



UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
CENTRO DE FILOSOFIA E CIÊNCIAS HUMANAS
DEPARTAMENTO DE GEOCIÊNCIAS
CURSO DE GRADUAÇÃO EM GEOLOGIA

ANTÔNIO MARCON BORGES

**MODELAGEM EM TRÊS DIMENSÕES E CARACTERIZAÇÃO
GEOLÓGICA DA AGULHA DA GUARITA, PARQUE ESTADUAL DA
GUARITA, TORRES, RS**

Florianópolis

2017

ANTÔNIO MARCON BORGES

**MODELAGEM EM TRÊS DIMENSÕES E CARACTERIZAÇÃO
GEOLÓGICA DA AGULHA DA GUARITA, PARQUE ESTADUAL DA
GUARITA, TORRES, RS**

Trabalho de Conclusão de Curso
submetido(a) à disciplina de TCC II do
Curso de Geologia da Universidade
Federal de Santa Catarina como requisito
parcial para a obtenção do Grau de
Bacharel em Geologia

Orientador: Prof. Dr. Breno Leitão Waichel

Co-orientador: Dr. Lucas Del Mouro

Florianópolis
2017

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor,
através do Programa de Geração Automática da Biblioteca Universitária da UFSC.

Borges, Antônio Marcon
MODELAGEM EM TRÊS DIMENSÕES E CARACTERIZAÇÃO GEOLÓGICA DA
AGULHA DA GUARITA, PARQUE ESTADUAL DA GUARITA, TORRES, RS
/ Antônio Marcon Borges ; orientador, Breno Leitão
Waichel, coorientador, Lucas Del Mouro, 2017.
71 p.

Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) -
Universidade Federal de Santa Catarina, Centro de
Filosofia e Ciências Humanas, Graduação em Geologia,
Florianópolis, 2017.

Inclui referências.

1. Geologia. 2. Modelo 3D. 3. Laser Scanner. 4. Agulha
da Guarita. 5. Formação Serra Geral. I. Waichel, Breno
Leitão . II. Del Mouro, Lucas . III. Universidade Federal
de Santa Catarina. Graduação em Geologia. IV. Título.

Antônio Marcon Borges

**MODELAGEM EM TRÊS DIMENSÕES E CARACTERIZAÇÃO GEOLÓGICA
DA AGULHA DA GUARITA, PARQUE ESTADUAL DA GUARITA, TORRES,
RS**

Este Trabalho Conclusão de Curso foi julgado adequado para obtenção do Título de Bacharel em Geologia e aprovado em sua forma final pelo Curso de Graduação em Geologia.

Florianópolis, 05 de dezembro de 2017.

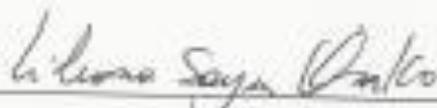


Prof. Marivaldo dos Santos Nascimento, Dr.
Coordenador do Curso de Graduação em Geologia - UFSC

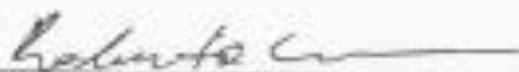
Banca Examinadora:



Breno Leitão Waichel, Dr. - Orientador
Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC)



Liliana Osako, Dr. - Membro
Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC)



Roberto Sacks de Campos, Dr. - Membro
Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC)

Em memória dos meus avós, Wanda e Anacleto

AGRADECIMENTOS

Aos meus pais, Ronal e Karen por todo o amor e dedicação, vocês sempre serão meus exemplos e meu porto seguro. Aos meus irmãos Cândida, Pedro, Helena, Nina, Olívia, Teresa e Ernesto por serem meus primeiros exemplos de amizade, nosso laço sempre trará forças e ensinamentos. Aos meu avós Orestes e Addis e ao meus tios Luciano, Carla e Paulo, pelo suporte e encorajamento, o carinho de vocês é fundamental. À toda minha família, vocês estão sempre comigo.

À Helena, pelo companheirismo neste último ano, me motivas e torna a vida ainda mais bela.

Aos meus amigos de longa data, Danilo, Diego, Gilberto e Patrick, pela parceria atemporal, por tantos momentos inesquecíveis e por tornar a infância uma fase tão boa. Aos amigos da graduação, em especial Cosme, Felipe, Johann, Douglas, Maick, Mateus e Debatin, o maior presente que este curso trouxe.

Aos meus amigos e orientadores Breno Leitão Waichel e Lucas Del Mouro, obrigado pela dedicação, apoio e aprendizagem. Também à Maiara, sempre disposta a ajudar na realização deste trabalho.

À banca examinadora, pela disposição em avaliar e tornar este trabalho melhor.

Aos professores que tive durante esses anos, em especial os deste curso, pelas horas dentro e fora de sala, pela dedicação em ensinar essa ciência peculiar e apaixonante que é a geologia.

Ao PFRH/PB 240, pelo suporte financeiro e incentivo a pesquisa, fundamentais no âmbito científico.

Aos governos Lula e Dilma, do Partido dos Trabalhadores, por promoverem o maior investimento em universidades públicas e a maior inclusão social já vistos no Brasil, fazendo lembrar que cada ser humano tem a responsabilidade de tornar a sociedade mais justa e igualitária.

À UFSC, este lugar diversificado e carregado de memórias, que tanto ensina e acolhe.

“O conhecimento nos faz responsáveis”

Ernesto Guevara de la Serna

RESUMO

Este trabalho tem como objetivo fazer a caracterização geológica e gerar um modelo digital em três dimensões do afloramento chamado Agulha da Guarita, inserido no Parque Estadual da Guarita, na cidade de Torres, RS. Este afloramento é notório por conter duas formações distintas da Bacia do Paraná, o contato entre o arenito eólico da Formação Botucatu e o derrame basáltico da Formação Serra Geral, o que torna a Agulha da Guarita um ponto geológico de grande valor didático e paisagístico. Para esta pesquisa, além das técnicas convencionais de campo fez-se uso de um laser scanner terrestre, equipamento capaz de adquirir milhares de pontos do local a partir de estacionadas do aparelho ao redor do afloramento, essas nuvens de pontos quando interpoladas entre si fornecerão um primeiro modelo em três dimensões do objeto de estudo. A partir desse modelo são diversos os tratamentos possíveis dentro do software, que neste caso foi o *ScanMaster2*, da fabricante *TopCon*. Com os modelos 3D gerados, a visualização de toda a área torna-se dinâmica, é possível tomar dados dimensionais da Agulha da Guarita bem como gerar superfícies e secções, demonstrando o quanto a técnica pode ser utilizada nas mais variadas áreas da geologia. Por fim, neste caso específico, torna-se uma ferramenta eficaz didaticamente, para atividades pré e pós trabalhos de campo. Além disso é capaz de preservar a configuração do afloramento digitalmente, sendo útil em pesquisas futuras, posto que o forte intemperismo do local danifica a estrutura da Agulha da Guarita ao longo do tempo.

Palavras-chave: Modelo 3D. Laser scanner. Agulha da Guarita. Formação Botucatu. Formação Serra Geral.

ABSTRACT

This work aims to make the geological characterization and generate a digital model in three dimensions of the outcrop called Agulha da Guarita, inserted in the State Park of Guarita, in the city of Torres, RS. This outcrop is notorious for containing two distinct formations of the Paraná Basin, the contact between the winding sandstone of the Botucatu Formation and the basaltic flow of the Serra Geral Formation, which makes Agulha da Guarita a geological point of great didactic and landscape value. For this research, in addition to the conventional field techniques, a terrestrial laser scanner was used, capable of acquiring thousands of points of the place from the apparatus located around the outcrop, these clouds of points when interpolated between them will provide a first three-dimensional model of the object of study. From this model are several possible treatments within the software, which in this case was ScanMaster2, the manufacturer TopCon. With the models generated, visualization of the whole area becomes dynamic, it is possible to take dimensional data of the Agulha da Guarita as well as to generate surfaces and sections, demonstrating how much the technique can be used in the most varied areas of the geology. Finally, in this specific case, it becomes an effective tool for pre and post field activities. It is also capable of preserving the configuration of the outcrop digitally and is useful in future research, since the strong weathering of the site damages the structure of the Agulha da Guarita.

Key-words: 3D model. Laser scanner. Agulha da Guarita. Botucatu Formation. Serra Geral Formation.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Mapa geológico da Bacia do Paraná e suas principais supersequências. 20	20
Figura 2 - Constituintes da Província Ígnea Paraná-Etendeka (PIPE) na porção Sulamericana, unidades litológicas e feições estruturais importantes.....23	23
Figura 3 - Mapa das subdivisões das Formações vulcânicas na porção sul da Província ígnea Paraná-Etendeka.24	24
Figura 4 - Em (A) croqui esquemático dos derrames pahoehoe, em (B) foto do derrame tipo pahoehoe.....25	25
Figura 5 - Foto e desenho esquemático mostrando a estruturação (base, núcleo e topo) de um derrame pahoehoe na Bacia do Paraná.....25	25
Figura 6. Em (A) croqui esquemático para derrames 'a'a. Em (B) foto de um típico derrame 'a'a.26	26
Figura 7 - Lavas em bloco, vulcão Tuzgle, noroeste da Argentina.....27	27
Figura 8 - Quadro sobre as características dos derrames Rubbly-pahoehoe.27	27
Figura 9 - Foto do topo de um derrame rubbly-pahoehoe da Fm. Serra Geral.28	28
Figura 10 - Desenho esquemático para formação de peperitos nos locais de interação entre magma e sedimentos. 1: Condicionado por intrusões. 2: Intrusões parcialmente emergentes. 3: Diques em condutos preenchidos por rochas vulcanoclásticas. 4: Base dos derremas. 5: Borda de derrames invasivos. A: Base de depósitos piroclásticos.29	29
Figura 11 - Sinclinal de Torres, região sul da Bacia do Paraná.....30	30
Figura 12 - Morro das Furnas, Parque Estadual da Guarita.....32	32
Figura 13 - Vista aérea da praia da Guarita, ao fundo tem-se o Torre Sul, ao centro a Agulha da Guarita.33	33
Figura 14 - Modelo Riegl LMSz de laser scanner com câmera digital acoplada utilizado por Hodgetts, 2013.....34	34
Figura 15 - Nuvem de pontos do Monte Victorio, Texas, EUA. A região em preto não foi capturada por uma única posição de varredura.35	35
Figura 16 - Localização da área de estudo, Ilhas Faroe e Ilha Skye.....36	36
Figura 17 - Modelo 3D do afloramento Campaleo, em (A) vista superior destacando as posições dos alvos (círculos brancos) e as posições do laser (quadrados brancos). Em (B) vista lateral do afloramento. (C) 3D do talude na cidade de Nova Trento, SC.37	37

Figura 18 - Modelos gerados por Hodgetts, 2013. (A) triangulação malhas menores que 10cm, (B) com malhas adaptadas, (C à F) com base no grau de co-planaridade de todos os pontos em um raio de 10cm, a medida que o grau de filtragem aumenta, o número de pontos e triângulos na malha diminui, com perda de detalhe nos dados associados e com aumento no agrupamento dos dados.	38
Figura 19 - (A) Local de varredura e croqui destacando os alvos refletores e a posição do aparelho durante as escaneadas. (B) Modelo 3D da pedreira Lsoja, gerado a partir do software GSI3D.	39
Figura 20 - Em (A) Croqui da Baía de Talisker, em vermelho as posições do aparelho para a varredura, em azul e amarelo os refletores que referenciam o scanner. Em (B) o modelo 3D do local, após interpolação das nuvens de pontos.	40
Figura 21 - Em (A) a extrapolação dos fluxos de lava e camadas sedimentares, em (B) topografia no dia da aquisição. Em (C) o destaque de sills, diques e tubos de lava, na Baía de Talisker, geradas pelo GSI3D. GIF disponível em: www.gsapubs.org	41
Figura 22 - As figuras abaixo mostram os diferentes métodos de análise da nuvem de pontos, a barra de escala é de 5 m em todas as figuras. (A) Nuvem de pontos colorida a partir dos dados do LiDAR. (B) Dados de azimutes da superfície derivados das análises de tensores nas nuvens de pontos. (C) Co-planaridade das análises dos tensores. (D) Área do triângulo em uma malha decimétrica mostrando a variação no tamanho do triângulo. (E) Mergulho derivado da análise dos tensores na nuvem de pontos. (F) Mergulho dos triângulos numa malha decimétrica A escala de cores mostra valores, bem como histogramas (valor crescente para a direita) para cada parâmetro que mostra a distribuição de valores dentro dos dados alcance.	42
Figura 23 - Em (A) o equipamento Laser Scanner GLS1500 TOPCON. Em (B) o equipamento suportado pelo tripé, ao lado do alvo de referência também integrado ao tripé de apoio.	45
Figura 24 - Alvos utilizados para o referenciamento das nuvens de pontos. Em (A) o alvo já fixado no suporte, em (B) apenas o alvo.	46
Figura 25 - Mapa de localização da área de estudo.	Erro! Indicador não definido.
Figura 26 - Afloramento ao norte da praia da Guarita. Na figura pode-se observar o arenito Botucatu na base, seguido por peperitos e derrame basáltico.	Erro! Indicador não definido.
Figura 27 -Peperitos do alforamento ao norte da praia da Guarita.	Erro! Indicador não definido.

Figura 28 - Afloramento ao sul da praia da guarita, parede basáltica de aproximadamente 30m de altura.....	Erro! Indicador não definido.
Figura 29 - Afloramento Agulha da Guarita, pode-se observar o arenito Botucatu na base seguido pelo derrame basáltico.....	Erro! Indicador não definido.
Figura 30 – Estruturas de primeira, segunda e terceira ordem do arenito Botucatu, na base do afloramento da Agulha da Guarita.....	Erro! Indicador não definido.
Figura 31 - Croqui esquemático demonstrando as zonas de oclusão e dois casos possíveis para aquisição dos dados pelo laser scanner. Caso 1: equipamento disposto perpendicular as faces do objeto. Caso 2: scanner posicionado de frente aos vértices.	48
Figura 32 - Croqui da disposição dos alvos para duas varreduras, cinco alvos ao total, três para cada estacionada, um em comum entre elas.....	49
Figura 33 - Imagem aérea da praia da Guarita, com o afloramento no centro e os equipamentos posicionados ao seu redor no dia da aquisição dos dados.....	50
Figura 34 - Vista do afloramento a partir do local da primeira estacionada do laser scanner para tomada de dados da face norte da Agulha da Guarita.	51
Figura 35 - Momento de aquisição da segunda estacionada do equipamento para aquisição da face oeste da Agulha da Guarita.	52
Figura 36 - Momento de aquisição da terceira estacionada do laser scanner, aquisição de dados da face sul da Agulha da Guarita.....	53
Figura 37 - Posição do laser scanner durante a quarta estacionada, para aquisição de dados da face sudeste da Agulha da Guarita.....	54
Figura 38 - Vista aproximada do afloramento durante a quinta estacionada, para obtenção de dados da face nordeste da Agulha da Guarita.	55
Figura 39 - As figuras abaixo são visualizadas em filtro RYGCB, assim que as nuvens de pontos são importadas para o software ScanMaster 2. (A) Nuvem de pontos da primeira estacionada. Vista de norte para sul do afloramento. (B) Nuvem de pontos da segunda estacionada. Pegando parte do Morro Sul (à direita), vista de oeste para leste do afloramento. (C) Nuvem de pontos da terceira estacionada. Vista de sul para norte do afloramento. (D) Nuvem de pontos da quarta estacionada. Vista de sudeste para nordeste do afloramento. (E) Nuvem de pontos da quinta estacionada. Vista de nordeste para sudoeste do afloramento, ao fundo tem-se parte do Morro sul capturado na cena. (F) Vista em planta de todas as estacionadas simultaneamente, sem referenciamento.	56

Figura 40 - Modelo 3D visualizado em filtro RYRGB, gerado através da junção das cinco estacionadas no afloramento Agulha da Guarita.	63
Figura 41 - Modelo 3D visualizado de acordo com a coloração das imagens, (A) vista de sudoeste para nordeste. (B) vista de noroeste para sudeste do afloramento.	64
Figura 42 - Em (A) face norte da Agulha da Guarita e em (B) a face sul.	65
Figura 43 - Face norte da Agulha da Guarita no Modelo 3D em escala altimétrica. .	66
Figura 44 - Em (A) tem-se o modelo 3D com a superfície gerada a partir do método Advancing Front. Em (B) o modelo 3D com superfície gerada pelo método de Krigagem, ambos exibindo a face sul da Agulha da Guarita.	67
Figura 45 - Seção NE/SW através da Agulha da Guarita e o perfil gerado.	67
Figura 46 - (A) Face sul da Agulha da Guarita. (B) Face sul com as fraturas do basalto destacadas em vermelho, e o contato em amarelo.	68
Figura 47 - (A) Face norte da Agulha da Guarita com a secção inferida no contato entre o Basalto e o Arenito. Em (B) a face sul com a mesma secção.	69

LISTA DE QUADROS

Quadro 1. Especificações do Laser Scanner GLS 1500	43
----------------------------------------------------------	----

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	17
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	18
2.1	PLATAFORMA SUL AMERICANA.....	18
2.2	BACIA DO PARANÁ	18
2.2.1	SUPERSEQUÊNCIA GONDWANA III.....	20
2.2.1.1	FORMAÇÃO BOTUCATU	21
2.2.1.2	FORMAÇÃO SERRA GERAL	21
2.2.1.2.1	DERRAMES PAHOEHOE.....	24
2.2.1.2.2	DERRAMES <i>a'a'</i>	26
2.2.1.2.3	LAVA EM BLOCO	26
2.2.1.2.4	DERRAMES <i>RUBBLY-PAHOEHOE</i>	27
2.2.1.2.5	PEPERITOS.....	28
2.3	CALHA DE TORRES	29
2.4	GEOLOGIA DE TORRES-RS	31
2.5	PARQUE ESTADUAL DA GUARITA	31
2.5.1	PRAIA DA GUARITA	32
2.6	LASER SCANNER TERRESTRE	33
2.6.1	APLICAÇÃO NA GEOLOGIA	34
3.	MATERIAIS E MÉTODOS	43
3.1	EQUIPAMENTOS	43
3.2	TRABALHO DE CAMPO.....	46
3.3	AQUISIÇÃO E PROCESSAMENTO	47
3.3.1	AQUISIÇÃO.....	47
3.3.2	PROCESSAMENTO.....	55
4	RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	57

4.1	DESCRIÇÃO GEOLÓGICA	57
4.2	MODELAGEM 3D	63
5	CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	70
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	72

1 INTRODUÇÃO

A medida que avança o conhecimento científico ocorre a impulsão de novos métodos didáticos, novas maneiras de ensino e aprendizado são estimuladas por diversos fatores, um deles é o avanço da tecnologia onde geociências têm se favorecido em vários quesitos, ampliando as fronteiras de pesquisa. Na geologia, novos métodos são aplicados em diversos estudos que antes eram de difícil realização, sendo possível destacar a utilização do Laser Scanner Terrestre, um equipamento de varredura digital que possibilita a obtenção de modelos em três dimensões de afloramentos.

