

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS

**ANÁLISE ESTRUTURAL DE DIQUES CLÁSTICOS DA FORMAÇÃO CORUMBATAÍ A
PARTIR DE *STRUCTURE-FROM-MOTION***

Mariana dos Santos Toledo Busarello

Orientador: Carlos Henrique Grohmann de Carvalho
Co-Orientadora: Camila Duelis Viana

MONOGRAFIA DE TRABALHO DE FORMATURA
(TF-2017/36)

SÃO PAULO
2017

De acordo,

Mariana dos Santos Toledo Busarello

Carlos Henrique Grohmann de Carvalho
(Orientador)



Camila Duelis Viana
(Co-Orientadora)

“Geology is the study of pressure and time. That’s all it takes, really. Pressure and time.

That and a big goddamn poster.”

—The Shawshank Redemption

RESUMO

O presente trabalho consiste na reconstrução de um modelo tridimensional de um afloramento da Formação Corumbataí a partir dos métodos de *Structure-from-Motion* e *Multi-View Stereo* (SfM-MVS), para uma subsequente análise estrutural dos diques clásticos que entrecortam as camadas de siltito. Compostos principalmente de areia fina e silte, esses diques formam-se por intrusões arenosas quando uma camada arenosa encharcada é atingida por abalos sísmicos de no mínimo 6.5 de magnitude, servindo como um registro desses eventos.

Enquanto que na fotogrametria tradicional é preciso especificar *a priori* uma série de parâmetros relacionados à orientação das câmeras e suas características (distância focal, etc), em SfM-MVS a geometria da cena, a posição das câmeras e suas orientações são resolvidas automaticamente através de um procedimento iterativo de ajuste de conjunto fundamentado em um conjunto de imagens sobrepostas. É uma técnica considerada barata em relação ao hardware e software envolvidos, além de ser capaz de fornecer uma densidade de pontos e acurácia semelhantes aos dados de levantamentos por *Laser Scanner* terrestre.

Os resultados obtidos são equiparáveis com os trabalhos de referência em um aspecto geral, resultando em uma orientação preferencial NNW para os diques amostrados tanto em campo quanto através do modelo. O desenvolvimento deste trabalho mostra que a prática e uso do SfM-MVS nas geociências ainda possui parâmetros de otimização a serem definidos (tais como geometria de imageamento, sobreposição das imagens e ângulo de iluminação), o que, quando realizado, resultará em menor tempo de processamento e modelos cada vez mais precisos.

ABSTRACT

This work presents the development of a three-dimensional model of an outcrop of the Corumbataí Formation using Structure-from-Motion and Multi-View Stereo (SfM-MVS) techniques in order to provide a structural analysis of clastic dykes cutting through siltstone layers. Composed mainly of fine sand and silt, these dykes are formed by sand intrusions when a wet sandy layer is affected by earthquakes of at least 6.5 magnitude, being used as a record of such events.

While traditional photogrammetry requires the user to input a series of parameters related to the camera orientation and its characteristics (such as focal distance), in SfM-MVS the scene geometry, camera position and orientations are automatically determined by a bundle adjustment, an iterative procedure based on a set of overlapping images. It's considered a low-cost technique both in terms of hardware and software, also being able to provide point density and accuracy on par to the ones obtained with terrestrial laser scanner.

The results acquired on this research have a good agreement with previous works, yielding a NNW main orientation for the dykes measured in the field and on the 3D model. The development of this work showed that SfM-MVS use and practice on geosciences still needs more studies on the optimization of the involved parameters (such as camera orientation, overlap of images and angle of illumination), which, when accomplished, will result in less processing time and more precise models.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente, à minha mãe Mirian, minha maior incentivadora por toda a minha existência e a quem eu admiro pela persistência e fé, itens aos quais não sou familiar, e sem a qual eu jamais teria me esforçado para sair de uma cidade tacanha em busca da felicidade. Em seguida à minha tia-avó Aracy, que apesar de tudo foi quem embutiu em mim a importância dos estudos e da humildade. Ao meu paidrasto Alexandre, por estar desde sempre nessa presente como conselheiro e motivador, sendo o verdadeiro pai que nunca tive. Ao meu irmão Cairo, por assim como eu ter demorado um pouco pra encontrar seu rumo e no fim ter que fazer um esforço maior para realizar seus sonhos.

