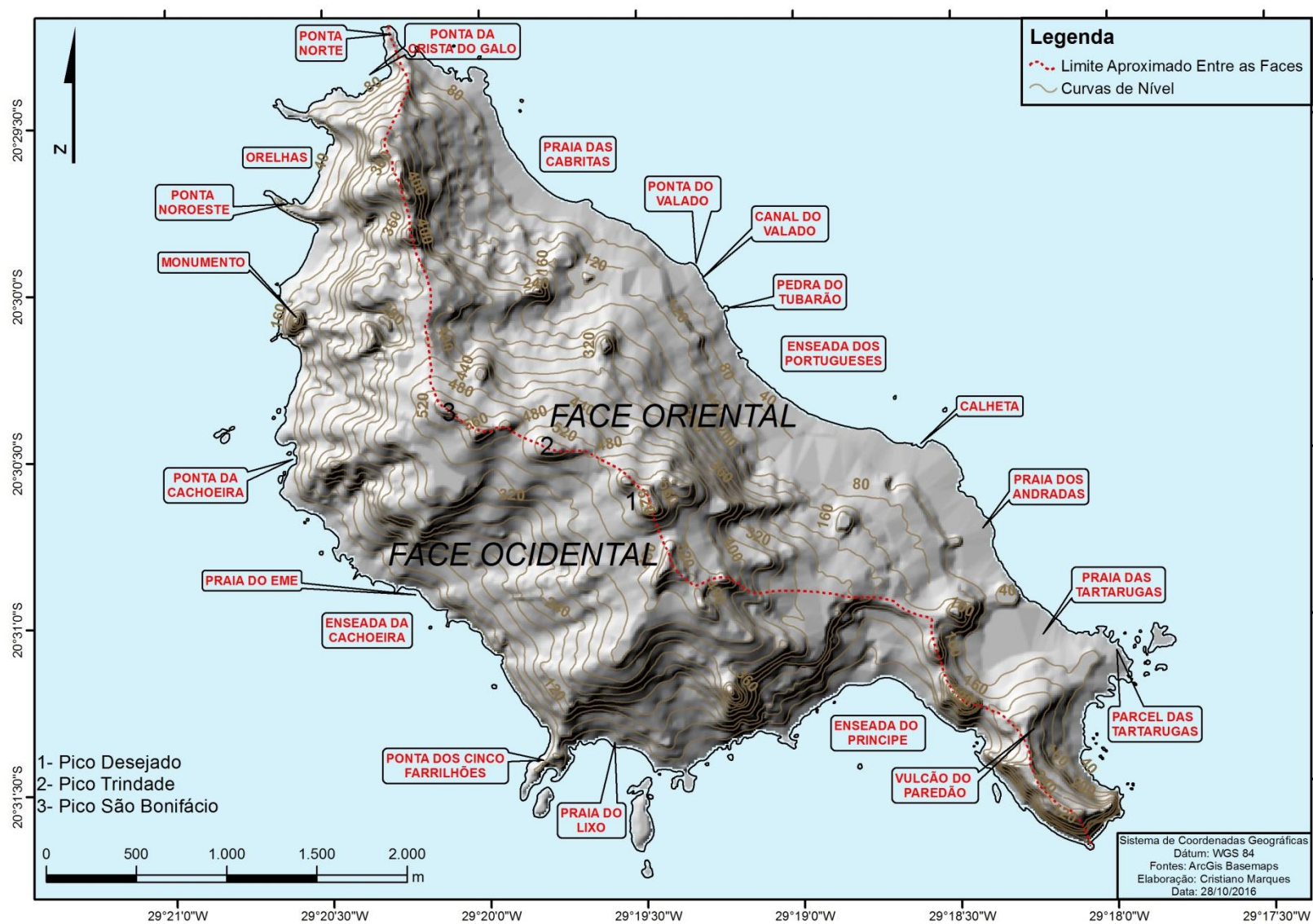


Figura 13 – Mapa da divisão da ilha em duas faces opostas. Fonte: Elaboração do autor.

Comparando essas duas unidades, é possível destacar que a porção ocidental se mostra mais escarpada e, portanto, menos favorável à pedogênese. Contudo, esta área é mais sombreada e, dessa maneira, dispõe de um caráter mais úmido, propiciando um ambiente ideal para suportar uma floresta nebulosa de samambaias gigantes (*Cyathea delgadii de Trindade*), cuja evolução levou à gênese de Organossolos (CLEMENTE, 2006; FIRME SÁ, 2010). Esses Organossolos possuem horizonte hístico, denotando uma combinação incomum para essa classe de solo no contexto geomorfológico que ela ocupa. Isso faz com que tais solos sejam considerados endêmicos (CLEMENTE et al., 2006). A porção oriental, por sua vez, possui encostas mais suaves, com solos mais desenvolvidos, praias e dunas mais amplas, principalmente na área que vai da Calheta até o Parcel das Tartarugas, abrangendo a Praia das Tartarugas.

De maneira a corroborar com o exposto, a Figura 14 traz a distribuição da radiação solar em Trindade ao longo de um ano, reforçando o argumento de que esse é um dos possíveis fatores que possibilitam a ocorrência dessa formação vegetacional na face ocidental. Em seguida, a Figura 15 (a e b) ilustra as diferenças, relativas à declividade, observadas entre as duas faces da ilha, e a Figura 16 (a e b) traz o panorama geral da floresta nebulosa de samambaias gigantes.

Até o momento, o relevo de Trindade vem sendo compreendido a partir da compartimentação de sete conjuntos de formas. São elas: I- Planalto Axial; II- Encostas Vulcânicas; III- Necks e Domos Fonolíticos; IV- Domos e Pináculos de Piroclastos Fonolíticos (Crista do Galo); V- Planalto Ankaratrítico; VI- Vulcão do Paredão; VII- Domínio Litorâneo (ALMEIDA, 1961; CASTRO, 2010; SCHAEFER; OLIVEIRA, 2015; MACHADO, 2016).

A partir da sequência de cristas que divide a ilha em duas faces, é possível destacar que parte dela forma um planalto axial (I) de relevo irregular, acima de 350 m de altitude, constituído sobre as rochas da Sequência Desejado, do qual se erguem os picos Desejado, o mais elevado da ilha (620 m), São Bonifácio e Trindade, estes últimos entre 570 e 590 m de altitude, respectivamente.

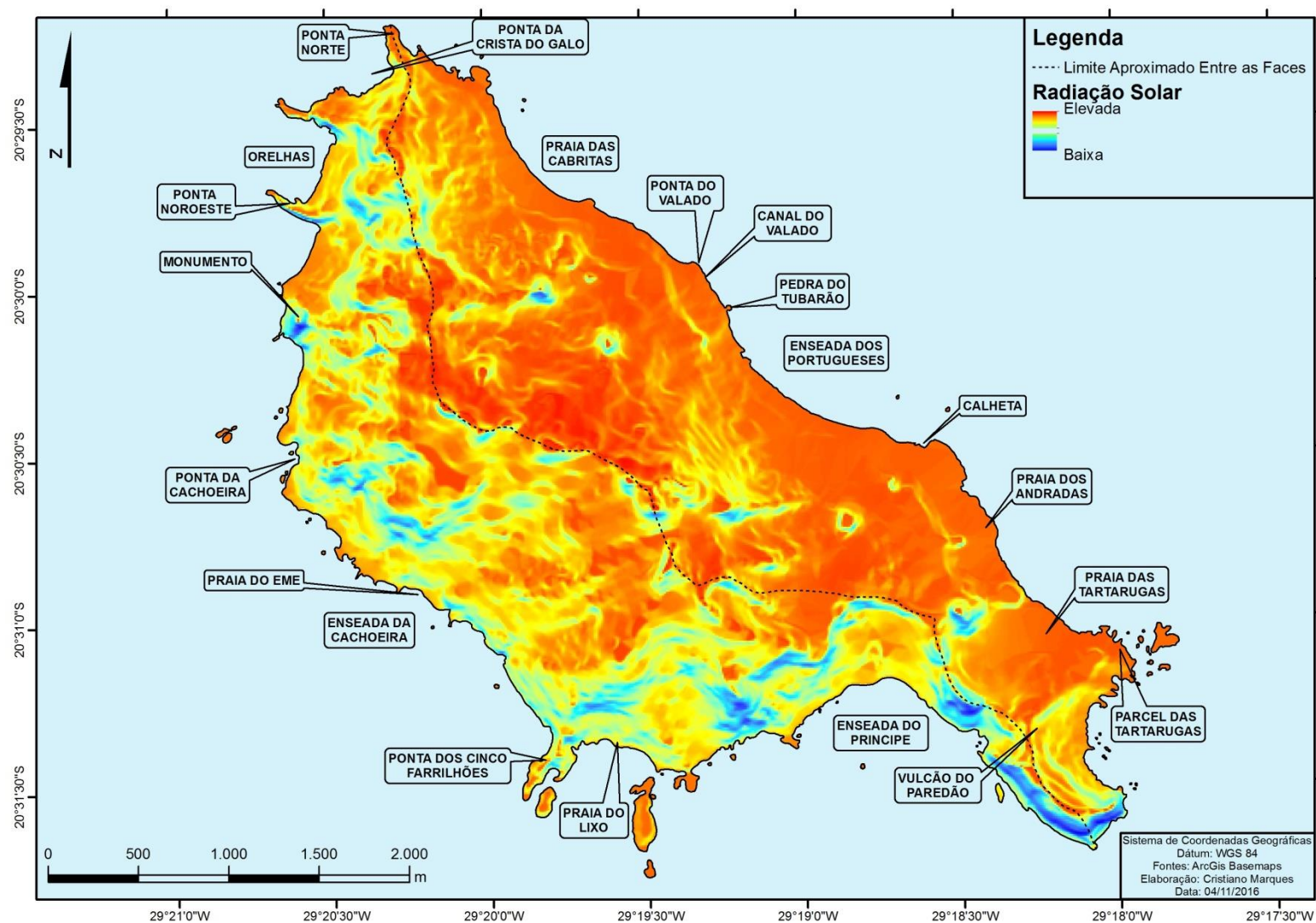
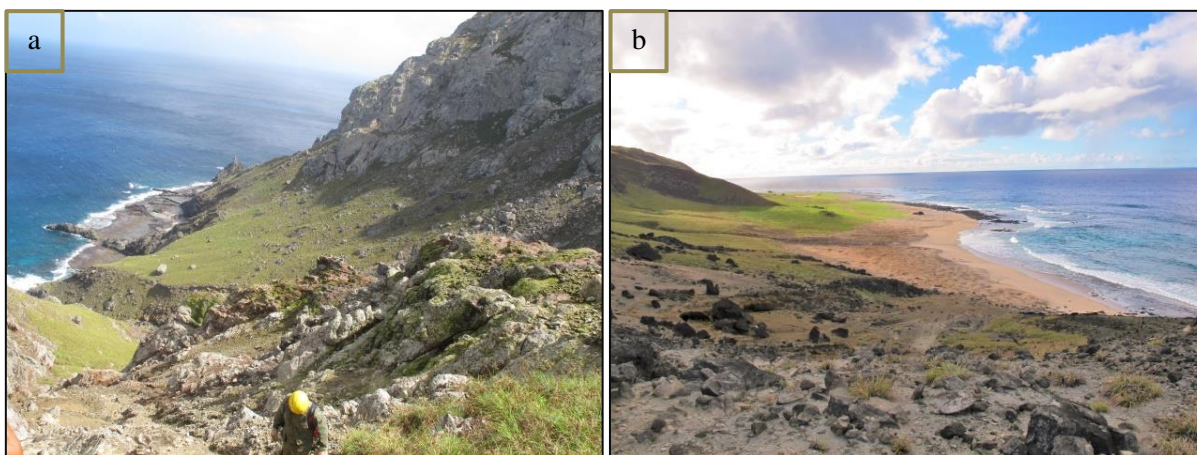
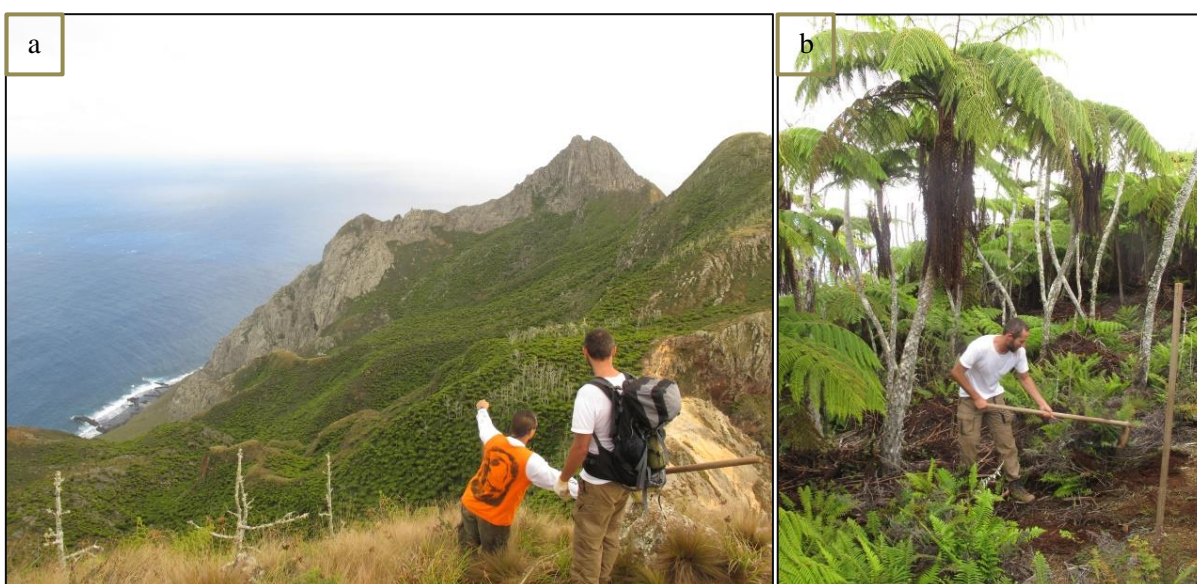


Figura 14 - Mapa da Radiação Solar em Trindade no período de um ano. Fonte: Elaboração do autor.



**Figura 15 - Aspecto mais declivoso da face ocidental (a) em comparação com as encostas mais suaves da face oriental (b). Fonte: Acervo do autor.**

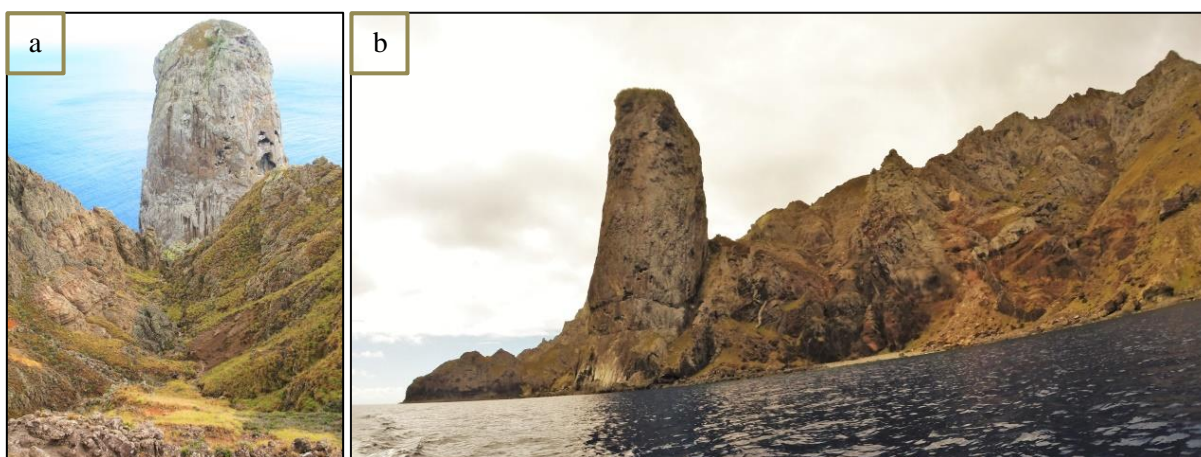


**Figura 16 (a e b) - Floresta Nebular de samambaias gigantes (*Cyathea delgadii* de Trindade). Fonte: Acervo do autor.**

Desse planalto têm origem os principais cursos d'água da ilha, além de diversas ravinas. Segundo Clemente (2006), essas feições erosivas são decorrentes, sobretudo, do incipiente desenvolvimento de coberturas pedológicas, que é resultado de um relevo muito acidentado associado à forte atuação da erosão laminar, causada pela retirada da cobertura vegetal que antes se fazia presente.

Das bordas do planalto axial descem ao mar as abruptas encostas vulcânicas (II), compostas por superfícies rochosas com acumulações de blocos de diferentes tamanhos, soltos por desagregação mecânica, as quais foram descritas por Almeida (1961) como “escabrosas”, tamanho é o grau de declividade e amplitude altimétrica que apresentam.

Das encostas vulcânicas se erguem vários Necks e Domos Fonolíticos (III), abaixo do Planalto Axial, separados por ravinas e vales fortemente incididos, formados por rochas do Complexo Trindade. Essas feições emprestam à Trindade um de seus mais notáveis aspectos paisagísticos. Conforme indica Almeida (1961), o Monumento<sup>8</sup> (Figura 17a e 17b), na costa ocidental, é um dos mais belos testemunhos desse tipo de intrusão em todo o mundo, alcançando cerca de 300 m de altura e erguendo-se verticalmente do mar (ALMEIDA, 1961).

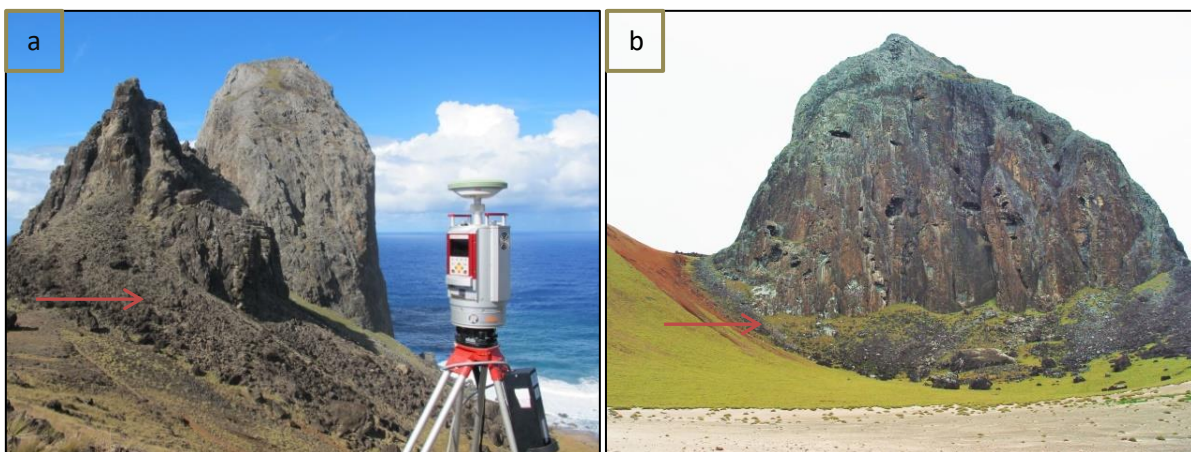


**Figura 17 - Aspecto do Monumento, na costa ocidental da ilha, observado do Planalto Axial (a); e do mar (b). Fonte: Acervo do autor.**

Destaca-se que é comum a ocorrência de depósitos de tálus, sobretudo na base dos necks e domos, mas também no sopé das vertentes, os quais são formados pela deposição de materiais de frações granulométricas de maior calibre, como blocos e matacões, que são transportados dos setores mais elevados até se acomodarem nas partes mais baixas. (Figura 18a e 18b). Almeida (1961) já havia destacado a ocorrência desses depósitos em seu trabalho. Segundo ele, trata-se de blocos rochosos inalterados, que se acumulam em formato de cones, aventais e saias de talude, os quais apresentam perfis retilíneos a ligeiramente côncavos, onde os maiores blocos geralmente se localizam na parte basal, alguns deles com metros de comprimento. Para Almeida (1961) a presença de fragmentos de grandes colunas, achados a mais de 200 m da base dos depósitos atestam que sua formação está relacionada a movimentos de rastejo, uma vez que a origem por rolamento teria fraturado esses fragmentos. Ademais, o autor salienta que, embora tais processos continuem vigentes atualmente, há indícios de que eles tenham sido mais ativos em um passado geológico recente, talvez pela retomada da erosão ou por abalos sísmicos (ALMEIDA, 1961).

---

<sup>8</sup> É importante destacar nesse ponto, para evitar qualquer tipo de engano, que o Monumento, localizado na costa ocidental da ilha, e o Obelisco, localizado na Crista do Galo, não se tratam da mesma feição.



**Figura 18 - Vista dos picos do Vigia, em primeiro plano, e Pão de Açúcar, em segundo plano (a); e detalhe do Pão de Açúcar (b), com destaque para os depósitos de tálus em suas bases, destacados com as setas vermelhas. Fontes: acervo do autor e Carlos Schaefer.**

A ocorrência dos Domos e Pináculos de Piroclastos Fonolíticos (IV) pode ser verificada na extremidade boreal da ilha, na região conhecida como Crista do Galo. Conforme Almeida (1961), essa feição, que certamente leva esse nome devido ao aspecto serrilhado de seus cumos, merece ser considerada à parte dos Necks e Pináculos Fonolíticos justamente por apresentar uma morfologia específica. Segundo ele, trata-se de uma verdadeira aresta, onde culminam elevações que chegam a ultrapassar 400 m, com destaque para o Obelisco, que parece constituir-se de alguma intrusão. Dessa feição, descem ao mar escarpadas vertentes de perfis côncavos, constituídas por piroclastos protegidos por numerosos diques (Figura 19).



**Figura 19 - Caráter geral da região da Crista do Galo, com seus cumos de aspecto serrilhado e detalhe para o Obelisco, feição indicada pela seta vermelha. Fonte: Acervo do autor.**

O planalto ankaratrítico (V) situa-se na região oriental da ilha, sobre rochas da Formação Morro Vermelho, e apresenta estrutura concordante, inclinado para o mar. É sulcado por diversas ravinas e profundamente entalhado pelo Córrego do Morro Vermelho, processo erosivo que, segundo Almeida (1961), resultou na captura sofrida por esse córrego em seu

médio curso, que antes drenava até a Praia dos Andradas, na costa oriental, e atualmente drena em direção a Praia do Príncipe, processo esse que será comentado com mais detalhe nas próximas sessões do presente trabalho. É separado do vulcão do Paredão por um arco de necks e domos, que correspondem aos picos Pão de Açúcar, picos do Vigia, Nossa Senhora de Lourdes e das Tartarugas, de alturas decrescentes, formando um grande anfiteatro, que circundava o local onde surgiu o vulcão do Paredão.

O Vulcão do Paredão (VI), por sua vez, é outra notável feição morfoestrutural da ilha (Figura 20). Constitui-se das ruínas de um edifício vulcânico, de pouco mais de 200 m, semidestruído pela ação do mar, representando a estrutura vulcânica mais recente do Brasil. A sul, há restos da antiga superfície do alto do cone, que hoje são caracterizados por paredões de tufos e falésias verticais com altura de aproximadamente 200 m. A oeste, as vertentes voltadas para os morros fonolíticos caem suavemente, em quase perfeita coincidência com a superfície original do cone vulcânico, sendo que os declives caracterizam-se, em geral, por escarpas abruptas, principalmente na face voltada para sudoeste.



**Figura 20 - Vulcão do Paredão. Fonte: Acervo do autor.**

Por fim, o Domínio Litorâneo (VII) é composto por reentrâncias e saliências que, de modo geral, refletem a resistência dos materiais e estruturas sobre os quais se estabeleceram. Começando pelas saliências, elas normalmente estão associadas a rochas eruptivas que se destacam no traçado da ilha, como é o caso de algumas proeminentes pontas, sustentadas por grandes corpos fonolíticos e diques, como é o caso da Crista do Galo, Farrilhões, Sul, Noroeste, e a que existe entre a Crista do Galo e esta última, ou por necks, como é o caso do Monumento e da Ponta do Príncipe. Também é válido ressaltar a ocorrência, na Praia do EME, de diques tannbuschíticos que adentram ao mar, lembrando muros negros, e que dão nome a essa região da ilha devido ao formato de letra “M” que apresentam em determinado ponto (Figura 21; ALMEIDA, 1961).



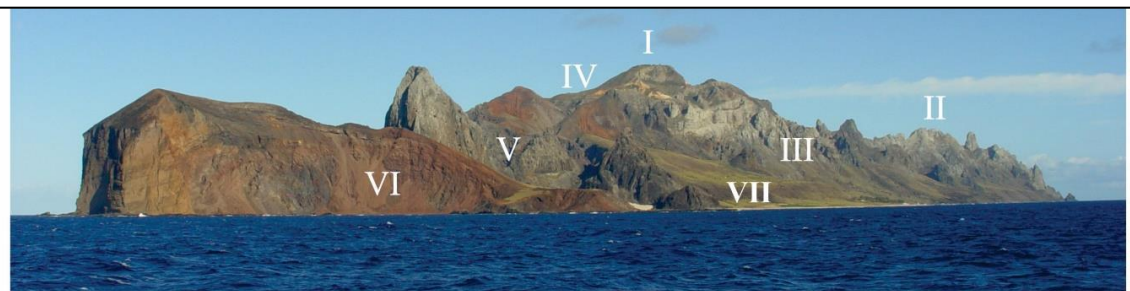
**Figura 21 - Diques tannbuschíticos na Praia do EME. Fonte: Acervo do autor.**

Em nítido contraste com as pontas da linha de costa, sustentadas pelas eruptivas, todas as importantes saliências estabeleceram-se diante de costões em piroclastos: a enseada do Príncipe, a da Cachoeira e a dos Portugueses, bem como aquela em que se encontra a praia dos Cabritos. São como grandes anfiteatros em tufos, abertos para o mar, separados deste apenas por estreitas praias (ALMEIDA, 1961).

Assim, Trindade apresenta um total de doze praias que, de maneira geral, são estreitas e constituídas de material de granulometria muito grosseira, acumulado em sítios privilegiados. A existência de praias arenosas é uma decorrência direta da presença de recifes, sendo que as principais delas são a Praia das Tartarugas, do Príncipe e das Cabritas. Destaca-se a ocorrência de patamares marinhos com seixos cimentados com carbonatos e enseadas com bancos de corais, além de se encontrar na Praia das Tartarugas a formação de pequenas dunas carbonáticas (Figura 22). A Figura 23 apresenta uma síntese dos domínios identificados, facilitando a compreensão da configuração e da diferenciação geomorfológica espacial da Ilha.



**Figura 22 - Pequenas dunas carbonáticas na Praia das Tartarugas.**



### Imagens dos Domínios Geomorfológicos

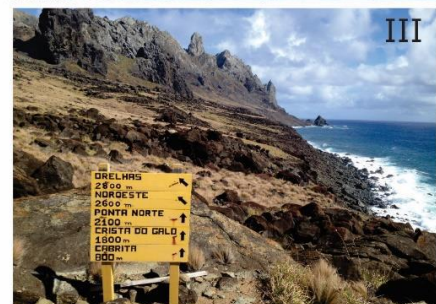


Figura 23 - Domínios Geomorfológicos de Trindade. Fonte: Extraído de Machado, 2016. Adaptado de Schaefer e Oliveira, 2015.

## 2.6.SOLOS

Além de influenciar na dinâmica ecológica das ilhas, como foi destacado anteriormente, o isolamento geográfico, associado a outros importantes elementos, como as variações no nível do mar e das correntes oceânicas, variações climáticas, litológicas e geomorfológicas, também é responsável pela formação de solos considerados endêmicos nas ilhas oceânicas.

Destaca-se que o termo “endemismo”, empregado no campo da pedologia, foi inicialmente utilizado por Guo *et al.* (2003), e depois mais amplamente desenvolvido por Bockheim (2005). Ele se aplica aos solos a partir dos preceitos da teoria dos fatores e processos de formação, desenvolvido por Jenny (1941), ou seja, a combinação de fatores em condições únicas ou atípicas resultará na formação de solos também únicos (MACHADO, 2016).