O escaneamento digital não só permite armazenar as características do local no dia em que foi realizada a análise de campo, auxiliando o tratamento dos dados em laboratório, mas também se apresenta como uma ferramenta de geoconservação digital e monitoramento, uma vez que os afloramentos estão sujeitos a ação do intemperismo e da retirada de material, seja para fins pedagógicos ou comerciais. Seguindo pela vertente da geoconservação, ganha destaque o afloramento chamado de Agulha da Guarita, localizado na praia da Guarita no município de Torres no litoral norte do Rio Grande do Sul.

Geologicamente muito peculiar, a Agulha da Guarita é um morro testemunho onde aflora duas formações da Bacia do Paraná, na base a Formação Botucatu (arenitos eólicos) e no topo a Formação Serra Geral (derrames básicos) constituindo um afloramento com grande valor didático e paisagístico, sendo parte importante do Parque Estadual da Guarita. Exposta ao forte intemperismo, devido à proximidade com o mar, a Agulha denota fragilidade em sua estrutura, motivo pelo qual um levantamento através de um Laser Scanner Terrestre torna-se importante.

O modelo 3D dos afloramentos aliado a boas ferramentas de software denotam também grande potencial didático e auxilia diversas áreas da geologia, como geologia estrutural e mineração, portanto, o desenvolvimento desta técnica tende a ampliar e facilitar novas pesquisas.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Esta etapa estendeu-se por toda realização do trabalho, com foco em pesquisas sobre a geologia da região sul da Bacia do Paraná, principalmente em torno da cidade de Torres no Rio Grande do Sul, considerando a estratigrafia de sequências vulcânicas da área. Também considerou-se trabalhos sobre a aplicação de laser scanner terrestres na modelagem em três dimensões de afloramentos e como procede a aplicação deste método relativamente novo no âmbito geológico.

2.1 PLATAFORMA SUL AMERICANA

A Plataforma Sul Americana, fração continental que permaneceu estável durante a evolução das faixas móveis do Caribe (norte) e Andina (oeste) nas eras Mesozoicas e concomitante ao processo de abertura do Atlântico Sul, detém enorme diversidade geológica e é representada em aproximadamente 75% de sua área no Brasil, que por sua vez abrange domínios como Escudos Cristalinos, Bacias Sedimentares, Faixas Móveis entre outros (SCHOBENHAUS; NEVES, 2003).

Ao longo do território brasileiro distribuem-se bacias sedimentares de idades paleozoica e meso-cenozoica, subdivididas em: Intracratônica, *Strike-slip*, Antepaís e Riftes Abortados (Aulacógenos). No contexto de bacias Intracratônicas, a Bacia do Paraná, uma sinéclise paleozoica, é a de maior expressão dentro da plataforma Sul-Americana, de variado registro estratigráfico vulcanossedimentar, com idades entre o Paleozoico e o Mesozoico. (SILVA et al. 2003).

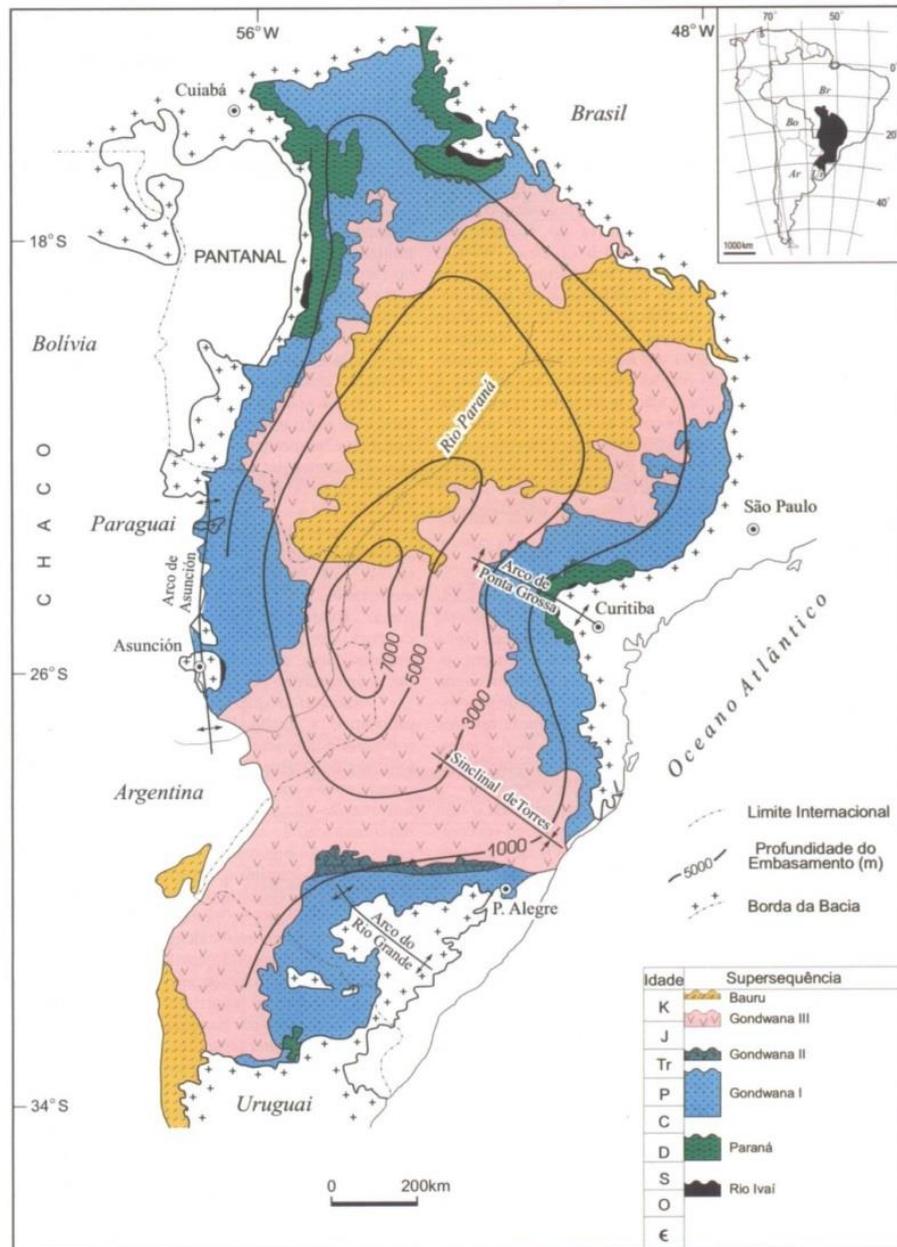
2.2 BACIA DO PARANÁ

Com uma área de aproximadamente 1,5 milhão de quilômetros quadrados, a Bacia do Paraná estende-se por quatro países da América do Sul, são eles Argentina, Paraguai, Uruguai e Brasil. Essa extensa área de formato ovalado de eixo maior disposto na direção N-S, compreende pacotes sedimentar-magmático de espessura total máxima aproximada de 7 mil metros, sendo seus entornos definidos por limites

erosivos relacionados a eventos tectônicos da evolução do continente nas eras Mesozoicas. (MILANI et al., 2007).

Milani (1997) identificou e classificou no registro estratigráfico da Bacia em seis Supersequências, caracterizadas por pacotes rochosos determinados por intervalo temporal de milhões de anos e separados por discordâncias inter-regionais. As três primeiras: Rio Ivaí (Ordoviciano – Siluriano), Paraná (Devoniano), Gondwana I (Carbonífero- Eocretáceo) são caracterizadas por sucessões sedimentares que definem ciclos transgressivo-regressivos devido à oscilação do nível marinho durante a era Paleozóica. Enquanto as três últimas, Gondwana II (Mesotriássico – Eotriássico), Gondwana III (Neojurássico – Eotriássico) e Bauru (Neocretáceo) correspondem a pacotes de sedimentos continentais e rochas ígneas (MILANI et al., 2007).

Figura 1 - Mapa geológico da Bacia do Paraná e suas principais supersequências.



Fonte: MILANI, 2004

2.2.1 SUPERSEQUÊNCIA GONDWANA III

Denominada também como “Sequência Jurássica-Eocretácica”, a Supersequência Gondwana III abrange o intervalo do registro estratigráfico da Bacia do Paraná em que se colocam os sedimentos eólicos da Formação Botucatu e o magmatismo da Formação Serra Geral (MILANI et al., 2007).

2.2.1.1 FORMAÇÃO BOTUCATU

A Formação Botucatu constitui-se quase que totalmente por arenitos médios a finos de elevada esfericidade e aspecto fosco, róseo, que exibem estratificação cruzada tangencial, de médio a grande porte, numa assinatura faciológica muito característica que possibilita um pronto reconhecimento do “deserto de Botucatu” (MILANI et al., 2007). Pontualmente ocorrem ventifactos decorrente do retrabalhamento eólico sobre depósitos fluviais subjacentes aos campos de dunas. Com maior frequência verifica-se sedimentos com gênese ligada a fluxos aquosos, como arenitos médios a grossos de corpos lenticulares, expondo ciclos gradacionais, arenitos conglomeráticos associados, atribuídos a eventos torrenciais. No topo da unidade, próximos à base dos derrames da Formação Serra Geral, relata-se sedimentos lacustres de até 10m de espessura, são ritmitos contendo termos argilosos, sílticos e arenosos formando estrutura estratigráfica plano-paralela bem definida (MILANI et al, 2007 apud ALMEIDA & MELO, 1981).

2.2.1.2 FORMAÇÃO SERRA GERAL

As Províncias Basálticas Continentais (PBC) são formadas por um grande número de derrames vulcânicos em um curto intervalo de tempo em ambiente continental, no mundo são alguns exemplos: a PBC de Deccan, Columbia-River, Derrames Siberianos, Platô Etíope e Paraná-Etendeka. A PCB Paraná-Etendeka ocupa área de aproximadamente $1,3 \times 10^6$ nos continentes Sul Americano e Africano, com gênese ligada a fragmentação do Gondwana e a abertura do Atlântico Sul durante o Cretáceo Inferior. O fato de serem grandes províncias ígneas emersas, as PBC's são amplamente estudadas e sua morfologia juntamente com as características estruturais dos derrames são fundamentais na descrição da dinâmica de fluxo das lavas e possíveis condições climáticas relacionadas. (WAICHEL, 2006).

No Brasil, a PBC Paraná-Etendeka é representada pela Formação Serra Geral que constitui a Supersequência Gondwana III juntamente com os depósitos eólicos da Formação Botucatu, a Formação Serra Geral (FSG) é possivelmente a maior manifestação ígnea não oceânica durante o Fanerozoico sendo um marcante

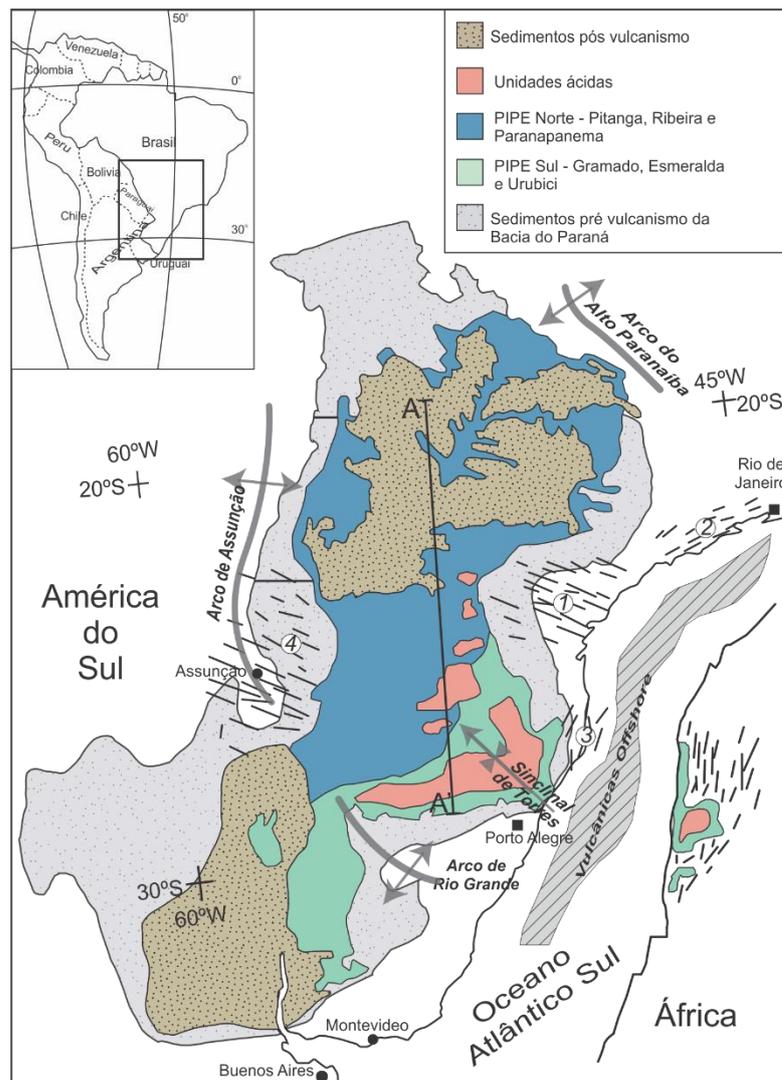
constituente da crosta continental, esses eventos magmáticos estão vinculados à campos tensoriais e forças endógenas que resultaram na separação do Pangea. No contexto da Bacia do Paraná, este magmatismo se deu em forma de espessas coberturas de lava que em alguns pontos se aproxima dos 2000 m de espessura (MILANI et al., 2007). Além dos tradicionais derrames, a FSG está presente na forma de numerosas soleiras, e grandes enxames de diques, onde os três grupos principais são representados pelo Arco de Ponta Grossa (PR), de Florianópolis (SC) e da Serra do Mar (SP) (ALMEIDA; CARNEIRO; BARTORELLI, 2012).

A classificação dos derrames quanto a sua morfologia é de extrema importância na correlação estratigráfica e padrões eruptivos do magmatismo (WAICHEL, 2006). Inseridos na FSG, os derrames apresentam diferenciação nas estruturas de fluxo e na taxa de resfriamento entre topo, base e núcleo (ALMEIDA, CARNEIRO e BARTORELLI, 2012). Além disso, outros fatores como a taxa de efusão ou erupção, a viscosidade, a topografia, taxa de deformação durante o fluxo de lava e o escape de voláteis estão diretamente ligados com a gênese do derrame (DRAGONI; TALLARICO, 1994). O escape de voláteis ocorre antes da erupção e durante a colocação do magma eleva a temperatura de equilíbrio líquido, promovendo a cristalização e interferindo na viscosidade aparente nos padrões das texturas observadas na matriz dos derrames (DRAGONI; TALLARICO, 1994).

A Formação Serra Geral pode ser regionalmente dividida conforme os magmas tipo, ao sul a sucessão de lavas basálticas de baixo Titânio (Ti) ($Ti/Y < 310$) é chamada de magma tipo Gramado, sobreposta por dacitos e riolitos Palmas. No topo da sequência basáltica lavas do magma tipo Esmeralda (PEATE; HAWKESWORTH; MANTOVANI, 1992). Basaltos de alto Ti são do magma tipo Urubici e ocupam uma pequena parte ao longo das escarpas formadas pelas sequências de lava no sul do Brasil, sendo contemporâneo e intercalado-se com o magma tipo Gramado (PEATE et al., 1999). Na porção sul dos basaltos baixo Ti, cinco episódios vulcânicos na sinclinal de Torres com base na arquitetura e estrutura vulcânica são descritos por Waichel et al. (2012). As primeiras lavas são fluxos de *pahoehoe* compostos, agrupadas no que o autor chamou de *Basaltic Volcanic Event I*, (BVEI), os fluxos que tendem a ficar mais espessos e extensos em direção ao topo da sucessão das lavas foram classificados no *Basaltic Volcanic Event II* (BVEII) o contado entre esses dois agrupamentos não é firmado de forma clara. Uma terceira manifestação vulcânica

(*Basaltic Volcanic Event III*) são derrames ‘a’a e *rubbly pahoehoe*. Além dos basaltos, dois episódios envolvendo rochas ácidas foram classificadas por Waichel et. al (2012), o primeiro em forma de domos e o segundo extensas unidades tabulares.

Figura 2 - Constituintes da Província Ígnea Paraná-Etendeka (PIPE) na porção Sulamericana, unidades litológicas e feições estruturais importantes.

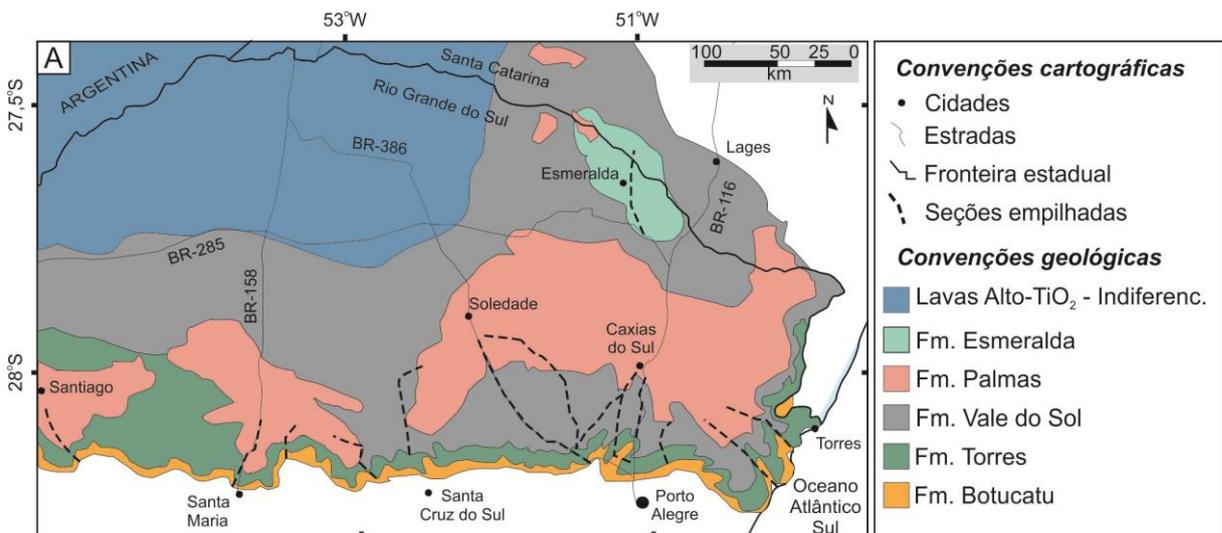


Fonte: Modificado de ROSSETI et al., 2017

Rosseti et al. (2017), considerando as diferenças na estrutura, fluxo interno e arquitetura do pacote vulcânico da região sul do Brasil, inferiu à litoestratigrafia como Grupo Serra Geral (não mais Formação Serra Geral), para tal, estudou as escarpas vulcânicas ao longo de cortes de estradas que mostram bem a estratigrafia da pilha de lavas, reclassificando de acordo com a *International Subcommission on*

Stratigraphic Classification (ISSC). Quando um magma tipo corresponde a uma única Formação, como é o caso da Formação Palmas e Esmeralda, mantem-se o nome já dado ao magma tipo, porém, quando um magma tipo é desmembrado, atribui-se novos nomes às Formações criadas, como o caso do magma tipo Gramado, dando origem a Formação Vale do Sol e Formação Torres. A figura 3 mostra a subdivisão do Grupo Serra Geral proposta pelos autores na Sinclinal de Torres.