Ao meu orientador Carlos Henrique por toda a paciência e tutela, eu soube desde Geotecnologias que seria uma boa escolha trabalhar com você, desde as referências a Firefly até os pães de semolina. À minha co-orientadora Camila, pela infindável paciência e uso de ET, espero não ser muito tema de piadas no Whatsapp. Ao Guilherme, que pôs alvo, anotou medida, carregou prisma, *rover* e base, além de tentar me fazer ir no BIFE. SPAM Lab rules, hope you guys remember to turn it off and on again!

Agradeço à CCR AutoBAN pela integração de segurança e toda a ajuda que tornaram este trabalho possível. Também a todos os professores que admiro no curso.

Ao Bruno, que me conhece desde quando não conseguíamos manter uma cozinha limpa: nós estamos vencendo todos os dias, por nós mesmos, nunca se esqueça disso. Ao Daniel, pra quem eu sei que, assim como eu, é difícil ter esperança, mas que é uma pessoa incrivelmente inabalável: eu admiro todos os dias a sua força. Obrigado por mostrarem que não precisamos fingir que estamos felizes, amo ambos. Worst vibes (for)ever.

Aos lixos que me ajudaram a chegar até aqui, saibam que me reergui por sermos do mesmo aterro. Amo todos, mesmo os que mexem com petrologia, obrigado pelos momentos maravilhosos: Jojo (nosso líder), Mims (pelas conversas), Seiji (pelas dancinhas), Akiraaa (pelo debate e rivalidade), Bibito (por fiscalizar minha alimentação), Vagilly (nosso vaginoise), Ameba (o melhor de nós), Jon (pelas brigas de Facebook), Balau (pelas metáforas certas), Free (pela fofura encarnada), Mic (por MapGeo e por ser minha inspiração dos cabelos), Anya (você é minha melhor amiga), Beth (sem você eu já teria desistido) e Vavs (por Bang e ser meu confidente). Nunca me esquecerei dos nossos momentos, então nunca esqueçam: we are fighting dreamers 高みを目指して.

Por fim, ao Luciano, aquele que me completa onde sequer achei que algo faltava. Sem a sua força e motivação nada disso teria acontecido, estarmos juntos foi um fator determinante pra eu estar mais perto de realizar tudo que eu sempre sonhei e, não só por isso, serei eternamente grata. Amo você.

And so, may my life begin.

ÍNDICE

1. INTRODUÇÃO.....	1
2. METAS E OBJETIVOS.....	2
3. TRABALHOS PRÉVIOS.....	2
3.1. Contexto geológico.....	2
3.1.2. Diques clásticos – Mecanismos de formação.....	3
3.1.3. Diques clásticos na Formação Corumbataí.....	5
3.2. <i>Structure-from-Motion</i> e <i>Multi-View Stereo</i>	6
4. MATERIAIS E MÉTODOS.....	9
4.1. Atividades em campo.....	10
4.1.1. Primeiro Campo – 11/07/2017.....	10
4.1.2. Segundo Campo – 20/07/2017.....	10
4.1.3. Terceiro Campo – 27/07/2017.....	12
4.1.4. Quarto Campo – 05/09/2017.....	13
4.1.5. Quinto Campo – 20/09/2017.....	13
4.2. Atividades em escritório.....	14
5. RESULTADOS OBTIDOS.....	18
6. INTERPRETAÇÃO E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS.....	24
7. CONCLUSÕES.....	30
8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	31