No caso de Trindade, que representa um território com fortes peculiaridades geográficas, como a presença de materiais de origem incomuns (rochas vulcânicas mais jovens do território brasileiro), e de características geomorfológicas únicas, é possível indicar que há um elevado potencial da ocorrência de solos com características muito específicas, adquirindo assim um caráter de forte endemismo pedológico, referido por Bockheim (2005) como endemismo edáfico (MACHADO, 2016).

Contudo, apesar de o endemismo ser forte na ilha, os processos morfogenéticos são mais intensos que os pedogenéticos, resultando no predomínio de afloramentos rochosos e depósitos de tálus na base das vertentes. Por conseguinte, a cobertura pedológica se caracteriza por ser pouco espessa, predominando associações entre afloramentos e Neossolos Litólicos e Cambissolos Háplicos (CLEMENTE *et al.*, 2006; FIRME SÁ, 2010 MACHADO, 2016).

Conforme Clemente (2006), a baixa taxa de intemperismo da ilha é revelada pela grande área com afloramentos de rochas alcalinas (fonólitos) nas partes mais altas da ilha, e por rochas básicas (basaltos sódicos e tufo básicos) nas áreas mais secas a baixas altitudes, com solos rasos, apesar da natureza facilmente alterável dessas rochas.

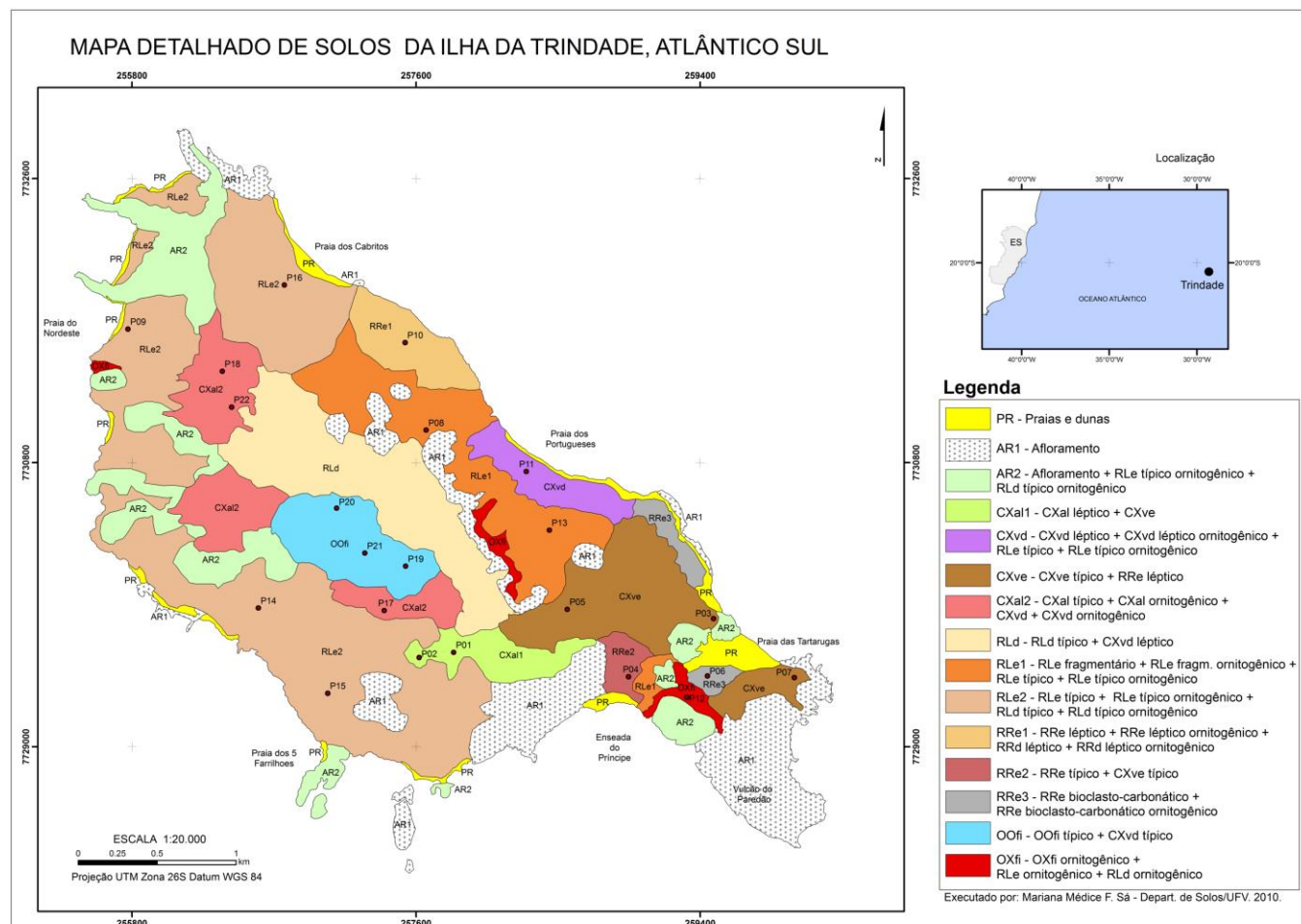
Segundo indica Firme Sá (2010), os solos mais profundos e desenvolvidos de Trindade ocorrem com mais frequência nas áreas mais aplainadas, estáveis, e elevadas do relevo. Por outro lado, os solos mais rasos e jovens ocupam frequentemente as áreas mais declivosas e,

portanto, mais suscetíveis aos processos erosivos e de movimentos de massa. Em síntese, os solos mais profundos são geralmente identificados nas áreas de topo do Planalto Axial, assim como preferencialmente nos terrenos situados na face oriental da ilha, em detrimento das áreas voltadas para a face ocidental, a qual apresenta vertentes mais íngremes.

Segundo o Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (SiBCS - EMBRAPA, 2006), e com base em Firme Sá (2010), podem ser identificadas as classes dos Cambissolos, Neossolos e Organossolos em Trindade (Figura 24). A ilha exhibe uma forte predominância da classe dos Neossolos é a predominante, a qual abrange coberturas pedológicas geralmente rasas, pouco desenvolvidas e sem horizonte B diagnóstico. Eles são constituídos por material mineral ou orgânico, com pequena expressão dos processos pedogenéticos, muitas vezes sobre o próprio material vulcânico intemperizado. Essa classe ocupa cerca de 55% do território da ilha, e tem ocorrência mais pronunciada nas áreas topograficamente mais rebaixadas, principalmente no setor oriental. Grande parte dos Neossolos da ilha são Neossolos Litólicos, que apresentam horizonte A pouco profundo em contato lítico, ou mais comumente fragmentário, revelando a grande filiação genética dos solos da ilha com o substrato geológico subjacente (FIRME SÁ, 2010).

Representando cerca de 30% da área total da ilha, os Cambissolos ocorrem preferencialmente a partir dos 400 m de altitude, nas porções medianas a elevadas da paisagem, onde se manifestam as rochas da Sequência Desejado. Em comparação com os Neossolos, os Cambissolos apresentam um estágio intermediário de intemperismo, maior expressão dos processos pedogenéticos e, conseqüentemente, maior profundidade.

Finalmente, os Organossolos apresentam menor expressão espacial, cerca de 10% de seu território. Sua ocorrência está restrita às altas encostas e aos vales estreitos abaixo do planalto axial, voltados para a face ocidental, onde está estabelecida a floresta nebulosa de samambaias gigantes - *Cyathea delgadii* - (CLEMENTE et al., 2009). O elevado aporte de material orgânico recalcitrante depositado por essas formações vegetais, associada à pobreza e quase inexistência de (meso e micro) fauna, além das condições climáticas específicas dessa região (clima nebuloso) condicionam a formação insólita de um horizonte hístico muito espesso, e a formação de Organossolos em relevo escarpado, atípico para a classe.



**Figura 24 - Mapa de solos de Trindade. Fonte: extraído de Firme Sá, 2010<sup>9</sup>.**

<sup>9</sup> **RLe:** NEOSSOLOS LITÓLICOS Eutróficos; **RLd:** NEOSSOLOS LITÓLICOS Distróficos; **CXal:** CAMBISSOLOS HÁPLICOS Alíticos; **CXve:** CAMBISSOLOS HÁPLICOS Ta Eutróficos; **CXvd:** CAMBISSOLOS HÁPLICOS Ta Distróficos; **RRe:** NEOSSOLOS REGOLÍTICOS Eutróficos; **RRd:** NEOSSOLOS REGOLÍTICOS Distróficos; **OOfi:** ORGANOSSOLOS FÓLICOS Fíbricos; **OXfi:** ORGANOSSOLOS HÁPLICOS Fíbricos. Os pontos marcados no mapa representam os pontos de amostragem que foram utilizados para a elaboração do mapa, referentes ao trabalho de origem do mesmo.

Em Trindade é observada a influência (atual e/ou pretérita) de aves marinhas nas três classes de solo identificadas. O efeito da avifauna na ilha distribui-se de maneira generalizada nos solos das áreas mais baixas, em alguns picos e em afloramentos, fato muitas vezes evidente pela presença abundante de ninhais na paisagem. O aporte de materiais orgânicos, como guano fresco, cascas de ovos e restos de animais pela avifauna resultam em solos com alta disponibilidade de fósforo, teores variáveis de  $\text{Ca}^{+2}$ ,  $\text{Mg}^{+2}$  e  $\text{K}^{+}$ , e maior conteúdo de matéria orgânica. A mineralização dos dejetos das aves e a interação dos produtos com o substrato mineral dá origem aos solos denominados ornitogênicos (SCHAEFER et al., 2004; SIMAS et al., 2004).

Segundo Firme Sá (2010), de maneira geral, os solos apresentam predominantemente texturas médias a argilosas, com destaque para a fração silte, que apresentou valores elevados para todos os casos investigados, indicando um estágio intermediário de desenvolvimento pedogenético destas coberturas. As texturas médias são predominantes nas partes mais rebaixadas do terreno, sendo que a textura argilosa é mais frequente nas partes mais elevadas. Também há grande ocorrência de materiais de textura mais grosseira (calhaus, cascalhos e matacões) na maioria dos solos da ilha.

Destaca-se que solos de textura siltosa são bastante suscetíveis à ocorrência de processos erosivos. Isso somado ao relevo movimentado, à grande ocorrência de afloramentos rochosos, à instabilidade natural inerente ao material vulcânico, à intensa retirada da vegetação pelo homem e à introdução de animais exóticos, criou condições propícias para que boa parte dos solos da ilha apresente sinais evidentes de erosão, e se encontrem decapitados.

## **2.7.ASPECTOS CLIMÁTICOS**

Há em funcionamento na ilha da Trindade, desde 1957, uma estação meteorológica que coleta dados diariamente, os quais são coletados e gerenciados pela Marinha do Brasil. A Marinha, por meio da DHN (Diretoria de Hidrografia e Navegação), é a Instituição Nacional que tem por funções promover e coordenar a participação do País nas atividades da COI (Comissão Oceanográfica Intergovernamental), patrocinada pela UNESCO (Organização das Nações Unidas para a Educação, a Ciência e a Cultura), relacionadas com os Serviços Oceânicos e

Mapeamento Oceânico, além de gerir o Banco Nacional de Dados Oceanográficos (BNDO) e o Centro depositário da COI, integrando o Sistema Mundial de Dados Oceanográficos.

Nesse sentido, o CHM (Centro de Hidrografia da Marinha), Organização Militar subordinada à DHN, é responsável pela operação do BNDO, por meio da Superintendência de Informações Ambientais, onde se encontram armazenados os dados da Estação Meteorológica da Ilha da Trindade, disponíveis para a consulta de universidades, centros de pesquisa, entre outras instituições.

Portanto, com base nos objetivos da presente pesquisa, dois parâmetros meteorológicos básicos se destacam: temperatura e a pluviosidade. Nesse sentido, a Figura 25 apresenta o Diagrama Climático da Ilha da Trindade<sup>10</sup>, o qual foi elaborado com base no modelo de Walter et al. (1975). Conforme destaca Alves (1998):

o clima é do tipo oceânico tropical. A temperatura média anual é de 25,2°C, sendo o mês de fevereiro (30,2°C) o mais quente do ano, e o de agosto (17,3°C) o mais frio. Entre os meses de abril e outubro, a Ilha sofre invasões periódicas de frentes frias, provindas do polo (em geral, uma por semana). As temperaturas médias mensais são quase uniformes, oscilando entre 22 e 25°C (ALVES, 1998, p. 25).

Em relação à precipitação, conforme é indicado pelo referido diagrama, a pluviosidade média anual é de 923mm. Alves (1998) ainda indica que os meses de abril, maio e junho são aqueles que apresentam os maiores índices pluviométricos (em torno de 100 mm mensais), sendo o mês de agosto e, em seguida, janeiro, os meses mais secos (em torno de 55 mm). Face ao contexto, a principal etapa de campo foi realizada ao final da estação úmida, em um período no qual os dados indicam uma forte redução da pluviosidade (17 de junho e 14 de agosto de 2015).

---

<sup>10</sup> O autor do presente trabalho teve acesso à série histórica de dados meteorológicos de Trindade, contudo, foram identificadas inconsistências nos dados (índices pluviométricos que indicavam precipitações de cerca de 900 mm diários). Portanto, os referidos dados estão sob análise da Marinha do Brasil, o que inviabilizou com que fossem desenvolvidas atualizações acerca do clima de Trindade.

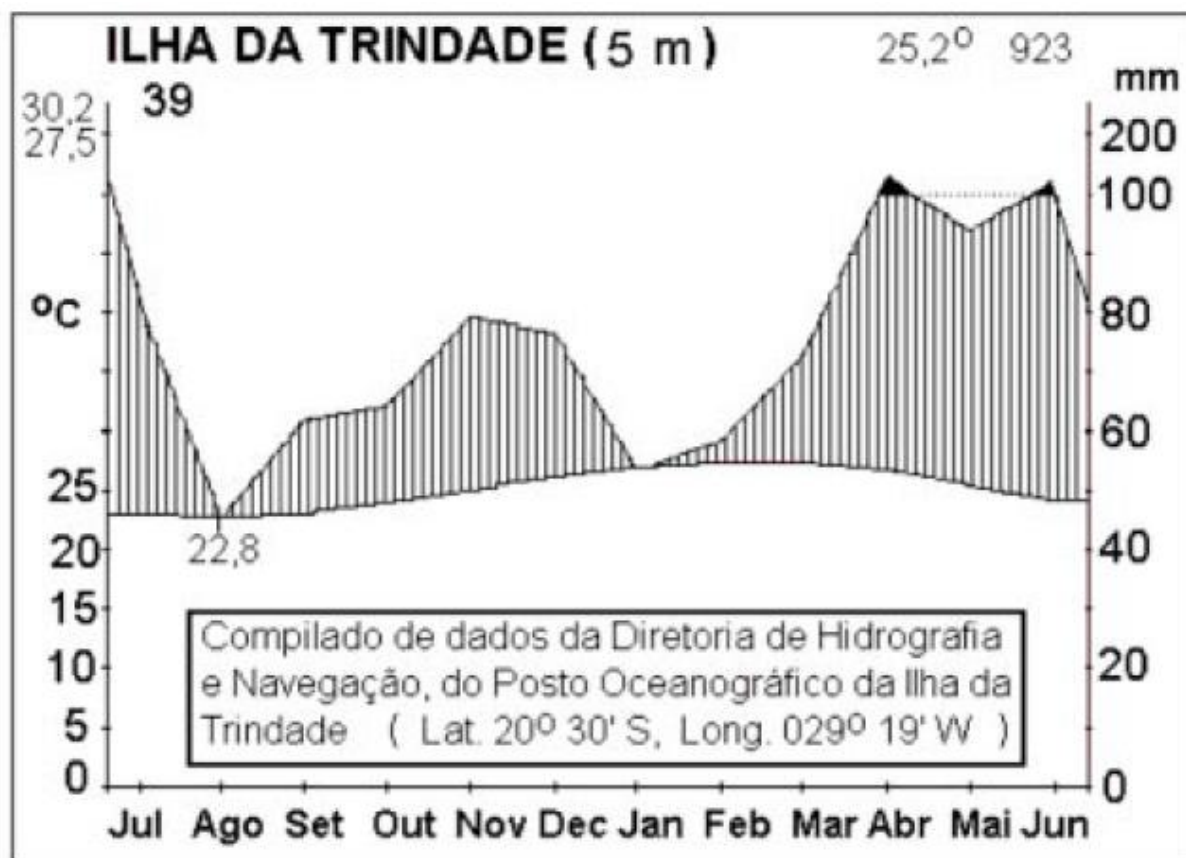


Figura 25 - Diagrama climático de Trindade. Fonte: Extraído de Alves, 1998.

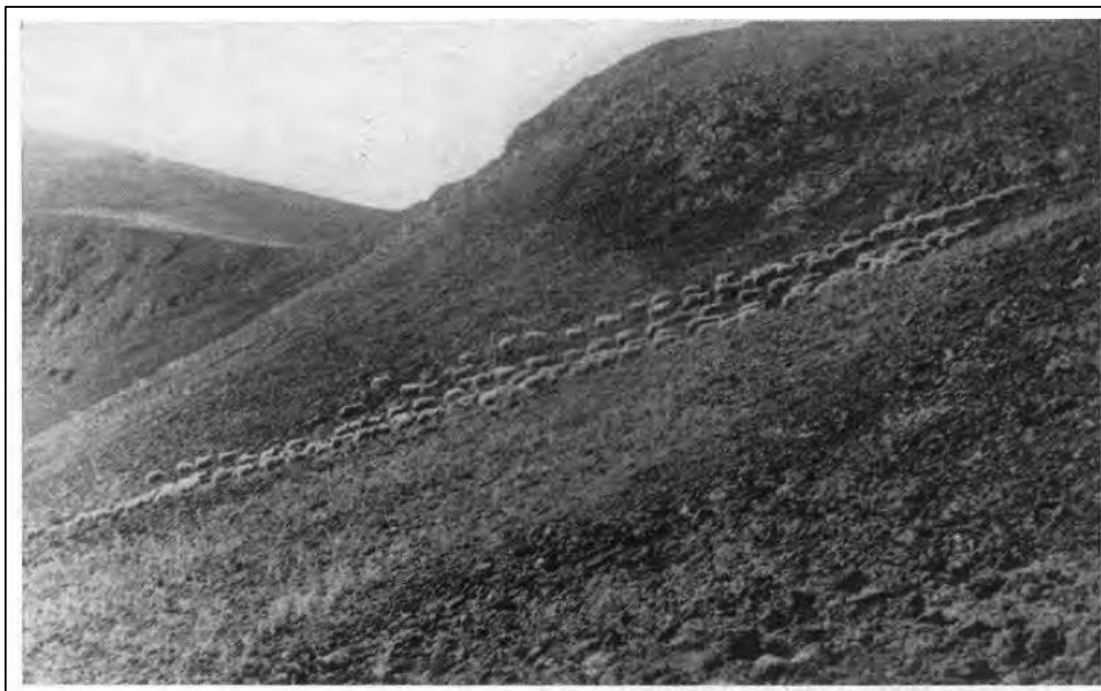
## 2.8. OCUPAÇÃO, IMPACTOS AMBIENTAIS E A ATUAL COBERTURA VEGETAL EM TRINDADE

Ao longo de sua história, que se inicia com sua descoberta em 1501, Trindade passou por várias fases de ocupação e desocupação. Durante esse processo, as ocupações exploraram sobremaneira a vegetação da ilha, a qual era composta, basicamente, por uma floresta de *Colubrina glandulosa* Perk, espécie arbórea que dominava as matas, das quais atualmente restam numerosos troncos, todos já caídos e em lento processo de decomposição (Figura 26; MARTINS; ALVES, 2007). Além disso, também houve a introdução de animais exóticos nesse processo, a qual teria sido iniciada no ano de 1700, por Sir Edmund Halley, que trouxe os primeiros casais de cabras (*Capra hircus*), porcos (*Sus scrofa*) e galinhas d'angola (*Numida meleagris*), sendo que, posteriormente, também foram introduzidas ovelhas, gatos (*Felis catus*), ratos (*Mus musculus*), entre outros animais (ALVES et al., 2011). Sem a existência de predadores naturais, esses animais se reproduziram intensamente ao longo dos anos, atingindo rebanhos consideráveis: em 1957, quando foi criado o POIT, ocupado permanentemente pela Marinha do Brasil, havia aproximadamente mil cabeças de cabras e

ovelhas, e de centenas de porcos, conforme relato do chefe do POIT da época (Figura 27). Isso impediu que a vegetação se regenerasse naturalmente, exercendo contínua pressão sobre o ecossistema (MARTINS; ALVES, 2007).



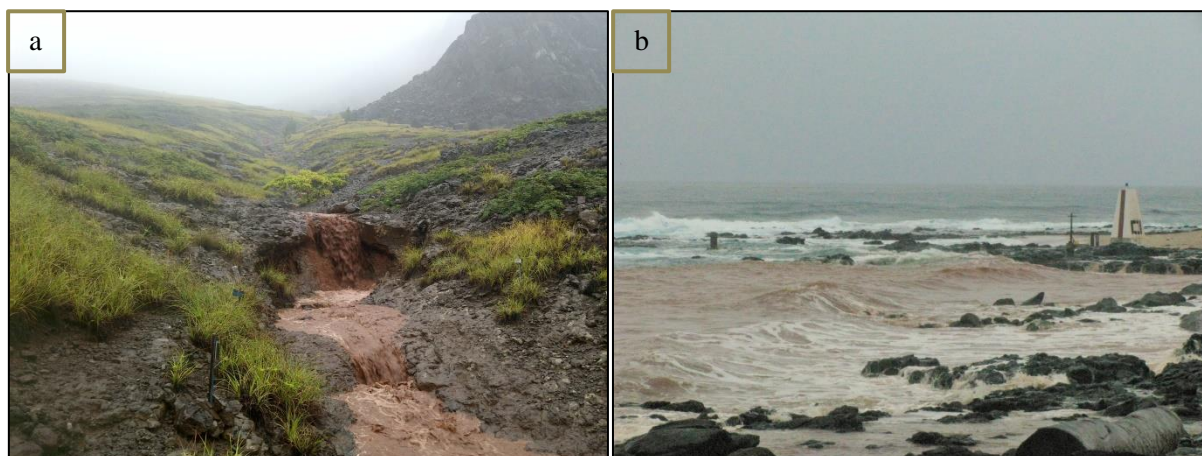
**Figura 26 – Tronco de *Colubrina glandulosa* Perk caído e em processo de decomposição. Fonte: Acervo do autor.**



**Figura 27 - Rebanho de cabras no Planalto Ankaratrítico. Fonte: Extraído de Almeida (1961).**

A introdução de animais exóticos significou uma prática bastante comum em várias ilhas oceânicas espalhadas pelo globo, como Bali (Indonésia), Moorea (Polinésia Francesa), Maui (Havaí), Penang (Malásia) e Santa Lucia (Caribe), o que possivelmente era realizado com o objetivo de servir de suprimento para eventuais emergências que ocorressem com as embarcações que por ali transitassem, ou até mesmo naufragassem (ALVES, 1998).

Fato é que essa prática conduziu Trindade a uma mudança drástica em seu contexto ambiental, já que apresentava uma cobertura vegetal bem mais densa que a atual, além de coberturas pedológicas bem mais orgânicas e férteis, o que teria provocado, também, a redução dos estoques hídricos da ilha e a intensificação dos processos erosivos. Os impactos provocados pelas ocupações humanas deixaram visivelmente prejudicadas as vazões de seus córregos e nascentes, os quais apresentaram uma redução de fluxo estimada de 10 a 20 vezes (Figura 28; ALVES, 1998).



**Figura 28 - Escoamento pluvial concentrando carregando grande carga de sedimentos (a); e detalhe da água do mar colorida pelos sedimentos carregados da ilha (b). Fonte: Marcelo Müller.**

Assim, a partir da criação do POIT, em 1957 e, sobretudo por iniciativa de projeto apresentado pelos Profs. Ruy Alves e Johann Becker (Museu Nacional), em 1994, a Marinha começou a empreender esforços para eliminar os rebanhos que causavam intensa degradação em Trindade. Os rebanhos de mamíferos, que significavam as principais ameaças, foram erradicados em 2004, através de campanhas que envolveram esforços de caça terrestre tradicional, caça por atiradores de elite (*snipers*) e até via helicóptero (ALVES et al., 2011).

O cenário fitogeográfico atual, após os impactos da destruição da vegetação original, é apresentado na Figura 29. Destaca-se que as herbáceas *Cyperus atlanticus* e *Bulbostylis nesiotis*, assim como a samambaia *Pityrogramma calomelano*, que representa a planta

vascular mais abundante da Ilha, todas endêmicas à Trindade e Martin Vaz, significam importantes espécies pioneiras no processo de regeneração de Trindade.



*Cyathea delgadii*



*Cyperus atlanticus*



*Columbrina glandulosa*



*Bulbostylis nesiotis*



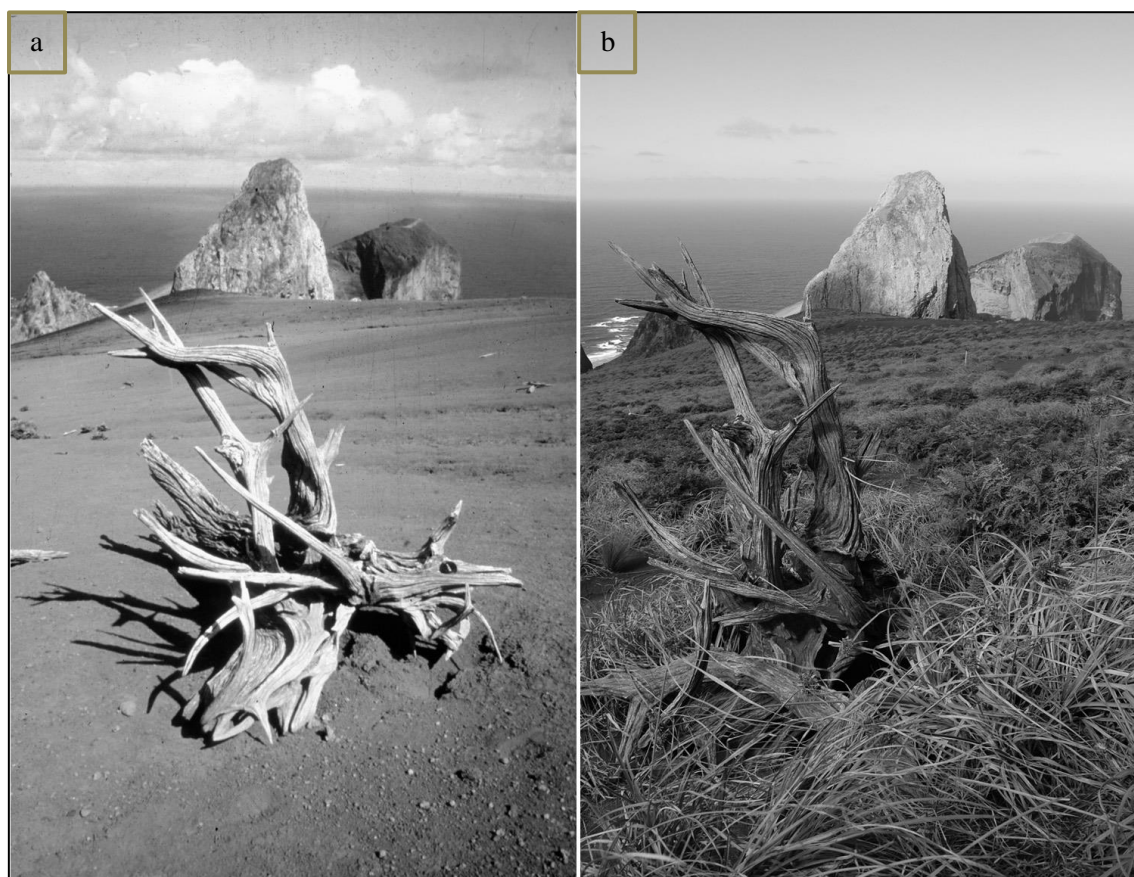
*Ipomea pés-caprae*



*Pityrogramma calomelanos*

Figura 29 - Formações vegetais representativas em Trindade. Fonte: Extraído de Machado, 2016.