Figura 3 - Mapa das subdivisões das Formações vulcânicas na porção sul da Província ígnea Paraná-Etendeka.

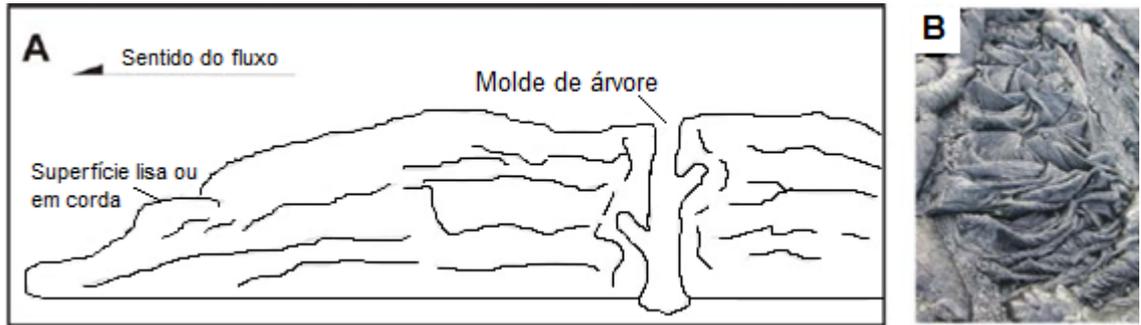


Fonte: Modificado de ROSSETI et al. 2017.

2.2.1.2.1 DERRAMES PAHOEHOE

Derrames *pahoehoe* são identificados por suas superfícies lisas, onduladas ou em corda (MACDONALD, 1953). Este tipo de derrame têm como característica a divisão de três zonas horizontais: Porção Basal vesiculada de dimensões entre 30 e 40 cm; centro denso não vesiculado que por vezes apresenta estrutura acamadada; e topo, geralmente com metade do tamanho de todo o fluxo, concentra a maior densidade de vesículas de todo o fluxo (AUBELE; CRUMPLER; ELSTON, 1988).

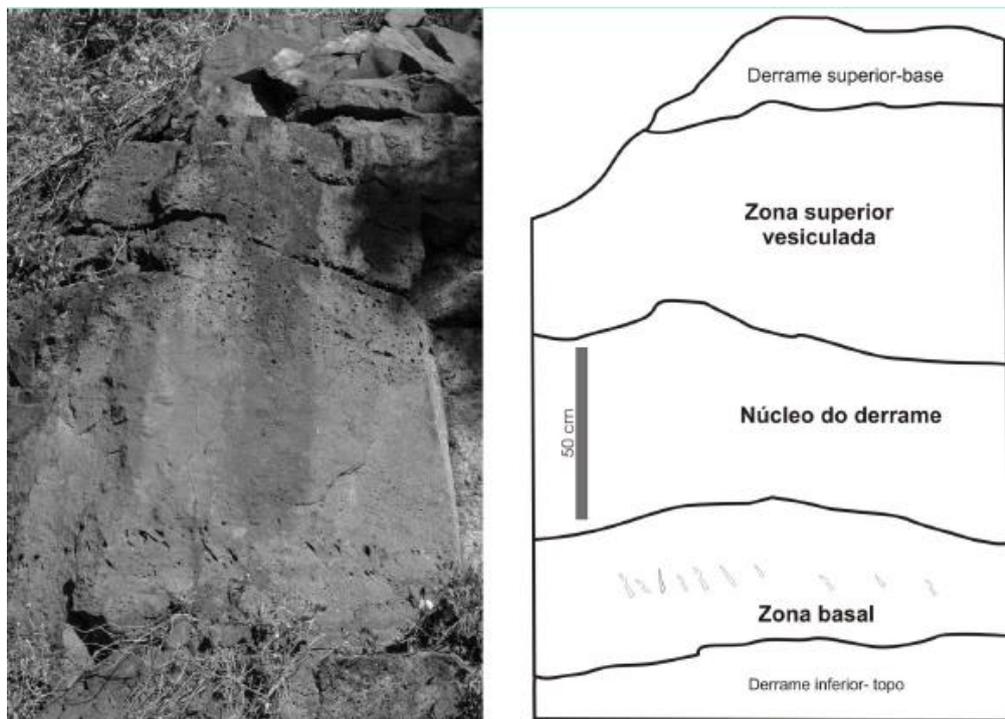
Figura 4 - Em (A) croqui esquemático dos derrames pahoehoe, em (B) foto do derrame tipo pahoehoe.



Fonte: WAICHEL, 2006

A pressão interna dos voláteis faz com que a crosta infle, proporcionando o espalhamento, espessamento e o transporte por longas distâncias. Sendo assim, os fluxos *pahoehoe* são gerados em sistemas fechados, mantendo o calor por mais tempo, o resfriamento (por condução) fica em torno de $0,5^{\circ}\text{C} / \text{km}$ (ROWLAND; WALKER, 1990). Para que esses derrames se preservem, a topografia deve apresentar uma declividade menor que 5% e um baixo volume de fluxo, menor que $5 \text{ m}^3/\text{s}$ (LIMA et al., 2012).

Figura 5 - Foto e desenho esquemático mostrando a estruturação (base, núcleo e topo) de um derrame pahoehoe na Bacia do Paraná.

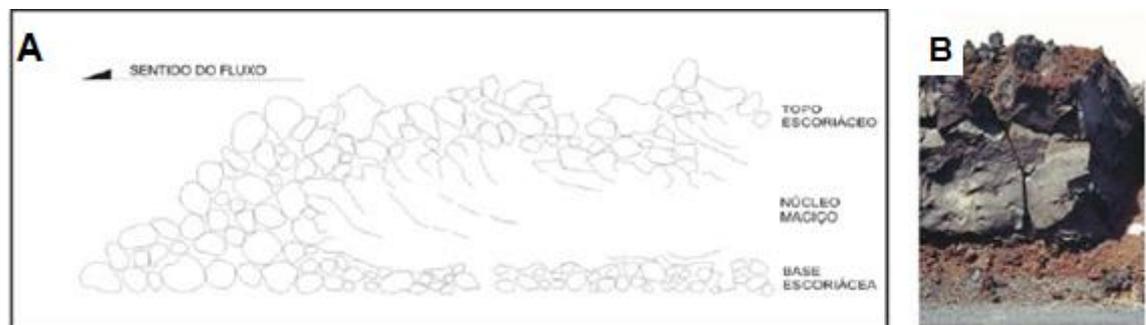


Fonte: WAICHEL, 2006

2.2.1.2.2 DERRAMES *a'a'*

Derrames *a'a'* são caracterizados por topo e base escoriáceos, vesículas alongadas e por reentrâncias das zonas escoriáceas na porção central maciça em função do avanço do derrame (McDonald, 1953; Kilburn 1990). São formados quando ocorrem em canal aberto, geralmente associados a alta taxa de erupção (McDonald 1953; Pinkerton, Sparks 1976, Rowland, Walker 1990).

Figura 6. Em (A) croqui esquemático para derrames '*a'a'*'. Em (B) foto de um típico derrame '*a'a'*'.



Fonte: WAICHEL, 2006

2.2.1.2.3 LAVA EM BLOCO

As lavas em bloco são normalmente formadas por magmas com maior viscosidade, de composição andesítica, dacítica ou riolítica (SCHIMINCKE, 2004). Possuem uma porção superior formada por fragmentos angulosos que apresentam superfícies lisas e dimensões regulares, sendo os fragmentos quase sempre poliedrais (MACDONALD, 1953).

Figura 7 - Lavas em bloco, vulcão Tuzgle, noroeste da Argentina.



2.2.1.2.4 DERRAMES *RUBBLY-PAHOEHOE*

Este tipo de derrame é caracterizado pela formação de uma crosta superior espessa e isolante, porém móvel, que é interrompida quando novos pulsos ocorrem, maiores do que aqueles que permitem a formação de um derrame *pahoehoe* típico (KESZTHELYI; SELF; THORDARSON, 2006).

Figura 8 - Quadro sobre as características dos derrames Rubbly-pahoehoe.

Tipo de Lava	Definição	Croqui	Importância
Rubbly-pahoehoe	Fluxo de lava com a base preservada e topo brechado, de morfologia diferenciada dos derrames A'A e pahoehoe		Tipo de lava transicional entre a'a e pahoehoe, formada a taxas efusivas de lava maiores que a pahoehoe

Fonte: Modificado de DURAISWAMI et al, 2014)

Figura 9 - Foto do topo de um derrame *rubbly-pahoehoe* da Fm. Serra Geral.

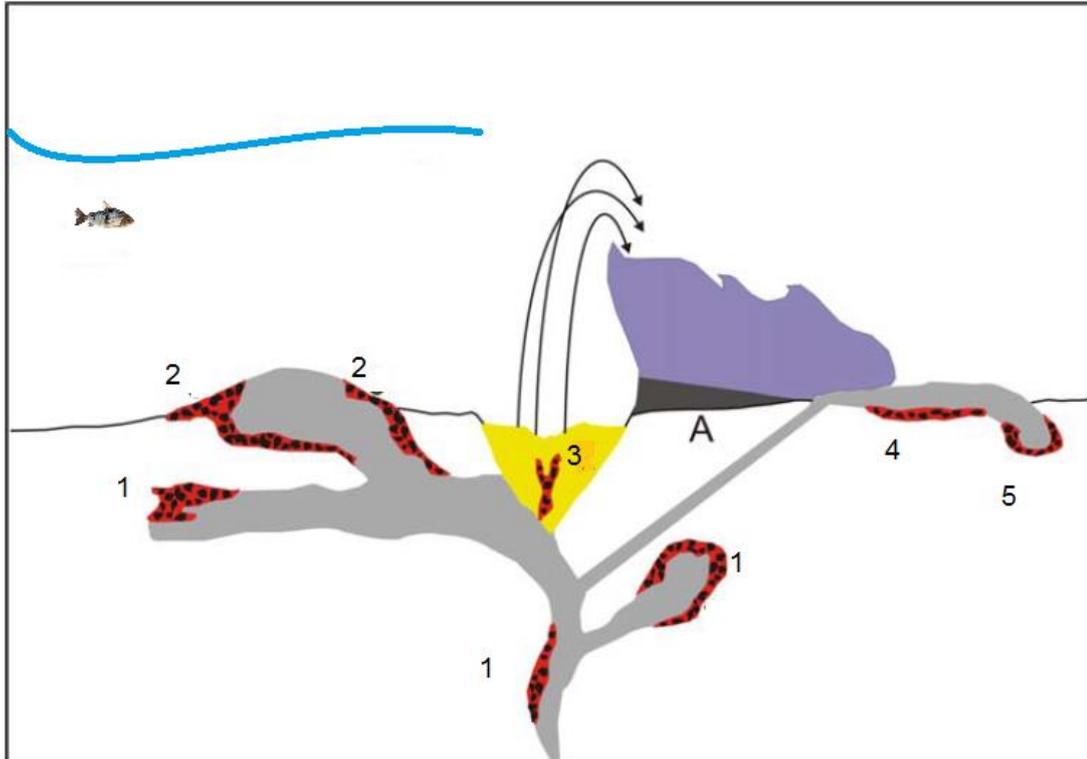


Fonte: ACOSTA, in prep., 2017

2.2.1.2.5 PEPERITOS

Segundo White (2000), o processo de interação lava-sedimento pode gerar brechas vulcanoclásticas, também chamadas de peperitos. Diversos ambientes proporcionam a formação dessas rochas, basta que o magmatismo ocorra concomitantemente com a sedimentação, ou onde o sedimento esteja inconsolidado/pouco consolidado (SKILLING; WHITE; MCPHIE, 2002). A interação em sequências sedimentares lacustres ou marinhas se dá por intrusões, e em ambiente continental por explosões freatomagmáticas em edifício vulcânico, geralmente associadas a derrames, ou então na base de depósitos piroclásticos (SKILLING; WHITE; MCPHIE, 2002).

Figura 10 - Desenho esquemático para formação de peperitos nos locais de interação entre magma e sedimentos. 1: Condicionado por intrusões. 2: Intrusões parcialmente emergentes. 3: Diques em condutos preenchidos por rochas vulcanoclásticas. 4: Base dos derremas. 5: Borda de derrames invasivos. A: Base de depósitos piroclásticos.



Fonte: Modificado de WHITE, 2000

2.3 CALHA DE TORRES

Muitos trabalhos abordam a calha de Torres como uma sinclinal, termo este não relacionado com a geologia estrutural, uma vez que esta calha já durante o Permiano e influenciou diretamente na deposição dos sedimentos formadores das rochas sedimentares sotopostas a FSG (HOLZ et al., 2006). É comum encontrar pesquisas sobre a geologia da região usando este segundo termo, como nos trabalhos de SIMÕES et al., (2014), WAICHEL et al., (2012) e LIMA et al., (2012). A divisão da Formação Serra Geral na Sinclinal de Torres pode ser feita configurando três porções: uma calha principal, uma zona intermediária e uma ombreira ao Sul, com estratigrafia e espessuras diferenciadas entre elas mostrando a evolução estrutural da região. Os derrames do tipo *pahoehoe* marcam os primeiros episódios vulcânicos nessa Sinclinal, com baixa taxa de efusão ($<5 \text{ m}^3/\text{s}$), são do tipo *ponded*, dispostas nos

espaços interdunas da Formação Botucatu. Um segundo episódio é caracterizado por derrames tabulares que chegam a 3m de espessura, nos casos mais raros, com taxas efusivas semelhantes a da primeira manifestação. Morfologia do tipo 'a'a' marcam a terceira manifestação, podem ser relacionadas com um aumento na taxa de efusão (LIMA et al., 2012).

Figura 11 - Sinclinal de Torres, região sul da Bacia do Paraná



Fonte: LIMA et al., 2012

A morfologia da Sinclinal de Torres se dá no Vale Principal por uma conjuntura de fácies, uma delas é composta por derrames *ponded pahoehoe* de considerável espessura, nos espaços interdunas da Formação Botucatu. Outra fácies dessa porção da Sinclinal é constituída por derrames *pahoehoe* anastomosados (lobos e *pahoehoe*

compostos). Em altitudes a partir de 630m tem-se derrames do tipo 'a'a com espessuras variando entre 15m e 20m, os blocos do topo e da base desses derrames são bastante vesiculados e sub-arredondados e internamente deformados pelo fluxo, sugerindo que foram gerados no limite rúptil-dúctil de fragmentação. Nas partes mais altas do Vale Principal da Sinclinal de Torres sucessivos derrames ácidos intercalam-se com derrames basálticos 'a'a, atingindo até 400m de espessura (WAICHEL et al., 2012).

Geoquimicamente as rochas basálticas na sinclinal de Torres derivam do magma tipo Gramado (SIMÕES et al., 2014). O magma tipo Gramado deu origem a Formação Torres (FT) e Formação Vale do Sol (FVS) (ROSSETTI et al., 2017), a primeira é quimicamente mais primitiva que os derrames *pahoehoe* compostos e recobrem quase que na totalidade a Formação Botucatu. A FVS é formada pelo empilhamento tabular de derrames *rubblly-pahoehoe* de composição basáltica andesítica predominantemente, disposta acima da FT.

2.4 GEOLOGIA DE TORRES-RS

A cidade de Torres, no extremo nordeste do estado do Rio Grande do Sul está situada geograficamente na planície costeira, apesar disso ocorrem excelentes exposições da Bacia do Paraná, como a Fm. Botucatu e principalmente da Fm. Serra Geral.

2.5 PARQUE ESTADUAL DA GUARITA

Localizado no município de Torres no nordeste do estado do Rio Grande do Sul, região sul do Brasil, o Parque Estadual da Guarita criado em 1971 após iniciativa do ambientalista José Lutzenberger, tem como objetivo preservar a diversidade biótica e o valor paisagístico desta porção diferenciada do litoral gaúcho (HORN; ALICE; DIAS, [s.d.]). São exemplos de constituintes interessantes do ponto geológico e geomorfológico da região o Morro do Farol (0,2 km²), Morro das Furnas (0,13 km²) (FIGURA 12), Morro das Cabras (de área muito pequena) e Torre Sul (0,1 km²) (PETRY; DE ALMEIDA; ZERFASS, 2005).

Figura 12 - Morro das Furnas, Parque Estadual da Guarita



2.5.1 PRAIA DA GUARITA

Na praia da Guarita tem-se basaltos da Fm. Serra Geral aflorando em formas característica de morros de testemunhos de espessuras de até 27m. São basaltos com disjunção tabular, disjunção colunar e basaltos vesiculares/amigdaloidais. O primeiro com disjunção tabular é caracterizado pela presença predominante de disjunções horizontais que pode ter sido gerada pelo resfriamento ou pelo fluxo da lava. Já os basaltos colunares são marcados pelas disjunções colunares bem desenvolvidas novamente por processos de resfriamento. A litofácies basalto vesicular/amigdaloidal é descrita pela intensa presença de vesículas geradas pelo escape de voláteis durante o fluxo, sempre em direção ao topo do derrame, que quando preenchidas tornam-se amígdalas, nesta porção o preenchimento ocorre por quartzo, zeolita ou carbonato. É comum encontrar a sucessão de fácies com o basalto tabular na base do derrame, seguido pelo colunar e ao topo o vesicular/amigdaloidal (PETRY; DE ALMEIDA; ZERFASS, 2005).

Figura 13 - Vista aérea da praia da Guarita, ao fundo tem-se o Torre Sul, ao centro a Agulha da Guarita.



2.6 LASER SCANNER TERRESTRE

Os equipamentos chamados de Laser Scanner Terrestres são aqueles capazes de fazer a varredura através da emissão de um feixe de laser que obtém dados de uma determinada área. Existem diversos modelos com diferentes especificações, sendo que os objetivos variam de acordo com a ciência vinculada, onde os produtos gerados são modelos em três dimensões que geralmente permitem analisar dados quantitativos e qualitativos do objeto de estudo, como volume, área, geometria, entre outros. O modelo usado nesta pesquisa é o *LASER SCANNER GLS 1500* da empresa *TOPCON*.