ÍNDICE DE FIGURAS E TABELAS

Figura 01. Mapa de localização do afloramento.....	2
Figura 02. Representação das principais feições de diques e sills clásticos.....	4
Figura 03. Representação da orientação do campo de esforços.....	5
Figura 04. Fluxograma com as etapas principais do SfM.....	8
Figura 05. Reconstituição por SfM.....	8
Figura 06. Posicionamento para coleta de dados com a estação total.....	11
Figura 07. Esquema para a sequência de fotografias do afloramento.....	13
Figura 08. Demonstração do funcionamento da função Mask no Agisoft Photoscan.....	15
Figura 09. Malha vista no MeshLab com as indicações.....	16
Tabela 01. Dados colhidos pela estação total (ET).....	18
Tabela 02. Dados de coordenadas UTM e erros para ET, FX01 e FX02.....	19
Tabela 03. Coordenadas obtidas com o dGPS.....	19
Tabela 04. Apresentação das medidas de cada dique.....	20
Figura 10. Reconstrução tridimensional do afloramento.....	21
Figura 11. Quantidade de fotos sobrepostas no afloramento.....	22
Figura 12. Informações sobre as câmeras utilizadas para as fotografias.....	22
Figura 13. Diagramas para os dados de campo (n=60).....	23
Figura 14. Roseta para as medidas de campo identificadas no modelo (n=46).....	23
Figura 15. Roseta para as medidas obtidas com o ply2atti (n=46).....	23
Figura 16. Roseta para as medidas obtidas com o ply2atti diretamente no modelo (n=57).....	24
Figura 17. Comparação de fotos e modelos tridimensionais em relação à sombra.....	26
Figura 18. Malha sem o uso da função <i>Shift</i>	27
Figura 19. Comparação de rosetas com a de Turra (2009).....	29

1. INTRODUÇÃO

Buscar novos métodos para interpretar e compreender a Geologia é parte integrante do trabalho de um geólogo, visto que a interdisciplinaridade de um curso tão complexo cria a necessidade de explorar novas possibilidades trazidas pelos avanços tecnológicos. A fotogrametria digital é um exemplo de ciência que fez uso do desenvolvimento da tecnologia para abranger novas áreas de conhecimento, tornando-se uma ferramenta em franco crescimento. Os trabalhos de campo não devem ser dispensados, o objetivo dessa evolução deve ser o de complementar as informações coletadas ou realizar estudos prévios para discernir novas regiões de estudo, corroborando teorias, validando hipóteses e fortalecendo novas idéias.

O *Structure-from-Motion* (SfM) e *Multi-View Stereo* (MVS) são técnicas utilizadas em conjunto para a reconstrução tridimensional de relevo e formas. Sua aplicação em Geociências se torna cada vez mais utilizada, sendo um recurso relativamente barato em comparação a outros métodos com o mesmo objetivo (Westoby *et al.*, 2012; Carrivick *et al.*, 2016). Neste trabalho, buscou-se aplicar essas técnicas em um afloramento da Formação Corumbataí, buscando reconstituir os diques clásticos que cortam suas camadas e obter sua orientação preferencial.

Um siltito arroxeadado intercalado com camadas de areia em seu nível inferior (Turra, 2009), entrecortado por diques clásticos na forma de intrusões sub-verticalizadas de granulometria areia fina e silte (Sousa, 1985) compõe o afloramento em estudo da Formação Corumbataí. Um processo de regressão marinha que acompanha a duração do Permiano Superior (Almeida & Carneiro, 2004), relacionando-se com o tectonismo sinsedimentar do período, sendo caracterizado na Bacia do Paraná por um regime trativo com posterior recuo marinho, além da reativação de falhas normais NE-SW durante a separação do Gondwana (Riccomini, 1995).

Segundo Jolly & Lonergan (2002), a gênese de diques clásticos relaciona-se à criação de um alto gradiente hidráulico causado pela alta pressão sofrida por um corpo arenoso não-consolidado, podendo ocorrer em qualquer ambiente deposicional, desde marinhos profundos até eólicos. Através da fluidificação da areia e subsequente injeção da mesma em fraturas, esses autores afirmam que a instabilidade gerada por esse gradiente ocorre por meio três processos distintos: sismos, *stress* tectônico ou fluido pressurizado com excesso de pressão entre poros no fundo da bacia e direcionado para a superfície.

O trabalho realizado por Turra (2009) identifica em três afloramentos no centro-leste do estado de São Paulo uma orientação preferencial de diques clásticos NNW-SSE a NE-SW e derivada de um esforço horizontal máximo na intrusão e concomitante à distensão WNW-ESE, porém apresentando uma dispersão em regime de baixo *stress* que se associa à baixa profundidade.

2. METAS E OBJETIVOS

Prioritariamente, este trabalho teve como objetivo a reconstrução tridimensional pela técnica de *SfM-MVS* de um afloramento da Formação Corumbataí entrecortado por diques clásticos. Esse modelo 3D é o ponto de partida para promover a análise estrutural das estruturas supracitadas, comparando as medidas coletadas em campo com as digitais fornecidas pelo *script* ply2atti, através da análise da diferença entre ambas. A partir dessas observações, novas medições serão geradas diretamente na versão digital do afloramento, por fim sendo promovida uma comparação dos dados levantados com o trabalho de Turra (2009), expondo os resultados na forma de diagramas de roseta.