Assim, essas são espécies amplamente distribuídas em Trindade, as quais colonizaram áreas que até a década de 1990 eram mantidas estéreis (Figura 30 - a e b; ALVES et al., 2011).



**Figura 30 - a - Região do Morro Vermelho, em 1995, degradada pela ação animal; b - A mesma área em 2009, cinco anos após a erradicação dos rebanhos, colonizada principalmente por *Cyperus atlanticus* e *Bulbostylis nesiotes*. Fonte: Extraído de Alves et al., 2011.**

### **3. CONSIDERAÇÕES ACERCA DA ÚNICA REDE HIDROGRÁFICA PERMANENTE NAS ILHAS OCEÂNICAS BRASILEIRAS**

#### **3.1. ESTADO DA ARTE DOS CONHECIMENTOS DA REDE HIDROGRÁFICA EM TRINDADE**

Embora a presença de água doce na Ilha da Trindade venha sendo documentada desde a chegada dos primeiros visitantes, fica evidente que não há na literatura um estudo que se proponha a abordar seus aspectos geomorfológicos, e tampouco os hidrográficos/fluviais, com um maior nível de detalhamento.

Se comparada às bacias hidrográficas brasileiras localizadas em áreas continentais, drenadas por vultosas artérias fluviais, a rede hidrográfica de Trindade se mostra menos proeminente, sobretudo por se tratar de uma drenagem de características jovens (ALMEIDA, 1961), o que talvez explique esse quadro de relativa escassez de estudos. Contudo, conforme destacam Santamarta Cerezal et al. (2014), exceto em casos muito específicos, como por exemplo as ilhas do Havaí, as ilhas vulcânicas não costumam apresentar rios perenes, e sim fluxos temporários, especialmente após fortes eventos pluviométricos.

Tendo em vista que essa representa a única ilha oceânica brasileira que dispõe de nascentes e cursos d'água perenes, fica evidente que Trindade apresenta especificidades que merecem ser investigadas sob uma perspectiva mais coerente com seu contexto de inserção (geológico e geodinâmico), e com suas características ambientais como um todo. Assim, sob essa ótica, fica clara a necessidade de relativização dessa “baixa” expressividade de sua rede hidrográfica, já que, perante essa abordagem, esse território emerge como uma situação bastante particular.

Entre os registros que abordam sobre os elementos fluviais de Trindade, Alves (1998) já reconhecia a existência de diversos cursos de água doce na ilha, os quais, segundo ele, teriam fornecido água às embarcações desde os tempos das grandes navegações, havendo ainda outros de vazão desprezível. Ele ainda resgata algumas medições de vazão que foram realizadas para certas nascentes da ilha: “A primeira medição de vazão de que temos notícia é de Cantuaria Guimarães, determinando 230 toneladas em 24 horas para a fonte Praia dos Portugueses [2,66 L/s], 43 para a do Barril [0,5 L/s], na Praia do Príncipe, 8 para a Escondida [0,09 L/s], e 3 [0,03 L/s] para a do Posto na mesma praia” (ALVES, 1998).

Já Almeida (1961) indica, em relação aos aspectos hidrográficos da ilha, seu caráter torrencial, de elevada competência e com a periodicidade do fluxo quase limitada ao período chuvoso (ALMEIDA, 1961). Esse autor ainda destaca que, embora tenha permanecido em Trindade em pleno rigor da estiagem, pôde observar a presença de meia dúzia de nascentes e apenas um córrego com fluxo abundante, o da Cachoeira, que drena até a Praia do EME, sendo que os outros ou tinham pouca água, ou estavam inteiramente secos.

Embora haja registros da presença de nascentes ativas nos períodos de estiagem da ilha, se tratando, portanto, de nascentes perenes, Schaefer e Oliveira (2015) indicam que os vales da ilha são drenados apenas nos períodos chuvosos, e atribuem à natureza porosa do saprolito, das áreas mais elevadas da ilha, a manutenção dos fluxos superficiais, materiais esses que estocariam temporariamente a água infiltrada.

Em relação à origem das águas das nascentes de Trindade, Alves (1998) a associa às chuvas orográficas, as quais ocorrem quase que diariamente ali (fenômeno meteorológico chamado popularmente de Pirajá), e à presença de coberturas pedológicas que permitem o armazenamento da água precipitada, que vai aflorar gradativamente nas áreas topograficamente mais rebaixadas da ilha. Ele ainda salienta que o volume de água estocada nos aquíferos de Trindade depende diretamente da profundidade dos solos, destacando que a ausência de fluxos perenes em Martim Vaz está associada, justamente, às coberturas pouco espessas.

Por sua vez, Almeida (1961) atribui ao “volume de material piroclástico, mais ou menos poroso, que constitui grande reservatória para águas infiltrantes” (ALMEIDA, 1961) a explicação para a ocorrência de nascentes perenes, e conseqüentemente, de cursos d’água em pleno período de estiagem, em Trindade. Portanto, em síntese, as hipóteses levantadas giram em torno da presença de materiais que permitem a infiltração e a estocagem de água nas porções mais elevadas da ilha, além da ocorrência frequente de chuvas orográficas (“Pirajá”).

Diante disso, é possível indicar que o entendimento da origem da água doce em Trindade ainda carece de respostas mais precisas, tendo em vista que ainda não existe um consenso sobre os fatores que condicionam sua presença, de maneira perene. Ou seja, as hipóteses levantadas devem ser testadas com base em recursos científicos mais elucidativos, que forneçam respostas mais confiáveis aos questionamentos propostos, como a utilização de análises laboratoriais, por exemplo.

Conforme já destacado anteriormente, diante da própria escassez de estudos referentes a essa temática em Trindade, ficou evidente que, antes de se debruçar a fundo sobre tais questionamentos, é necessária a realização de um esforço inicial de identificação e caracterização da rede hidrográfica de Trindade. Assim sendo, o presente trabalho significa a etapa inicial de investigação dos questionamentos propostos, a qual será seguida por etapas subsequentes de aprofundamento da pesquisa.

### **3.2. QUADRO GERAL**

Para Almeida (1961), numa pequena ilha oceânica como essa, sobretudo se as áreas mais elevadas do terreno forem suportadas por estruturas resistentes, dispostas na região central, a competição gerada na rede de drenagem leva cada vale a traçar seu caminho para o mar da maneira mais curta possível, o que geraria uma configuração de padrão radial, ou em "espinha de peixe". Nesse sentido, em tal modelo de evolução, os vales mais extensos estariam expostos à captura por parte dos mais curtos, uma vez que os últimos tendem a apresentar processos mais vigorosos em relação aos primeiros, em decorrência da maior declividade que costumam apresentar e, portanto, à maior energia presente no sistema.

Assim, essa significa a característica fundamental da configuração hidrográfica de Trindade, ou seja, apesar do importante controle estrutural exercido por um maciço altamente fragmentado, a evolução da rede hidrográfica de Trindade já se acha enquadrada em tal conceito:

os córregos e principais torrentes descem diretamente ao mar, alcançando-o pelo caminho mais curto, a partir de um "espigão mestre" que do planalto ankaratrítico se estende à Crista de Galo, através do planalto axial. O morro do Paredão, um relevo postiço na ilha, tardiamente surgido, ainda não tem drenagem integrada em tal sistema (ALMEIDA, 1961, p. 55).

Ainda segundo esse autor, para que o atual padrão de drenagem fosse atingido, é provável que tenham ocorrido muitas modificações no traçado da rede hidrográfica da ilha, alterações essas que, por serem antigas, não deixaram muitos testemunhos evidentes no relevo atual. Contudo, ainda é possível observar algumas evidências da ocorrência de uma dessas alterações, que provavelmente foi uma das últimas que aconteceram: trata-se da captura do córrego

Vermelho, que drenava em direção à Praia dos Andradas, pela drenagem que verte à enseada do Príncipe (ALMEIDA, 1961).

Em relação a esse processo, Almeida (1961) indica que ele ocorreu devido à presença de um divisor pretérito, constituído de piroclastos de fonólito (Complexo Trindade), ou seja, material pouco resistente ao intemperismo, que possibilitou o rápido desenvolvimento da drenagem tributária da enseada do Príncipe. Portanto, com o recuo da ravina sobre a qual fluem seus fluxos atuais, houve o entalhe do divisor e a consequente captura do córrego em meio de seu curso.

A Figura 31 ilustra o contexto atual da área, onde é possível observar a presença de um “cotovelo de captura”, que consiste em uma mudança abrupta na direção do canal, de cerca de 90°, em direção à praia do Príncipe, e que significa um importante indicio da ocorrência desse processo. Ademais, nessa figura também são apresentadas duas fotografias (Foto 1 e Foto 2), sendo que a primeira delas evidencia a ravina por onde escoam os fluxos atuais, e a segunda oferece uma visão ampla da bacia capturada.

Com base na proposta de divisão dos componentes fluviais elaborada por Charlton (2009), a qual identificou três zonas, ou subsistemas fluviais individuais, salienta-se que o sistema fluvial de Trindade apresenta um caráter típico da primeira zona, ou seja, da zona de produção de sedimentos (Figura 32).

Segundo essa proposta, cada uma dessas zonas apresenta a predominância de processos de sedimentação ou erosão, sendo que elas operam separadamente dentro de um sistema integrado. Nesse sentido, a zona de produção de sedimentos representa as áreas de cabeceira dos rios, onde há a presença de nascentes, e onde normalmente estão localizados os canais de primeira e segunda ordem. Além disso, essas são áreas responsáveis por fornecer a maior parte dos sedimentos nas bacias hidrográficas, as quais geralmente apresentam grandes gradientes altimétricos, ou seja, é um setor onde há o predomínio de processos erosivos.

Posteriormente a carga sedimentar é movimentada pela rede fluvial no contexto da segunda zona, que é denominada zona de transferência, onde também predominam os processos erosivos. A transição entre o primeiro e o segundo setor, portanto, geralmente está associada à ocorrência de canais de terceira ordem.

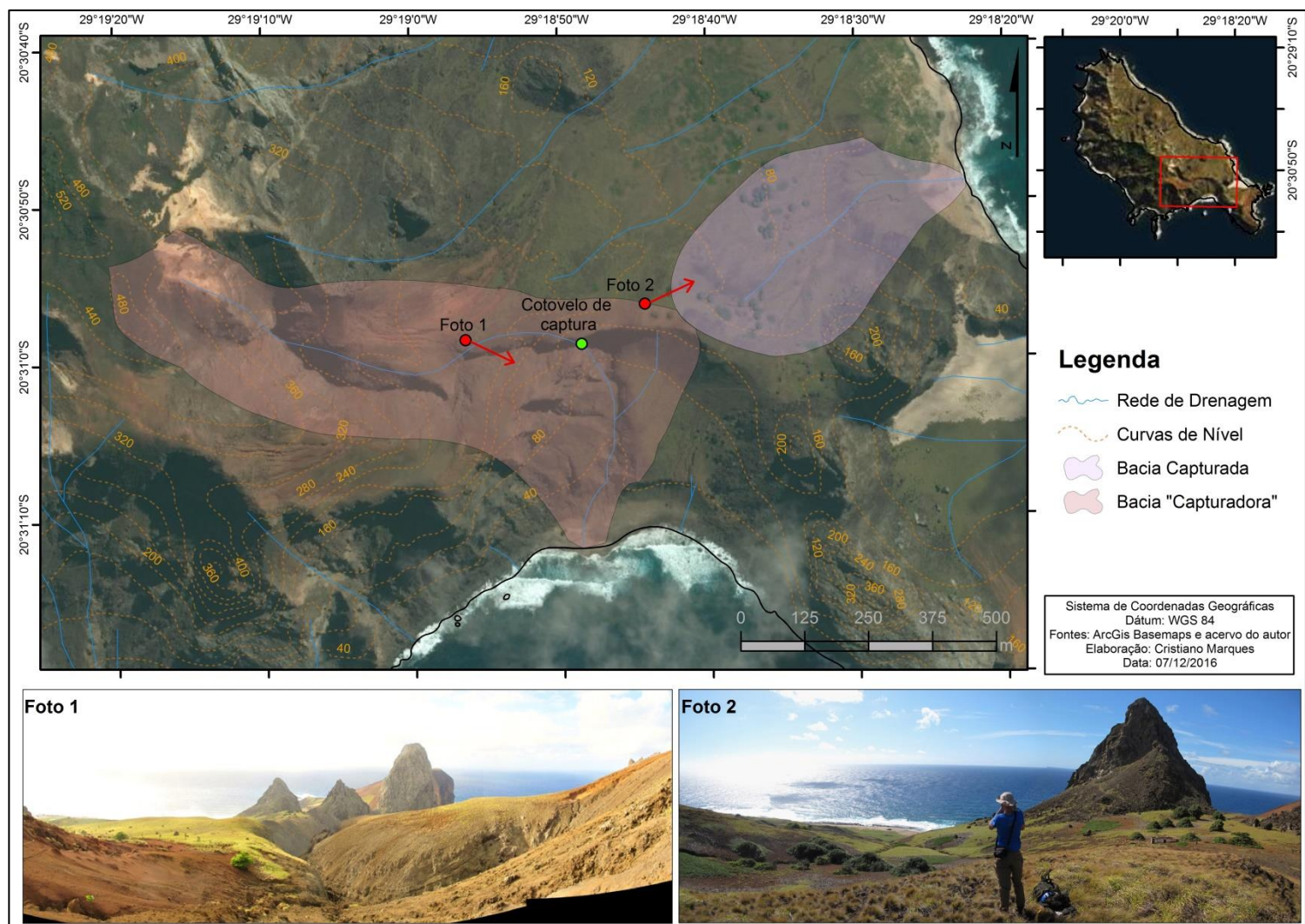
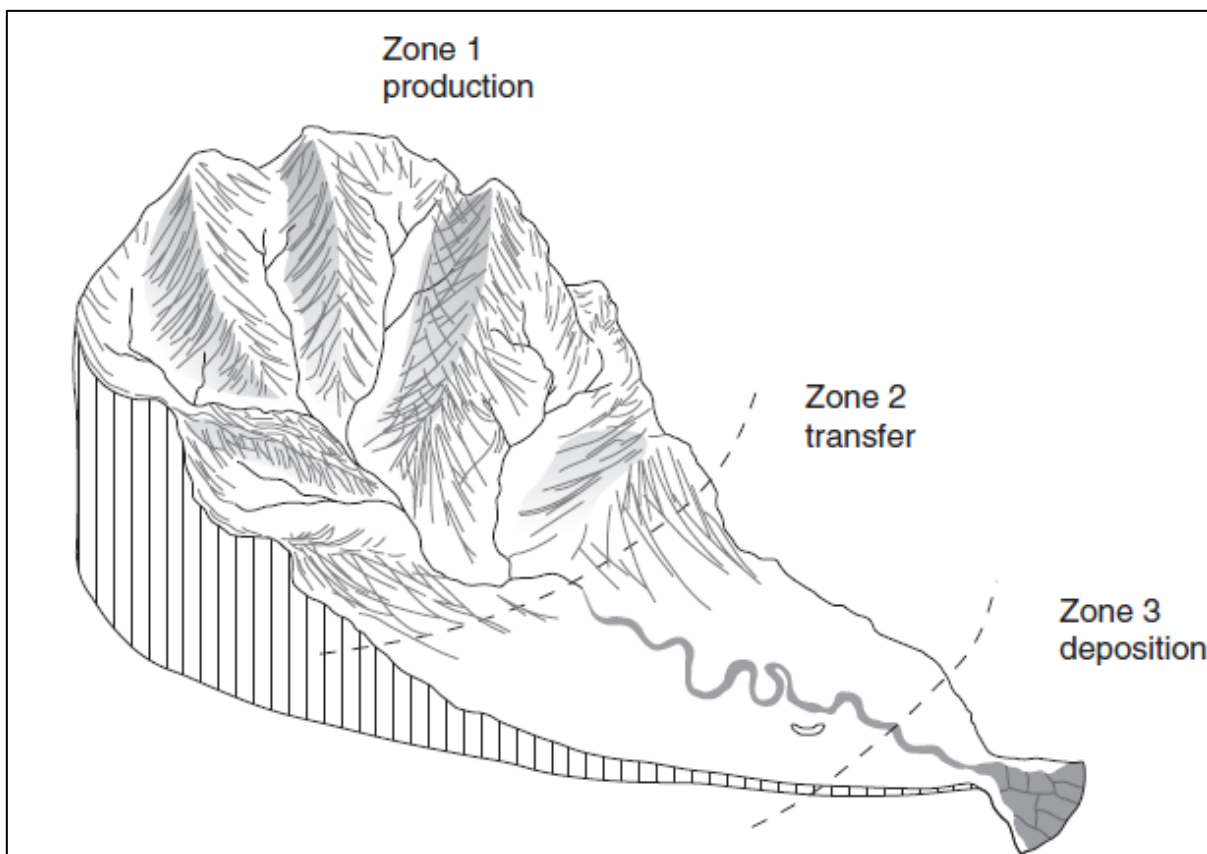


Figura 31 – Contexto da captura fluvial. Fonte: Elaboração do autor.



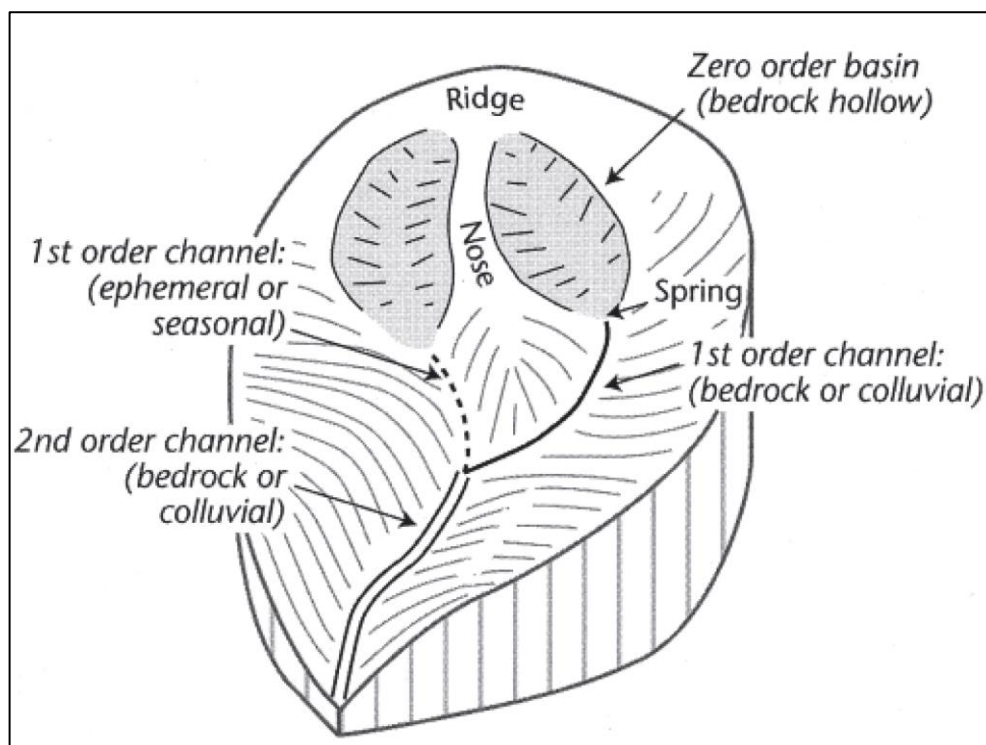
**Figura 32 - Divisão dos componentes fluviais.** Fonte: Extraído de Charlton (2009), adaptado de Schumm (1977).

Logo, é a partir dessa segunda zona que é comum observar a presença de planícies fluviais, uma vez que a ocorrência de um menor gradiente altimétrico possibilita o extravasamento dos cursos d'água, que inundam suas margens, permitindo a construção desses depósitos. Por fim, a terceira zona corresponde às áreas próximas ao nível de base da bacia hidrográfica, onde a declividade já se apresenta bem mais suavizada, ou seja, há uma energia bem mais reduzida. Portanto, nesse estágio há uma capacidade de transporte de sedimentos bem inferior, ou seja, é um segmento que apresenta o predomínio de processos de deposição.

Strahler (1957), por sua vez, define essa zona fluvial como “bacia de cabeceira” (*headwater*). Segundo esse autor, essas áreas correspondem às bacias hidrográficas de canais de primeira e segunda ordem, e podem ser compreendidas como subsistemas das bacias de ordem hierárquica mais elevada (FERREIRA, 2014). Dessa forma, encontram-se diretamente associadas aos vales fluviais principais [de terceira-ordem e superiores], onde posteriormente se processa a distribuição, o transporte e a armazenagem dos sedimentos originados nas bacias de cabeceira (SCHUMM, 1977; FERREIRA, 2014).

Destaca-se que a relevância dos canais de ordem hierárquica inferior é muitas vezes subestimada na literatura acadêmica. Um grande indício disso é o forte direcionamento das pesquisas geomorfológicas aos grandes sistemas fluviais, em detrimento dos sistemas de menor expressão espacial. Contudo, sua importância torna-se mais contundente quando se constata que 60 a 80% do comprimento da rede fluvial e entre 70 e 80% da área de bacias hidrográficas são drenadas por canais de primeira e segunda-ordens, que compõem as referidas bacias de cabeceira [*headwaters*] (SIDLE et al., 2000; MEYER e WALLACE, 2001; FERREIRA, 2014).

Ferreira (2014) destaca que o termo *headwater*, proposto por Strahler (1957), permanece usual na literatura científica, sobretudo nos países anglo-saxões (VIANELLO et al., 2009; NICKOLOTSKY e PAVLOWSKY, 2007). Ademais, utilizando uma escala de análise mais detalhada em relação à Charlton (2009), e com base em processos hidrológicos e geomorfológicos, Hack e Goodlett (1960) e Hack (1960) propuseram uma divisão desse sistema (bacias de cabeceira) em quatro zonas, possibilitando uma compreensão mais aprofundada do mesmo, a saber: (i) vertentes; (ii) bacias de ordem-zero; (iii) canais transicionais entre bacias de ordem-zero e canais de primeira-ordem (temporários ou efêmeros); e (iv) canais de primeira e segunda-ordem (FERREIRA, 2014; Figura 33).



**Figura 33 - Perfil esquemático ideal de uma cabeceira de drenagem e sua rede hidrográfica. Adaptado de Hack e Goodlett (1960). Legenda: Ridge: cume; Nose: vertente convexa; Zero Order Basin ou Bedrock**

**Hollow:** bacia de ordem zero ou concavidade em rocha; **1st and 2nd order channel:** canais de primeira e segunda ordem; **Ephemeral or Sesonal:** efêmero ou sazonal; **bedrock or colluvial:** substrato rochoso ou coluvial. Adaptado de Huggett (2004), extraído de Ferreira (2014).

Os processos originários nas vertentes em direção aos canais fluviais são importantes para definir os limites das bacias de cabeceira (GOMI et al., 2002). Ferreira (2014) ainda destaca que diversos trabalhos têm sugerido caracterizar os processos geomorfológicos de bacias de cabeceira como (i) dominados por movimentos de massa e coluvionamentos, enquanto os vales principais seriam (ii) dominados por eventos de atividade fluvial e aluvial de esculturação da paisagem, como os processos de dissecação e formação de terraços fluviais (BENDA e DUNNE, 1997; MONTGOMERY e FOUFOULA-GEORGIOU, 1993; FERREIRA, 2014).

Portanto, com base nas propostas apresentadas (HACK E GOODLETT, 1960; HACK, 1960; CHARLTON, 2009), é possível indicar que o sistema fluvial de Trindade apresenta características típicas das zonas de produção de sedimentos, ou bacias de cabeceira. Ou seja, trata-se de uma área de elevada declividade, onde há a ocorrência de nascentes e canais de primeira e segunda ordem, esculpidos sobre substratos rochosos ou coluvionares (efêmeros e temporários no primeiro caso, e temporários ou permanentes no segundo), onde preponderam os processos de erosão, os quais fornecem grande carga sedimentar, de granulometria marcadamente grosseira, às calhas fluviais.

### **3.2.1. DIVISÃO HIDROGRÁFICA**

A divisão hidrográfica de Trindade elucidou a presença de áreas que exibem características distintas em relação ao comportamento da drenagem superficial, ou seja, foram identificados padrões, ou tipos de áreas de escoamento ao longo da ilha. Nesse sentido, o primeiro padrão (i) constatado se refere à presença de grandes áreas de drenagem, que apresentam nascentes e canais fluviais com fluxos hídricos significativos, territórios esses com cerca de 1 km<sup>2</sup> de extensão, e que, em valores relativos, juntos correspondem a aproximadamente 15% da superfície total da ilha, representando, assim, as principais bacias hidrográficas de Trindade.

O segundo padrão (ii) está relacionado a áreas de dimensões inferiores ao padrão anteriormente mencionado, onde também há a presença de nascentes e cursos d'água,

abrangendo bacias hidrográficas de áreas que variam entre 0,14 e 0,35 km<sup>2</sup>, ou seja, entre 2 e 3% do território de Trindade, em valores relativos, cada.

O terceiro padrão (*iii*), assim como foi observado para o segundo (*ii*), também apresenta dimensões territoriais inferiores ao primeiro padrão (*i*), com áreas entre 0,05 e 0,4 km<sup>2</sup>, entretanto, não há nesses casos a presença de nascentes. Portanto, a diferenciação entre esses dois últimos tipos se dá, basicamente, pela contribuição de fluxos subterrâneos à drenagem, através da exfiltração nas nascentes. Assim, o tipo *ii*, devido à presença de nascentes, apresenta fluxos perenes ou intermitentes e, por outro lado, os territórios do tipo *iii* são drenados exclusivamente por fluxos efêmeros, ou seja, gerados apenas por eventos pluviométricos, devido à ausência de nascentes.

Diferentemente dos três padrões anteriormente descritos, o padrão *iv* se refere a áreas de escoamento direto ao mar, ou o conjunto delas, as quais não foram classificadas como bacias hidrográficas devido à incipiência dos fluxos que abrangem, e ao reduzido tamanho que apresentam.

Portanto, foram identificadas 33<sup>11</sup> bacias hidrográficas em Trindade (Figura 34; Tabela 2), que correspondem às áreas descritas pelos padrões *i*, *ii* e *iii*, as quais juntas representam 69% do território total da ilha, em valores relativos, além de uma infinidade de pequenas áreas de escoamento direto (padrão *iv*) que, conseqüentemente, representam 31% da superfície emersa.

---

<sup>11</sup> Por se tratar de uma abordagem inédita, não existe uma toponímia consagrada para as bacias hidrográficas de Trindade, sendo assim, esses territórios foram numerados de 1 a 33, e serão citados no trabalho com base nessa numeração.