2.6.1 APLICAÇÃO NA GEOLOGIA

A aplicação da modelagem em três dimensões através de um *laser scanner* terrestre é feita na maioria dos casos por uma sequência de etapas, análoga em todos os trabalhos deste viés. A diferença maior é no modelo do aparelho e no software utilizado no tratamento dos dados, variando as diferentes técnicas dentro dos softwares de acordo com o objetivo das pesquisas.

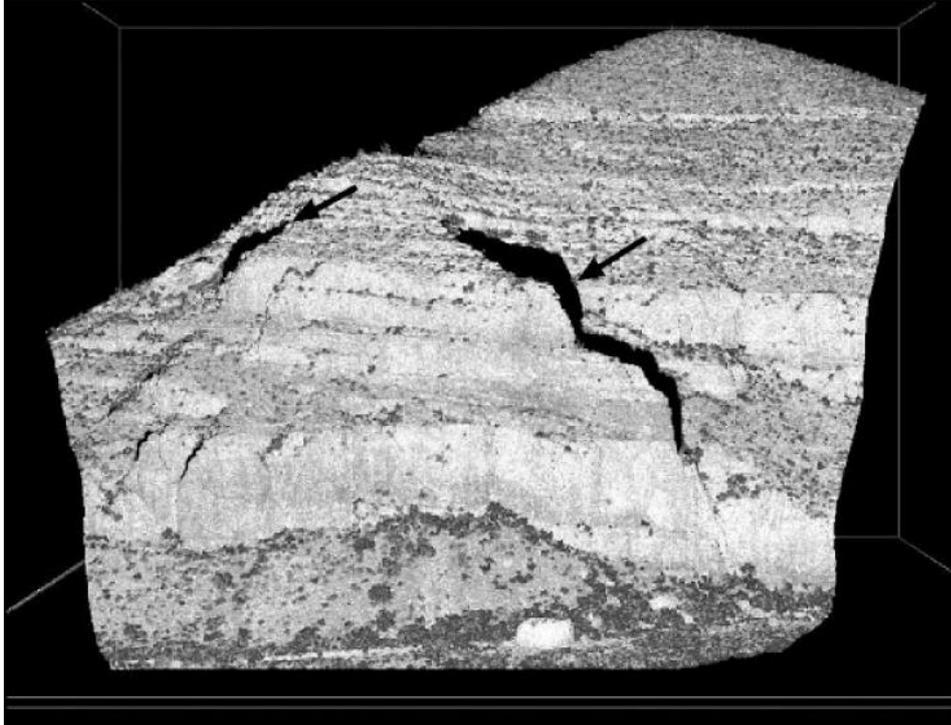
Figura 14 - Modelo Riegl LMSz de laser scanner com câmera digital acoplada utilizado por Hodgetts, 2013.



Fonte: HODGETTS, 2013

Para cobrir um afloramento que possui muitas reentrâncias e saliências é preciso executar varreduras de diversas perspectivas e combinar com medidas estratigráficas tradicionais de campo, permitindo o rastreamento de horizontes estratigráficos e informações mais precisas em 3D. O processo para obtenção das cenas pelo laser scanners é semelhante ao de fotografias convencionais, mas o tempo de aquisição é maior e varia de acordo com a resolução desejada e distância do objeto de estudo. (BELLIAN; KERANS; JENNETTE, 2005). Na figura 15, tem-se o exemplo de zonas de oclusão deixadas por uma tomada de cena.

Figura 15 - Nuvem de pontos do Monte Victório, Texas, EUA. A região em preto não foi capturada por uma única posição de varredura.

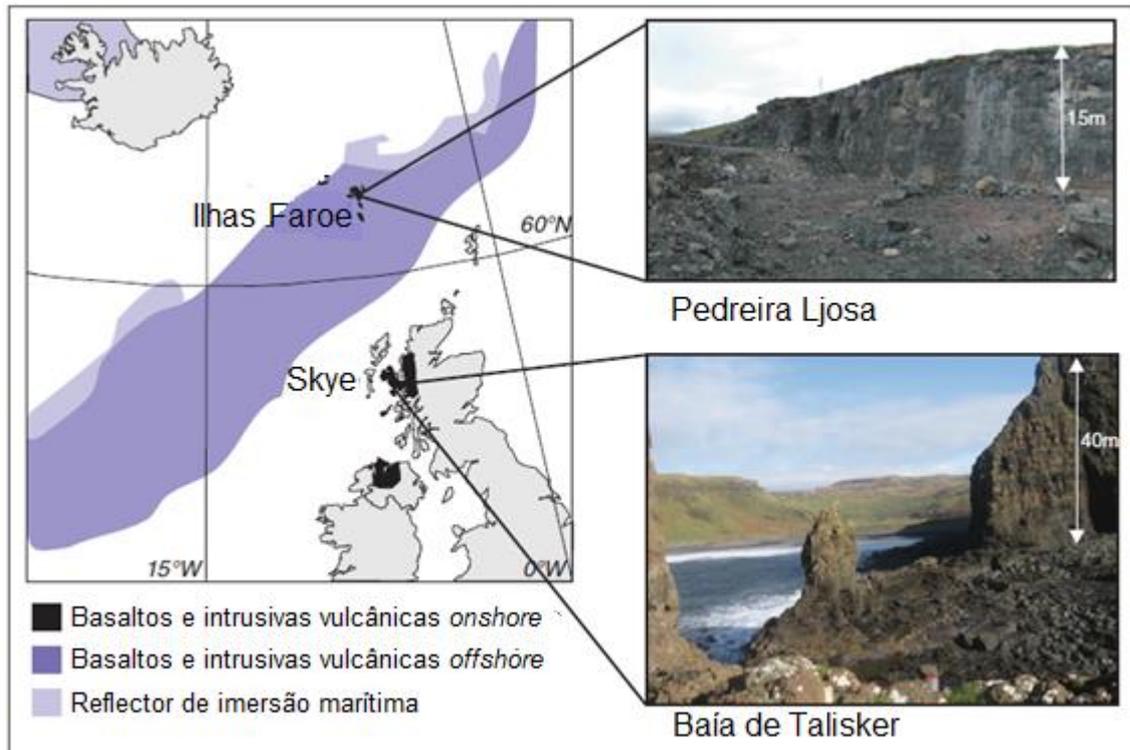


Fonte: BELLIAN; KERANS; JENNETTE, 2005

Os princípios na aquisição feita pelo equipamento em campo tem início na determinação do local, seguida pela identificação dos acessos e estruturação dos equipamentos na área de estudo. Calcula-se quantas varreduras serão necessárias para cobrir a área, e determina-se as posições em que o laser ficará. Posteriormente posiciona-se os alvos que referenciam o laser em pontos interessantes e inicia-se a varredura.

Partindo destes princípios, diversos âmbitos de pesquisa utilizam-se de tal metodologia, Nelson et al. (2011) aplicou a modelagem em três dimensões no estudo da heterogeneidade e estruturas de fluxo em derrames basálticos na Província Ígnea do Atlântico Norte (NAIP) (FIGURA 16). Os critérios na escolha dos locais considerou a possibilidade de correlacionar a arquitetura de fácies dos derrames, dispostos em uma escala que o equipamento é capaz de trabalhar, o acesso e o mapeamento em detalhe já realizados na área foi outro fator preponderante. Outra motivação é a integração de técnicas que envolvem a exploração de hidrocarbonetos, considerando que a relação entre margens passivas como a NAIP, vulcanismo e recursos energéticos é muito próxima.

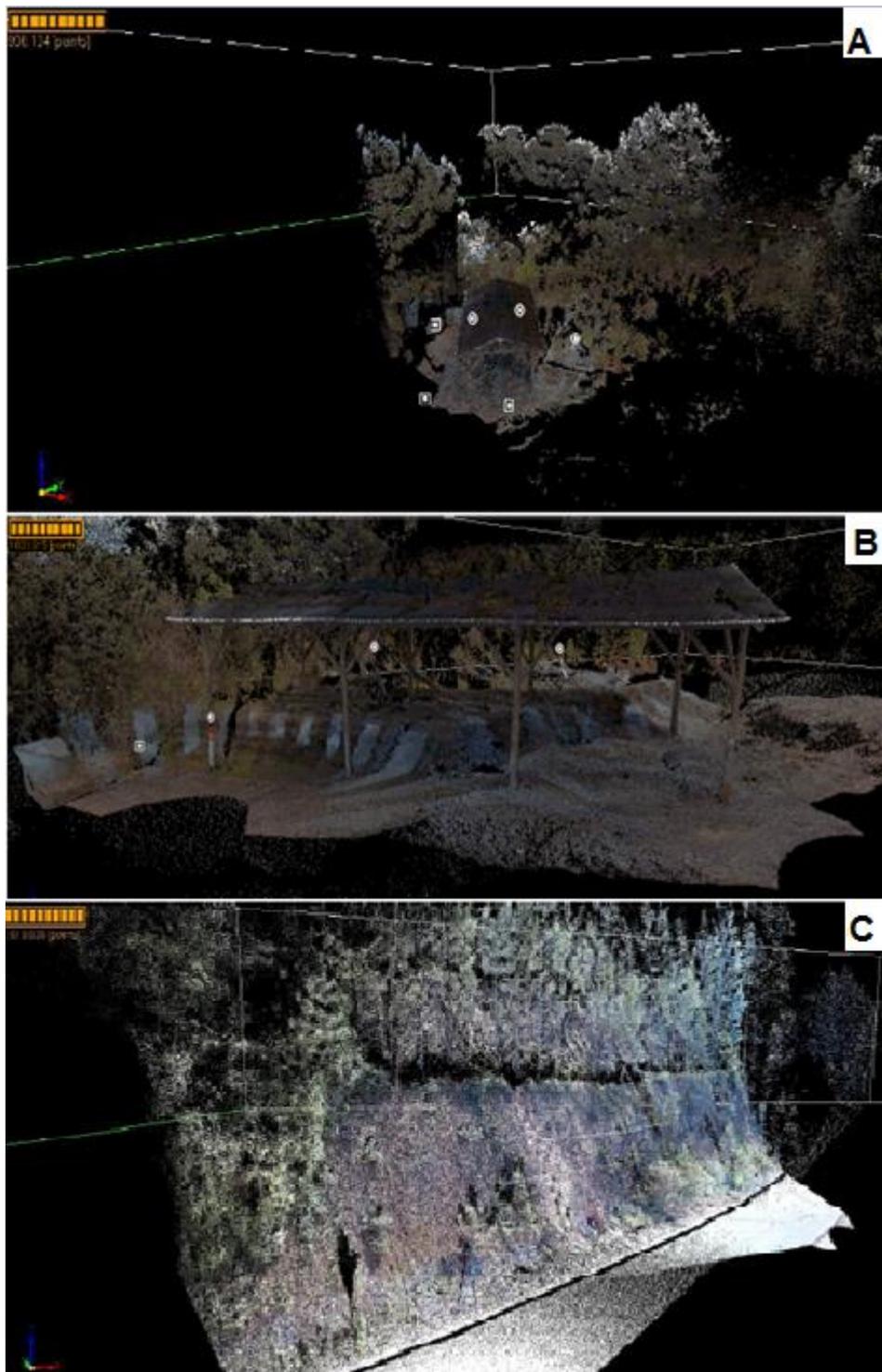
Figura 16 - Localização da área de estudo, Ilhas Faroer e Ilha Skye.



Fonte: NELSON et al, 2011

Borges et. al, (2016) utilizaram de tal metodologia para resguardar o formato de um afloramento intitulado Campaleo, que possui grande potencial fóssilífero, da Formação Campo Mourão na Bacia do Paraná, localizado na cidade de Mafra, SC e também para obter o modelo de um talude em Nova Trento, SC. Os equipamentos utilizados foram o *laser scanner* modelo *GLS1500 TOPCON* e os dados tratados no *software ScanMaster*. Do talude obteve-se dados sobre topografia, inclinação e tamanho, que auxiliou em tratamentos posteriores em laboratório (BORGES et al., 2016).

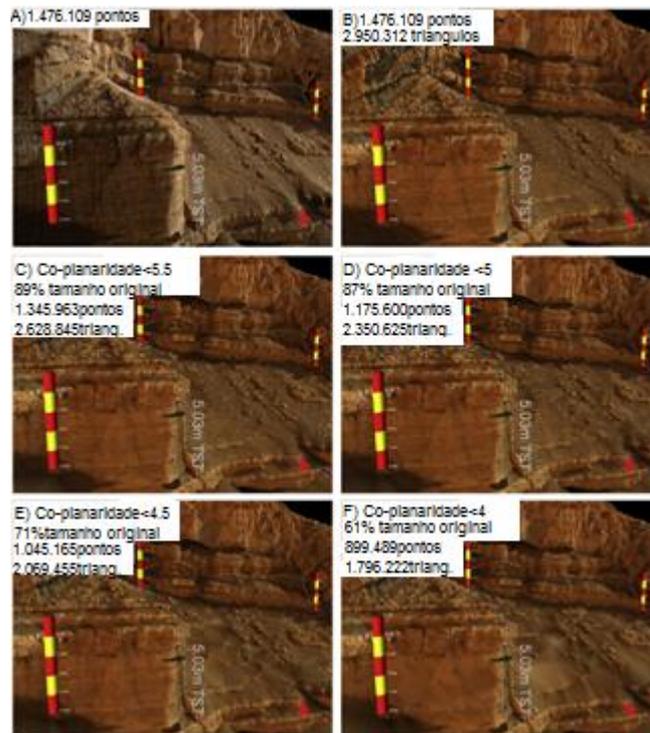
Figura 17 - Modelo 3D do afloramento Campaleo, em (A) vista superior destacando as posições dos alvos (círculos brancos) e as posições do laser (quadrados brancos). Em (B) vista lateral do afloramento. (C) 3D do talude na cidade de Nova Trento, SC.



Fonte: BORGES et al., 2016

Hodgetts (2013) fez uso do escaneamento terrestre para obter heterogeneidades em subsuperfícies, auxiliando na interpretação do sistema deposicional de forma mais quantitativa do que uma análise geoestatística, influenciando a pesquisa para a indústria do petróleo. Porém, o método de referenciamento das nuvens de pontos utilizado é diferente dos realizados por Nelson et al, 2011 e Borges et al, 2016. Hodgetts, (2013) utilizou o método de triangulação que consiste em unir diversos pontos da nuvem por uma série de triangulações com objetivo de formar uma superfície sólida. Há diversas maneiras de efetuar a triangulação, mas o método adotado neste trabalho foi o *Delaunay*, que minimiza os erros na malha de triangulação. O processo de geração da malha envolve o número de pontos contidos na nuvem, uma nuvem com n pontos segue a fórmula $2n-2-k$, onde k é o número de pontos ao redor do dado, isso significa que uma nuvem de pontos com 1,000,000 de pontos pode gerar uma malha com até 1,999,998 triângulos (de acordo com a geometria geral). Com a orientação dos triângulos dentro da malha é possível obter dados sobre relevo, direção de mergulho das camadas e curvatura.

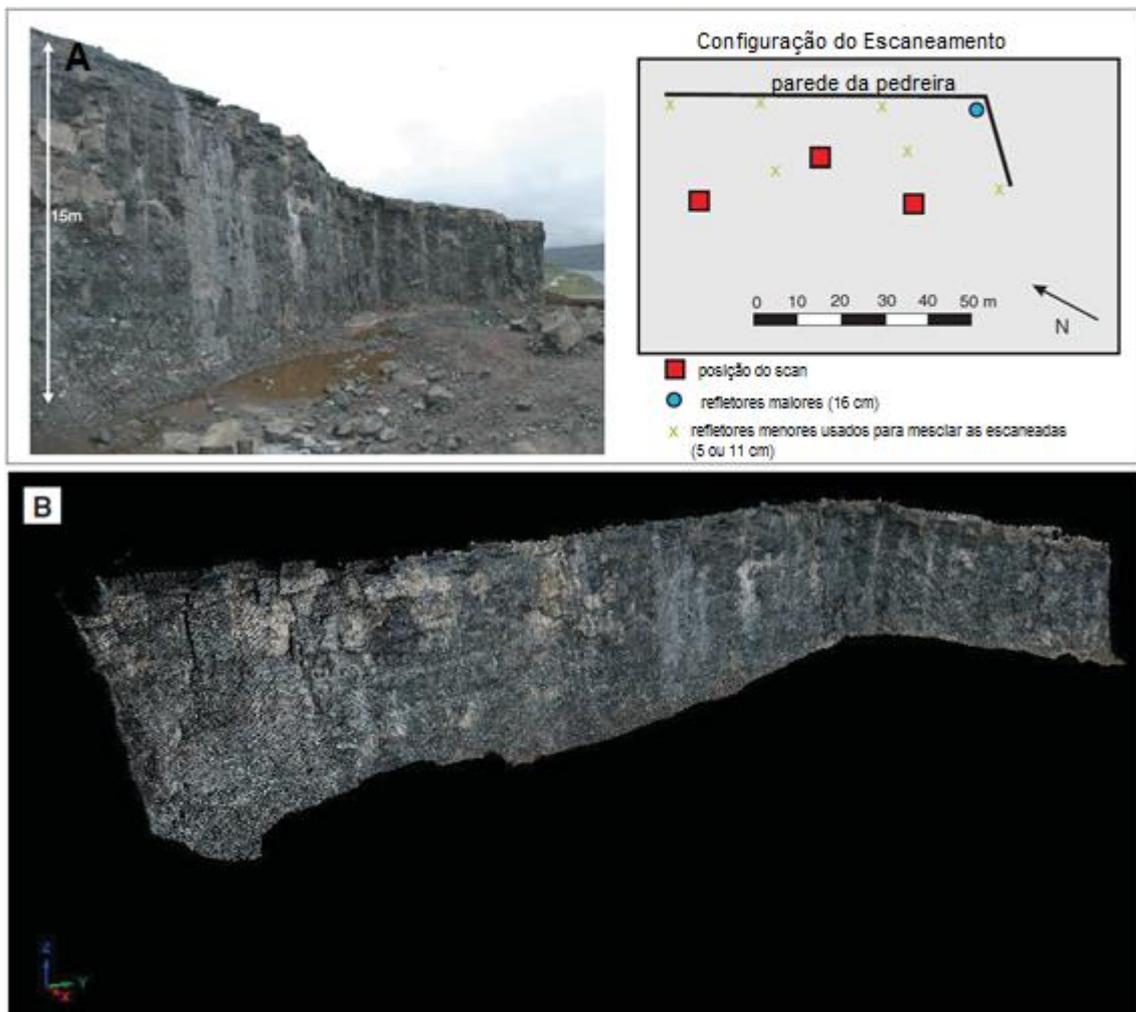
Figura 18 - Modelos gerados por Hodgetts, 2013. (A) triangulação malhas menores que 10cm, (B) com malhas adaptadas, (C à F) com base no grau de co-planaridade de todos os pontos em um raio de 10cm, a medida que o grau de filtragem aumenta, o número de pontos e triângulos na malha diminui, com perda de detalhe nos dados associados e com aumento no agrupamento dos dados.