3. TRABALHOS PRÉVIOS

3.1. Contexto geológico

O afloramento estudado neste trabalho tem orientação NE-SW, localizando-se próximo ao município de Limeira, na porção centro-leste do Estado de São Paulo, às margens da Rodovia dos Bandeirantes km 161,5. É composto de modo geral por um siltito arroxado característico da Formação Corumbataí, entrecortado por diques sub-verticalizados de composição arenosa fina, cuja orientação preferencial é NNW-SSE a NE-SW (Turra, 2009).

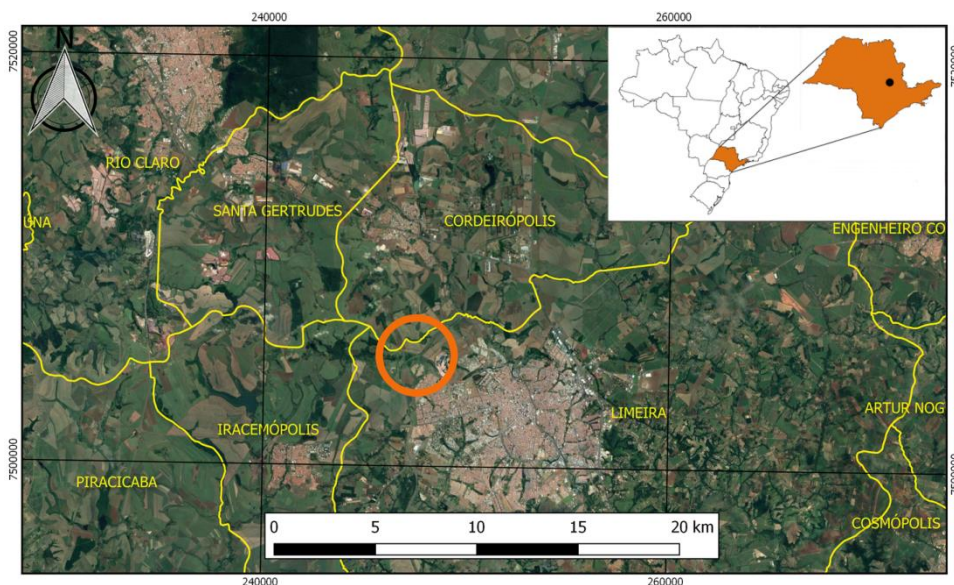


Figura 01. Mapa de localização do afloramento de dique clástico escolhido na Rodovia dos Bandeirantes Km 161,6, destacado pela circunferência laranja. (gerado por QGIS 2.18.11 via plugin QuickMapServices 0.18.7 com imagens do Google Earth, Datum SIRGAS 2000, coordenadas UTM zona 23K)

Parte integrante da borda nordeste da Bacia do Paraná e do Grupo Passa Dois juntamente com o membro superior, a Formação Irati, a Formação Corumbataí localizando-se na porção centro-leste do Estado. Sua gênese é intrínseca à transgressão marinha na Bacia do Paraná ao final do Permiano Inferior, responsável pela geração de um ambiente de plataforma marinha rasa prosseguindo até o fim do Permiano Superior, culminando com o desenvolvimento da Formação na regressão no final do período (Almeida & Carneiro, 2004).

Sousa (1985) divide a litologia que a compõe entre siltitos argilosos ou arenosos, folhelhos siltosos, arenitos finos a muito finos (também siltosos ou argilosos, alguns carbonáticos), arenitos médios a grossos fossilíferos, siltitos e argilitos interlaminados (alguns carbonáticos e com bioturbação) e por fim, calcários e calcários argilosos. Estruturas singenéticas também foram descritas como: estratificações plano-paralelas, laminações cruzadas, acamamentos maciços, gretas de contração e diques clásticos tabulares ou não.

Na Formação Corumbataí, os diques clásticos foram definidos por Riccomini (1992) e relacionados a um tectonismo sinsedimentar no Permiano Superior baseado na reativação de antigas estruturas do embasamento durante a fragmentação do Gondwana na Bacia do Paraná, com esforços de extensão NW-SE e compressão NE-SW (Riccomini, 1995). Essa compressão, segundo Riccomini *et al.* (2005), relacionaria-se com a Orogenia Cabo-La Ventana, cuja propagação de *stress* promove deformação e um tectonismo sin-sedimentar, responsável pela geração de zonas de fraqueza.