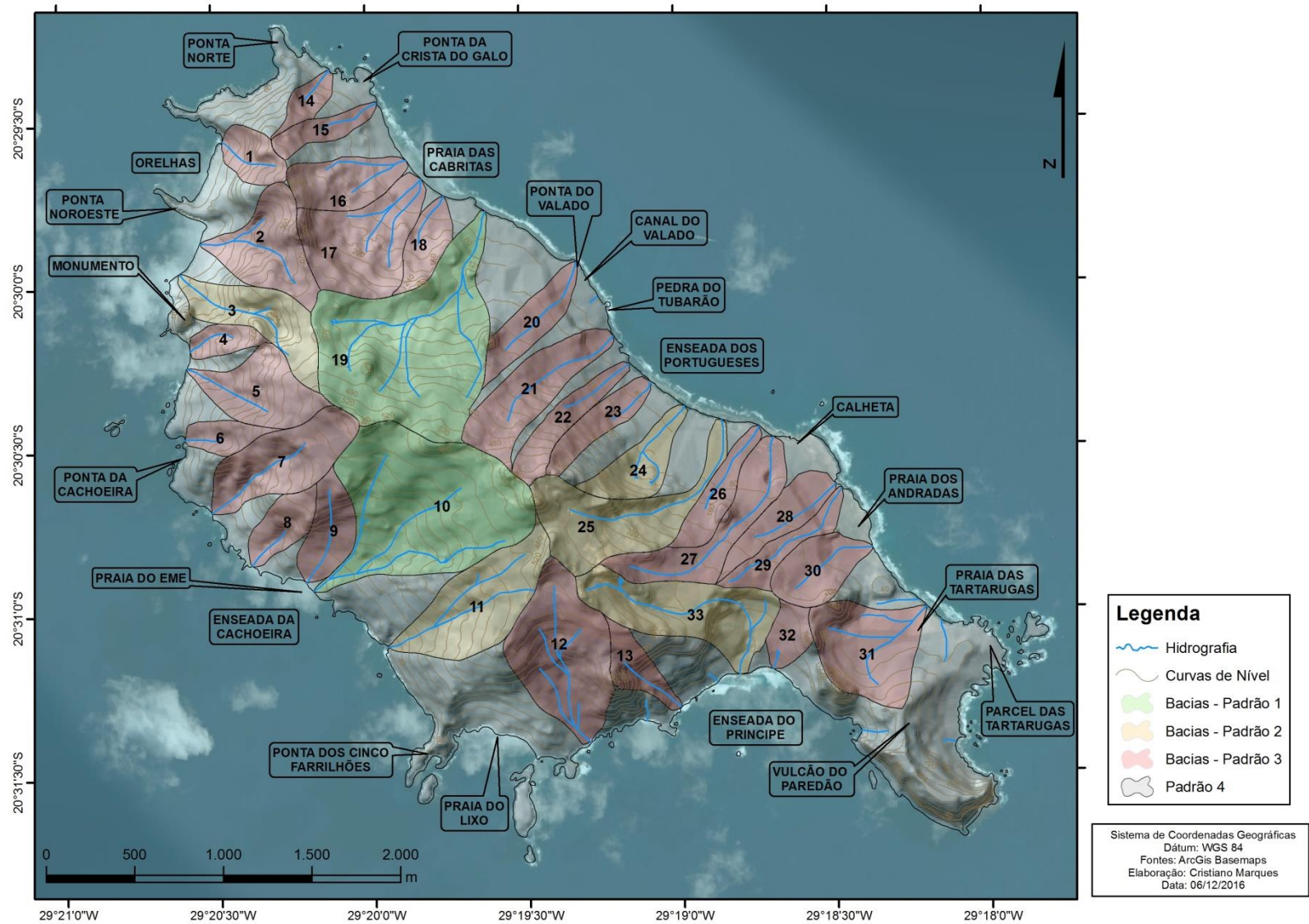


Figura 34 - Mapa da divisão hidrográfica da ilha. Fonte: Elaboração do autor.

Bacias hidrográficas	Área (km <sup>2</sup> )	% área total da ilha	Bacias hidrográficas	Área (km <sup>2</sup> )	% área total da ilha
1	0,09	1%	18	0,10	1%
2	0,23	2%	19	0,78	8%
3	0,22	2%	20	0,13	1%
4	0,06	1%	21	0,24	2%
5	0,21	2%	22	0,12	1%
6	0,07	1%	23	0,11	1%
7	0,26	3%	24	0,14	1%
8	0,10	1%	25	0,34	3%
9	0,13	1%	26	0,11	1%
10	0,74	7%	27	0,25	2%
11	0,33	3%	28	0,13	1%
12	0,40	4%	29	0,10	1%
13	0,09	1%	30	0,15	2%
14	0,05	1%	31	0,29	3%
15	0,08	1%	32	0,07	1%
16	0,16	2%	33	0,35	3%
17	0,32	3%	TOTAL	6,94	69%

Tabela 2 - Bacias hidrográficas principais. Fonte: Elaboração do autor.

Em relação ao primeiro padrão (Tabela 3), é possível indicar que ele engloba as duas principais bacias hidrográficas de Trindade (10 e 19), que correspondem às unidades que drenam até a Enseada da Cachoeira (Praia do EME) e às imediações da Praia dos Cabritos (entre essa praia e a Ponta do Valado), respectivamente. Além de significarem as duas maiores bacias hidrográficas de Trindade, essas áreas abrangem dois dos três cursos d'água mais caudalosos da ilha, uma vez que seus canais principais apresentam vazões de 4 e 1,9 L/s, nessa ordem (Figura 35a e 35b).

Bacias hidrográfica	Área (km <sup>2</sup> )	% área total da ilha
<b>PADRÃO <i>i</i></b>		
10	0,74	7%
19	0,78	8%
<b>TOTAL</b>	<b>1,52</b>	<b>15%</b>

Tabela 3 - Bacias hidrográficas referentes ao padrão *i*. Fonte: Elaboração do autor.



Figura 35 (a e b) - Canal que drena a bacia 10. Fonte: Acervo do autor.

O segundo padrão (Tabela 4) engloba um conjunto de cinco bacias hidrográficas. Nele estão inseridos os outros três cursos d'água que apresentavam fluxos significativos durante a execução da etapa de campo e, portanto, puderam ter suas vazões calculadas. São eles os canais principais referentes às bacias 11, 24 e 25. O primeiro drena até as proximidades da Ponta dos Cinco Farrilhões, e apresentou vazão de 0,58 L/s, já o segundo, que é o curso d'água que abastece o POIT, exibiu um escoamento de 3,1 L/s, contra 0,1 L/s do terceiro caso, os dois últimos com fluxos direcionados à Enseada dos Portugueses.

Bacia hidrográfica	Área (km <sup>2</sup> )	% área total da ilha
<b>PADRÃO ii</b>		
3	0,22	2%
11	0,33	3%
24	0,14	1%
25	0,34	3%
33	0,35	3%
<b>TOTAL</b>	<b>1,37</b>	<b>14%</b>

Tabela 4 - Bacias hidrográficas referentes ao padrão ii. Fonte: Elaboração do autor.

Em relação à perenidade dos fluxos hídricos observados nos territórios de padrão *i* e *ii*, é possível afirmar que as bacias 10, 19 e 24 apresentam vazão ao longo de todo o ano e, portanto, podem ser consideradas permanentes. Os elementos que sugerem isso são, além das observações de campo e os registros na literatura, o relato dos militares da Marinha do Brasil, que percorrem a ilha ao longo de todo o ano, e indicam a presença desses fluxos.

Outro fator que corrobora a afirmação é o processo de captação de água para consumo do POIT, o qual, conforme já destacado, é realizado através do aproveitamento dos fluxos

superficiais da bacia 24, por um pequeno sistema instalado no próprio canal fluvial, captação essa que é realizada ao longo de todo o ano, com periodicidade geralmente diária, e que historicamente sempre foi suficiente para suprir as necessidades de consumo da ilha (Figura 36a e 36b). Contudo, é válido destacar a necessidade da realização de estudos de monitoramento hidrológico nos principais cursos d'água de Trindade, sobretudo com o intuito de contribuir para um melhor entendimento do comportamento desses fluxos ao longo do tempo.

Analisando os dados referentes aos padrões *iii* e *iv*, é possível indicar que os territórios drenados por fluxos efêmeros são predominantes em Trindade. Isso ocorre devido à presença de 26 unidades hidrográficas exclusivamente drenadas por tais fluxos (padrão *iii*), que representam 40% do território da ilha (Tabela 5), somadas às áreas de escoamento direto ao mar (*padrão iv*), que correspondem a 31% das áreas emersas, totalizando, portanto, 71% da superfície insular.



**Figura 36 – Vista da bacia 24 (a) e parte do sistema de captação de água de Trindade (b). Fonte: Elaboração do autor.**

Bacia hidrográfica	Área (km <sup>2</sup> )	% área total da ilha	Bacia hidrográfica	Área (km <sup>2</sup> )	% área total da ilha
<b>PADRÃO <i>iii</i></b>					
1	0,09	1%	17	0,32	3%
2	0,23	2%	18	0,10	1%
4	0,06	1%	20	0,13	1%
5	0,21	2%	21	0,24	2%
6	0,07	1%	22	0,12	1%
7	0,26	3%	23	0,11	1%
8	0,10	1%	26	0,11	1%
9	0,13	1%	27	0,25	2%
12	0,40	4%	28	0,13	1%
13	0,09	1%	29	0,10	1%
14	0,05	1%	30	0,15	2%
15	0,08	1%	31	0,29	3%
16	0,16	2%	32	0,07	1%
<b>TOTAL</b>	<b>Área (km<sup>2</sup>)</b>		<b>4,05</b>	<b>% área total da ilha</b>	<b>40%</b>

**Tabela 5 - Bacias hidrográficas referentes ao padrão *iii*. Fonte: Elaboração do autor.**

O cálculo da Densidade de Drenagem (Dd) (Figura 37; Tabela 6), que expressa a relação entre o comprimento total dos canais (incluindo efêmeros, temporários e permanentes) e a área total da bacia, apontou para a presença de bacias bem drenadas, muito bem drenadas, e excepcionalmente bem drenadas. A análise desses dados indica que em Trindade são predominantes as bacias excepcionalmente bem drenadas, com 24 unidades, ou 73% dos casos totais. Isso ocorre, sobretudo, devido à já mencionada grande ocorrência de feições erosivas na ilha (canais efêmeros), que elevam o valor do comprimento total dos canais das bacias, elementos esses que estão amplamente distribuídos pelo território insular.

Relacionando esses resultados com os padrões de escoamento identificados, destaca-se que todas as bacias classificadas como padrão *i* e *ii* são bacias excepcionalmente bem drenadas. Por sua vez, entre as bacias do padrão *iii*, há casos de drenagem boa, muito boa e, sobretudo, excepcional, com 17 ocorrências (Tabela 7).

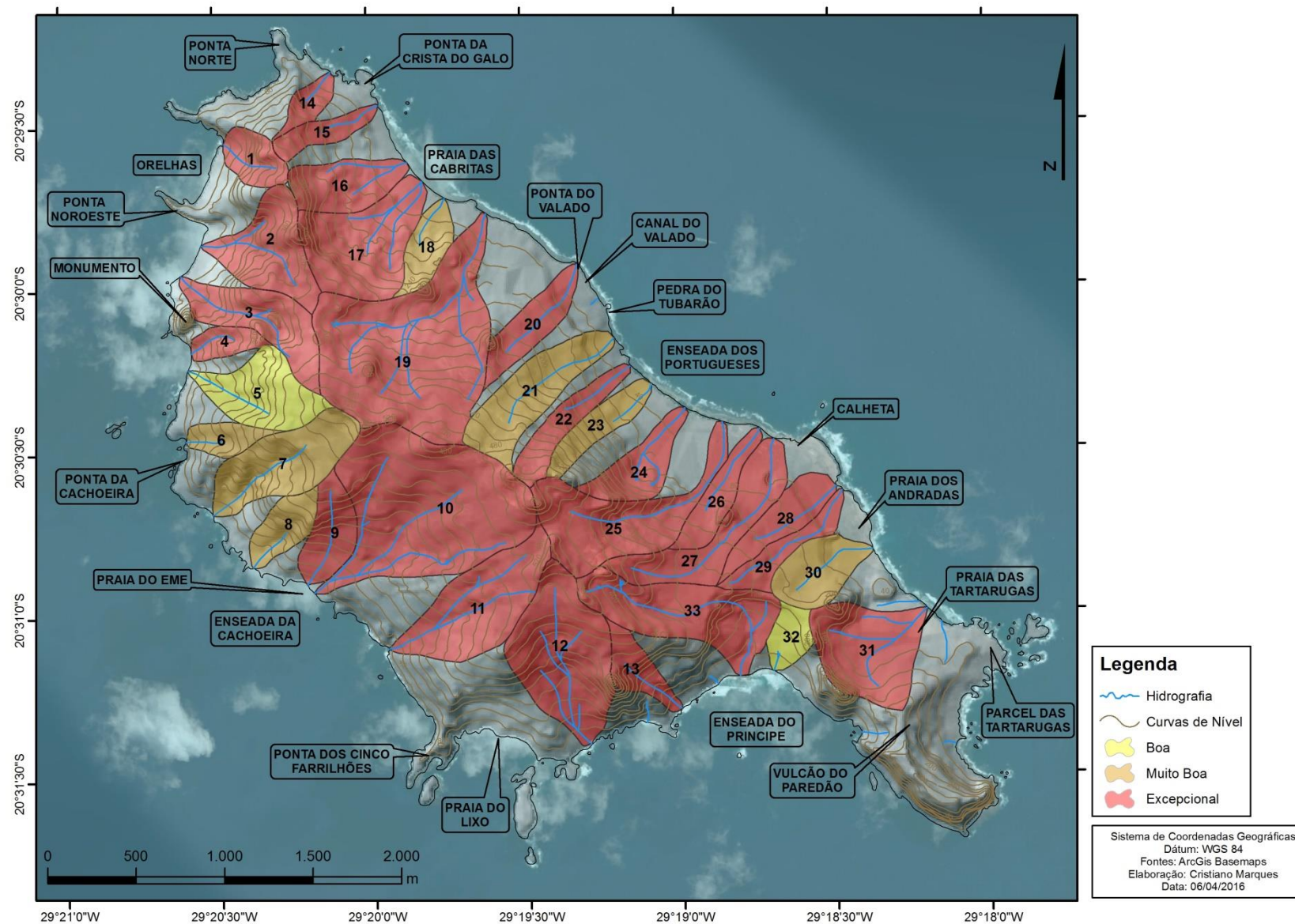


Figura 37 - Mapa da distribuição espacial da Densidade de Drenagem por bacia hidrográfica.

Bacias hidrográficas	Dd	Classificação da drenagem	Comprimento total dos canais (km)	Área km <sup>2</sup>	Bacias hidrográficas	Dd	Classificação da drenagem	Comprimento total dos canais (km)	Área km <sup>2</sup>
5	2,47	Boa	0,52	0,21	3	4,33	Excepcional	0,93	0,22
32	2,48	Boa	0,17	0,07	17	4,35	Excepcional	1,38	0,32
7	2,55	Muito boa	0,67	0,26	19	4,44	Excepcional	3,49	0,78
8	2,83	Muito boa	0,28	0,10	31	4,53	Excepcional	1,31	0,29
23	2,88	Muito boa	0,31	0,11	13	4,53	Excepcional	0,42	0,09
6	3,05	Muito boa	0,20	0,07	4	4,75	Excepcional	0,28	0,06
18	3,29	Muito boa	0,32	0,10	16	4,78	Excepcional	0,77	0,16
21	3,30	Muito boa	0,80	0,24	15	4,81	Excepcional	0,36	0,08
30	3,43	Muito boa	0,52	0,15	33	4,96	Excepcional	1,73	0,35
25	3,60	Excepcional	1,23	0,34	20	4,99	Excepcional	0,66	0,13
22	3,75	Excepcional	0,45	0,12	11	5,01	Excepcional	1,65	0,33
2	3,86	Excepcional	0,88	0,23	12	5,06	Excepcional	2,01	0,40
10	3,86	Excepcional	2,85	0,74	26	5,16	Excepcional	0,57	0,11
1	3,90	Excepcional	0,35	0,09	27	5,27	Excepcional	1,30	0,25
14	4,16	Excepcional	0,22	0,05	24	6,03	Excepcional	0,83	0,14
28	4,26	Excepcional	0,56	0,13	29	8,66	Excepcional	0,88	0,10
9	4,30	Excepcional	0,57	0,13					

**Tabela 6 - Densidade de Drenagem das bacias hidrográficas.**

Classificação da drenagem	Bacias Hidrográficas	Total
<b>Padrão i</b>		
Excepcional	10 e 19	2
<b>Padrão ii</b>		
Excepcional	3, 11, 24, 25 e 33	5
<b>Padrão iii</b>		
Boa	5 e 32	2
Muito Boa	6, 7, 8, 18, 21, 23 e 30	7
Excepcional	1, 2, 4, 9, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 20, 22, 26, 27, 28, 29 e 31	17

**Tabela 7- Cruzamento entre a Densidade de Drenagem e os padrões de escoamento. Fonte: elaboração do autor.**

Quanto à forma dessas bacias, o cálculo do Índice de Circularidade, que indica se determinada bacia apresenta formato mais circular ou alongado, aponta a presença de 15 bacias com formas mais alongadas e 18 bacias com tendência de formatos mais arredondados (Figura 38; Tabela 8). Tendo em vista que o círculo é a forma geométrica plana que comporta uma dada área com o menor perímetro possível, quanto mais circular for uma bacia hidrográfica, maior será a tendência de concentração dos fluxos em direção a um trecho relativamente pequeno do canal principal, ou seja, maior é a tendência à ocorrência de enchentes e inundações.

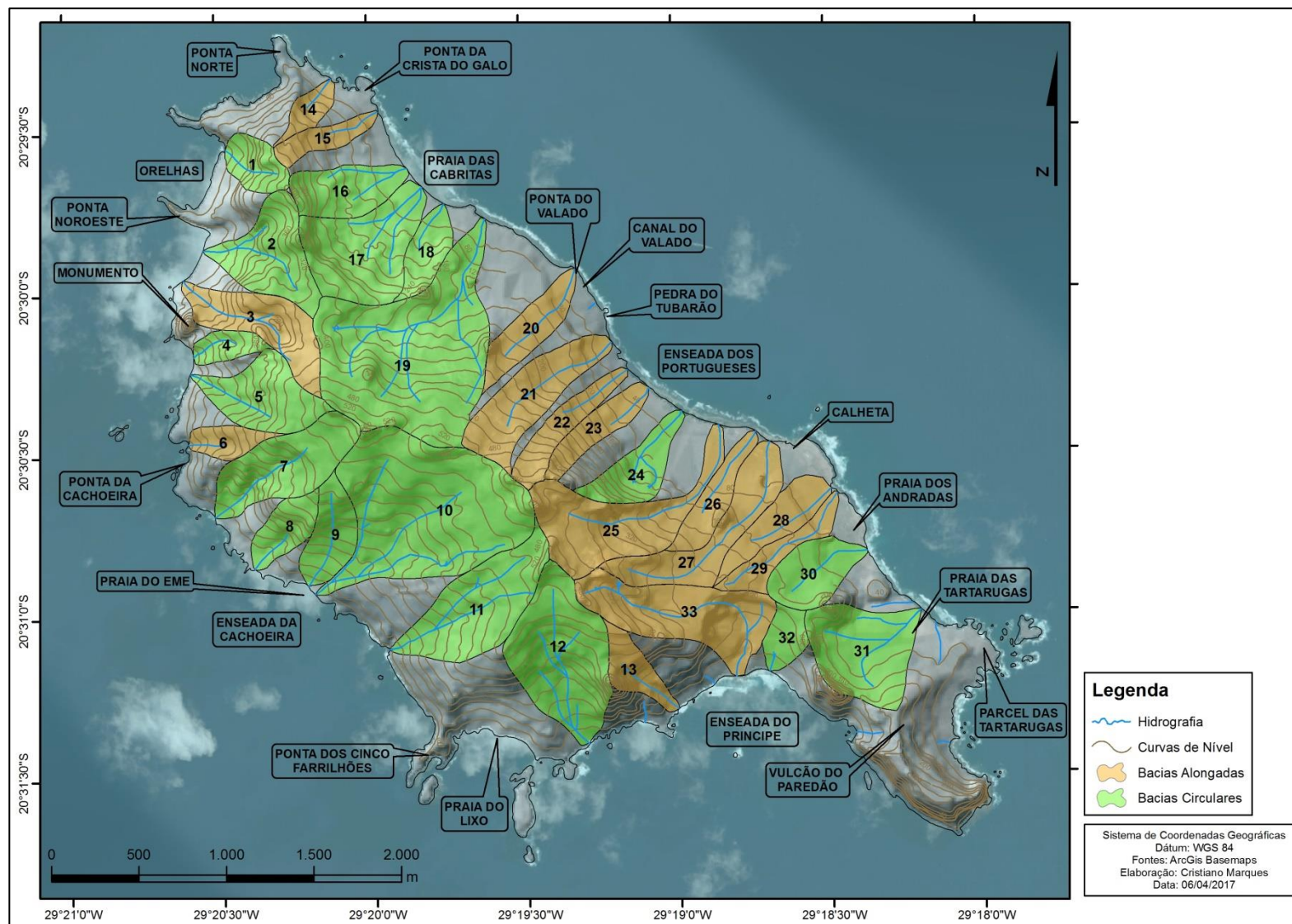


Figura 38 - Especialização das bacias hidrográficas circulares e alongadas, conforme o Índice de Circularidade. Fonte: elaboração do autor.

Portanto, as bacias com o formato retangular ou triangular (alongado) são menos susceptíveis a enchentes que as circulares, ovais ou quadradas. Contudo, a análise da Densidade de Drenagem indicou que em Trindade há uma rede de drenagem eficiente, além de se tratar de um terreno bastante declivoso, que não favorece, de maneira geral, a concentração dos fluxos hídricos.

Bacias hidrográficas	Ic	Classificação	Bacias hidrográficas	Ic	Classificação
1	0,83	Circular	18	0,58	Circular
2	0,58	Circular	19	0,58	Circular
3	0,46	Alongada	20	0,45	Alongada
4	0,59	Circular	21	0,47	Alongada
5	0,60	Circular	22	0,36	Alongada
6	0,47	Alongada	23	0,45	Alongada
7	0,63	Circular	24	0,51	Circular
8	0,66	Circular	25	0,35	Alongada
9	0,63	Circular	26	0,39	Alongada
10	0,64	Circular	27	0,32	Alongada
11	0,54	Circular	28	0,42	Alongada
12	0,71	Circular	29	0,29	Alongada
13	0,45	Alongada	30	0,80	Circular
14	0,49	Alongada	31	0,76	Circular
15	0,44	Alongada	32	0,72	Circular
16	0,69	Circular	33	0,50	Circular
17	0,68	Circular			

**Tabela 8 - Índice de Circularidade das bacias hidrográficas. Fonte: elaboração do autor.**

Relacionando a forma das bacias com os padrões de escoamento identificados (Tabela 9), ressalta-se que as duas bacias classificadas como padrão *i* são circulares. Em relação às bacias referentes ao padrão *ii*, vale salientar que há bacias circulares e alongadas. Contudo, destaca-se o fato de que a bacia 24, que assim como as bacias do primeiro padrão, também foi assinalada como uma unidade que apresenta fluxos perenes, igualmente apresenta formato circular, ou seja, todas as bacias permanentes de Trindade apresentam tal formato. Quanto ao padrão *iii*, há praticamente uma distribuição igualitária entre as duas formas, já que dos 26 casos há 14 bacias circulares e 12 alongadas.

Forma (Ic)	Bacias Hidrográficas	Total
<b>Padrão i</b>		
<b>Circular</b>	10 e 19	2
<b>Alongada</b>	-	-
<b>Padrão ii</b>		
<b>Circular</b>	11 e 24	2
<b>Alongada</b>	3, 25 e 33	3
<b>Padrão iii</b>		
<b>Circular</b>	1, 2, 4, 5, 7, 8, 9, 12, 16, 17, 18, 30, 31 e 32	14
<b>Alongada</b>	6, 13, 14, 15, 20, 21, 22, 23, 26, 27, 28 e 29	12

**Tabela 9 - Cruzamento entre a forma das bacias (Ic) e seus padrões de escoamento. Fonte: elaboração do autor.**

Em relação ao comportamento dos fluxos nos canais fluviais, foi identificado um padrão bastante comum nos cursos d'água de Trindade, que é a ocorrência de sumidouros e ressurgências<sup>12</sup>: seja após a exfiltração nas nascentes, ou até mesmo em áreas onde os cursos d'água apresentam significativos fluxos superficiais, é comum observar a infiltração da água e sua consequente passagem do meio superficial para o subterrâneo. Depois disso, esses fluxos seguem basicamente dois caminhos: eles podem ser retomados à dinâmica hídrica superficial - na forma de sequências de ressurgências e sumidouros; ou drenando de maneira contínua - ou podem permanecer no meio subterrâneo, de maneira a escoar subsuperficialmente até atingir o mar.

Analisando situações semelhantes, Faria (1997) enquadrou a presença de fluxos descontínuos nas calhas fluviais, em que a água exfiltrada nas nascentes volta a infiltrar nos sedimentos do canal fluvial aflorando, novamente, a jusante, como pseudonascentes. Portanto, sob essa ótica, no caso de Trindade, é possível indicar que há a presença dessas, o que significou um dos principais desafios impostos à identificação das nascentes em campo.

Assim, a rede hidrográfica de Trindade pode ser considerada perene, por apresentar fluxos ao longo de todo ano. Ao mesmo tempo, a ocorrência de pseudonascentes imprime um caráter intermitente a ela, fazendo com que a presença de nascentes exfiltrando em determinada calha

<sup>12</sup> Os termos “sumidouro” e “ressurgência”, no presente trabalho, não foram adotados da mesma maneira que são tradicionalmente empregados no campo da geomorfologia cárstica, já que não há nenhuma relação com esse tipo de ambiente, nesse caso. Portanto, tais termos foram utilizados, basicamente, para explicar um comportamento típico observado nos cursos d'água da Ilha.

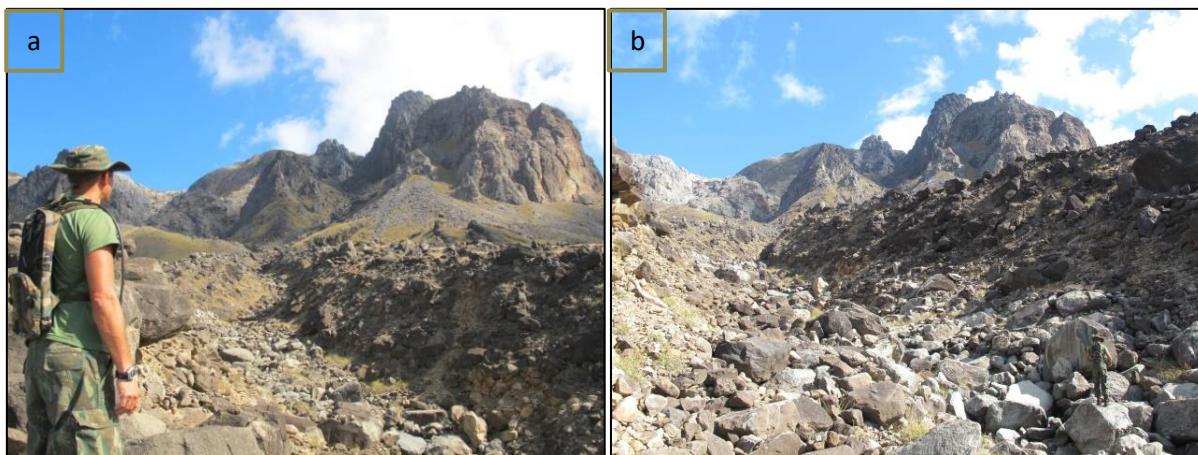
fluvial não signifique a existência de um curso d'água contínuo, que drene superficialmente desde a exfiltração até atingir o mar. Em síntese, a rede hidrográfica pode ser considerada temporalmente permanente, mas descontínua no espaço.

Almeida (1961) já havia identificado a ocorrência desse fenômeno em uma área específica de Trindade: “O córrego que drena o grande Vale Verde [bacia 19] só apresentava reduzida quantidade de água na parte média de seu curso, água que se perdia por infiltração nos detritos do cone aluvial para ressurgir em diversas fontes, na escarpa marítima que o trunca” (ALMEIDA, 1961). Contudo, esse fenômeno apresenta uma abrangência maior que aquela observada por esse autor, podendo ser verificado, de maneira geral, por toda a ilha.

Outro fator de destaque em Trindade é que dois de seus maiores canais, o do córrego Vermelho (localizado na bacia 33 - Figura 39) e do Valado (localizado entre a Pedra do Tubarão e a Ponta do Valado - Figura 40a e 40b), não apresentaram fluxos significativos, o que também vai ao encontro às observações de Almeida (1961). Na realidade, o vale do córrego Vermelho, que recebe os fluxos de seis nascentes, não apresentava água corrente (apenas poças), o que é resultado do padrão citado anteriormente, além da baixa expressividade da vazão dessas nascentes, já que a maioria delas apresentou valores de vazão desprezíveis. Por sua vez, o vale do Valado, que não é drenado por nenhuma nascente, estava inteiramente seco.