Fonte: Modificado de HODGETTS, 2013

Não há restrições para o tamanho dos afloramentos a serem escaneados, desde que atendam a escala de aquisição, entretanto, cada local pode oferecer algum tipo de condicionante no momento da aquisição. O primeiro afloramento abordado por Nelson et al, 2011, a pedra Lsoja, tem dimensões aproximadas de 75m de largura por 20m de altura. Neste caso, a dificuldade maior está atribuída ao fato da pedra apresentar ângulo reto entre suas faces, porém o aparelho pode construir a modelagem extrapolando lateralmente a interpretação, utilizando-se de três varreduras, coletando um total de 8.600.000 pontos com espaçamento de 10mm entre cada ponto da face do afloramento.

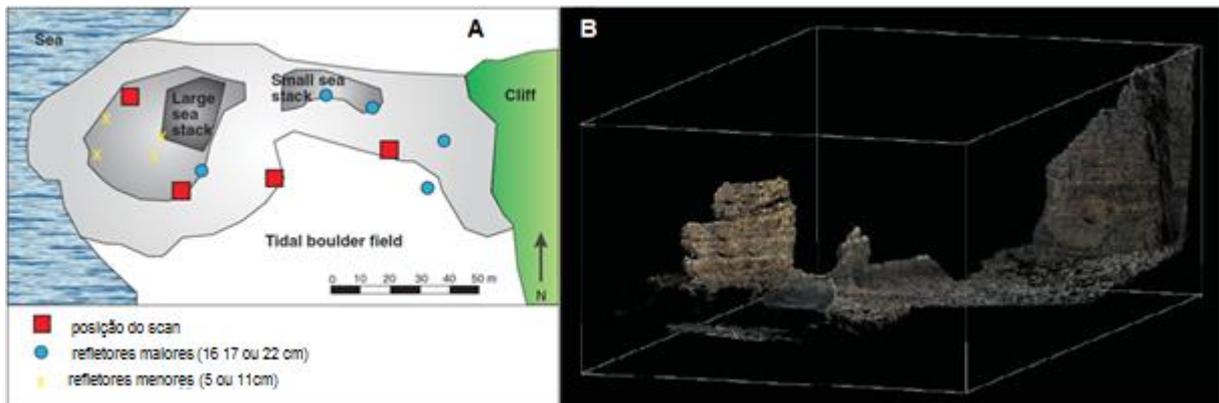
Figura 19 - (A) Local de varredura e croqui destacando os alvos refletivos e a posição do aparelho durante as escaneadas. (B) Modelo 3D da pedra Lsoja, gerado a partir do software GSI3D.



Fonte: Modificado de NELSON et al., 2011

Já o segundo local trabalhado por Nelson *et.al*, (2011) na Baía de Talisker, a limitação está ligada com a maré, os momentos de cheia condicionou a coleta de dados prejudicando a abordagem, entretanto os dois morros testemunhos e o *Cliff* expõem bem as sequências vulcânicas, possibilitando uma boa correlação.

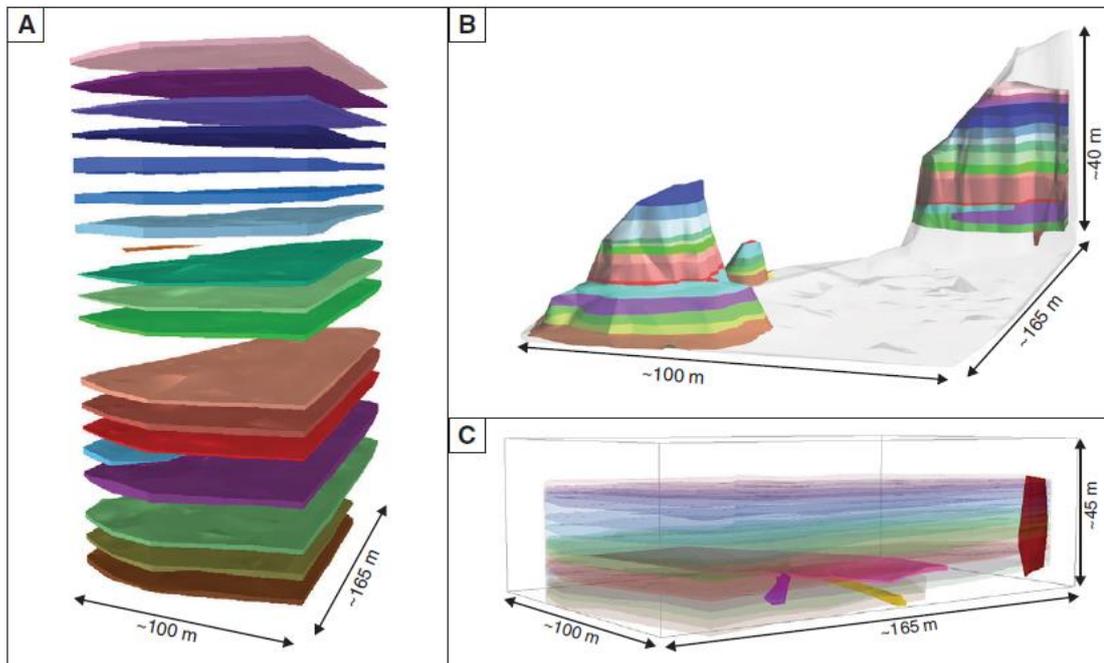
Figura 20 - Em (A) Croqui da Baía de Talisker, em vermelho as posições do aparelho para a varredura, em azul e amarelo os refletores que referenciam o scanner. Em (B) o modelo 3D do local, após interpolação das nuvens de pontos.



Fonte: Modificado de NELSON et al., 2011

Após a aquisição direta e da primeira montagem do modelo 3D, o processo subsequente é o processamento dos dados dentro dos softwares, de acordo com o objetivo de cada pesquisa. Nelson et. al, (2011) por meio do *software GSI3D* utilizaram de tais modelos para suprir dados de perfis sísmicos com pouca acurácia devido as diferentes densidades dos derrames. Outra atribuição importante é melhorar a exposição em três dimensões, através do modelo geológico final que provém diversas informações, por meio de furos virtuais e secções transversais de qualquer área. É útil na identificação de heterogeneidades e padrões do empilhamento vulcânico, também é de fácil aquisição o volume, porém como o volume é do modelo final, não representa de forma fidedigna o fluxo original. Juntamente desses dados, o modelo provém com detalhes a heterogeneidade que compõe o fluxo de lava composto, as estruturas internas e feições irregulares como diques, *sills*, e tubos de lava, topografia, espessura dos derrames e razão núcleo-crosta, fornece a visualização completa do afloramento, além da possibilidade de exportar na forma de *GIFs (Graphics Interchange Format)* como mostra a figura 21.

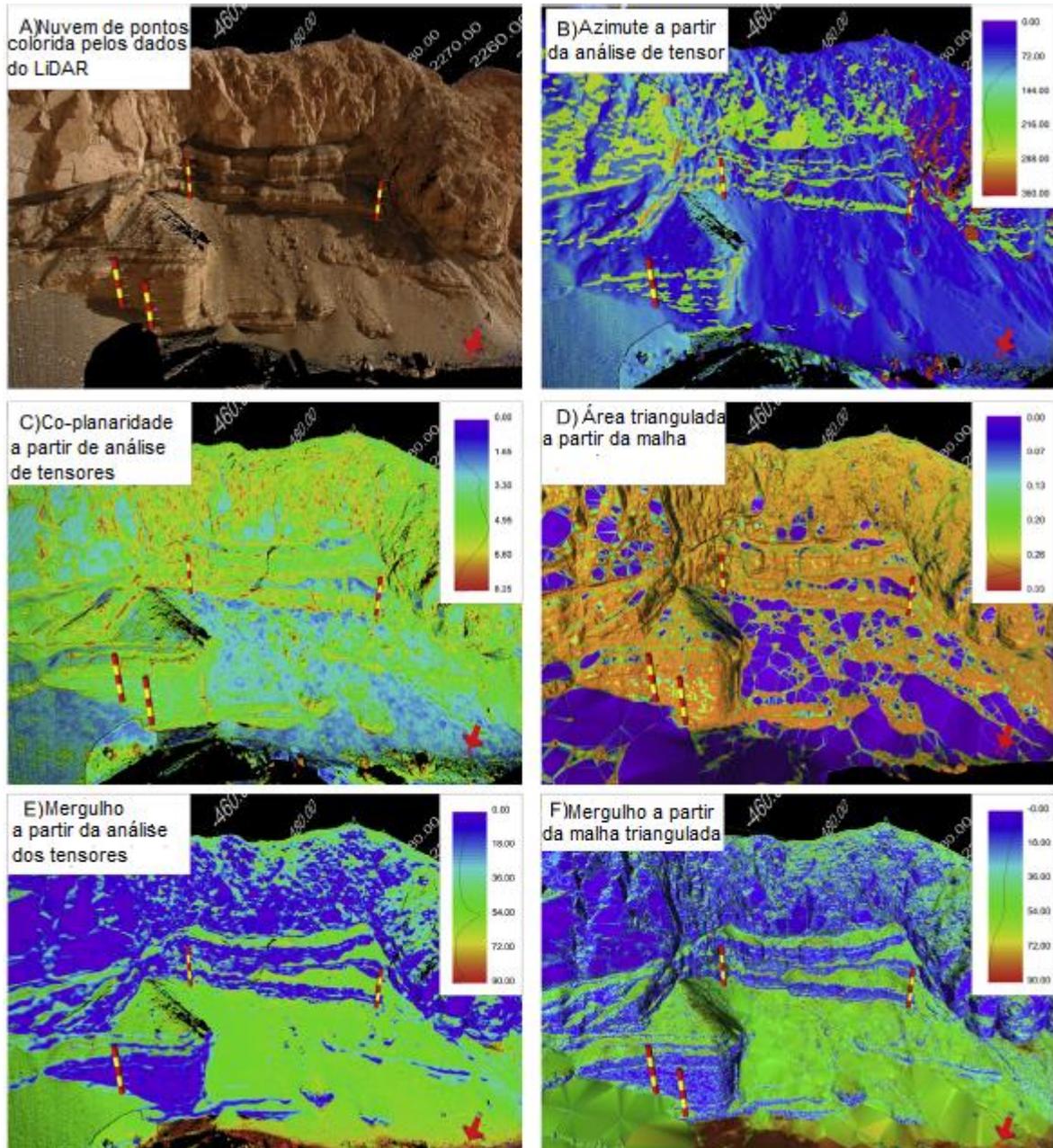
Figura 21 - Em (A) a extrapolação dos fluxos de lava e camadas sedimentares, em (B) topografia no dia da aquisição. Em (C) o destaque de sills, diques e tubos de lava, na Baía de Talisker, geradas pelo GSI3D. GIF disponível em: www.gsapubs.org.



Fonte: NELSON et al., 2011

Já no trabalho realizado por Hodgetts, (2013), utilizou-se dentro do software canais RGB (FIGURA 22) providos das imagens digitais adquiridas junto do escaneamento, neste caso deve-se considerar a interferência das condições climáticas nos resultados, que recebe assim como fotografias em geral, a variação da luminosidade, sendo importante considerar horário, local e sombras nas imagens 2D que podem levar a uma aparência irreal, a configuração da câmera deve ser feita de maneira que minimize esses efeitos.

Figura 22 - As figuras abaixo mostram os diferentes métodos de análise da nuvem de pontos, a barra de escala é de 5 m em todas as figuras. (A) Nuvem de pontos colorida a partir dos dados do LiDAR. (B) Dados de azimutes da superfície derivados das análises de tensores nas nuvens de pontos. (C) Co-planaridade das análises dos tensores. (D) Área do triângulo em uma malha decimétrica mostrando a variação no tamanho do triângulo. (E) Mergulho derivado da análise dos tensores na nuvem de pontos. (F) Mergulho dos triângulos numa malha decimétrica A escala de cores mostra valores, bem como histogramas (valor crescente para a direita) para cada parâmetro que mostra a distribuição de valores dentro dos dados alcance.



Fonte: HODGETTS, 2013

3. MATERIAIS E MÉTODOS

3.1 EQUIPAMENTOS

Utilizou-se para a pesquisa, materiais de campo como caderneta, martelo petrográfico, bússola *BRUNTON* para obter atitudes dos afloramentos na praia da Guarita (contatos entre litologias, disjunções, foliações de fluxo, alongamento de vesículas) e câmera fotográfica, além disso fez-se uso de um laser scanner terrestre, neste caso o modelo *Laser Scanner TOPCON GLS 1500* pertencente ao Departamento de Geociências da UFSC. Segundo a empresa fabricante, *TOPCON*, o aparelho tem alcance máximo de 500m para a aquisição dos pontos e velocidade máxima de aquisição de 30.000 pontos por segundo, a uma distância de 150m do objeto de estudo a acurácia é de 4mm, além de possuir câmera digital integrada. No quadro 1 tem-se as especificações do modelo, fornecidas pela fabricante.

Quadro 1 - Especificações do Laser Scanner GLS 1500

Unidade Scanner	
Máximo alcance	
90% refletância	Modo Normal: 330m Modo longo: 500m
18% refletância	Modo Normal: 150m Modo longo: 230m
Mínimo Alcance	1m
Precisão em único ponto	
Distancia (de 1 a 150m)	Modo Normal: 4mm Modo Longo: 7mm
Ângulo (H&V)	6"
Precisão de superfície (de 1 a 150m)	Modo Normal: 2mm Modo Longo: 3mm
Detecção precisa dos alvos	3" a 150m (164 pés)
Taxa do Scanner	30,000 pontos/segundo
Resolução do Scanner	
Tamanho do ponto	<6mm de 1 a 40m
Densidade de amostras máxima	1mm a 20m
Campo de visada (por Scanner)	
Horizontal	360° (máximo)
Vertical	±35°(máximo)
Laser	
Tipo	Pulsos (tempo de voo)

Comprimento de onda	1535nm (invisível aos olhos)
Classe do laser	1
Câmara Digital	
Campo de visada	Aproximadamente 22°(V) x 15.5° (H)
Número de pixels	2 megapixels
Compensador de Inclinação	
Tipo	Sensor de inclinação de eixo duplo
Alcance de compensação	±6'
Display	
Tipo	LCD com luz de fundo, 20 caracteres x 4 linhas
Interface	
Memória	SD e SDHC cartões de memória
Wireless LAN	IEEE 802.11b
USB	Tipo mini B Ver. 2.0
Fonte de Energia	
Bateria renovável (BT-65Q)	5Ah. 7.4V
Tempo de operação	4 horas com as 4 baterias
Tensão de entrada	12V DC
Condições externas	
Temperatura de operação	0°C até 40°C
Temperatura para armazenamento	-10°C até 60°C
Proteção à água e poeira	IP52 (IEC 60529)
Características físicas	
Dimensões (com a alça)	240(D) x 240 (W) x 566 (H) mm
Altura do equipamento	410mm
Peso	16kg (sem baterias e suporte)

Fonte: <http://www.topcon.co.jp>

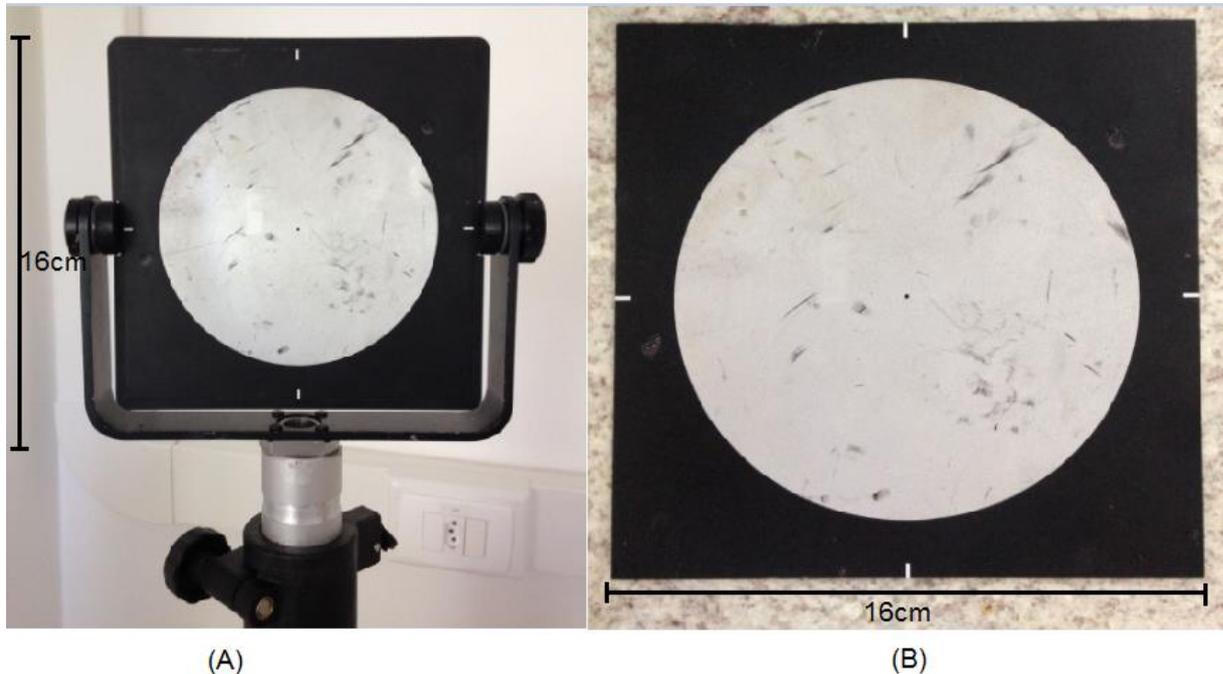
Além do *laser scanner* (modelo GLS 1500 *TOPCON*), alguns acessórios são necessários para aquisição dos dados, como tripés e alvos referenciadores. O corpo do aparelho principal contém uma parte inferior com *display* onde é feito todos os comando necessários, entradas USB, para cartão de memória e baterias e uma parte superior móvel entorno da base com duas janelas de onde saem os feixes que obtém a nuvem de pontos, fixado em um tripé que permite que o equipamento fique totalmente estabilizado.

Figura 23 - Em (A) o equipamento Laser Scanner GLS1500 TOPCON. Em (B) o equipamento suportado pelo tripé, ao lado do alvo de referência também integrado ao tripé de apoio.



Os alvos são usados para que o aparelho se referencie espacialmente e são dispostos no local utilizando-se de tripés ou fixando diretamente no objeto, são feitos de material especial do qual o *laser scanner* seja capaz de reconhecer seu centro e registrar sua posição dentro da nuvem de pontos. Os dados após adquiridos são importados do cartão de memória para um computador e recebem o tratamento no software *ScanMaster2* desenvolvido pela *TOPCON*.