3.1.2. Diques clásticos - Mecanismos de formação

Diques clásticos são estruturas sin-sedimentares e metadeposicionais, passíveis de serem encontradas em todos os ambientes sedimentares, porém mais frequentemente em ambientes de água profunda e zonas tectonicamente ativas, onde o processo é facilitado pelo *stress* tectônico que desenvolve fluidos de alta pressão (Jolly & Lonergan, 2002). Registros de liquefação em ambiente marinho raso *offshore* apresentam o mesmo ativamento por sismos e estruturas de escape de água que os de maior profundidade, conservando as devidas proporções (Johnson, 1977).

São formados durante fortes terremotos (Obermeier, 1996), de magnitude superior a 6.5 (Levi *et al.*, 2006), quando ocorre a fluidificação de sedimento durante uma maior permeabilidade da camada-fonte do dique em relação à camada de sedimentos estratigraficamente logo acima. Os mecanismos capazes de ativar intrusões clásticas vão desde liquefação induzida por sismos e *stress* tectônico até excesso de pressão de fluido nos poros a partir de um fluido pressurizado no fundo da bacia em direção a uma camada superior (Jolly & Lonergan, 2002). Raramente, podem ser formados também devido ao excesso de pressão na unidade inferior causado pela sobrecarga rápida de sedimentos, consequentemente formando injectitos (Hurst, 2011).

Segundo Jolly & Lonergan (2002), as intrusões areníticas e clásticas são formadas quando, em uma profundidade de centenas de metros, um corpo arenoso não-consolidado e sob extrema pressão cede, causando um alto gradiente hidráulico que fluidifica a areia, sendo esta então injetada através de fraturas novas ou que existiam previamente (Figura 02).

Apesar de na Formação Corumbataí esse processo ser efetivado de maneira ascendente, ou seja, partindo de uma camada inferior para uma hospedeira superior, o contrário também é passível de ocorrer. Le Heron & Étienne (2005) registram um enxame de diques clásticos com origem em um tilito subglacial, injetados em um diamictito por pressão hidráulica vinda de cima. O tilito também não aparenta ter sofrido fluidificação, com os autores propondo um modelo de multi-fase com início no fraturamento hidráulico seguido de expansão do sedimento da rocha hospedeira devido ao material injetado e deposição do sedimento nas paredes do dique (Hayashi, 1966).

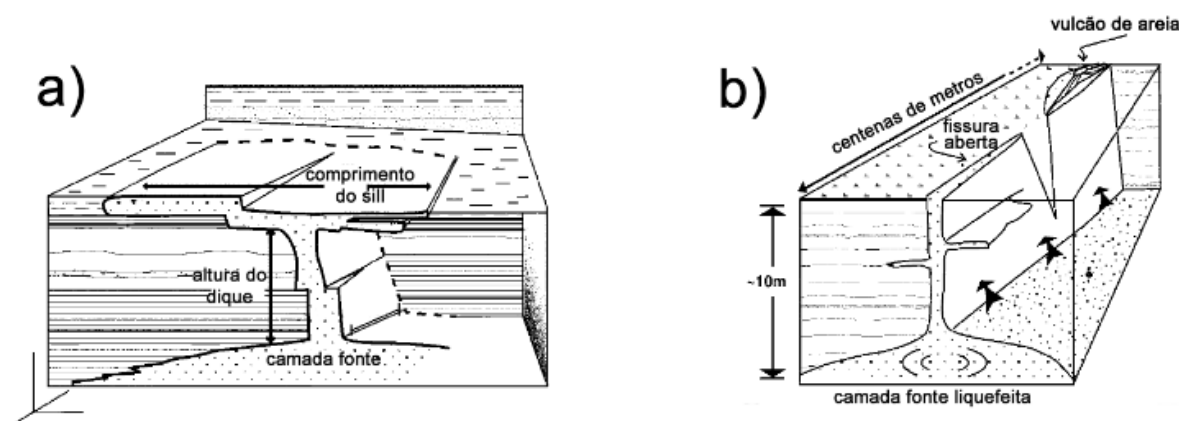


Figura 02. Representação das principais feições de diques e sills clásticos em duas situações distintas. Em a) temos uma intrusão de subsuperfície e em b), intrusões associadas a fissuras e vulcões de areia. (Modificado de Jolly & Lonergan, 2002).