**Figura 39 - Dimensão do vale do córrego Vermelho (as setas 1 e 2 indicam duas pessoas na margem esquerda do canal, servindo de escala, já a 3 está apontada para o fundo do vale), em segundo plano destacam-se o Pão de Açúcar (mais elevado) e o Vulcão do Paredão (a) ; Vista do fundo do vale, seco - a seta indica a sombra de uma pessoa, que exerce o papel de escala (b). Fontes: Carlos Schaefer e acervo do autor.**



**Figura 40 (a e b) - Canal do Valado inteiramente seco e entulhado por sedimentos grosseiros. Fonte: acervo do autor.**

Conforme já havia destacado Almeida (1961), fica evidente o importante papel exercido pela erosão pluvial na abertura desses vales (e em Trindade como um todo), já que nesses casos as drenagens perenes estão praticamente ausentes, e que há uma série de focos erosivos ao longo de seu território:

A julgar-se pelos efeitos observados nesses vales [...] conclui-se ser a erosão fluvial muito importante em todos eles, por ocasião das chuvas. O córrego Vermelho, assim como outras torrentes do planalto ankaratrítico, tem rocha exposta em todo seu leito, atestando intenso processo de corrasão. Do mesmo modo, no Valado e no Vale Verde os leitos acham-se em grande parte encravados na rocha fresca ou nos grosseiros materiais que constituem os cones aluviais (ALMEIDA, 1961, p. 50).

Portanto, a intensa ação desses processos provoca o rápido recuo das escarpas marítimas, mantendo o caráter jovem da rede de drenagem, o que explica a baixa ocorrência de deposição fluvial em Trindade, ou seja, os registros fluviais são facilmente destruídos diante dessa dinâmica.

Em relação ao transporte de sedimentos, a rede fluvial tem capacidade de levar ao mar a maioria dos materiais que atingem as calhas, restando principalmente grandes blocos e matacões que descem ao fundo dos vales, movidos pelos processos de evolução das vertentes, e que excedem a competência dos córregos, materiais esses que entulham grande parte dos vales fluviais da ilha - Figura 41 - (ALMEIDA, 1961).



**Figura 41 – Materiais que entulham grande parte dos vales da ilha (canal principal da bacia 19, em seu trecho final). Fonte: Acervo do autor.**

Além disso, também é possível observar a presença de areia, resultante do desgaste desses materiais de textura mais grosseira, em pequenos depósitos localizados, sobretudo, em contexto de calha fluvial (Figura 42a e 42b).



**Figura 42 (a e b) - Deposição de areia no canal principal da bacia 19. Fonte: Acervo do autor.**

### 3.2.2. AS NASCENTES

No capítulo anterior foi possível constatar que em Trindade há bacias hidrográficas que apresentam nascentes (padrões *i* e *ii*), além de bacias hidrográficas, e outras áreas, denominadas áreas de escoamento direto ao mar (padrões *iii* e *iv*, respectivamente), que não apresentam esse elemento fluvial. Nesse sentido, através da Tabela 10 é possível verificar que foram identificadas 32<sup>13</sup> nascentes em Trindade, distribuídas conforme a configuração espacial elucidada pela Figura 43.

Bacia hidrográfica	Número de nascentes
<b>FACE ORIENTAL</b>	
19	8
24	6
25	1
Áreas de escoamento direto	1
<b>TOTAL - FACE ORIENTAL</b>	<b>16</b>
<b>FACE OCIDENTAL</b>	
3	1
10	3
11	5
33	5
Áreas de escoamento direto	2
<b>TOTAL - FACE OCIDENTAL</b>	<b>16</b>
<b>TOTAL DA ILHA</b>	<b>32</b>

Tabela 10 - Quantidade de nascentes por bacia hidrográfica/áreas de escoamento direto, separada por face da ilha. Fonte: Elaboração do autor.

Tendo em vista a diferença na distribuição da radiação solar entre as faces da ilha, era esperado que o arranjo das nascentes ao longo do território refletisse essa característica, ou seja, que a face mais sombreada (face ocidental) possuísse mais nascentes. Contudo, o número de nascentes indica uma distribuição igualitária entre as faces, com 16 nascentes drenando cada uma delas.

---

<sup>13</sup> Assim como foi destacado no caso das bacias hidrográficas, as nascentes foram numeradas de T01 a T33, e serão citados no trabalho com base nessa numeração, sendo que a T28 foi eliminada do trabalho por não se tratar de uma nascente.

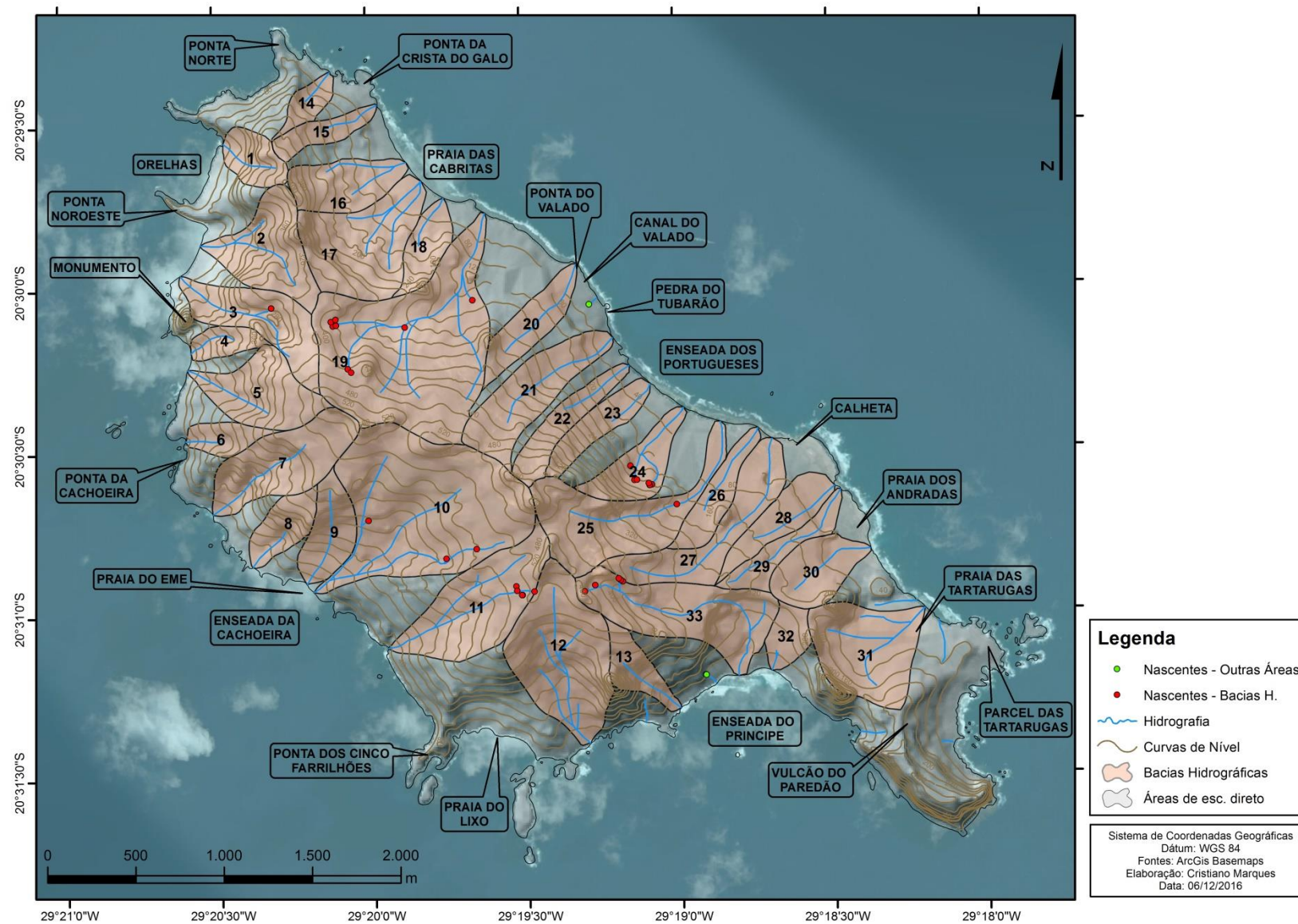


Figura 43 - Mapa da distribuição espacial das nascentes na ilha. Fonte: Elaboração do autor.

Em relação à vazão das nascentes, destaca-se que oito delas apresentaram fluxos incipientes no momento de visita (T23, T24, T26, T27, T29, T30, T31 e T32) e, logo, não puderam ter suas vazões calculadas. Ademais, duas outras nascentes não puderam ter suas áreas de exfiltração acessadas (T07 e T19) e, dessa maneira, não foram totalmente caracterizadas, sendo que, nesses casos, o parâmetro vazão não pôde ser calculado apenas para a T19. Portanto, a Tabela 11 apresenta a vazão das nascentes que tiveram seus fluxos mensurados.

Nome	Vazão (ml/s)	Nome	Vazão (ml/s)
<b>T01</b>	10,94	<b>T13</b>	36,50
<b>T02*</b>	80,92	<b>T14</b>	2,76
<b>T03*</b>	80,92	<b>T15</b>	27,01
<b>T04*</b>	80,92	<b>T16</b>	1,30
<b>T05</b>	5,99	<b>T17</b>	53,28
<b>T06</b>	57,38	<b>T18</b>	443,34
<b>T07</b>	109,77	<b>T20</b>	20,37
<b>T08</b>	35,31	<b>T21</b>	22,91
<b>T09</b>	350,21	<b>T22</b>	1,47
<b>T10</b>	2,27	<b>T25</b>	56,17
<b>T11</b>	4,90	<b>T33</b>	3,90
<b>T12</b>	38,08		

**Tabela 11<sup>14</sup> - Vazão das nascentes. Fonte: Elaboração do autor.**

Segundo o sistema de classificação de nascentes de Meinzer (1927), Tabela 12, que utiliza como critério a vazão, proposta que ainda hoje é utilizada de maneira oficial nos Estados Unidos da América (FELIPPE, 2009), as nascentes de Trindade apresentam 6<sup>a</sup> (seis casos), 7<sup>a</sup> (10 casos) e 8<sup>a</sup> Magnitudes (16 casos: sete nascentes de vazão mensurável, oito casos de vazões imensuráveis e um caso de inacessibilidade) - Tabela 13. Assim, ainda que a maior vazão verificada esteja localizada na face ocidental, a face oriental se destaca nesse caso, já que os outros cinco casos de 6<sup>a</sup> Magnitude (Figura 44) estão assentados sobre esta face (Figura 45).

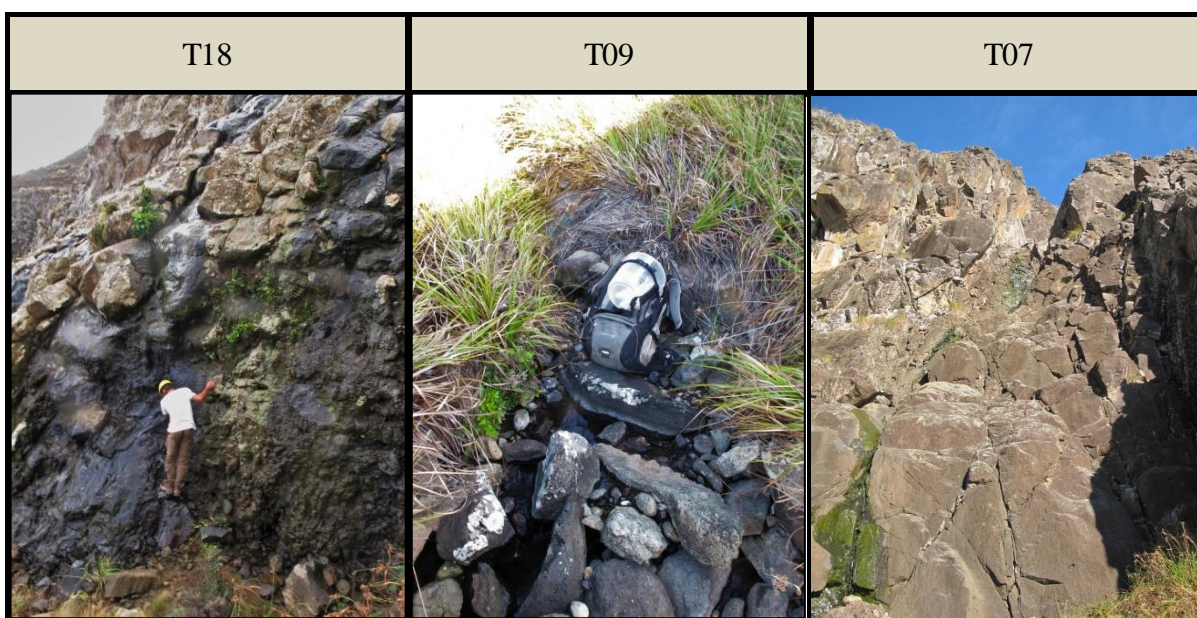
<sup>14</sup> As nascentes T02, T03 e T04 não puderam ter seus fluxos mensurados individualmente, portanto, foi realizada a medição na união de seus fluxos e, assim, o valor encontrado foi dividido por 3, fornecendo uma estimativa de suas vazões individuais.

Magnitude	Vazão (ft³/s, gal/min, pint/min)	Vazão (L/s)
1ª	> 100 ft³/s	> 2.800 L/s
2ª	10 a 100 ft³/s	280 a 2.800 L/s
3ª	1 a 10 ft³/s	28 a 280 L/s
4ª	100 gal/min a 1 ft³/s	6,3 a 28 L/s
5ª	10 a 100 gal/min	0,63 a 6,3 L/s
6ª	1 a 10 gal/min	63 a 630 mL/s
7ª	1 pint a 1 gal/min	8 a 63 mL/s
8ª	< 1 pint/min	< 8 mL/s
Magnitude 0	Sem vazão (loais de fluxo passado/histórico)	

**Tabela 12 - Proposta de classificação de nascentes - *springs* - segundo a vazão, de Meinzer (1927). Fonte: Extraído de Felipe, 2009.**

Nascentes		
6ª Magnitude - 63 a 630 mL/s	7ª Magnitude - 8 a 63 mL/s	8ª Magnitude - 8 a 63 mL/s
T02, T03, T04, T07, T09, T18	T01, T06, T08, T12, T13, T15, T17, T20, T21, T25	T05, T10, T11, T14, T16, T19**, T22, T23*, T24*, T26*, T27*, T29*, T30*, T31*, T32*, T33

**Tabela 13<sup>15</sup> - Magnitude das nascentes de Trindade, segundo Meinzer (1927). Fonte: Elaboração do autor.**



**Figura 44 - As três nascentes de maior vazão. Fonte: elaboração do autor.**

<sup>15</sup> \* Nascentes que não tiveram seus fluxos mensurados, devido à incipiência de seus fluxos; \*\* Nascente com área de exfiltração inacessível, onde não houve medição de vazão.

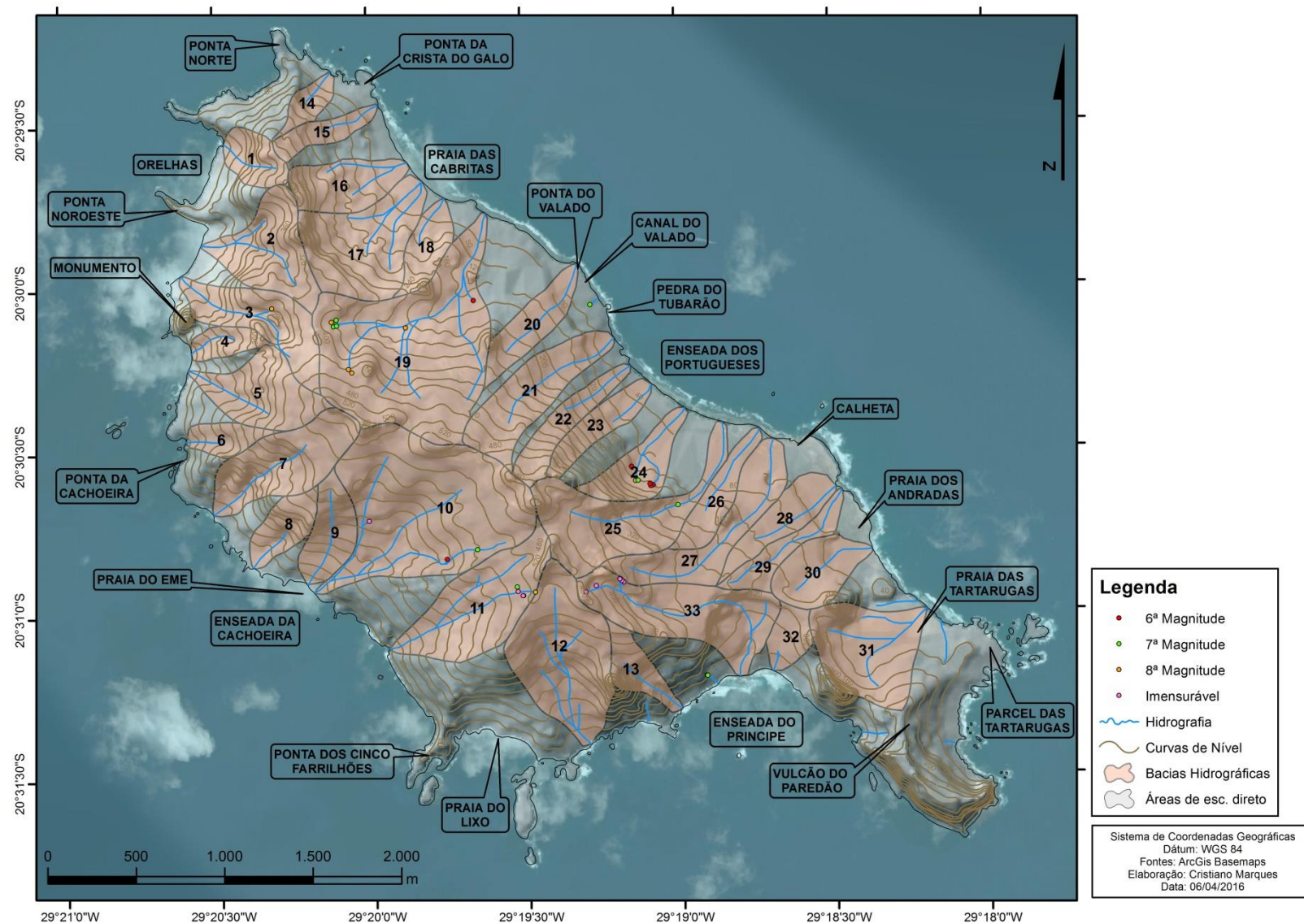


Figura 45 – Mapa da distribuição espacial das nascentes, separadas por Magnitude, segundo Meinzer (1927). Fonte: elaboração do autor.

Entre os trabalhos realizados em áreas continentais brasileiras acerca da temática de nascentes, e que também trazem o cálculo de vazões, está o de Felipe (2013), que estudando nascentes localizadas na Serra do Espinhaço Meridional e na Depressão do São Francisco (MG), encontrou valores entre 67,7 (3ª Magnitude) e 0,002 L/s (8ª Magnitude). Por sua vez, trabalhando com as nascentes de três parques urbanos em Belo Horizonte (MG), Felipe (2009) encontrou uma vazão média de 0,239 L/s para todos os casos contemplados no estudo (6ª Magnitude), sendo a maior vazão calculada de 1,9 L/s (5ª Magnitude), e a menor de vazão desprezível (8ª Magnitude).

Já em monitoramento realizado em duas nascentes na Serra da Mantiqueira (MG) por Junqueira Júnior (2006), as vazões encontradas variaram entre 0,007 (8ª Magnitude) a 7,3 L/s (4ª Magnitude). Trabalhando com fontes em Itamonte (MG), Pane e Pereira (2005) calcularam suas vazões e as enquadraram entre a 4ª e 5ª Magnitudes. Outro trabalho que pode ser tomado como exemplo é o de Andrade Pinto et al. (2004), no qual 192 nascentes foram avaliadas no município de Lavras (MG), tendo a vazão média de 0,149 L/s (6ª Magnitude), e máxima de 2,0831 L/s (5ª Magnitude). Faria (1997), por sua vez, em estudo realizado no maciço da Tijuca (RJ), registrou vazões de microbacias e encontrou valores que variaram entre 16 (4ª Magnitude) e 0,015 L/s (7ª Magnitude).

No caso de Trindade, as vazões variaram de incipiente (imensurável), até 0,443 L/s, sendo a vazão média calculada, considerando todas as 32 nascentes identificadas, de 0,048 L/s. Por outro lado, quando consideradas apenas as nascentes que apresentaram fluxos capazes de serem mensurados (23 casos), essa média é 0,066 L/s. Portanto, comparando as vazões das nascentes de Trindade com os resultados trazidos pelos autores citados no parágrafo anterior, fica evidente que as nascentes da ilha apresentam vazões pouco expressivas. Contudo, vale ressaltar que as duas nascentes mais caudalosas da Ilha (T18 e T09) apresentam vazões que se mostram muito acima da vazão média calculada para algumas dessas áreas continentais brasileiras, o que reforça o argumento de que, analisando Trindade sob o contexto das ilhas oceânicas brasileiras, a Ilha emerge como uma situação de destaque. Soma-se a isso a presença de outras 16 nascentes que apresentaram vazões superiores a 8 mL/s, com Magnitudes 6ª e 7ª. A distribuição espacial da magnitude das nascentes não elucidou a presença de padrões nítidos.

Embora Felipe (2013) mencione que tal classificação, Meinzer (1927), tenha se mostrado distorcida para o contexto brasileiro, uma vez que “não há registros de trabalhos acadêmicos

que tenham descrito, no Brasil, nascentes de magnitude maior que a 4ª (que corresponde a vazões entre 6,3 e 28 L/s), sendo a maioria dos casos enquadrada na 5ª, 6ª ou 7ª magnitudes” (FELIPPE, 2013), julgou-se pertinente utiliza-la para classificar as nascentes de Trindade, já que ela permite com que os dados sejam agrupados e comparados, facilitando construção das análises.

Conforme destaca Felipe (2009), além dos parâmetros hidrológicos e locais anteriormente explorados para caracterizar as nascentes, a diversidade de elementos que constituem uma nascente, tanto na sua dinâmica como na sua origem, promove a existência de uma grande variedade de aspectos a serem elucidados. Nesse sentido, “muito além das grandes compartimentações dos aspectos físicos da Terra – geologia, relevo, vegetação, clima, etc. – são as características locais que determinam a fisiografia de uma nascente”.

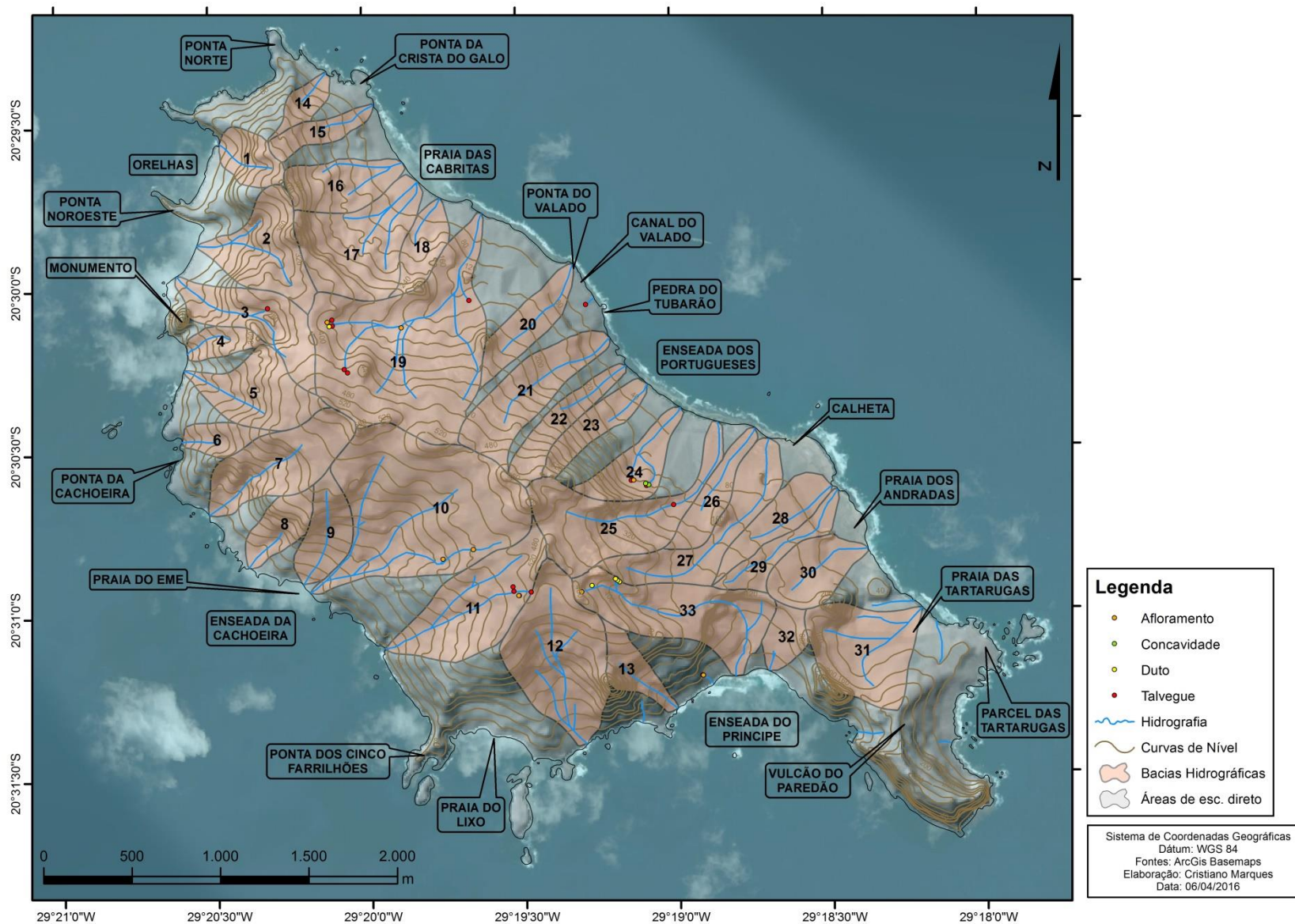
Visualmente, dois elementos se destacam: a morfologia e o tipo de exfiltração, os quais juntos explicam consideravelmente a dinâmica que as nascentes possuem. Contudo, por se tratar de variáveis qualitativas, é válido ressaltar que ambas carregam certo grau de subjetividade em sua definição (FELIPPE, 2009).

Em relação à morfologia (Figura 46), foram observadas nascentes em talvegue (13 casos), em afloramento (10 casos), em duto (cinco casos) e em concavidade (dois casos). Portanto, com base em Felipe (2009), destaca-se que:

- Nascentes em concavidade ocorrem em trechos côncavos da vertente, mormente em rupturas de declive, formando canais apenas a jusante da exfiltração;
- Nascentes em duto são caracterizadas pela exfiltração em canais erosivos subterrâneos horizontais que interceptam a superfície em algum ponto da vertente, formando pequenas cavidades com formas circulares;
- Nascentes em afloramentos são caracterizadas pela presença de afloramentos rochosos no local da exfiltração, seja em canais ou mesmo na vertente;
- Nascentes em talvegue ocorrem essencialmente em canais erosivos – ravinas ou sulcos – quando interceptam o nível freático (FELIPPE, 2009, p.114).

Desse modo, em relação à classificação utilizada para caracterizar as nascentes, estão ausentes dois tipos de morfologias em Trindade:

- Nascentes em *olho* são similares às em duto, porém, neste caso, os canais erosivos subterrâneos são verticais e, por isso, a água aflora verticalmente em áreas planas, constituindo verdadeiros “olhos d’água”;
- Nascentes em *cavidade* ocorrem em cavidades erosivas com formas que se assemelham a marmitas ou panelas, em que a profundidade é maior do que a largura, normalmente após uma ruptura de declive (FELIPPE, 2009, p.114).