Figura 24 - Alvos utilizados para o referenciamento das nuvens de pontos. Em (A) o alvo já fixado no suporte, em (B) apenas o alvo.



Além da análise geológica local, registrou-se na caderneta de campo a configuração espacial dos equipamentos no momento da aquisição de cada cena.

3.2 TRABALHO DE CAMPO

Esta etapa ocorreu no mês de junho de 2017, efetuada em um dia para aquisição dos dados geológicos e dados digitais pelo laser scanner. É importante ressaltar que o equipamento demanda espaço considerável para o transporte, devido ao aparelho principal, alvos e inúmeros tripés, portanto um automóvel que possibilite o transporte do equipamento e da equipe se faz necessário. Três pessoas constituíram a equipe de trabalho, número ideal para locomoção e otimização do tempo de aquisição dos dados preliminares, principalmente na montagem de cena, tendo em vista que o clima e luminosidade interferem nas tomadas de cena e podem variar ao longo do dia. A otimização do tempo torna-se importante também em relação as baterias alimentadoras do laser, que sem fonte de carregamento externo perduram por cerca de quatro horas, limitando o período de atuação.

3.3 AQUISIÇÃO E PROCESSAMENTO

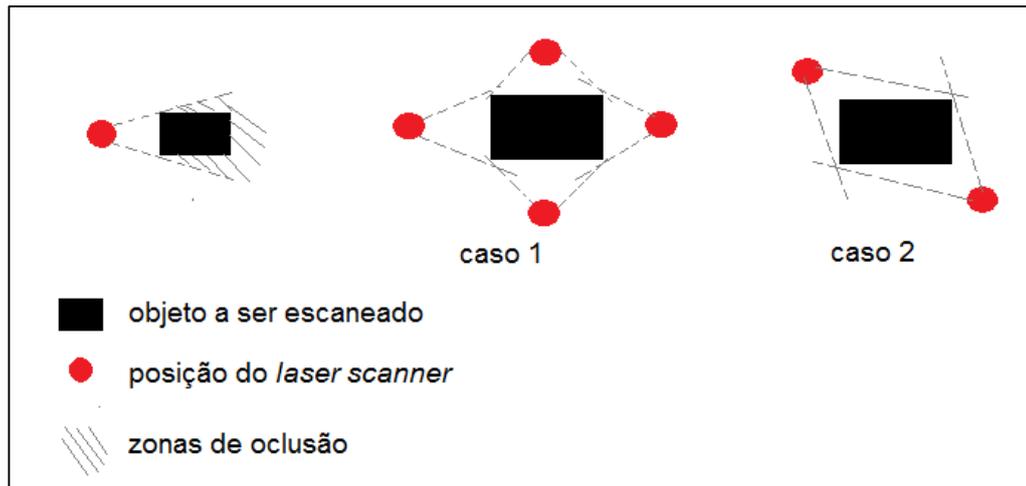
3.3.1 AQUISIÇÃO

Para aplicar o método de escaneamento digital através de um *laser scanner* é necessário uma sequência de etapas. Primeiramente analisar o tamanho e a geometria do objeto a ser modelado, para isto deve-se considerar a acessibilidade ao local. Em seguida planeja-se quantas varreduras serão necessárias para obtenção de nuvens de pontos suficientes para gerar o modelo (cada varredura gera uma nuvem de pontos). Condicionados pela quantidade de varreduras estão, o número de alvos, a malha de pontos e a janela de escaneamento. Alguns termos como: estacionada, varredura/escaneada, nuvem de pontos, são de importante compreensão. A **Estacionada** é a posição que se coloca o *laser scanner* para efetuar a varredura/escaneada. A **varredura** ou **escaneada** é a aquisição da nuvem de pontos. A **Nuvem de pontos** é o conjunto de pontos capturados pelo aparelho em uma determinada malha espacial, horizontal e vertical. Ela fornece uma cena do objeto de estudo, que interpolada com as demais nuvens (cenas) resultará no modelo em três dimensões. A **Malha de pontos** é a distância entre os pontos obtidos. Por exemplo, uma malha vertical de 50 mm significa que serão obtidos pontos com maior precisão a cada 50 mm no sentido vertical da varredura, analogamente, uma escala de 50 mm na horizontal significa que serão obtidos pontos a cada 50mm na escala horizontal da varredura. É preciso determinar as duas escalas antes da varredura, não necessariamente com o mesmo valor. Essa configuração é feita através do display do aparelho antes de se iniciar o processo de escaneamento, e varia de acordo com o nível de detalhe desejado e tamanho do objeto.

Um objeto do qual deseja-se escanear por completo (360°) que é o caso do afloramento da Agulha da Guarita, demanda uma montagem mais complexa comparando-se a situações cujo objetivo é obter apenas uma face, isso porque a obtenção dos pontos é feita diretamente da janela que o aparelho alcança, não sendo possível adquirir dados de partes oclusas ao campo de visão do *laser*, chamadas zonas de oclusão. Sendo assim calcula-se quantas varreduras (ou estacionadas) deverão ser efetuadas para cobrir toda a área desejada. Na figura 31, o caso 1 demonstra a montagem com o *scanner* posicionado perpendicular as faces do objeto,

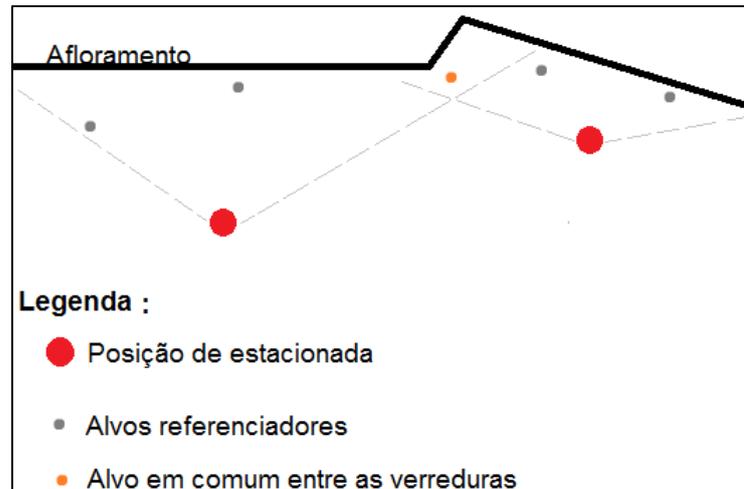
com pouco aproveitamento, necessitando de mais estacionadas para cobrir as zonas de oclusão, já o caso 2 com o *scanner* posicionado de frente aos vértices, apresenta uma situação ideal, na qual tem-se toda a área coberta com o menor número de estacionadas possíveis.

Figura 25 - Croqui esquemático demonstrando as zonas de oclusão e dois casos possíveis para aquisição dos dados pelo laser scanner. Caso 1: equipamento disposto perpendicular as faces do objeto. Caso 2: scanner posicionado de frente aos vértices.



Outra etapa importante é o posicionamento dos alvos, que são pequenas placas quadradas com um círculo circunscrito, cujo o centro é registrado pelo *laser scanner* dentro da nuvem de pontos. Para que a nuvem de pontos esteja bem referenciada espacialmente, é preciso que haja pelo menos três alvos dispostos em diferentes coordenadas (x, y, z) para cada cena, uma vez posicionados, os alvos deverão permanecer imóveis até o fim da varredura de todas as estacionadas. Posteriormente, para que uma cena se interpole com a outra, é preciso que haja entre elas pelo menos um alvo em comum, quando todas as cenas estiverem interpoladas utilizando-se dos alvos como referência para o encaixe, obtém-se o modelo 3D (FIGURA 32).

Figura 26 - Croqui da disposição dos alvos para duas varreduras, cinco alvos ao total, três para cada estacionada, um em comum entre elas.



No local de estudo, foram necessárias cinco estacionadas, ou seja, cinco varreduras de posições diferentes, e um total de nove alvos fixados pelo afloramento. Todas as varreduras foram efetuadas configurando o laser para obter melhor aproveitamento numa distância de até 55 m da posição fixada, suficiente para cobrir a Agulha da Guarita, a malha de pontos em todas as tomadas foi de 150 mm na horizontal e 150 mm na vertical. Na figura 33 tem-se o croqui a partir de imagem aérea da praia da Guarita de como os equipamentos foram dispostos no dia da aquisição, com as posições das estacionadas e dos alvos pelo afloramento.

Figura 27 - Imagem aérea da praia da Guarita, com o afloramento no centro e os equipamentos posicionados ao seu redor no dia da aquisição dos dados.



Fonte: Google Earth.

Após a montagem dos equipamentos, o procedimento seguinte é posicionar o laser na posição da primeira estacionada (FIGURA 34), e verificar se a janela de escaneamento desejada para esta cena obtém vista para os alvos, e se estão dispostos à menos de 500 m da posição de escaneamento, distância máxima que o laser alcança. A primeira estacionada (visada sentido norte/sul) usou como referência os alvos de número (1), (2), (3) e (4) e a distância destes ao aparelho foi de 46,62 m, 26,87 m, 98,05 m, 32,33 m respectivamente, a metragem é dada pelo equipamento, depois que os alvos estiverem registrados. Para tais registros, o operador através do display do equipamento estima o centro do alvo, mirando pela janela do laser e então inicia o processo de varredura do alvo, processo que leva poucos minutos. Quando o centro do alvo for obtido pelo equipamento, este ficará registrado na nuvem de pontos. Tal processo repete-se para todos os alvos requisitados na montagem da cena. Após esta etapa, sucede-se para o escaneamento, deve-se analisar a área de varredura desejada, posicionar a janela do laser para o ponto mais à esquerda dessa área e a um outro ponto mais à direita, com esses pontos determinados inicia-se a varredura, com a opção de se obter fotos digitais juntamente da nuvem de pontos. No total, esta primeira cena levou 7 min e 23 s para o escaneamento e 1 min 28 s para as fotos, ao

fim o equipamento fornece o total de dados válidos, considerando condições como a luminosidade e a refletância da área, nesta tomada obteve-se 54% de dados válidos.

Figura 28 - Vista do afloramento a partir do local da primeira estacionada do laser scanner para tomada de dados da face norte da Agulha da Guarita.



Na segunda estacionada (FIGURA 35) utilizou-se os alvos de número (4), (2), (3), (5) e (6) a distância entre eles e o ponto de visada foi de 28,85 m; 39,78 m; 46,41 m; 33,16 m; 86,93 m respectivamente. O tempo de aquisição desta cena foi de 10 min e 53 s para o scan e 1min e 29 s para as imagens digitais, um total de dados válidos de 56%.

Figura 29 - Momento de aquisição da segunda estacionada do equipamento para aquisição da face oeste da Agulha da Guarita.



Na terceira estacionada (FIGURA 36), tomou-se como referência os alvos de número (3), (5), (7) e (8), e a distância entre eles e a posição do laser foi de 51,42 m; 35,14 m; 19,91 m; 34,69 m respectivamente. O escaneamento desta cena perdurou 13 min e 20 s e as imagens digitais 1 min e 45 s em um total de dados válidos de 36%.

Figura 30 - Momento de aquisição da terceira estacionada do laser scanner, aquisição de dados da face sul da Agulha da Guarita.



A quarta escaneada (FIGURA 37) tomou como referência os alvos (4), (7) e (8) com distância para o aparelho de 77,10 m; 15,25 m; 12,71 m respectivamente. O tempo de aquisição para a cena foi de 12 min e 55 s, e das imagens digitais de 1 min e 45 s, o total de dados válidos 56%.

Figura 31 - Posição do laser scanner durante a quarta estacionada, para aquisição de dados da face sudeste da Agulha da Guarita.



A última estacionada necessária (FIGURA 38), de número 5, utilizou como referência os alvos (9), (2) e (4) distante do aparelho à 13,88 m; 37,45 m e 50,13 m respectivamente, o tempo de aquisição para o escaneamento foi de 9 min e 23 s, e para as imagens digitais o tempo foi de 1 min e 20 s, total de dados válidos 68%.

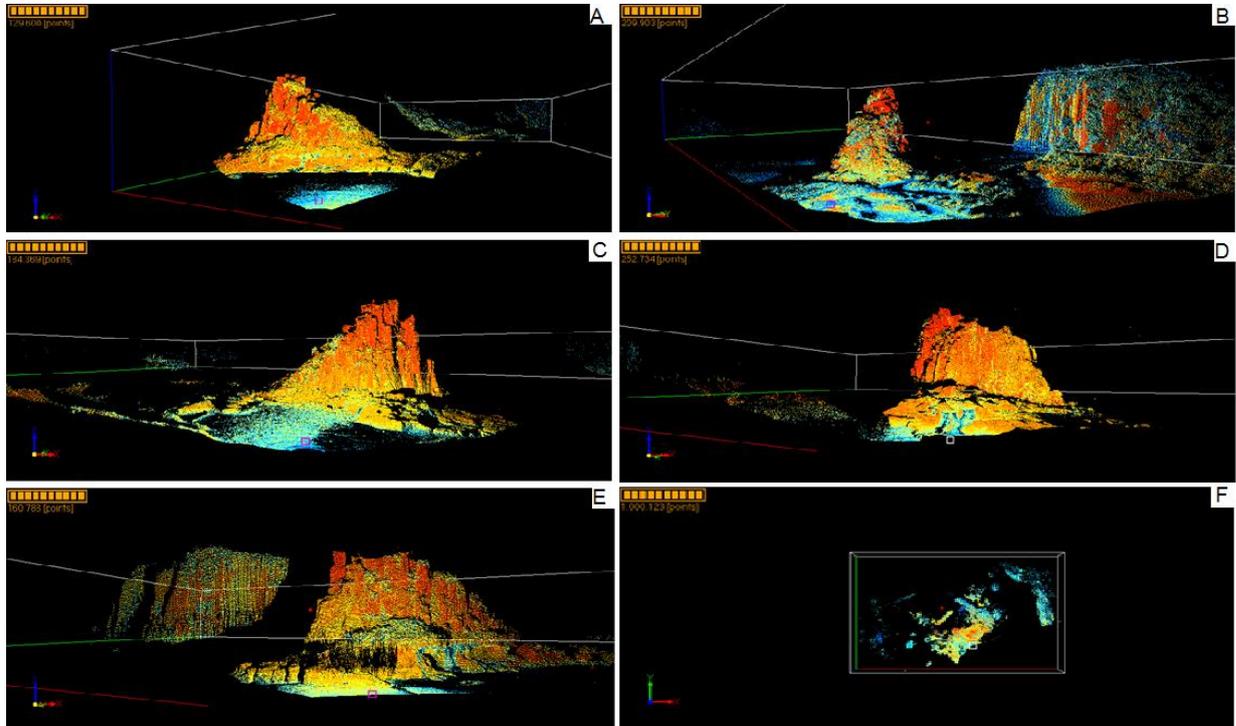
Figura 32 - Vista aproximada do afloramento durante a quinta estacionada, para obtenção de dados da face nordeste da Agulha da Guarita.



3.3.2 PROCESSAMENTO

O processamento dar-se início após a entrada dos dados no software *ScanMaster2*, da fabricante *TopCon*, que forneceu todas as informações apresentadas neste trabalho. Com a entrada dos dados, tem-se as cenas ainda não encaixadas, sendo possível visualizá-las separadamente ou simultaneamente (FIGURA 39), assim como a visualização de diversas perspectivas dos alvos, posições do laser e do afloramento como um todo.

Figura 33 - As figuras abaixo são visualizadas em filtro RYRGB, assim que as nuvens de pontos são importadas para o software ScanMaster 2. (A) Nuvem de pontos da primeira estacionada. Vista de norte para sul do afloramento. (B) Nuvem de pontos da segunda estacionada. Pegando parte do Morro Sul (à direita), vista de oeste para leste do afloramento. (C) Nuvem de pontos da terceira estacionada. Vista de sul para norte do afloramento. (D) Nuvem de pontos da quarta estacionada. Vista de sudeste para nordeste do afloramento. (E) Nuvem de pontos da quinta estacionada. Vista de nordeste para sudoeste do afloramento, ao fundo tem-se parte do Morro sul capturado na cena. (F) Vista em planta de todas as estacionadas simultaneamente, sem referenciamento.



A junção de todas as cenas forma o modelo completo do afloramento, pois cada estacionada possui o objetivo de suprir zonas de oclusão deixadas pela estacionada anterior. O encaixe das cenas é feito através das coordenadas dos alvos, estas coordenadas podem ser obtidas através de uma estação total, ou qualquer aparelho capaz de adquirir a posição espacial de um ponto, neste caso, deve-se obter as coordenadas de cada alvo, com isso a nuvem de pontos estará georreferenciada, mas caso não seja possível esta aquisição, o próprio equipamento registra as coordenadas do alvo, tendo como base a distância até eles nos eixos X, Y e Z, armazenadas no arquivo referente a cada alvo, porém a nuvem de pontos não estará georreferenciada se baseada nestas coordenadas. Cria-se então uma simples tabela de coordenadas no formato de arquivo *.txt* relacionando cada alvo com sua coordenada e importa-se esta tabela para o software. Após esta etapa, cria-se pontos de amarração “*tie points*” dentro do programa e relaciona-se à eles suas respectivas as coordenadas, associando cada alvo à estes “*tie points*”, deste modo os alvos em comum de cada cena estarão atribuídos a uma única coordenada dentro da nuvem, quando todos os

Os afloramentos abordados estão dispostos ao longo da praia da Guarita, ao norte, tem-se um paredão predominantemente basáltico (figura 26) contém na base o arenito Botucatu, seguido por uma intercalação centimétrica entre derrame e peperitos (Figura 27), após essa intercalação tem-se o basalto maciço até o topo.

Figura 35 - *Afloramento ao norte da praia da Guarita.* Na figura pode-se observar o arenito Botucatu na base, seguido por peperitos e derrame basáltico.

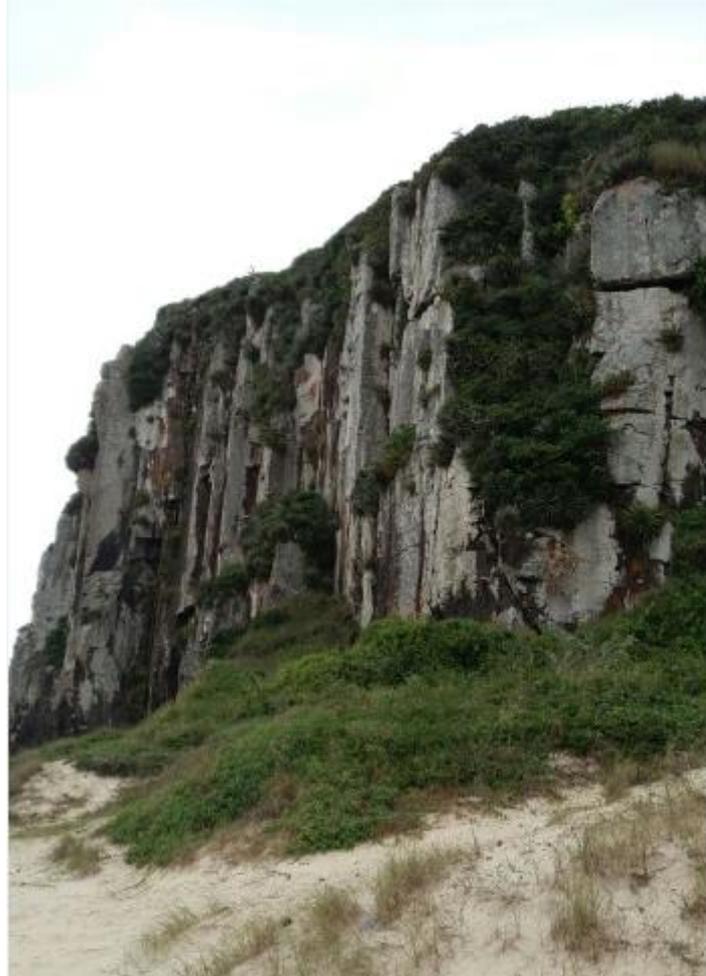


Figura 36 -Peperitos do alforamento ao norte da praia da Guarita.