Em uma seção do rio Khai, no distrito de Kutch, na Índia, é possível encontrar associações de dobras de escorregamento e diques clásticos, sendo ambos formados pela liquefação do sedimento sob influência de terremotos (Perucca *et al.*, 2014), reforçando a ocorrência de fluxo de massa em estado plástico induzido por abalos sísmicos (Kale *et al.*, 2016). Shenmugan (2016) alerta para o uso incorreto do termo sismo, uma vez que diz respeito a um mecanismo ativador, cuja influência singular não é preservada no registro sedimentar, diferentemente de processos deposicionais. Estruturas de deformação sedimentares inconsolidadas são produtos de liquefação, processo que pode ser iniciado por diversos tipos de mecanismos ativadores, o que tornaria o termo “sismo” obsoleto e seu uso desnecessário.

Diagrama de un bloque de roca con tensiones principales σ_v (vertical) y σ_h (horizontal). Se muestran diques clásticos (diques de arena) que se abren en las direcciones de las tensiones principales horizontales.

3.1.3 Diques clásticos na Formação Corumbataí

Os afloramentos estudados por Turra (2009) e por Chamani (2015) distribuem-se na porção centro-leste do Estado de São Paulo: no município de Limeira, com acesso via Rodovia dos Bandeirantes km 162; nas proximidades de Santa Luzia, entre Piracicaba e Charqueada ao longo da SP-308; e em Batovi, com acesso pela rodovia SP-191 e ao longo da antiga linha-tronco da Companhia Paulista (km 143-135).

Chamani (2015) separa os diques do afloramento de Santa Luzia em duas famílias subparalelas, uma com diques menores de 48 cm de espessura apresentando orientação N50-60E e outra família com diques com mais de 48 cm de espessura, de orientação N30-40E, sendo a primeira com mais membros e mais dispersa do que a segunda. Durante o tratamento de dados, o autor buscou estabelecer uma metodologia que filtrasse os diques pela sua espessura uma vez que os mais estreitos apresentavam orientações erráticas, que exerciam uma interferência na criação de diagramas de orientação.

Turra (2009) colheu 273 medidas de atitudes em três diferentes afloramentos dispostos em cortes de ferrovias e rodovias nos municípios de Limeira, Santa Luzia e Batovi, identificando atitudes preferenciais nos diques de NNW-SSE a NE-SW, com os esforços horizontais máximos (σ_H) paralelos a essa direção e distensão vertical ortogonal a eles. Essa orientação é correspondente ao esforço horizontal máximo (σ_H) NNE-SSW durante a intrusão enquanto há distensão na direção WSW-ENE a NW-SE, embora as medidas, em geral, apresentem uma dispersão significativa esperada em regimes de baixo *stress* associado à baixa profundidade. Em contrapartida, Perinotto *et al.*, (2008) levantam a hipótese do paralelismo supracitado na verdade se tratar de medidas influenciadas pela orientação do afloramento, com os diques não tendo uma orientação preferencial, sendo frutos de esforços confinantes sem uma orientação preferencial.

O esforço horizontal mínimo (σ_h) de orientação NNE-SSW relaciona-se à reativação sinistral permotriássica dos lineamentos NE-SW a ENE-WSW da Zona de Cisalhamento Jacutinga. Associa-se à tectônica de atividade sísmica sin-sedimentar condicionada pela compressão permotriássica de sentido N-S ao longo da borda sul do Gondwana, também evidenciada pelas falhas de empurrão WNW presentes na Formação Corumbataí. Também é considerado cronocorrelato aos eventos de atividade sísmica sin-sedimentar, o que pode evidenciar que o esforço horizontal máximo dos diques é o esforço compressivo máximo.

De acordo com Turra (2009), os diques clásticos representam, tectonicamente, fraturas geradas por efeitos de ondas sísmicas, que quando são distensionais/compressionais tendem a formarem-se paralelamente à fonte de propagação. Distribuem-se espacialmente próximos a paleoepicentros dos sismos indutores e suas espessuras podem ter relação com a localização em relação a regiões epicentrais, como no afloramento de estudo em Limeira que encontra-se próximo à Zona de Cisalhamento de Jacutinga.