**Figura 46 – Mapa da distribuição espacial das nascentes, separadas por morfologia. Fonte: elaboração do autor.**

Portanto, fica nítida a predominância das nascentes em talvegue, que correspondem a 43% do total de nascentes identificadas, o que reflete de maneira coerente as características de seu relevo: altamente declivoso e erodido, em nítido processo destrutivo. Conforme destaca Almeida (1961), a ilha deixa a impressão de que “[...] vem aluindo e se ocultando sob os produtos de sua própria ruína. Realmente, seja na costa ou nas escarpas e planaltos do interior, por toda parte, tudo são ruínas” (ALMEIDA, 1961). Além disso, a alta ocorrência de nascentes em afloramento, que representam 33% dos casos totais, também se mostra bastante pertinente, uma vez que a ocorrência de afloramentos rochosos em Trindade é muito frequente.

Embora Trindade apresente algumas condições favoráveis à ocorrência de nascentes com morfologia em duto e em olho, ou seja, terrenos altamente declivosos, com coberturas pedológicas pouco espessas, associados à presença de uma superfície de impermeabilização, como a rocha sã, por exemplo (FELIPPE, 2009), os fluxos subterrâneos, de maneira geral, aparentemente não apresentam energia suficiente para gerar esses tipos de nascentes. Isso poderia justificar a baixa ocorrência de nascentes em duto (cinco casos) e a ausência de nascentes em olho. Ademais, vale ressaltar que a ausência de nascentes em cavidade, as quais ocorrem em cavidades erosivas, contraria as previsões, uma vez que feições erosivas de diversos tipos são amplamente observadas na ilha. A distribuição espacial da morfologia das nascentes não elucidou a existência de padrões claros.

Em relação à exfiltração, diferentemente do que indica o conhecimento popular acerca das nascentes, Guerra (1993) defende que elas não são, necessariamente, um ponto, ou seja, a exfiltração da água nem sempre ocorre em um lugar bem definido. De fato, muitas delas se manifestam pontualmente, mas esse é apenas um dos meios de passagem da água do meio subterrâneo ao superficial. Nesse sentido, com base na classificação proposta por Felipe (2009), em relação aos tipos de exfiltração, em Trindade foram encontradas nascentes pontuais (17) e múltiplas (13), sendo que (Figura 47):

- Nascentes *pontuais* caracterizam-se pela concentração da exfiltração em apenas um ponto, facilmente individualizado de seu entorno justamente pelo afloramento da água subterrânea;
- Nascentes *múltiplas* ocorrem nos casos intermediários entre as pontuais e as difusas. Podem ser constituídas por uma série de exfiltrações pontuais – vários pontos – ou mesmo por várias áreas de exfiltração. Ocorrem também nos casos de exfiltrações pontuais e areais em uma mesma nascente (FELIPPE, 2009, p.116).

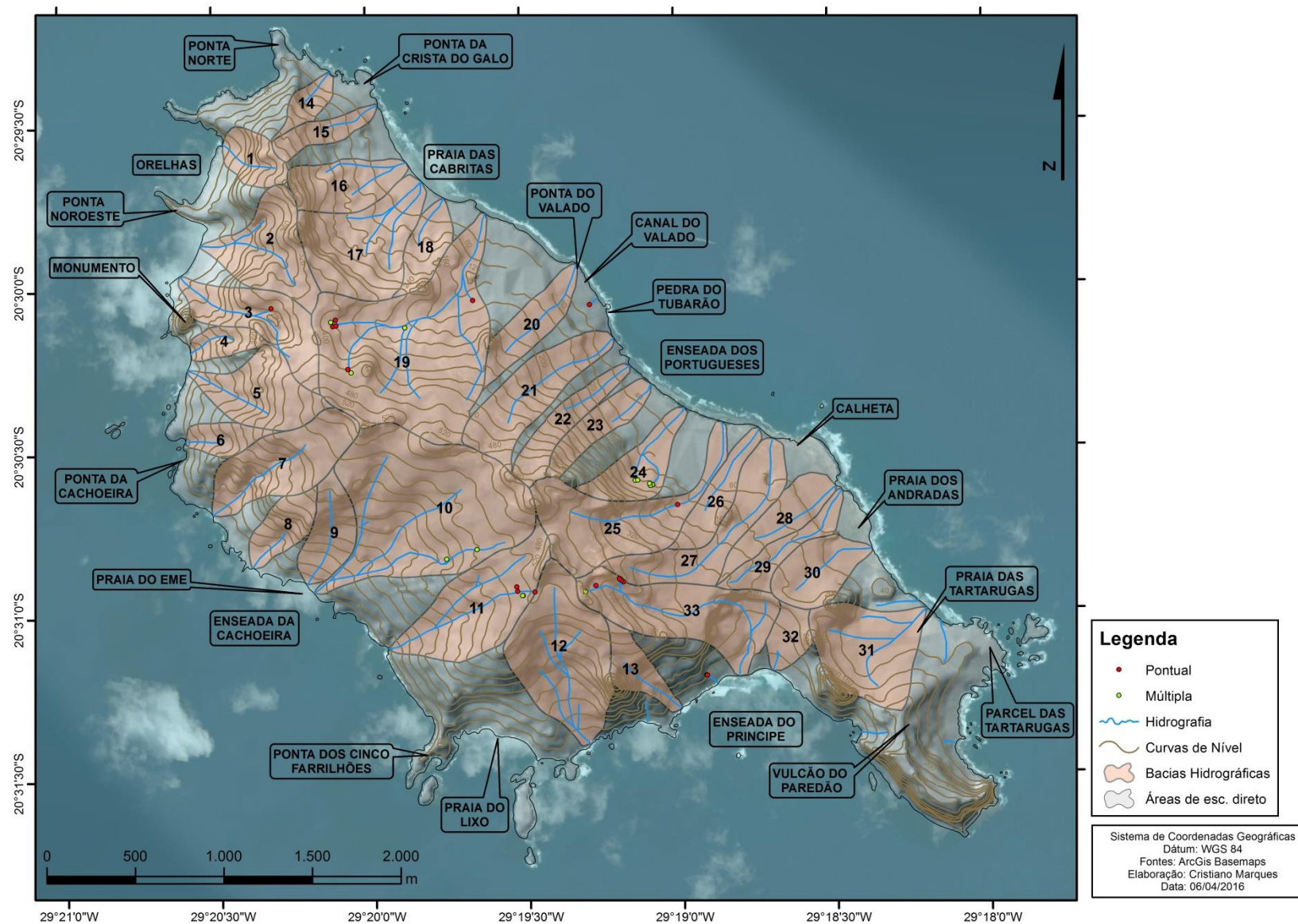


Figura 47 – Mapa da distribuição espacial das nascentes, separadas por tipo de exfiltração. Fonte: elaboração do autor.

Sobre os tipos de exfiltração, assim como foi observado para a morfologia, também se destaca a ausência de um tipo contemplado no trabalho de Felipe (2009), que são as nascentes difusas:

- Nascentes *difusas* são aquelas em que exfiltração ocorre ao longo de uma área em que não é possível afirmar com precisão o principal local de saída da água, formando terrenos de solo encharcado, em que somente a jusante um canal é identificável, por exemplo, em brejos (FELIPPE, 2009, p.116).

Nascentes difusas estão normalmente associadas ao estabelecimento de condições que favoreçam o enchimento superficial, ou seja, à baixa condutividade hidráulica dos solos. Estas condições ocorrem comumente em mantos de alteração com textura fina, como solos argilosos ou orgânicos, sendo que a ocorrência de coberturas pouco profundas, cujo nível freático se forma próximo à superfície, também significa um fator favorável. Logo, a combinação dessas condições impulsiona a ocorrência desse tipo de exfiltração. Portanto, se por um lado é marcante a predominância dos Neossolos na ilha, ou seja, mantos de alteração geralmente rasos e pouco desenvolvidos, por outro, há baixa ocorrência de solos de textura fina em Trindade, o que pode explicar a ausência das nascentes difusas.

Embora haja indícios de que os aquíferos de Trindade apresentam baixa energia, o fato de não ter havido grandes disparidades em relação aos tipos de exfiltração das nascentes (57% de nascentes pontuais e 43% de nascentes múltiplas) significa um indicativo da ocorrência de ambientes de alta energia, no caso das nascentes pontuais, e de mais baixa energia, no caso das nascentes múltiplas. Esta constatação decorre do fato de que as nascentes pontuais tendem a estar relacionadas a condições de elevada energia, em que os fluxos subterrâneos concentrados são conduzidos para uma única saída, enquanto as nascentes múltiplas e difusas ocorrem em condições de mais baixa energia, devido à desconcentração desses (FELIPPE, 2009). A distribuição espacial dos tipos de exfiltração também não elucidou a existência de padrões.

Em seguida, a Figura 48 ilustra as morfologias e os tipos de exfiltração identificados na ilha.



Figura 48 - Síntese da morfologia e do tipo de exfiltração das nascentes. Fonte: elaboração do autor.

Em relação às formações geológicas que sustentam as nascentes (Tabela 14), destaca-se que não há nascentes localizadas sobre rochas do Vulcão do Paredão ou da Formação Valado, ou seja, formações essas que, junto com a Formação Morro Vermelho (que apresenta baixa ocorrência e expressividade de nascentes), representam as séries geológicas mais recentes da ilha. Assim, além da idade, a própria baixa expressão espacial dessas formações pode ser um indicativo dessa baixa ocorrência, ou ausência de nascentes.

Unidades geológicas	Nascentes	Número de nascentes
Materiais recentes (depósitos de talude e aluviões)	T01, T08 e T09	3
Vulcão do Paredão	-	0
Formação Valado	-	0
Formação Morro Vermelho	T30, T31 e T32	3
Formação Desejado	T12, T13, T14, T17, T19, T22, T23, T24, T25, T26, T27 e T29	12
Complexo Trindade	T02, T03, T04, T05, T06, T07, T10, T11, T15, T16, T18, T20, T21 e T33	14

**Tabela 14 - Formações geológicas que sustentam as nascentes. Fonte: Elaboração do autor.**

A elevada ocorrência de nascentes sustentadas pelo Complexo Trindade se mostra bastante coerente, sobretudo tendo em vista que essa é a formação geológica que apresenta maior incidência de falhas e fraturas, além de consistir na unidade de maior expressão em área. Tal unidade geológica estabelece grandes áreas de contato com a Sequência Desejado, a qual sustenta as áreas preferenciais de infiltração de água na ilha - o Planalto Axial, que consiste nas áreas mais elevadas de Trindade. Assim, tendo em vista que 81% das nascentes (26 casos) estão assentadas sobre as rochas do Complexo Trindade e da Sequência Desejado, é possível indicar que a trajetória preferencial das águas, desde a infiltração, até a exfiltração nas nascentes, seria de infiltração nas áreas mais elevadas (Planalto Axial – Sequência Desejado), e exfiltração em terrenos sustentados por essas duas unidades geológicas, sobretudo pela primeira.

Conforme destaca Felipe (2009), a morfologia das nascentes não é resultado exclusivamente de processos superficiais, mas também produto de processos subterrâneos que moldam o sítio onde ocorre a passagem da água do meio subterrâneo para a superfície. Disso é possível inferir que existe uma relação entre a energia dos fluxos subterrâneos, a morfologia da nascente e o tipo de exfiltração.

Assim, relacionando a morfologia e o tipo de exfiltração das nascentes com as unidades geológicas que as sustentam (Tabela 15), é possível observar que as nascentes embasadas por materiais mais recentes (depósitos de talude e aluviões) apresentam exclusivamente morfologia em talvegue e exfiltração pontual. As próprias características desses materiais, ou seja, mais friáveis e, portanto, mais suscetíveis à ocorrência de processos erosivos, podem explicar a exclusividade de tal morfologia sobre essas formações. Já o fato de todas essas nascentes apresentarem exfiltração pontual pode indicar que essas unidades provavelmente estão relacionadas a aquíferos de mais alta energia. Nessa perspectiva, todas as nascentes estabelecidas na Formação Morro Vermelho possuem morfologia em duto e tipo de exfiltração pontual, indicando condições clássicas de formação de nível freático e exfiltração no contato entre dois materiais com permeabilidades distintas e, novamente, alta energia dos fluxos subterrâneos.

Em relação à Sequência Desejado e ao Complexo Trindade, a diversidade de tipos de nascentes presentes nessas unidades não elucidou a presença de padrões claros. Destaca-se apenas a ausência da morfologia em duto no Complexo Trindade, o que contradiz as previsões, já que essa apresenta grande incidência de falhas e fraturas, além do fato de que as nascentes em concavidade estão embasadas exclusivamente pelas rochas dessa mesma unidade.

Unidades geológicas	Morfologia				Tipo de Exfiltração	
	Concavidade	Duto	Afloramento	Talvegue	Pontual	Múltipla
Materiais recentes (depósitos de talude e aluviões)	-	-	-	T01, T08, T09	T01, T08, T09	-
Vulcão do Paredão	-	-	-	-	-	-
Formação Valado	-	-	-	-	-	-
Formação Morro Vermelho	-	T30, T31, T32	-	-	T30, T31, T32	-
Formação Desejado	-	T12, T29	T14, T17, T23, T24, T27	T13, T22, T25, T26	T12, T13, T22, T25, T26 T29	T14, T17, T23, T24, T27
Complexo Trindade	T02, T04	-	T06, T18, T20, T21, T33	T03, T05, T10, T11, T15, T16	T10, T15, T16, T20, T21	T02, T03, T04, T05, T06, T11, T18, T33

**Tabela 15 - Cruzamento das unidades geológicas que sustentam as nascentes com a morfologia e o tipo de exfiltração. Fonte: Elaboração do autor.**

Embora não tenham sido utilizadas técnicas de medição dos fluxos subterrâneos, “a vazão das nascentes pode ser considerada uma aproximação metodológica bastante útil devido a sua relação com a energia dos fluxos” (FELIPPE, 2009), ou seja, espera-se que as vazões mais expressivas estejam associadas a fluxos de maior energia.

Nessa perspectiva, relacionando as unidades geológicas que sustentam as nascentes com suas respectivas magnitudes (Tabela 16), segundo Meinzer (1927), é possível indicar que as nascentes mais caudalosas da ilha (6ª Magnitude) estão relacionadas exclusivamente ao Complexo Trindade (5 casos) e aos materiais recentes (depósitos de talude e aluviões – um caso). Isso reafirma o importante papel exercido pelas rochas do Complexo Trindade como importantes zonas de exfiltração das águas que infiltram, sobretudo, no Planalto Axial. Ademais, se por um lado há baixa ocorrência de nascentes embasadas por materiais recentes (três casos), por outro, nenhuma delas apresentou 8ª Magnitude, o que reforça a tendência desses materiais gerarem ambientes de alta energia do ponto de vista da exfiltração das águas, dessa vez manifestada pela vazão dessas nascentes, que se mostraram significativas perante o universo amostral. Por sua vez, tendo em vista que todas as três nascentes sustentadas pela Formação Morro Vermelho apresentam 8ª Magnitude, fica evidente que essa representa uma unidade de pouco expressividade do ponto de vista hidrográfico. Em relação à Sequência Desejado, embora o número de nascentes embasadas por tal série geológica seja significativo, destaca-se que suas vazões não apresentam grande destaque, uma vez que há apenas nascentes de 7ª e 8ª Magnitudes. Portanto, sob essa perspectiva, os dados sugerem ser o processo de infiltração da água preponderante em relação à exfiltração nas áreas embasadas por esse litotipo.

Unidades geológicas	Magnitude		
	6ª	7ª	8ª
Materiais recentes (depósitos de talude e aluviões)	T09	T01, T08	-
Vulcão do Paredão	-	-	-
Formação Valado	-	-	-
Formação Morro Vermelho	-	-	T30*, 31* E 32*
Formação Desejado	-	T12, T13, T17, T25	T14, T19**, T22, T23*, T24*, T26*, T27* E T29*
Complexo Trindade	T02, T03, T04, T07 E T18	T06, T15, T20 E T21	T05, T10, T11, T16 E T33

**Tabela 16 - Cruzamento das unidades geológicas que sustentam as nascentes e suas Magnitudes, segundo Meinzer (1927) <sup>16</sup>. Fonte: Elaboração do autor.**

“A maior energia dos fluxos subterrâneos, em outras palavras, significa maior erosividade. Se as partículas são retiradas com relativa facilidade, o fluxo tende a se concentrar nessas “zonas

<sup>16</sup> \* Nascentes que não tiveram seus fluxos mensurados, devido à incipiência de seus fluxos; \*\* Nascente com área de exfiltração inacessível, onde não houve medição de vazão.

de fraqueza” e, com isso, a exfiltração ocorre de forma pontual” (FELIPPE, 2009). Nessa lógica, era esperado que as nascentes pontuais apresentassem vazões mais expressivas que as múltiplas, com destaque para as nascentes em duto, que são associadas a ambientes de alta energia, e que apresentam exclusivamente exfiltração do tipo pontual. Contudo, fazendo o cruzamento da magnitude, conforme Meinzer (1927), com os parâmetros morfologia e tipo de exfiltração (Tabela 17), é possível indicar que as morfologias em concavidade e talvegue se destacaram nesse sentido, com duas das seis nascentes de 6ª Magnitude cada (totalizando quatro nascentes), sendo que o tipo de exfiltração múltipla foi preponderante nesses casos, com quatro ocorrências. Além disso, novamente contrariando as previsões, além da baixa ocorrência de nascentes em duto, ficou clara a baixa expressividade de suas vazões.

Magnitude	Morfologia				Tipo de Exfiltração	
	Concavidade	Duto	Afloramento	Talvegue	Pontual	Múltipla
6ª	T02, T04	-	T18	T03, T09	T09	T02, T03, T04, T18
7ª	-	T12	T06, T17, T20, T21	T01, T08, T13, T15, T25	T01, T08, T12, T13, T15, T20, T21, T25	T06, T17
8ª	-	T29*, T30*, T31*, T32*	T14, T23*, T24*, T27*	T05, T10, T11, T22, T26*	T22, T26*, T29*, T30*, T31*, T32*	T05, T11, T14, T23*, T24*, T27*, T33

**Tabela 17- Cruzamento da magnitude das nascentes com a morfologia e os tipos de exfiltração. Fonte: Elaboração do autor.**

Por fim, a título de caracterização, com base em Alves (1998), entre as espécies vegetais que puderam ser observadas próximas às áreas de exfiltração das nascentes (Figura 49), estão a *Cyperus atlanticus* (16 casos), a *Doryopteris campos-portoi* (13 casos), a *Pityrogramma calomelanos* (sete casos) e a *Bulbostylis nesiotis* (dois casos), sendo que sete nascentes apresentaram ausência de vegetação em seu entorno.

Almeida (1961) já havia indicado que nos fundos de vale estão presentes, sobretudo, as ciperáceas, com destaque para a *Cyperus Atlanticus*, ao passo que nas baixas vertentes, as gramíneas se associam a samambaias pequenas (*Pityrogramma calomelano*). Esse autor ainda salienta que a cobertura vegetal é, geralmente, escassa para impedir, na maioria das vertentes da ilha, a movimentação abundante de detritos, ou ainda retardar, de maneira eficaz, o escoamento das águas.

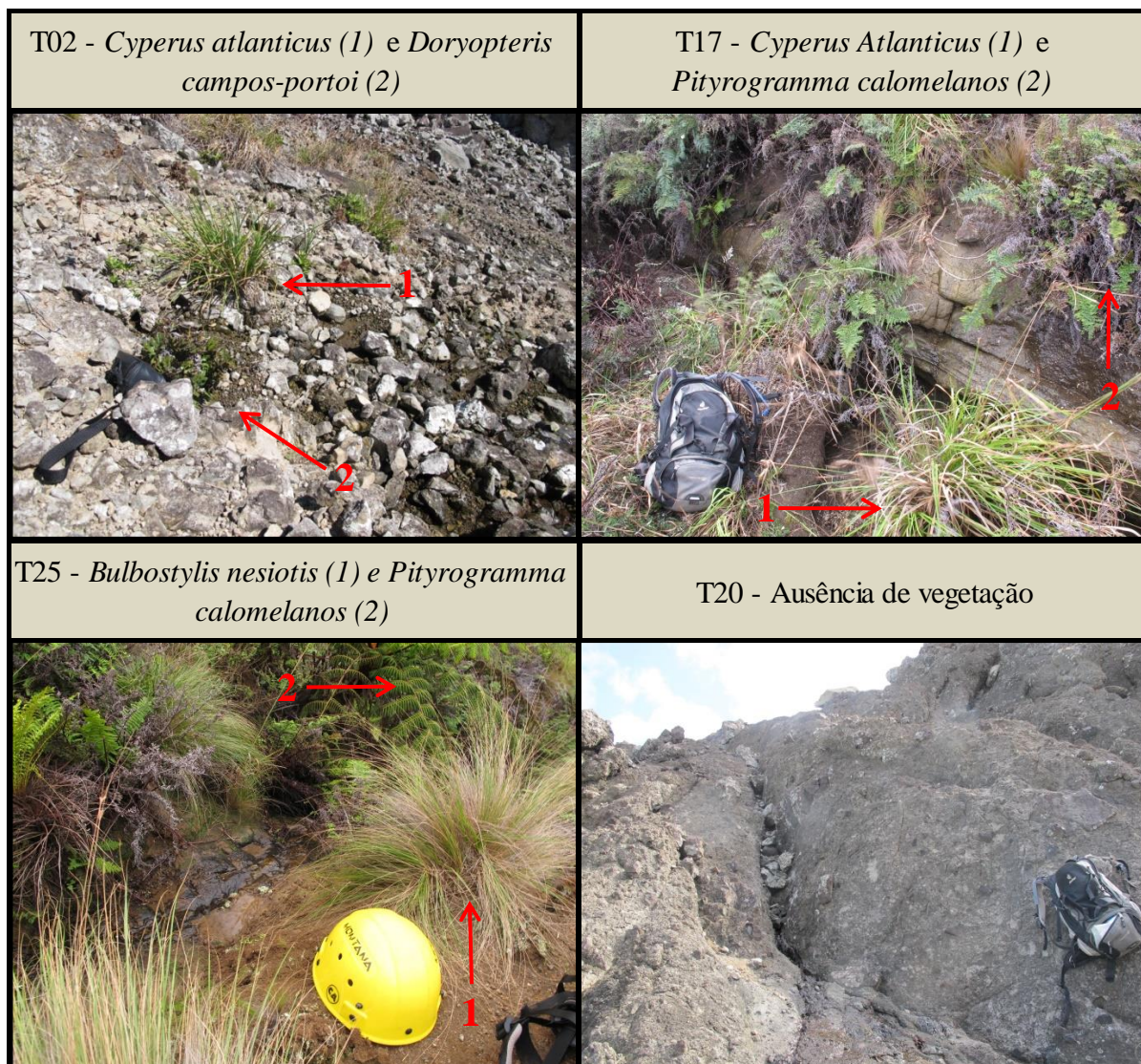


Figura 49 - Espécies vegetais observadas nas áreas de exfiltração. Fonte: elaboração do autor.

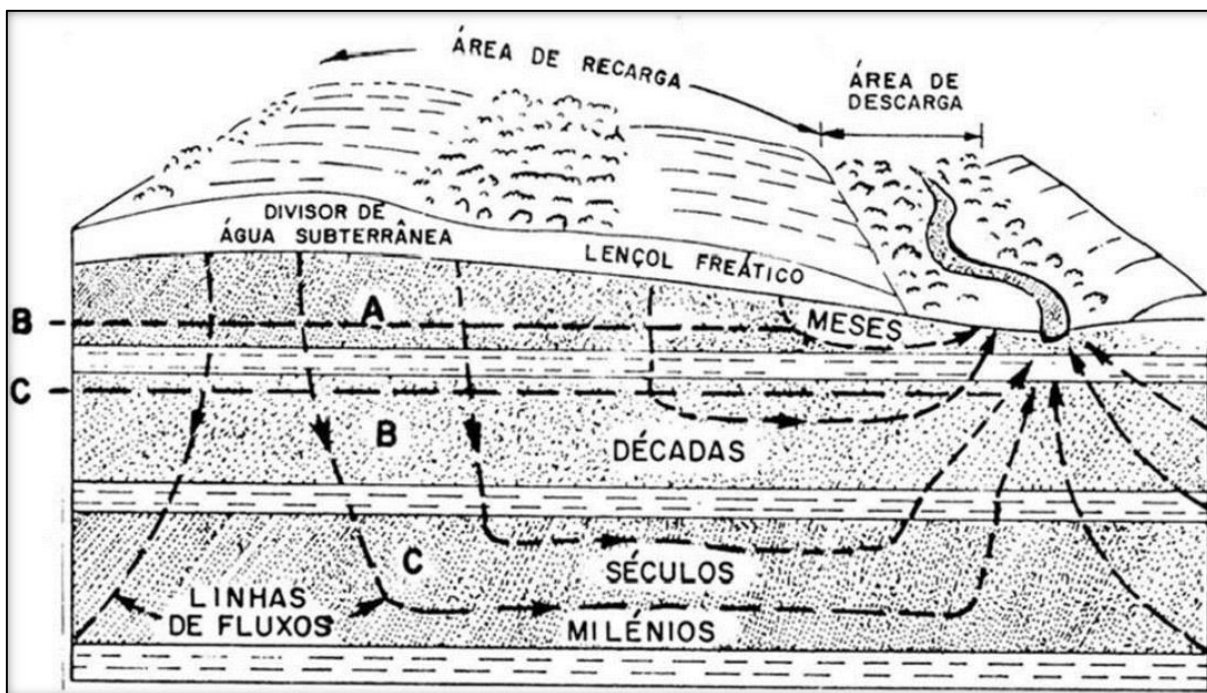
#### **4. A ORIGEM DA ÁGUA DAS NASCENTES DE TRINDADE E SEU TRABALHO GEOMORFOLÓGICO**

Conforme lembra Felipe (2013), que traz uma extensa revisão sobre o foco desta sessão, as águas subterrâneas se movimentam a partir das zonas de recarga, as quais apresentam maior potencial hidráulico, em direção às zonas de descarga, de menor potencial hidráulico. Nesse sentido, enquanto a recarga ocorre normalmente em áreas topograficamente mais elevadas, a descarga tende a ocorrer em locais onde há convergência dos fluxos subterrâneos, promovendo a exfiltração e manifestando-se na forma de uma nascente, lago ou riacho (FETTER, 1994).

Logo, é importante ressaltar que a passagem da água de origem subterrânea para o meio superficial não ocorre apenas em nascentes: em qualquer situação em que o nível da água de um aquífero intercepta a superfície pode ocorrer a descarga da água subterrânea (TODD e MAYS, 2005). Assim, a exfiltração pode ocorrer em rios, mares, lagos, gêiseres, brejos, poços escavados ou em surgências em geral (FETTER, 1994). Para tanto, é necessário que a água armazenada nos aquíferos flua em direção à superfície.

Nesse sentido, o movimento horizontal da água nos aquíferos é normalmente muito mais lento que o das águas superficiais, ou seja, entre a recarga e a descarga há um intervalo temporal que pode variar significativamente, como meses ou mesmo milênios. Portanto, a duração desse processo significa o tempo de residência da água no aquífero e depende, fundamentalmente, da distância entre as zonas de recarga e descarga, da profundidade do aquífero e da velocidade do fluxo subterrâneo (CLEARY, 1989).

Quanto mais distantes as zonas de recarga e descarga, normalmente, mais longo é o tempo de residência [Figura 50]. O mesmo ocorre quanto mais profundo for o aquífero. Por outro lado, um elevado gradiente potenciométrico associado a altas taxas de condutividade hidráulica aumentam a velocidade do fluxo subterrâneo e diminui o tempo de residência. Definem-se, assim, fluxos locais ou regionais relacionados respectivamente a tempos de residência curtos ou longos (FELIPPE, 2013, p. 47).