Ao sul tem-se um paredão de aproximadamente 30m de altura, chamado Torre Sul, formado por um derrame basáltico com inúmeras disjunções verticais (figura 28), maioria seguindo orientação $170^{\circ}/85$ e próximo a base tem-se pequenos diques de areia, que remete a uma fase ativa do deserto de Botucatu em que a areia foi injetada ao longo das fraturas, também são visíveis nos derrames foliações de fluxo, seguindo orientação principal de $250^{\circ}/26$.

Figura 37 - Afloramento ao sul da praia da guarita, parede basáltica de aproximadamente 30m de altura.



O afloramento de maior destaque e alvo desta pesquisa, é a chamada Agulha da Guarita (FIGURA 29), neste ponto tem-se a Formação Botucatu na base e a Formação Serra Geral no topo.

Figura 38 - Afloramento Agulha da Guarita, pode-se observar o arenito Botucatu na base e derrame basáltico no topo.



Com espessura aproximada de 3m nos pontos de maior exposição, o arenito Botucatu (FIGURA 30) contém estruturas de primeira ordem, de segunda ordem correspondentes a junção de paleodunas e de terceira ordem, representadas pelas estruturas cruzadas contidas nas paleodunas.

Figura 39 –Arenito Botucatu, na base do afloramento da Agulha da Guarita.



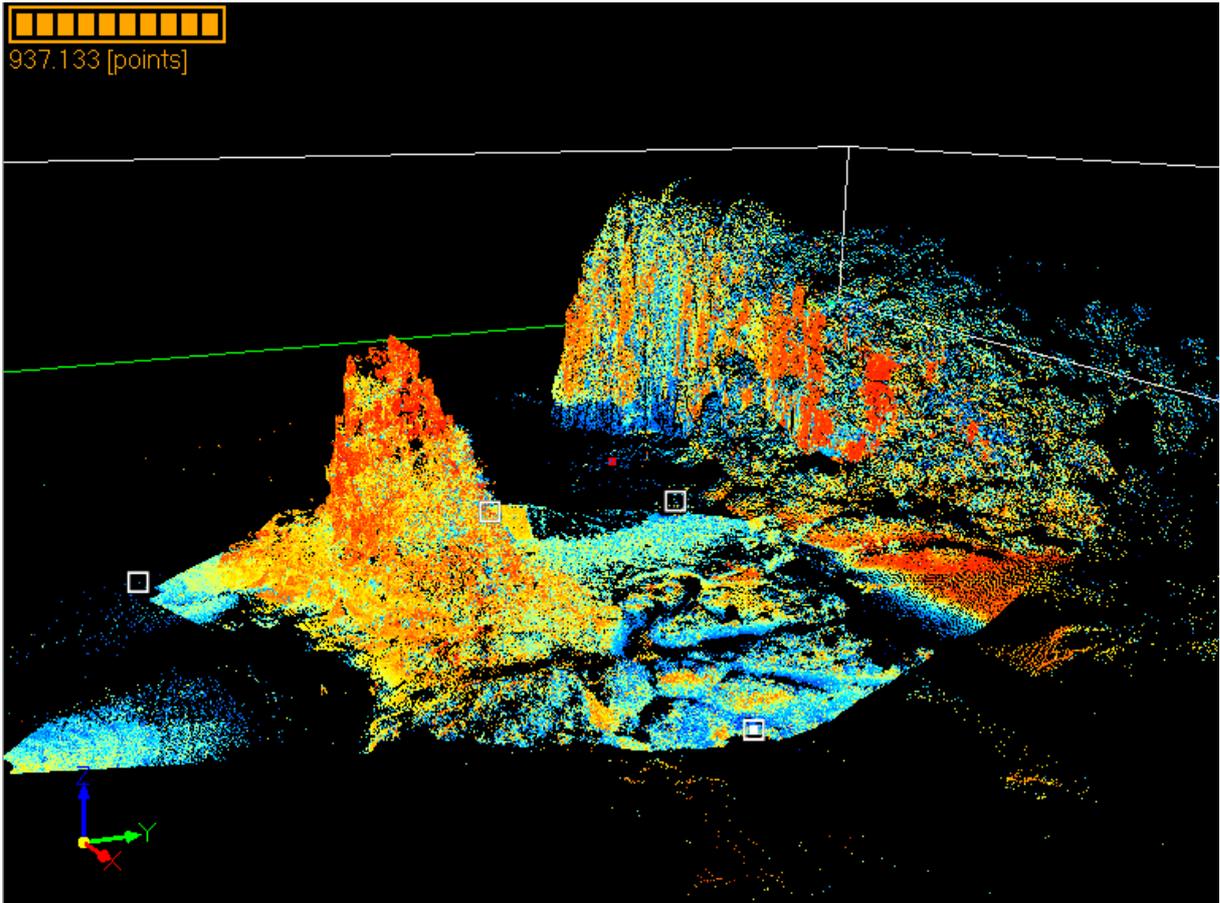
O contato entre o arenito e o basalto é irregular, mas segue orientação média de $040^{\circ}/28$. A torre basáltica tem aproximadamente 21m e é majoritariamente basalto maciço, porém em pequenas porções apresenta vesículas que indicam direção de fluxo no sentido noroeste, sendo um derrame do tipo *pahoehoe poned*.

Esta área contém as primeiras manifestações vulcânicas na calha de Torres, os derrames presentes na praia da Guarita colocaram-se nos espaços entre dunas, sendo a base do Grupo Serra Geral e compondo a Formação Torres (ROSSETTI et al., 2017).

4.2 MODELAGEM 3D

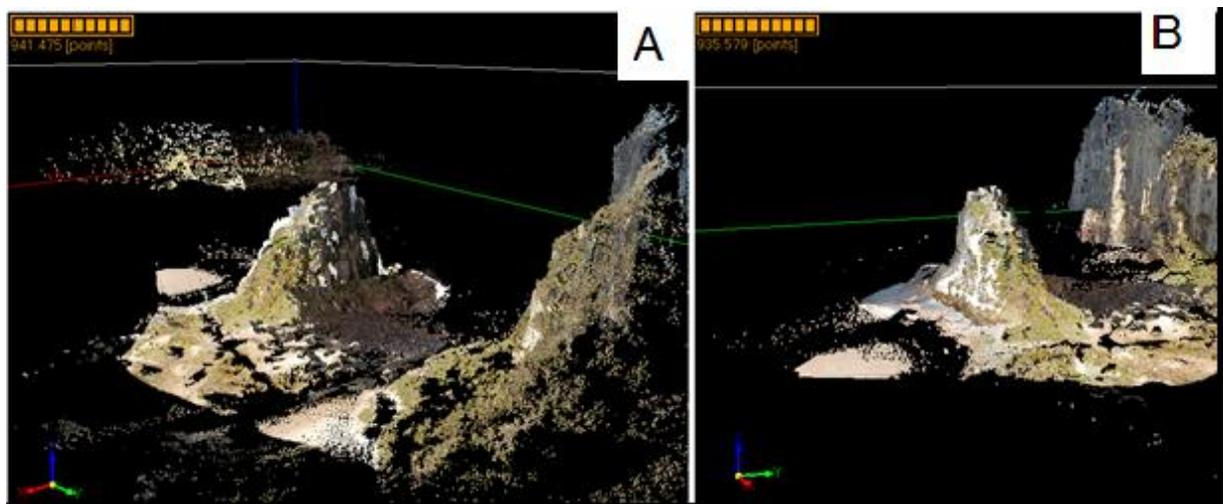
O primeiro produto gerado pela junção das cenas é o modelo em três dimensões com todos os pontos capturados pelo laser, mostrado na figura 40. É possível visualizá-lo de diversos ângulos, com panorama de toda localidade.

Figura 40 - Modelo 3D visualizado em filtro RYGCB, gerado através da junção das cinco estações no afloramento Agulha da Guarita.



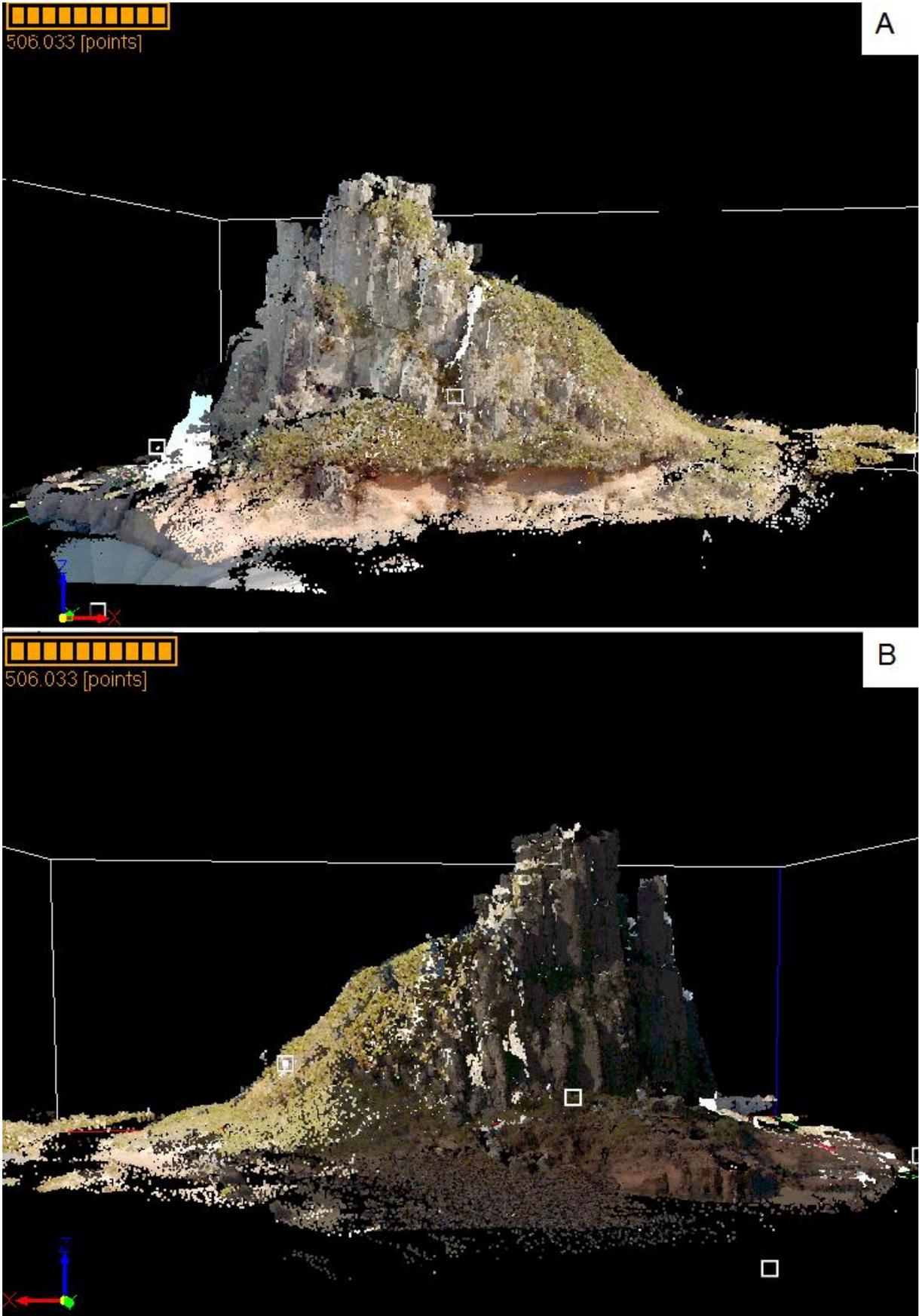
Com a junção das cenas formando o modelo 3D, pode-se aplicar diferentes filtros para a visualização, como por exemplo colorir a nuvem de pontos a partir das imagens digitais. Na figura 41 tem-se a visualização de toda a área que o laser abrange, contendo pontos dos afloramentos ao norte e ao sul da Agulha da Guarita. Os pontos adquiridos desses locais foi apenas resultado do alcance do equipamento, portanto não oferecem dados suficientes para serem analisados qualitativamente

Figura 41 - Modelo 3D visualizado de acordo com a coloração das imagens, (A) vista de sudoeste para nordeste. (B) vista de noroeste para sudeste do afloramento.



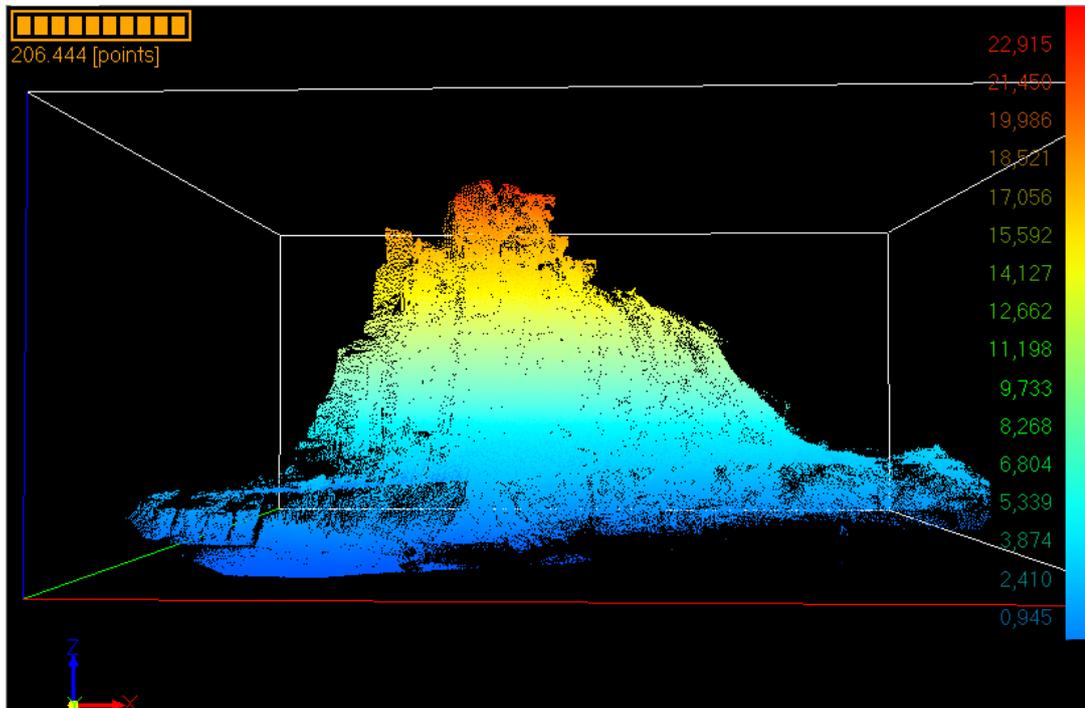
Com modelo sem as áreas que não serão manipuladas, dar-se início ao processamento direto e aquisição de informações do afloramento principal. Na figura 42 tem-se a norte e sul do afloramento, visualiza-se com destaque o arenito Botucatu presente na base e o basalto na porção superior, ambos com coloração aproximada da real feita a partir das imagens digitais.

Figura 42 - Em (A) face norte da Agulha da Guarita e em (B) a face sul.



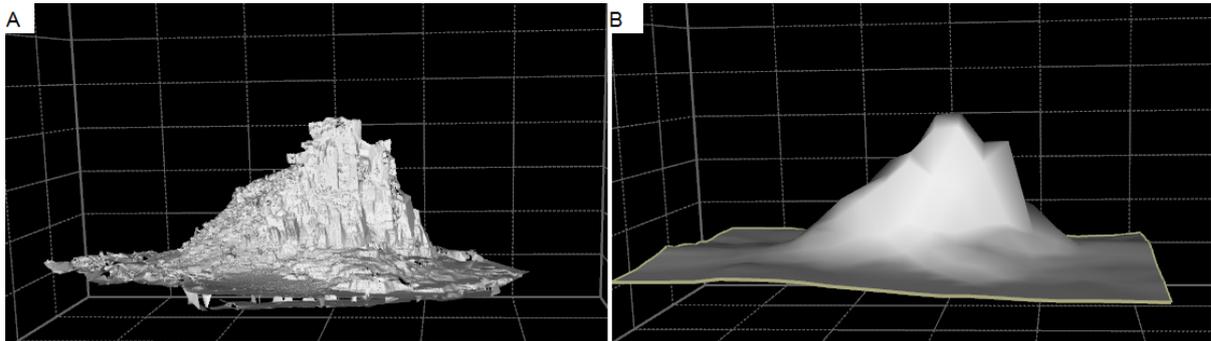
A partir do modo de visualização em escala de elevação (FIGURA 43) tem-se o topo da Agulha da marcando 22,9 m de altura.

Figura 43 - Face norte da Agulha da Guarita no Modelo 3D em escala altimétrica.