**Figura 50 - Esquema de representação dos tempos de residência em um sistema aquífero. Fonte: CLEARY, 1989; Extraído de FELIPPE, 2013.**

Felippe (2013) também chama a atenção para o fato de:

Geralmente, a vazão das nascentes abastecidas por sistemas de fluxos mais locais (menor tempo de residência) possui relação mais próxima com a variabilidade da precipitação, mostrando flutuações sazonais mais severas. Por outro lado, nascentes alimentadas por fluxos regionais (maior tempo de residência) terão descargas mais estáveis, ainda que em climas com dupla estacionalidade (FELIPPE, 2013, p.47).

O tempo de residência da água no aquífero possui relação direta com seu grau de mineralização (FELIPPE, 2013). Fetter (1994) indica que em aquíferos compostos por materiais rochosos solúveis, o grau de mineralização da água é uma função de sua constituição química inicial e do período que ela ficou em contato com os materiais que compõem o aquífero. Portanto, em síntese, os fluxos regionais, os quais permanecem mais tempo em contato com o aquífero, tendem a ter maior grau de mineralização do que os fluxos locais. Assim, o grau de mineralização é uma medida indireta do tempo de residência da água no aquífero (FELIPPE, 2013).

Através da incorporação de elementos provenientes dos materiais que constituem os aquíferos, por meio do intemperismo e da lixiviação, tanto na forma molecular como iônica, é esperado que as águas apresentem características químicas que remetam aos aquíferos de origem, o que é chamado na literatura de assinatura geoquímica (FELIPPE, 2013).

Nessa sequência, as interpretações hidrogeoquímicas significam importantes ferramentas de análise espaço-temporal do ciclo da água, uma vez que, através de ensaios laboratoriais, elas permitem com que sejam identificados o tipo e a quantidade dos elementos que estão presentes na água.

A maior parte das substâncias que compõe a mineralização da água ocorre na forma iônica. “Alguns desses constituintes iônicos, os principais, estão presentes em quase todas as águas subterrâneas e sua soma representa quase a totalidade dos íons presentes” (FEITOSA e MANOEL-FILHO, 2000). Dentre esses componentes majoritários destacam-se o sódio, cálcio, magnésio, cloreto, sulfato, bicarbonato e sílica (BABAR, 2005). Ressalta-se na literatura brasileira a importância de alguns constituintes secundários, como o ferro, alumínio, potássio, carbonato e nitrato (FEITOSA e MANOEL-FILHO, 2000). (FELIPPE, 2013, p.48).

Uma análise hidrogeoquímica completa deve contemplar, ao menos, esses componentes principais. Porém, como nem sempre isso é possível, existem outros parâmetros amplamente utilizados na literatura que servem de suporte para a interpretação do grau de mineralização da água, e consequentemente do tempo de residência, com destaque para a condutividade elétrica (EC) (FELIPPE, 2013).

A condutividade elétrica é “a medida da facilidade de uma água conduzir corrente elétrica” (FEITOSA e MANOEL-FILHO, 2000). A água ultra pura não é um bom meio para propagação de corrente elétrica, por isso, sua condutividade é muito baixa. Porém, os íons eventualmente nela solubilizados funcionam como meios para a transferência da energia. Assim, quanto maior a quantidade de material solubilizado na água, maior será sua condutividade elétrica (FELIPPE, 2013, p.191).

Ademais, “considerando-se que as águas subterrâneas possuem notadamente grau de mineralização superior às águas fluviais e meteóricas, e que isso implica em grande carga em solução, fica evidenciada a importância do trabalho geomorfológico das nascentes” (FELIPPE, 2013). Ou seja, uma grande quantidade de matéria dissolvida proveniente do meio subterrâneo é colocada em circulação nos cursos fluviais, contribuindo com a desnudação geoquímica da bacia hidrográfica sob a qual está inserida.

Portanto, as nascentes devem ser consideradas elementos ativos na evolução geomorfológica da paisagem. Nessa mesma direção, Valadão (1998) aponta que o fluxo geoquímico que ocorre no interior do manto de alteração corresponde à carga dissolvida que alcança os canais fluviais, a partir do movimento da água subterrânea.

Por meio do estudo da desnudação geoquímica em três ilhas vulcânicas (Guadalupe, Martinique, e da região do vulcão Piton de la Fournaise, na ilha de Reunión), em comparação com os dados disponibilizados por outros autores, em relação a outras ilhas vulcânicas, com características distintas (a própria ilha de Reunión, Havaí, Islândia, Java, São Miguel e Kamchatka), Rad et al. (2007) vão ao encontro dessa perspectiva. Ou seja, esses autores indicam que as taxas de intemperismo químico das áreas estudadas estavam sendo subestimadas por um fator de 2 a 5 vezes nos estudos que vinham sendo realizados anteriormente, uma vez que eles não consideravam a contribuição subterrânea na desnudação geoquímica, focalizando, equivocadamente, apenas a contribuição dos rios para esse processo.

Em uma perspectiva global, esses autores estimaram que as ilhas vulcânicas podem contribuir com cerca de 23 a 31% do fluxo global de carga dissolvida transportada para os oceanos (águas superficiais e subsuperficiais), enquanto sua superfície representa apenas 9% do globo. Isso indica a urgente necessidade da condução de pesquisas que estimem as taxas de intemperismo nas áreas que ainda não foram estudadas (como é o caso de Trindade, por exemplo), e a reestimar os níveis daquelas áreas que haviam sido calculadas ignorando a contribuição subsuperficial para o processo (RAD et al. 2007).

Nessa perspectiva, o cálculo dos sólidos totais dissolvidos (TDS) emerge como uma importante ferramenta de análise, parâmetro esse que apresenta forte relação com a condutividade elétrica. Ele representa a totalidade da carga dissolvida na forma iônica ou coloidal na água e, portanto, representa a base dos procedimentos de investigação do papel da desnudação geoquímica na evolução do relevo (FELIPPE, 2013).

Contudo, destaca-se que “a literatura acadêmica geomorfológica que investiga o papel da desnudação na evolução do relevo está normalmente associada a grandes compartimentos morfológicos ou grandes bacias hidrográficas” (FELIPPE, 2013) e, portanto, seus métodos e técnicas não se aplicam diretamente ao estudo das nascentes (FELIPPE, 2013).

Para as nascentes, não há a possibilidade de calcular taxas de desnudação geoquímica devido ao fato da imprecisão relacionada ao volume da bacia subterrânea que a alimenta, mas ao se relacionar o TDS e a vazão pode-se calcular, ao menos, a quantidade de matéria perdida por unidade de tempo no processo de exfiltração (FELIPPE, 2013, p. 168).

Portanto, a condutividade elétrica e os sólidos totais dissolvidos representam parâmetros de grande importância para a hidrogeomorfologia e a hidrogeologia, uma vez que permitem uma

aproximação ao grau de mineralização da água, e de seu trabalho geomorfológico, de forma prática e com baixo custo, ou seja, sua obtenção é menos onerosa e mais simples do que avaliações hidrogeoquímicas (FELIPPE, 2013).

Levando-se em conta as incertezas que permeiam o entendimento da origem da água das nascentes de Trindade, já mencionadas no presente trabalho, entende-se que a interpretação do tempo de residência da água no aquífero, com base no grau de mineralização da água das nascentes, através da análise desses dois parâmetros, pode contribuir para o entendimento dessa questão. Esse estudo pode indicar se as águas das nascentes estão mais fortemente relacionadas à ocorrência de chuvas orográficas de periodicidade quase diária (o já mencionado fenômeno do Pirajá), ou à presença de materiais que permitem a infiltração e a estocagem de água. Além disso, essa análise pode contribuir para a investigação da evolução da paisagem da ilha, com base na contribuição da desnudação geoquímica para esse processo, além de permitir a comparação do caso de Trindade com outras áreas.

#### **4.1.CONDUTIVIDADE ELÉTRICA**

Segundo Felipe (2013), a literatura científica apresenta valores de condutividade elétrica para água de nascentes muito próximos aos encontrados em águas subterrâneas amostradas de poços. Sendo assim, a influência litológica é sobremaneira importante para esses dados.

Em nascentes de aquíferos cristalinos, os valores de EC apresentados na literatura, normalmente oscilam entre 30 e 300  $\mu\text{S}/\text{cm}$  (RADEMACHER et al., 2001; COSTA et al., 2009), com alguns casos relatados superiores a 450  $\mu\text{S}/\text{cm}$  em aquíferos confinados de circulação lenta (YEHDENGHO e REICHL, 2002). Já para aquíferos carbonáticos, os valores superam constantemente os 250  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , podendo chegar a 500  $\mu\text{S}/\text{cm}$  (YEHDENGHO e REICHL, 2002). Em águas de nascentes termais em rochas vulcânicas, Marques et al. (2003) registraram EC entre 330 e 450  $\mu\text{S}/\text{cm}$  (FELIPPE, 2013; p. 191).

Investigando águas subterrâneas de diversas origens (nascentes de água doce, poços e nascentes termais), localizadas no Arquipélago de Açores (Portugal), Cruz e França (2006) apresentaram valores de condutividade elétrica para as nascentes de água doce que variaram entre 174 e 349  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , com uma média de 271,4  $\mu\text{S}/\text{cm}$ . Para o único poço de água doce amostrado nesse mesmo trabalho, o valor obtido foi de 486  $\mu\text{S}/\text{cm}$ .

Para as nascentes termais, os valores encontrados por esses autores foram bem mais elevados, uma vez que as altas temperaturas das águas (que no citado estudo chegaram até cerca de 90°C) impulsionam sua interação com os materiais que formam os aquíferos, resultando em uma grande quantidade de matéria dissolvida. Para se ter uma ideia, houve casos em que a condutividade elétrica ultrapassou a faixa de 10.000  $\mu\text{S}/\text{cm}$ . Já no estudo realizado por Visser e Mink (1964), em Honolulu, no Havaí, a média encontrada foi de 285  $\mu\text{S}/\text{cm}$  para as nascentes denominadas como Makiki e Booth.

Estudando nascentes localizadas em áreas continentais brasileiras, situadas sobre rochas carbonáticas do Grupo Bambuí (Depressão do rio São Francisco/MG), e siliciclásticas do Grupo Macaúbas (Serra do Cipó/MG), Felipe (2013) encontrou valores entre 3,2 e 425  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , sendo que a condutividade mensurada para a água das chuvas esteve entre 8,9 e 28,1  $\mu\text{S}/\text{cm}$ . Nesse caso, ficou nítida a influência litológica sobre o resultado: “enquanto as nascentes associadas ao Grupo Bambuí frequentemente registravam EC acima de 100  $\mu\text{S}/\text{cm}$ ; aquelas do Grupo Macaúbas raramente ultrapassavam 15  $\mu\text{S}/\text{cm}$ ” (FELIPPE, 2013).

Portanto, as nascentes com os valores médios de EC mais elevados, associadas a rochas carbonáticas, calculados por esse autor, indicaram valores superiores a 300  $\mu\text{S}/\text{cm}$ . “Por outro lado, as nascentes associadas a rochas siliciclásticas e seus mantos de alteração apresentaram valores extremamente baixos de EC, menores, inclusive, do que os registrados na água das chuvas” (FELIPPE, 2013).

No caso de Trindade, as nascentes apresentaram valores de condutividade elétrica que variaram entre 147,8 e 342,9  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , com uma média de 229,1  $\mu\text{S}/\text{cm}$  (Tabela 18). Com o intuito de identificar possíveis diferenças ocasionadas pela variação da litologia, esses valores foram separados por unidade geológica (Tabela 19). Contudo, a análise desses dados não evidenciou grandes alterações, uma vez que os valores máximos, mínimos, além da média, obtidos para cada uma dessas unidades, não apresentou grandes alterações. Exceto no caso da Formação Morro Vermelho, que teve apenas uma amostra coletada (T30), o valor da condutividade elétrica se mostrou bem superior às demais unidades geológicas (342,9  $\mu\text{S}/\text{cm}$ ).

Os valores mínimos obtidos foram de 199,8  $\mu\text{S}/\text{cm}$  para os materiais recentes, 172,3  $\mu\text{S}/\text{cm}$  para a Sequência Desejado e 147,8  $\mu\text{S}/\text{cm}$  para o Complexo Trindade. Nesta mesma ordem, os valores máximos foram de 252,1  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , 236,4  $\mu\text{S}/\text{cm}$  e 279,5  $\mu\text{S}/\text{cm}$  respectivamente. Já em relação à média obtida, os valores foram de 226  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , 210  $\mu\text{S}/\text{cm}$  e 226,3  $\mu\text{S}/\text{cm}$ ,

respectivamente. Por sua vez, a mediana foi de 226 para os materiais recentes, 215 para a Sequência Desejado, e 211,2 para o Complexo Trindade, e o desvio padrão de 37, 23,1 e 42,4, respectivamente.

Nascentes	Condutividade ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ )	Unidade Geológica
T02	268,9	Complexo Trindade
T05	241,4	Complexo Trindade
T06	274,0	Complexo Trindade
T07	201,8	Complexo Trindade
T08	252,1	Materiais Recentes
T09	199,8	Materiais Recentes
T10	184,1	Complexo Trindade
T11	147,8	Complexo Trindade
T12	236,4	Sequência Desejado
T13	221,7	Sequência Desejado
T14	225,0	Sequência Desejado
T15	211,2	Complexo Trindade
T16	210,8	Complexo Trindade
T17	208,2	Sequência Desejado
T18	190,8	Complexo Trindade
T20	279,5	Complexo Trindade
T21	279,5	Complexo Trindade
T22	196,1	Sequência Desejado
T25	172,3	Sequência Desejado
T30	342,9	Formação Morro Vermelho

**Tabela 18 - Condutividade elétrica das nascentes. Fonte: elaboração do autor.**

Unidade	Mínimo	Máximo	Média	Mediana	Desvio Padrão
Materiais Recentes	199,8	252,1	226,0	226,0	37,0
Formação Morro Vermelho	342,9	342,9	342,9	-	-
Sequência Desejado	172,3	236,4	210,0	215,0	23,1
Complexo Trindade	147,8	279,5	226,3	211,2	42,4

**Tabela 19 – Estatística descritiva da condutividade elétrica das nascentes, por unidade geológica. Fonte: elaboração do autor.**

Tendo como referência os trabalhos citados (VISHER E MINK, 1964; CRUZ E FRANÇA, 2006; FELIPPE, 2013), é possível indicar que as águas das nascentes de Trindade apresentam um grau de mineralização semelhante aos valores obtidos para outras ilhas vulcânicas, como

Açores e Havaí, uma vez que a média da EC para Trindade foi de 229,1  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , de Açores foi de 271,4  $\mu\text{S}/\text{cm}$  e do Havaí 285  $\mu\text{S}/\text{cm}$ .

Em comparação com os resultados obtidos por Felipe (2013), destaca-se que o valor médio de EC obtido para as nascentes de Trindade é muito superior à média apresentada pelas nascentes relacionadas às rochas siliciclásticas do Grupo Macaúbas (6,13  $\mu\text{S}/\text{cm}$ ), e não muito inferior à média obtida para as nascentes associadas a aquíferos carbonáticos do Grupo Bambuí (310,8  $\mu\text{S}/\text{cm}$ ). Ou seja, com base nessa análise, é possível indicar que o grau de mineralização da água das nascentes de Trindade está mais associado ao nível apresentado pelas nascentes relacionadas à ocorrência de rochas sedimentares com elevado grau de solubilização (Grupo Bambuí), as quais foram consideradas pelo referido autor como águas de alto grau de mineralização e elevado tempo de residência, em detrimento das águas de baixo grau de mineralização, associadas às rochas metamórficas - Grupo Macaúbas - (FELIPPE, 2013).

Portanto, os resultados indicam que essas águas provavelmente permaneceram armazenadas nos sistemas de aquíferos da ilha, ou seja, elas estão mais fortemente relacionadas à presença de materiais que permitem a infiltração e estocagem dessas águas, corroborando com a ideia de que as mesmas não são extremamente recentes e/ou relacionadas às chuvas orográficas de periodicidade quase diária.

#### **4.2.SÓLIDOS TOTAIS DISSOLVIDOS**

Em relação aos sólidos totais dissolvidos, no mesmo estudo realizado em Açores (Portugal), Cruz e França (2006) encontraram valores que variaram entre 77,7 e 110,4 mg/L nas águas das nascentes investigadas. Já Visher e Mink (1964) obtiveram o valor médio de 221 mg/L para as nascentes de Makiki e Booth, no Havaí. Quanto aos resultados obtidos por Felipe (2013) para as nascentes investigadas em áreas continentais brasileiras, na Depressão do rio São Francisco (MG) e na Serra do Cipó (MG), foram encontrados valores entre 4,12 (Grupo Macaúbas) e 215,67 mg/L (Grupo Bambuí). Segundo esse autor, os valores encontrados na referida pesquisa são, “em média, acima dos relatados na literatura para bacias hidrográficas com características geológicas e geomorfológicas similares às encontradas nas nascentes” (FELIPPE, 2013).

Para bacias hidrográficas no Quadrilátero Ferrífero, Salgado et al. (2004) registraram valores de TDS entre 3 e 63 mg/L, denotando clara influência litológica nesses resultados. Já para áreas predominantemente quartzíticas, na Serra do Espinhaço Meridional, Rezende et al. (2010) observaram valores mais baixos de TDS, entre 3 e 24 mg/L. Relacionando a desnudação geoquímica aos compartimentos morfológicos e não diretamente à litologia, Salgado e Valadão (2003) encontraram TDS entre 19 e 35 mg/L, também no Espinhaço Meridional (FELIPPE, 2013).

Contudo, o próprio autor destaca que “esses resultados já eram esperados, uma vez que a taxa de mistura das águas das nascentes é inferior a das águas superficiais, fazendo com que os valores de TDS estejam principalmente relacionados à água subterrânea” (FELIPPE, 2013). Adicionalmente, relacionando as análises de TDS e a vazão das nascentes, Felipe (2013) ainda calculou a perda geoquímica provocada por esses sistemas. Os resultados obtidos variaram entre 3,73 kg/ano, em uma nascente que apresentou baixa vazão média (0,008 L/s) e baixo TDS (10,47 mg/L), até significativos 45.342,40 kg/ano, em um caso de elevada vazão média (a maior encontrada no estudo: 4,811 L/s) e também elevado TDS: 195,05 mg/L. Segundo a própria análise do autor, os valores totais de perda geoquímica foram baixos (Felippe, 2013):

Oito nascentes apresentaram taxa inferior a 20 kg/y, sendo que duas destas registraram perda inferior a 3,8 kg/y, o que pode ser considerado um valor extremamente baixo. Por outro lado, a nascente PV03 apresentou perda geoquímica de 45.342kg/y, sem comparações dentro do rol estudado. A maior parte das nascentes, contudo, possui taxas de perda geoquímica entre 40 e 150 kg/y (FELIPPE, 2013).

Assim, esse autor obteve um resultado anual, considerando todo o rol de nascentes estudadas, de 61,11 mg/L de TDS, uma perda geoquímica média de 2.015,05 kg/y, uma perda geoquímica total de 46.346,20 kg/y e um volume de retirada de 18,530 m<sup>3</sup>. Contudo, desconsiderando o caso anteriormente evidenciado (nascente PV03), que significa um *outlier*, a perda geoquímica total registra um valor de 1.003,8 kg/y, e o volume anual retirado de 0,392 m<sup>3</sup>.

No caso de Trindade (Tabela 20), foi obtida uma média de 179 mg/L de TDS para as nascentes, 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 m<sup>3</sup> (considerando-se uma densidade média de 2,9 g/cm<sup>3</sup> para os basaltos de ilhas oceânicas). Comparando-se com os resultados de Felipe (2013), percebe-se que a média de TDS das nascentes de Trindade se mostrou bem superior aos dados obtidos pelo autor citado (292% acima). Contudo, devido à baixa expressividade da

vazão de grande parte das nascentes da ilha, a perda geoquímica anual média de Trindade foi muito inferior (561% abaixo). Por outro lado, desconsiderando o referido *outlier*, esse panorama muda significativamente, pois a perda geoquímica anual de Trindade se mostra 644% maior, e o volume de retirada 737% superior.

Nascente	TDS (mg/L)	Vazão (L/s)	Perda Geoquímica (mg/s)	Perda Geoquímica (kg/ano)	Volume de retirada (densidade: 2,9 g/cm <sup>3</sup> )
T05	232	0,0060	1,39	43,80	0,02
T06	249	0,0574	14,29	450,60	0,16
T07	155	0,1098	17,01	536,54	0,19
T08	194	0,0353	6,85	216,04	0,07
T09	153	0,3502	53,58	1689,78	0,58
T10	173	0,0023	0,39	12,38	0,00
T11	127	0,0049	0,62	19,63	0,01
T12	191	0,0381	7,27	229,34	0,08
T13	174	0,0365	6,35	200,27	0,07
T14	173	0,0028	0,48	15,06	0,01
T15	171	0,0270	4,62	145,65	0,05
T16	179	0,0013	0,23	7,34	0,00
T17	158	0,0533	8,42	265,50	0,09
T18	150	0,4433	66,50	2097,18	0,72
T20	247	0,0204	5,03	158,68	0,05
T21	246	0,0229	5,64	177,74	0,06
T22	141	0,0015	0,21	6,52	0,00
T25	110	0,0562	6,18	194,85	0,07
Total			205,06	6466,87	2,23

**Tabela 20 - Perda geoquímica das nascentes de Trindade. Fonte: elaboração do autor.**

A análise desses dados indica que a perda geoquímica promovida pelas nascentes de Trindade é bastante significativa, sobretudo tendo em vista as características da rede hidrográfica da ilha, ou seja, que 40% de seu território é drenado por fluxos efêmeros. Isso confirma “o papel das nascentes como importantes veículos de desnudação geoquímica e, conseqüentemente, de atuação geomorfológica” (FELIPPE E MAGALHÃES JR, 2013). Ademais, destaca-se que a baixa variação nos dados de condutividade e TDS indicam certa unidade nas características dessas águas, o que pode indicar que elas provavelmente estejam associadas a um mesmo sistema aquífero, ou até mesmo sistemas com características semelhantes.

## 5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Investigar o comportamento da água nos ambientes, no que se refere à sua distribuição no espaço e no tempo, contribui para o entendimento de sua atuação geomorfológica. Este desafio envolve o estudo da sua contribuição para a formação e evolução da paisagem, assim como o condicionamento das configurações geomorfológicas na dinâmica hídrica. É sob essa perspectiva hidrogeomorfológica que a presente pesquisa foi desenvolvida, focalizando a distribuição espacial das águas.

Embora Trindade apresente um quadro geomorfológico singular no Brasil, representando a única ilha oceânica do país que dispõe de nascentes e cursos d'água perenes, não há a abordagem de seus aspectos geomorfológicos na literatura, e tampouco os hidrográficos/fluviais, com um maior nível de detalhamento.

Essas constatações significaram os principais elementos motivadores da realização da pesquisa e culminaram na questão que norteia o trabalho: quais são as principais características da rede hidrográfica da ilha da Trindade? Nesse sentido, assumiu-se como hipótese do trabalho que a configuração hidrogeomorfológica da ilha é única no território brasileiro. De tal modo, com base nos resultados da pesquisa, é possível indicar que essa conjectura foi confirmada.

Constatou-se que, de forma geral, a rede hidrográfica de Trindade apresenta uma configuração de padrão radial, ou em "espinha de peixe". Isso foi atribuído ao fato de as áreas mais elevadas do terreno serem suportadas por estruturas resistentes, dispostas na região central (Planalto Axial), gerando certa competição na rede de drenagem, e levando cada vale a traçar seu caminho para o mar da maneira mais curta possível.

Para que essa configuração tomasse lugar, verificou-se que é provável que tenham ocorrido diversas modificações no traçado da rede hidrográfica da ilha, as quais, por serem antigas, não deixaram muitos testemunhos evidentes no relevo atual. Contudo, as evidências de uma dessas alterações ainda podem ser observadas: a captura do córrego Vermelho, que drenava em direção à Praia dos Andradas, pela drenagem que verte à enseada do Príncipe.

Além disso, verificou-se que o sistema fluvial de Trindade apresenta características típicas das zonas de produção de sedimentos, ou seja, de bacias de cabeceira. Trata-se de uma área de

elevada declividade, onde há a ocorrência de nascentes e canais de primeira e segunda ordem, esculpidos sobre substratos rochosos ou coluvionares (efêmeros e temporários no primeiro caso, e temporários ou permanentes no segundo), onde preponderam os processos de erosão, Deste modo, há o fornecimento de elevada carga sedimentar, de granulometria marcadamente grossa, às calhas fluviais.

Quanto à divisão hidrográfica de Trindade, apontou-se a existência de áreas que exibem características distintas em relação ao comportamento da drenagem superficial, ou seja, foram identificados padrões, ou tipos de áreas de escoamento ao longo da ilha. Nesse sentido, o primeiro padrão (*i*) constatado se refere à presença de extensas áreas de drenagem, que apresentam nascentes e canais fluviais com fluxos hídricos significativos. Já o segundo padrão (*ii*) está relacionado a áreas de dimensões inferiores ao padrão *i*, onde também há a presença de nascentes e cursos d'água. Por sua vez, o terceiro padrão (*iii*) também apresenta dimensões inferiores ao primeiro caso, e representa as bacias hidrográficas que são drenadas exclusivamente por fluxos efêmeros, ou seja, gerados apenas por eventos pluviométricos, devido à ausência de nascentes. Finalmente, diferentemente dos três padrões anteriormente descritos, o padrão *iv* se refere a áreas de escoamento direto ao mar, ou o conjunto delas, as quais não foram classificadas como bacias hidrográficas devido à incipiência dos fluxos que abrangem, e ao reduzido tamanho que apresentam.

Foram identificadas 33 bacias hidrográficas em Trindade, que correspondem às áreas descritas pelos padrões *i*, *ii* e *iii*, as quais juntas representam 69% do território total da ilha, em valores relativos, além de uma infinidade de pequenas áreas de escoamento direto (padrão *iv*) que, conseqüentemente, representam 31% da superfície emersa. O cálculo da Densidade de Drenagem de Trindade apontou para a presença de bacias bem drenadas, muito bem drenadas, e, sobretudo, excepcionalmente bem drenadas, reflexo da grande incidência de feições erosivas na ilha (canais efêmeros). Quanto à forma dessas bacias, constatou-se a presença de 15 bacias com formas mais alongadas e 18 bacias com tendência à forma arredondada.

Por sua vez, foram identificadas 32 nascentes em Trindade, distribuídas igualmente entre suas faces: 16 em cada. Suas vazões variaram de incipiente (inferior a 1 mL/s), até 0,443 L/s, sendo a vazão média calculada, considerando todo o universo amostral, de 0,048 L/s. Nesse sentido, com base em Meinzer (1927), as nascentes de Trindade apresentam 6ª Magnitude (seis casos), 7ª Magnitude (10 casos) e 8ª Magnitude (16 casos: sete nascentes de vazão mensurável, oito casos de vazões desprezíveis e um caso de inacessibilidade). Em relação à

morfologia das nascentes, foram observados casos em talvegue (13 nascentes), em afloramento (10 nascentes), em duto (cinco nascentes) e em concavidade (duas nascentes). Quanto aos tipos de exfiltração, foram encontradas nascentes pontuais (17) e múltiplas (13).

Em relação às formações geológicas que sustentam as nascentes, o próprio número de nascentes embasadas por cada uma das unidades significou um importante elemento de interpretação da expressividade hidrográfica delas. Nesse sentido, destacou-se a relevância do Complexo Trindade e da Sequência Desejado, que concentram 80% das nascentes identificadas (26 casos), além da ausência de nascentes localizadas sobre as rochas do Vulcão do Paredão e da Formação Valado, o que evidenciou a baixa expressividade hidrográfica dessas unidades. Além disso, foi indicada a presença de seis nascentes sobre a Formação Morro Vermelho e sobre materiais recentes, sendo três em cada.

Portanto, a análise desses dados apontou que a idade dessas unidades geológicas, assim como a expressão espacial delas, parecem ser fatores que condicionam a ocorrência de nascentes. Ou seja, o Complexo Trindade e a Sequência Desejado, que significam os litotipos mais antigos e de maior ocorrência em Trindade, representam os materiais que embasam a grande maioria das nascentes da ilha, sendo que as demais unidades, menos frequentes e mais recentes, apresentam baixa ocorrência ou até ausência de nascentes.

De fato, o Complexo Trindade se mostrou a unidade geológica mais significativa do ponto de vista hidrográfico, pois, além do já mencionado maior número de nascentes, esses materiais embasam cinco das seis nascentes mais caudalosas de Trindade (6ª Magnitude). Devido à diversidade de tipos de exfiltração e morfologia apresentados pelas nascentes localizadas sobre essa unidade, não foram identificados padrões claros referentes a essas características sobre esse litotipo. Em relação à Sequência Desejado, se por um lado essa unidade abrange um elevado número de nascentes, por outro, suas vazões são pouco relevantes, o que indicou ser o processo de infiltração da água preponderante em relação à exfiltração nas áreas embasadas por tal unidade. Também não foram evidenciados padrões de morfologia e exfiltração sobre tais rochas. Portanto, constatou-se que a trajetória preferencial das águas em Trindade seria de infiltração nas áreas mais elevadas (Planalto Axial – Sequência Desejado), e exfiltração em terrenos sustentados pelas duas unidades geológicas mais antigas, com destaque para Complexo Trindade. Já os materiais recentes apresentam exclusivamente morfologia em talvegue, a qual foi atribuída a própria natureza desses materiais, ou seja, mais friáveis e, portanto, suscetíveis à ocorrência de processos erosivos, e exfiltração pontual. A

exclusividade desse tipo de exfiltração foi apontada como um indício de que esses materiais representam ambientes de alta energia no que se refere à passagem dos fluxos subterrâneos para a superfície. Corrobora com isso o fato de que, embora tais materiais apresentem baixa incidência de nascentes, as vazões calculadas para as nascentes embasadas sobre eles se mostraram significativas perante o universo amostral (6ª e 7ª Magnitudes). Por sua vez, as nascentes embasadas pela Formação Morro Vermelho apresentaram exclusivamente morfologia em duto e exfiltração pontual, o que poderia ser relacionado à ocorrência de ambientes de elevada energia. Contudo, todas essas nascentes registraram vazões incipientes, o que evidenciou a baixa relevância dessa unidade do ponto de vista hidrográfico.

Ademais, de maneira geral, era esperado que as nascentes em duto e exfiltração pontual apresentassem as vazões mais significativas da ilha, uma vez que essas características estão normalmente associadas a condições de maior energia. Contudo, contrariando as previsões, destacou-se que as nascentes mais caudalosas de Trindade apresentam predominantemente morfologias em concavidade e talvegue, além de exfiltração múltipla.

Por seu turno, a análise da condutividade elétrica das nascentes apontou para valores que variaram entre 147,8 e 342,9  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , com uma média de 229,1  $\mu\text{S}/\text{cm}$ . Nesse sentido, a análise desses dados, separados por unidade geológica, não evidenciou grandes alterações, uma vez que os valores máximos, mínimos, além da média, obtidos para cada uma dessas unidades, não apresentou grandes alterações. Exceção é feita ao caso da Formação Morro Vermelho, que teve apenas uma amostra coletada (T30) e apresentou um valor da condutividade elétrica bem superior às demais unidades geológicas (342,9  $\mu\text{S}/\text{cm}$ ).

Ademais, foi possível indicar que as águas das nascentes de Trindade apresentam um grau de mineralização semelhante aos valores obtidos para outras ilhas vulcânicas, como Açores e Havaí, uma vez que a média da EC para Trindade foi de 229,1  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , de Açores foi de 271,4  $\mu\text{S}/\text{cm}$  e do Havaí 285  $\mu\text{S}/\text{cm}$ . Além disso, ainda em relação ao grau de mineralização da água das nascentes de Trindade, foi possível indicar que ele está mais associado ao nível apresentado pelas nascentes relacionadas à ocorrência de rochas sedimentares com elevado grau de solubilização (Grupo Bambuí – Lagoa Santa/Minas Gerais), as quais foram consideradas como águas de alto grau de mineralização e elevado tempo de residência, em detrimento das águas de baixo grau de mineralização, associadas às rochas metamórficas - Grupo Macaúbas, na região da Serra do Cipó, também em Minas Gerais.

Em relação à origem da água das nascentes de Trindade, a análise da condutividade elétrica indicou que essas águas provavelmente permaneceram armazenadas nos sistemas de aquíferos da ilha, ou seja, que elas estão mais fortemente relacionadas à presença de materiais que permitem a infiltração e estocagem dessas águas, em detrimento das chuvas orográficas de periodicidade quase diária (fenômeno popularmente denominado como Pirajá). Portanto, os resultados indicaram que essas provavelmente não representam águas extremamente recentes, que seriam resultado direto das chuvas. Contudo, apenas a datação relativa dessas águas poderia, de fato, confirmar essa hipótese.

A análise dos sólidos totais dissolvidos apontou para uma média de 179 mg/L de TDS para as nascentes de Trindade e 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 m<sup>3</sup> (considerando-se uma densidade média de 2,9 g/cm<sup>3</sup> para os basaltos de ilhas oceânicas). Essa análise indicou que a perda geoquímica promovida pelas nascentes de Trindade é bastante significativa, sobretudo tendo em vista as características da rede hidrográfica da ilha, ou seja, que 40% de seu território é drenado por fluxos efêmeros. Nesse sentido, confirmou-se o papel geomorfológico exercido pelas nascentes, significando importantes veículos de desnudação geoquímica.

Foi possível destacar, também, que a baixa variação nos dados de condutividade e TDS indicam certa unidade nas características das águas das nascentes, o que pode indicar que elas provavelmente estejam associadas a um mesmo sistema aquífero, ou até mesmo sistemas com características semelhantes.

Finalmente cabe destacar que, por se tratar de uma área localizada em ambiente tropical, ou seja, que está susceptível à sazonalidade climática, reforça-se a necessidade de realização de campanhas de campo sistemáticas na ilha, com o intuito de monitorar sua dinâmica hidrográfica ao longo do tempo e, assim, avançar no entendimento de seu comportamento.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALMEIDA, F. F. M. **Geologia e petrologia do arquipélago de Fernando de Noronha**. Serviço Gráfico do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, Rio de Janeiro, Monografia 13, 181 p., 1955.
- ALMEIDA, F. F. M. **Geologia e Petrologia da ilha da Trindade**. Serviço Gráfico do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, Rio de Janeiro, 1961, 197 p.
- ALMEIDA, F. F. M. Ilha de Trindade – registro de vulcanismo cenozoico no Atlântico Sul. In: SCHOBENHAUS, C.; CAMPOS, D. A.; QUEIROZ, E. T.; WINGE, M.; BERBET-BORN, M. L. C. (Eds.). **Sítios geológicos e paleontológicos do Brasil**. 1ª ed.: Comissão Brasileira de Sítios Geológicos e Paleobiológicos, Brasília, DF, 2002, p.369-377.
- ALMEIDA, F. F. M. Ilhas oceânicas brasileiras e suas relações com a tectônica atlântica. **Terrae Didactica**, v. 2, n. 1, p. 3-18, 2006.
- ALVES, E. C. **Zonas de Fratura Oceânicas e suas Relações com a Compartimentação Tectônica do Sudeste do Brasil**. Doutorado (tese do Departamento de Geologia da Universidade Federal do Rio de Janeiro). Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro-RJ, 2002, 233 p.
- ALVES, E. D. C., MAIA, M., SICHEL, S. E.; CAMPOS, C. M. P. D. Zona de fratura de Vitória-Trindade no Oceano Atlântico sudeste e suas implicações tectônicas. **Revista Brasileira de Geofísica**, v. 24, n. 1, p. 117-127, 2006.
- ALVES, J. M. P.; CASTRO, P. T. A. Influência das feições geológicas na morfologia da bacia do rio do Tanque (MG) baseada no estudo de parâmetros morfométricos e análise de padrões de lineamentos. **Revista Brasileira de Geociências**, São Paulo, v. 33, n. 2, p. 117-124, 2003.
- ALVES, R. J. V.; SILVA, N. G.; AGUIRRE-MUÑOZ, A. Return of endemic plant populations on Trindade Island, Brazil, with comments on the fauna. In: **Island invasives: eradication and management. Proceedings of the International Conference on Island Invasives**. Gland, IUCN, Auckland, 2011, p. 259-263.
- ALVES, R. J. V. **Ilha da Trindade & Arquipélago Martin Vaz – um ensaio geobotânico**. Serviço de Documentação da Marinha, Rio de Janeiro – RJ, 1998, 144p.
- ANDRADE PINTO, L.V.; BOTELHO, S.A.; DAVIDE, A.C.; FERREIRA, E. Estudo das nascentes da bacia hidrográfica do ribeirão Santa Cruz, Lavras, M.G.; **Scientia Forestalis**, nº65, p.197-206, 2004.
- BENDA, L.; DUNNE, T. Stochastic Forcing of Sediment Supply to Channel Networks From Landsliding and Debris Flow. **Water Resources Research** 33, 12, 2849- 2863, 1997.

BOCKHEIM, J. G. Soil endemism and its relation to soil formation theory. In: **Geoderma**, 129:109-124. 2005.

CAPES. Qualis Periódicos 2014. Disponível em: <qualis.capes.gov.br>. Acesso em: 15 de março de 2016.

CASTRO, J. W. A. Ilhas oceânicas da Trindade e Fernando de Noronha, Brasil: uma visão da Geologia ambiental. **Revista de Gestão Costeira Integrada - Journal of Integrated Coastal Zone Management**, v. 10, n. 3, p. 303-319, 2010.

CHARLTON, R. O. **Fundamentals of Fluvial Geomorphology**. Londres: Routledge, 1 Ed., 2007.

CHAVES, H.A.F. (Ed.). **Processos e métodos**: relatório final. Rio de Janeiro: PETROBRAS. CENPES. SINTEP, 1983. 113 p. il. (Série Projeto REMAC, 6).

CHEREM, L. F. S. **Análise morfométrica da bacia do alto Rio das Velhas**. Mestrado (dissertação do Programa de Pós Graduação em Análise e Modelagem de Sistemas Ambientais). Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, Minas Gerais, 2008, 96 p.

CHRISTOFOLETTI, A. Geomorfologia. São Paulo: Edgard Blücher, 1980, 186p.

CLEARY, R. W. **Águas Subterrâneas**. [s.l.]: Princeton Groundwater; Clean Environment Brasil; ABRH, 1989.

CLEMENTE, E. D. P. **Ambientes terrestres da Ilha da Trindade, Atlântico Sul**: caracterização do solo e do meio físico como subsídio para a criação e uma unidade de conservação. Doutorado (tese do Programa de Pós Graduação em Solos e Nutrição de Plantas). Universidade Federal de Viçosa, Viçosa - MG, 2006, 167p.

CLEMENTE, E. D. P.; SCHAEFER, C. E.; ALBUQUERQUE FILHO, M. R.; OLIVEIRA, F. S.; ALVES, R. V.; MELO, V. de F. Solos “endêmicos” da Ilha da Trindade. In: ALVES, R.J. & CASTRO, J.W.C. (Orgs). **Ilhas Oceânicas Brasileiras – da pesquisa ao manejo**. Brasília, Ministério do Meio Ambiente, 59-82, 2006.

CLEMENTE, E. D. P.; SCHAEFER, C. E. G.; OLIVEIRA, F. S., ALBUQUERQUE FILHO, M. R., ALVES, R. V.; SÁ, M. M. F.; MELO, V. D. F.; CORRÊA, G. R. Toposequência de solos na ilha da Trindade, Atlântico Sul. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 33, n. 5, p. 1357-1371, 2009.

Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico - CNPq. Programa Arquipélago e Ilhas Oceânicas (S/D). Disponível em: < <http://cnpq.br/apresentacao-arquipelago-e-ilhas-oceanicas>>. Acesso em: 14 de julho de 2015.

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

CORDANI, U. G.; TEIXEIRA, W. Comentários sobre as determinações geocronológicas existentes para as regiões das folhas Rio de Janeiro, Vitória e Iguape. **Carta Geológica do Brasil ao Milionésimo, Folhas Rio de Janeiro (SF. 23), Vitória (SF. 24) e Iguape (SG. 23)**, p. 175-207, 1979.

CRUZ, J. V.; FRANÇA, Z. Hydrogeochemistry of thermal and mineral water springs of the Azores archipelago (Portugal). **Journal of Volcanology and Geothermal Research**, v. 151, n. 4, p. 382-398, 2006.

CYMBROM, R.; PACHECO, D.; GONÇALVES, V.; CABRAL, M.; CRUZ, J. V.; RAPOSEIRO, P.; COSTA, A.; MARQUES, H.; DOMINGOS, M.; NUNES, J. C.; COUTINHO, R. Monitorização da qualidade das águas superficiais das ilhas de Santa Maria e São Miguel da Região Autónoma dos Açores. In: **Proceedings 8º Congresso da Água**. 2006. p. 13-17.

DUARTE, R. H.; HORTA, G. C. M. M. Barth e a Ilha da Trindade, 1957-1959. **História, Ciências, Saúde – Manguinhos**, v.19, n.3, p. 951-968, 2012.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. Sistema brasileiro de classificação de solos. **CNPS/EMBRAPA, Brasília**, 1999, 376 p.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. Sistema Brasileiro de Classificação de Solos. 2 ed. Brasília: **CNPS/EMBRAPA, Brasília**, 2006, 420 p.

FARIA, A.P. A dinâmica de nascentes e a influência sobre os fluxos nos canais. **A Água em Revista**, Rio de Janeiro, v. 8, 1997.

FELIPPE, M. F. **Caracterização e tipologia de nascentes em unidades de conservação de Belo Horizonte - MG com base em variáveis geomorfológicas, hidrológicas e ambientais**. Mestrado (dissertação do Programa de Pós Graduação em Geografia – área de concentração: Análise Ambiental). Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte – MG, 2009, 275p.

FELIPPE, M. F. **Gênese e dinâmica de nascentes**: contribuições a partir da investigação hidrogeomorfológica em região tropical. Doutorado (tese do Programa de Pós Graduação em Geografia – área de concentração: Análise Ambiental). Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte – MG, 2013, 254p.

FELIPPE, M. F.; MAGALHAES JR., A. P. Conflitos conceituais sobre nascentes de cursos d'água e propostas de especialistas. **Revista GEOgrafias (UFMG)**, v. 9, p. 70-81, 2013.

FERREIRA, C. L. **Interações geomorfológicas entre bacias de cabeceira e vales fluviais principais: abordagem multiescalar na Bacia do Ribeirão Mata Porcos, Quadrilátero Ferrífero-MG**. Mestrado (dissertação do Programa de Pós Graduação em Geografia – área de concentração: Análise Ambiental). Universidade Federal de Minas Gerais. 2014, 201p.

FETTER, C. W. **Applied Hydrogeology**. 3rd ed. New Jersey: Prentice Hall, 1994.

FIRME SÁ, M. M. **Caracterização ambiental, classificação e mapeamento dos solos da ilha da Trindade, Atlântico Sul**. Mestrado (Dissertação do Programa de Pós-Graduação em Solos e Nutrição de Plantas), Universidade Federal de Viçosa, Viçosa – MG, 2010, 58 p.

GILL, R. **Rochas e Processos Ígneos: Um Guia Prático**. Editora Bookman, 469 p., 2014.

GOERL, R. F.; KOBAYAMA, M.; DOS SANTOS, I. HIDROGEOMORFOLOGIA: PRINCÍPIOS, CONCEITOS, PROCESSOS E APLICAÇÕES. HYDROGEOMORPHOLOGY: PRINCIPLES, CONCEPTS, PROCESSES AND APPLICATIONS. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v. 13, n. 2, 2012.

GOMINHO, M. F. A. **Gestão dos Recursos Hídricos no Processo de Desenvolvimento Sustentável de Cabo Verde: uma proposta**. Mestrado (dissertação do programa de pós-graduação em Gestão de Empresas). ISCTE, Business School, Instituto Universitário de Lisboa, Departamento de Gestão. Lisboa, Portugal, 2010, 114p.

GOMI, T.; SIDLE, R. C.; SWANSTON, D. N. Hydrogeomorphic linkages of sediment transport in headwater streams, Maybeso Experimental Forest, southeast Alaska. **Hydrol. Process**. Vol. 18, pgs. 667–683, 2002.

GOTELLI, N. J. **Ecologia**. 4ª edição, Londrina: Editora Planta, 2009, 287p.

GUERRA, A. T. **Dicionário geológico-geomorfológico**. 8a ed. Rio de Janeiro: IBGE, 1993.

GUO, Y.; GONG, P.; AMUNDSON, R. Pedodiversity in the United States of America. **Geoderma**. n.117. p.99-115, 2003.

HACK, J. T. Interpretation of erosional topography in Humid Temperate regions. **American Journal of Science**, 188, p 80-97, 1960.

HACK, J.T.; GOODLETT, J.C. Geomorphology and forest ecology of a mountain region in the central Appalachians. Denver, **U.S. Geol. Surv**, p. 66, 1960.

HEEZEN, B. C.; THARP, M.; EWING, M. The floors of the oceans I. The North Atlantic. **Geological Society of America Special Papers**, v. 65, p. 1-126, 1959.

HERZ, N. Timing of spreading in the South Atlantic: Information from Brazilian alkaline rocks. **Geological Society of America Bulletin**, v. 88, n. 1, p. 101-112, 1977.

HORTON, R. E. Erosional development of streams and their drainage basins: Hydrographical approach to quantitative morphology. **Geological Society of America Bulletin**, v.56, n.2, p.275-370, 1945.

HUGGETT, Richard. **Fundamentals of geomorphology**. Routledge, 2007.

ROSS, J. C. **A Voyage of Discovery and Research in the Southern and Antarctic Regions, during the Years 1839-43**. John Murray, 1847.

JENNY, H. Factor of soil formation: a system of quantitative pedology. New York: McGraw-Hill. 1941, 281p.

JUNQUEIRA JÚNIOR, J. A. **Escoamento de nascentes associado à variabilidade espacial de atributos físicos e uso do solo em uma bacia hidrográfica de cabeceira do Rio Grande – MG**. Mestrado (dissertação do Programa de Engenharia Agrícola - área de concentração: Irrigação e Drenagem). Universidade Federal de Lavras, Lavras – MG, 2006, 86p.

MACHADO, M. R. **Interação avifauna-substratos na Ilha de Trindade, Atlântico Sul, Brasil**. Mestrado (dissertação do Programa de Pós Graduação em Geografia – área de concentração: Análise Ambiental). Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte – MG, 2016, 92p.

MAIA, M. A. M. **Geodiversidade das áreas adjacentes à Cadeia submarina de Vitória-Trindade: construção e aplicação de um modelo de compartimentação em macroescala do assoalho oceânico**. Mestrado (dissertação do Programa de Pós-Graduação em Geologia). Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro – RJ, 2013, 173p.

MARIN, C.; DEDA, P.; MULONGOY, J. K. Island biodiversity – sustaining lie in vulnerable ecosystems. INSULA, **International Journal on Island Affairs**, Special Issue, UNESCO, 2004, 130p.

MARTINS, L. S. G.; ALVES, R. J. V. Regeneração Natural do Morro Vermelho, Ilha da Trindade. **Revista Brasileira de Biociências**, v. 5, n. 1, p. 39-41, 2007.

MEINZER, O. E. **Large springs in the United States**. Water Supply Paper 557 – U.S. Government Printing Office. Washington – DC, USA, 1927.

MEYER, J. L.; WALLACE, J. B. Lost Linkages and Lotic Ecology: Rediscovering Small Streams. In: PRESS, M.C.; HUNTLY, N.J.; LEVIN, S. (Orgs). **Ecology: Achievement and Challenge**. Massachusetts: Blackwell Sciencepp. 295-317, 2001.

MIZUSAKI, A. M. P.; ALVES, D. B.; CONCEIÇÃO, J. C. J. Eventos magmáticos nas bacias do Espírito Santo, Mucuri e Cumuruxatiba. **SBG, Congr. Bras. Geol**, v. 37, p. 566-568, 1994.

MOHR, L. V.; CASTRO, J. W. A.; COSTA, P. M. S.; ALVES, R. J. V. Ilhas Oceânicas brasileiras: da pesquisa ao manejo–volume II. **Brasília: MMA/Secretaria de Biodiversidade e Florestas**, 2009.

MONTENEGRO, A. A.; RIBEIRO, M. R.; MONTENEGRO, S. M., CORRÊA, M. M.; SANTOS, T. E. Potencialidades hídricas superficiais de Fernando de Noronha, PE, e alternativas para incremento da oferta. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 13, p. 931-939, 2009.

MONTGOMERY, D. R.; FOUFOULA-GEORGIOU, E. Channel Network Source Representation Using Digital Elevation Models. **Water Resources Research**, v. 26, n. 12, 1993.

MOTOKI, A.; MOTOKI, K. F.; DE MELO, D. P. Caracterização da morfologia submarina da cadeia Vitória-Trindade e áreas adjacentes-ES, com base na batimetria predita do topo versão 14.1. **Revista Brasileira Geomorfologia**, v. 13, p. 151-170, 2012.

MYERS, N. Threatened biotas: "hot spots" in tropical forests. **Environmentalist**, v. 8, n. 3, p. 187-208, 1988.

MYERS, N.; MITTERMEIER, R. A.; MITTERMEIER, C. G.; DA FONSECA, G. A. B.; KENT, J. Biodiversity hotspots for conservation priorities. **Nature**, 403, 853-858, 2000.

NICKOLOTSKY, A.; PAVLOWSKY, R. T. Morphology of step-pools in a wilderness headwater stream: The importance of standardizing geomorphic measurements. **Geomorphology**, vol. 83, p. 294–306, 2007.

OLIVEIRA, F. S. **Fosfatização em solo e rocha em ilhas oceânicas**. Mestrado (dissertação do Programa de Pós Graduação em Solos e Nutrição de Plantas). Universidade Federal de Viçosa. 2008, 115p.

PANE, E.; PEREIRA, S. Y. As fontes em Itamonte, sul de Minas Gerais – uma contribuição para o entendimento das relações entre água superficial e subterrânea. **Águas subterrâneas**. v. 19. n. 1, p. 1-14, 2005.

PATRÍCIO, R. L. **Mapeamento da Ilha da Trindade, Atlântico Sul**. Graduação (trabalho de conclusão de curso em Geologia), Universidade Estadual Paulista, Rio Claro – SP, 2012, 80 p.

PIRES, G. L C.; MANSUR, K. L.; BONGIOLO, E. M. Geoconservação da Ilha da Trindade: Principais Aspectos e Potencial de Uso. **Anuário do Instituto de Geociências**, v. 36, n. 2, p. 96-104, 2013.

PRADA, S. L. R. N. **Geologia e recursos hídricos subterrâneos da ilha da Madeira**. Doutorado (dissertação do programa de pós-graduação em Geologia). Universidade da Madeira, Funchal, Portugal, 2000, 352p.

PRIOR, G.T. Petrographic notes on the rock specimens collected in the little island of Trinidad, South Atlantic, by the Artic Expedition of 1839-1843 under Sir James Clark Ross. **Mineralogical Magazine Journal of the Mineralogical Society**, 22 (58):317-323, 1900.

RAD, S. D.; ALLÈGRE, C. J.; LOUVAT, P. Hidden erosion on volcanic islands. **Earth and Planetary Science Letters**, v. 262, n. 1, p. 109-124, 2007.

ROBERTS, C. M.; McCLEAN, C. J.; VERON, J. E. N.; HAWKINS, J. P.; ALLEN, G. R.; McALLISTER, D.; MITTERMEIER, C.; SCHUELER, F. W.; SPALDING, M.; WELLS, F.; VYNNE, C.; WERNER, B. Marine biodiversity hotspots and conservation priorities for tropical reefs. **Science**, 295, 1280-1284, 2002.

SANTAMARTA CEREZAL, J. C. **Hidrología y recursos hídricos en islas y terrenos volcánicos: Métodos, Técnicas y Experiencias en las Islas Canarias**. Colegio de Ingenieros de Montes, 2013.

SANTAMARTA CEREZAL, J. C.; LARIO-BASCONES, R.J.; RODRÍGUEZ-MARTÍN, J.; HERNÁNDEZ-GUITIERREZ, L.E.; PONCELA, R.; Introduction to Hydrology of Volcanic Islands. **IERI Procedia**, v. 9, p. 135-140, 2014.

SCHAEFFER, C. E. G. R.; OLIVEIRA, F. S. Brazil in the South Atlantic: The Fernando de Noronha and Trindade Archipelagos. In: VIEIRA, B. C.; SALGADO, A.; SANTOS, L. (org.) **Landscapes and Landforms of Brazil**. 1ed. Netherlands: Springer, 2015, p. 65-78.

SCHAEFER, C.E.G.R., SIMAS, F.N.B., ALBUQUERQUE-FILHO, M.R., MICHEL, R.F.M., VIANA, J., TATUR, H.M. Fosfatização: Processo de formação de solos na Baía do Almirantado e implicações ambientais. In: SCHAEFER, C.E.G.R., FRANCELINO, R., SIMAS, F.N.B., ALBUQUERQUE FILHO, R. (Eds.), **Ecossistemas Costeiros e Monitoramento Ambiental da Antártica Marítima, Baía do Almirantado, ilha Rei George**. NEPUT-DPS. Viçosa. pp. 47-59. 2004.

SCHUMM, S. A. **The Fluvial System**. New York: John Wiley & Sons, 1977.

SIDLE, R.C.; TSUBOYAMA, Y.; NOGUCHI, S.; HOSODA, I., FUJIEDA, M.; SHIMIZU, T. Streamflow generation in steep headwaters: a linked hydrogeomorphic paradigm. **Hydrol. Process.**, v. 14, 369- 385, 2000.

SIMAS, F.N.B.; C.E.G.R. SCHAEFER, M.R.; ALBUQUERQUE FILHO, R.F.M.; MICHEL, L.E.; DIAS, J.R.; BORGES, M.L. Atributos químicos de criossolos ornitogênicos da Bahia do Almirantado, Antártica. **Ecossistemas costeiros e monitoramento ambiental da Antártica Marítima: Bahia do Almirantado, Ilha Rei George**. Viçosa: NEPUT/DPS, 2004.

STRAHLER, A. N. Quantitative Analysis of Watershed Geomorphology. **Transactions of the American Geophysical Union**. Vol. 8, n. 6, pp. 913-920, 1957.

THOMAZ FILHO, A.; RODRIGUES, A. L. O alinhamento de rochas alcalinas Poços de Caldas-Cabo Frio (RJ) e sua continuidade na cadeia Vitória-Trindade. **Revista Brasileira de Geociências**, v. 29, n. 2, p. 189-194, 1999.

TODD, D. K.; MAYS, L. W. **Groundwater hydrology**. John Willey & Sons, 2005.

ULBRICH, M. N. C.; MARQUES, L. S.; LOPES, R. P. As ilhas vulcânicas brasileiras: Fernando de Noronha e Trindade. In: MANTESSO-NETO, V., BARTORELLI, A., CARNEIRO, C. D. R., NEVES, B. B. B (eds.) **Geologia do Continente Sul-Americano: evolução da obra de Fernando Flávio Marques de Almeida**. São Paulo: Beca, 2004, p.555-573.

VALADÃO, R. C.; **Evolução de longo-termo do relevo do Brasil oriental: desnudação, superfícies de aplanamento e soerguimentos crustais**. Tese (doutorado) - Universidade Federal da Bahia, Instituto de Geociências, 1998.

VISHER, F. N.; MINK, J. F. Ground-water resources in southern Oahu, Hawaii. **GEOLOGICAL SURVEY WATER-SUPPLY PAPER**, US Government Printing Office, v. 1778, 1964, 144 p.

VIANELLO, A.; CAVALLI, M.; TAROLLI, P. LiDAR-derived slopes for headwater channel network analysis. **Catena**, vol. 76, p. 97–106, 2009.

WALTER, H. S. The mismeasure of islands: implications for biogeographical theory and the conservation of nature. **Journal of Biogeography**, 31, 177-197, 2004.

WALTER, H.; HARNICKELL, E.; MÜLLER-DOMBOIS, D. **Klimadiagramm-Karten der einzelnen Kontinente und ökologische Klimagliederung der Erde**. 9 pp., Stuttgart, 1975.