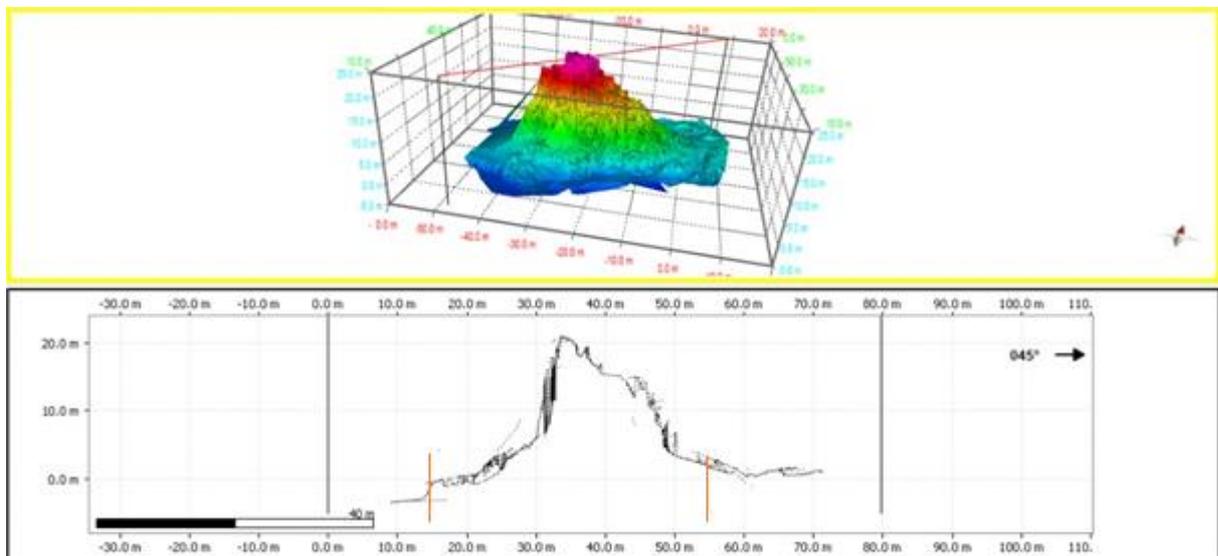
Para uma melhor abordagem, é preciso gerar uma superfície que se aproxime da superfície real do afloramento, para isso usa-se métodos que interpole os pontos da nuvem, transformando-a em uma superfície. A geração dessa superfície foi feita primeiramente pelo método de Krigagem, que atribui características à redondezas de acordo com o ponto mais próximo, posteriormente usou-se o método *Advancing Front*, este último consiste na construção de uma malha pela adição progressiva de pontos a partir da fronteira da nuvem, resultando na propagação de uma frente entre a região da malha e uma região ainda não pertencente a malha. O *Advancing front* obteve resultados melhores que o método de Krigagem, pois manteve as características físicas do afloramento com maior veracidade, ressaltando melhor as fraturas e superfícies do basalto e do arenito. (FIGURA 44).

Figura 44 - Em (A) tem-se o modelo 3D com a superfície gerada a partir do método Advancing Front. Em (B) o modelo 3D com superfície gerada pelo método de Krigagem, ambos exibindo a face sul da Agulha da Guarita.



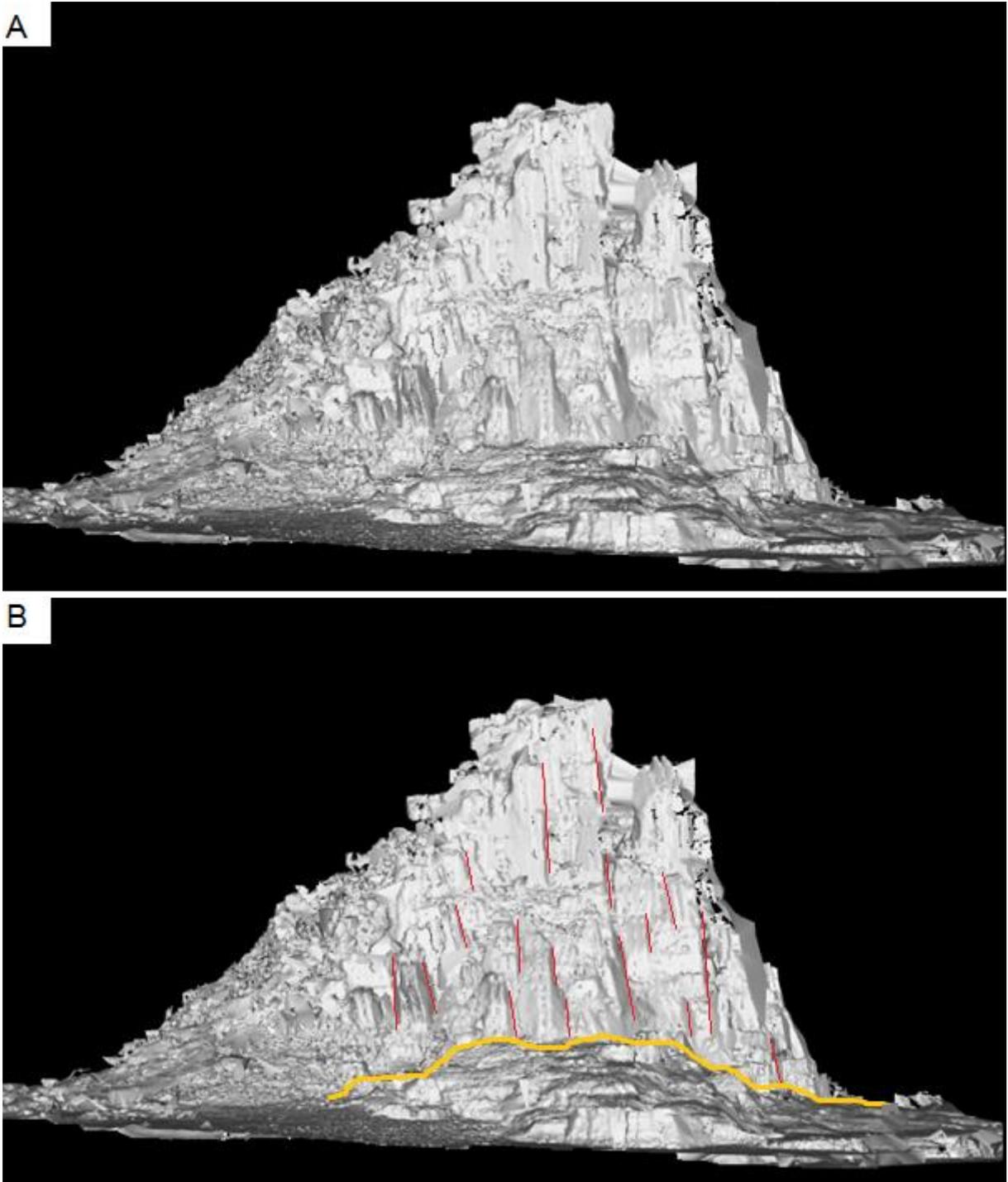
É possível gerar secções de qualquer direção, que atravessam o afloramento e fornecem a visualização de perfis (FIGURA 45). A seção gerada no sentido NE-SW tem ao todo 80 m e a Agulha da Guarita neste perfil possui largura de aproximadamente 40 m e mais de 20m de altura.

Figura 45 - Seção NE/SW através da Agulha da Guarita e o perfil gerado.



A geração da superfície expõe as feições do afloramento de melhor forma que a nuvem de pontos, na figura 46, as disjunções verticais no basalto e o contato com o arenito ficam evidentes. A face sul da Agulha da Guarita expõe melhor o contato por não conter vegetação entre as duas unidades litológicas.

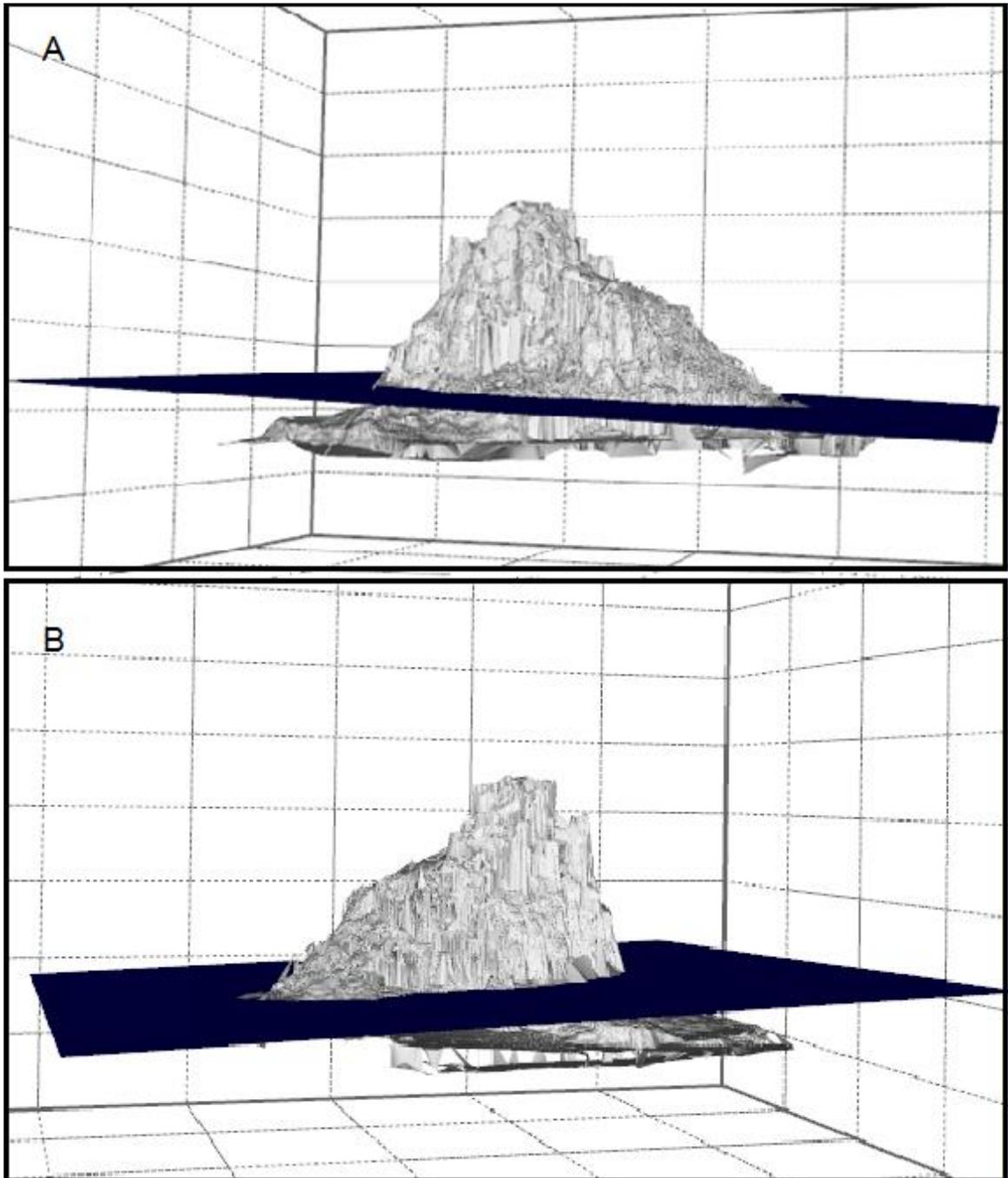
Figura 46 - (A) Face sul da Agulha da Guarita. (B) Face sul com as fraturas do basalto destacadas em vermelho, e o contato em amarelo.



Com o contato inferido pôde-se gerar uma secção com direção aproximada do contato, separando as duas litologias (FIGURA 47). Este processo torna-se interessante pois a partir disso é possível, por processos mais avançados dentro do

software, estimar volume das camadas, gerar horizontes, adquirir ângulos, entre outras informações.

Figura 47 - (A) Face norte da Agulha da Guarita com a secção inferida no contato entre o Basalto e o Arenito. Em (B) a face sul com a mesma secção.



5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O método de escaneamento digital através de um laser scanner terrestre mostrou-se eficiente em diversos aspectos. Os modelos gerados da Agulha da Guarita atingiram níveis satisfatórios, possibilitando a visualização dinâmica de todo o afloramento bem como diferenciar as duas formações presentes e o contato entre elas. Esta técnica pode servir como ferramenta de geoconservação, monitoramento e divulgação de afloramentos, pretende-se retornar os resultados para uso público através da prefeitura de Torres, onde a secretaria do meio ambiente conduzirá as aplicações voltadas ao Parque Estadual da Guarita.

O escaneamento terrestre serve principalmente como instrumento de auxílio às técnicas convencionais de caracterização geológica. Esta técnica relativamente nova aumenta a interação com o local de estudo após os trabalhos de campo, em laboratório os dados adquiridos no dia de campo podem ser atribuídos a pontos específicos do afloramento.

Porém alguns quesitos devem ser considerados, o equipamento como um todo é bastante volumoso e relativamente pesado, tornando a logística complexa, o que demanda veículo de maior porte e uma equipe de trabalho. Outro ponto importante refere-se as condições climáticas, que afeta diretamente na aquisição e porcentagem de dados válidos, no caso deste trabalho o vento forte causou vibrações no laser scanner em certos momentos e a maré limitou o espaço das estacionadas, prejudicando a abordagem. A pouca luminosidade da face sul do afloramento causada pela presença do morro ao sul da guarita afetou a resolução quanto ao momento de atribuir as cores das imagens digitais ao modelo final e também ao total de dados válidos das estacionadas três e quatro.

Os modelos finais visualizados pelas imagens digitais servem para passar a ideia de como o afloramento é na sua configuração real, no entanto, é na geração de uma superfície que se pode aplicar diversas ferramentas do software com os mais variados objetivos. A técnica apresentada tem um bom potencial na área de mineração e geologia estrutural, pois é possível analisar separadamente as camadas, criar seções, inferir medidas estruturais e extrapolar horizontes, calcular volumes, distâncias e ângulos. Com isso o tempo dado no tratamento dos dados no software e

os entendimentos desses comandos são de extrema importância. Vale lembrar que para pesquisas com foco mais específicos, principalmente as que envolvem mediadas estruturais, adquirir nuvens de pontos georreferenciadas é fundamental, para isso deve-se fazer uso de equipamentos auxiliares, como estação total ou qualquer outro capaz de captar coordenadas X , Y e Z de um ponto no espaço, no caso, dos alvos referenciadores que conjugarão o modelo 3D final.

Este tipo de modelagem mostrou-se aplicável também didaticamente, o produto final pode ser levado a laboratórios de ensino, para atividades pré ou pós campo, facilitando a interação e ampliando o aprendizado, podendo formar um banco de dados de afloramentos clássicos.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALMEIDA, F. F. M.; CARNEIRO, C. D. R.; BARTORELLI, A.: Magmatismo pós-Paleozóico no Brasil. In: HASUI, Y. et al. (Org.). **Geologia do Brasil**. São Paulo: Beca, 2012, p.430-452.
- AUBELE, J. C.; CRUMPLER, L. S.; ELSTON, W. E. VESICLE ZONATION AND VERTICAL STRUCTURE OF BASALT FLOWS. **Journal of Volcanology and Geothermal Research**, v. 35, p. 349–374, 1988.
- BELLIAN, J. A.; KERANS, C.; JENNETTE, D. C. DIGITAL OUTCROP MODELS : APPLICATIONS OF TERRESTRIAL SCANNING LIDAR TECHNOLOGY IN STRATIGRAPHIC MODELING. p. 1–11, 2005.
- BORGES, A. M. et al. **THE LASER SCANNER AS A TECHNIQUE TO HELP MULTIDISCIPLINARY ANALYSIS AND GEOEDUCATION**. 2016
- DRAGONI, M.; TALLARICO, A. The effect of crystallization on the rheology and dynamics of lava flows. **Journal of Volcanology and Geothermal Research**, v. 59, p. 241–252, 1994.
- HOLZ, M. et al. Hierarchy of tectonic control on stratigraphic signatures : Base-level changes during the Early Permian in the Parana Basin , southernmost Brazil. **Journal of South American Earth Sciences**, v. 22, p. 185–204, 2006.
- HORN, G. D. F.; ALICE, M.; DIAS, M. O Parque da Guarita em Torres , RS A Preservação de um Patrimônio Paisagístico-Ambiental. p. 2152–2154, [s.d.].
- KESZTHELYI, L.; SELF, S.; THORDARSON, T. Flood lavas on Earth , Io and Mars. v. 163, p. 253–264, 2006.
- LIMA, E. F. DE et al. Morphological and petrographic patterns of the pahoehoe and aa flows of the Serra Geral Formation in the Torres Syncline (Rio Grande do Sul state , Brazil). v. 42, n. 4, p. 744–753, 2012.
- MACDONALD, G. A. **Pahoehoe, aa, and block lava** **American Journal of Science**, 1953.
- MILANI, E. J. et al. Bacia do Paraná. **Boletim de Geociências da Petrobras**, v. 2, n. 15, p. 265–287, 2007.
- NELSON, C. E. et al. Reconstructing flood basalt lava flows in three dimensions using terrestrial laser scanning. **Geosphere**, v. 7, n. 1, p. 87–96, 2011.

PEATE, D. W. et al. Petrogenesis and Stratigraphy of the High- Ti / Y Urubici Magma Type in the Parana Flood Basalt Province and Implications for the Nature of “ Dupal ” -Type Mantle in the South Atlantic Region. v. 40, n. 3, p. 451–473, 1999.

PEATE, D. W.; HAWKESWORTH, C. J.; MANTOVANI, M. S. Chemical stratigraphy of the Parana lavas (South America): classification of magma types and their spatial distribution. **Bull Volcanol**, v. 55, p. 119–139, 1992.

PETRY, K.; DE ALMEIDA, D. DEL P. M.; ZERFASS, H. O vulcanismo Serra Geral em Torres, Rio Grande do Sul, Brasil: empilhamento estratigráfico local e feições de interação vulcano-sedimentar. **Gaea - Journal of Geoscience**, v. 1, n. 1, p. 36–47, 2005.

ROSSETTI, L. et al. Lithostratigraphy and volcanology of the Serra Geral Group , Paraná-Etendeka Igneous Province in Southern Brazil: Towards a formal stratigraphical framework. **Journal of Volcanology and Geothermal Research**, p. 1–17, 2017.

ROWLAND, S. K.; WALKER, G. P. L. Volc ~ 176 structure. p. 615–628, 1990.

SCHOBENHAUS, C.; NEVES, B. B. B. A geologia do Brasil no contexto da plataforma Sul-americana. **Geologia, tectonica e recursos minerais do Brasil**, p. 5–54, 2003.

SIMÕES, M. S. et al. The role of viscosity in the emplacement of high-temperature acidic flows of Serra Geral Formation in Torres Syncline (Rio Grande do Sul State, Brazil). **Brazilian Journal of Geology**, v. 44, n. 4, p. 669–679, 2014.

SKILLING, I. P.; WHITE, J. D. L.; MCPHIE, J. Peperite : a review of magma ^ sediment mingling. v. 114, 2002.

SKILLING, J. D. L.; WHITE, J.; MCPHIE, I. Peperite : a useful genetic term. **Bull Volcanol**, p. 65–66, 2000.

TOPCON, **Spec. LASER SCANNER GLS 1500**, disponível em <http://www.topcon.co.jp/en/positioning/products/product/3dscanner/GLS-1500_E.html>. Acesso em 14 out. de 2017.

WAICHEL, B. L. **Universidade Federal Do Rio Grande Do Sul Lava-Sedimento Na Porção Central Da Província Basáltica Continental Do Paraná**. [s.l.] Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2006.

WAICHEL, B. L. et al. Stratigraphy and volcanic facies architecture of the Torres Syncline , Southern Brazil , and its role in understanding the Paraná – Etendeka Continental Flood Basalt Province. **Journal of Volcanology and Geothermal Research**, v. 215–216, p. 74–82, 2012.