3.2. Structure-from-Motion e Multi-View Stereo

A fotogrametria existe como método utilizado em busca da extração de dimensões e formato de objetos através de fotografias que, classicamente, exige um conhecimento preciso sobre a localização tridimensional, determinação da localização de pontos de

controle e posicionamento da câmera, que podem ser realizadas manualmente nas fotografias. Quando tais informações apresentam-se devidamente quantificadas, é possível realizar a triangulação responsável pela reconstituição da geometria do cenário (Carrivick *et al.*, 2016).

Inicialmente, métodos analógicos para o uso dessa técnica foram desenvolvidos. Porém, acompanhando os procedimentos de progressão tecnológica fotográfica, a fotogrametria digital foi alcançada e é aplicada atualmente. Sua evolução relaciona-se ao desenvolvimento e automatização de processos que permitem a calibração precisa de câmeras, a partir de um estudo iniciado por Armstrong *et al.* (1994) sobre um método de auto-calibração para obter estruturas euclidianas (tridimensionais) com base em múltiplas imagens de perspectiva não-calibrada usando somente combinações de pontos entre duas vistas.

A fotogrametria digital vem sendo utilizada amplamente em diferentes escalas nas geociências, predominantemente buscando efetuar análises em superfícies de mudança rápida (geleiras, escorregamentos, etc), embora não seja a única técnica disponível para esse tipo de análise. O *Aerial Laser Scanning* (ALS) e o *Terrestrial Laser Scanning* (TLS) são, da mesma forma, alternativas utilizadas para realização de análises digitais. Contudo, seu custo bastante elevado quando em comparação a outras técnicas traduz-se em um empecilho para ampla utilização, além de produzir dados em excesso que exigem um processo de filtragem (Young, 2012).

Nesse contexto, o *Structure-from-Motion/Multi-View Stereo (SfM-MVS)* apresenta-se como um método de baixo custo, partindo do objetivo de reconstrução estrutural tridimensional baseado em fotografias mas com um diferencial: os dados de posicionamento, orientação da câmera e a geometria do cenário são calculados automaticamente.

A Figura 04 ilustra qual é a ordem detalhada seguida pelo processo de SfM, de acordo com Fuhrmann *et al.*, (2015). A detecção de características se dá primeiro pela procura de pontos de interesse nas imagens considerados diferenciados uns dos outros, enquanto as vizinhanças desses pontos são armazenadas dentro de um vetor de características. Em seguida, esses vetores são combinados entre pares de imagens ao encontrar para cada característica a correspondente na segunda imagem que se localize a uma pequena distância Euclidiana, resultando em uma busca nas vizinhanças em um espaço de muitas dimensões. Após filtrar as correspondências, os pares resultantes são então combinados e expandidos para diferentes vistas, produzindo traços de características, que são então triangulados para obter um ponto tridimensional na reconstrução.

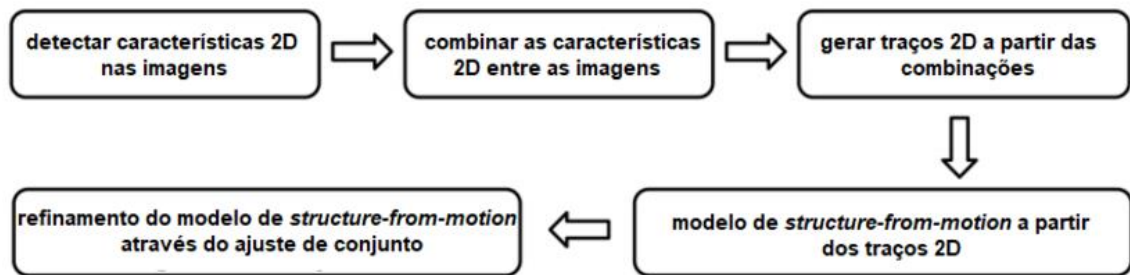


Figura 04. Fluxograma com as etapas principais do SfM, começando pela identificação de características, combinação das mesmas, geração de rastros, SfM e ajuste de conjunto (adaptado de Furukawa & Hernández (2015)).

Terminadas essas etapas, é efetuado um ajuste de conjunto (*bundle adjustment*), que busca minimizar a soma dos erros de reprojeção, tendo por objetivo o refinamento dos parâmetros da câmera e posições tridimensionais (Figura 05).

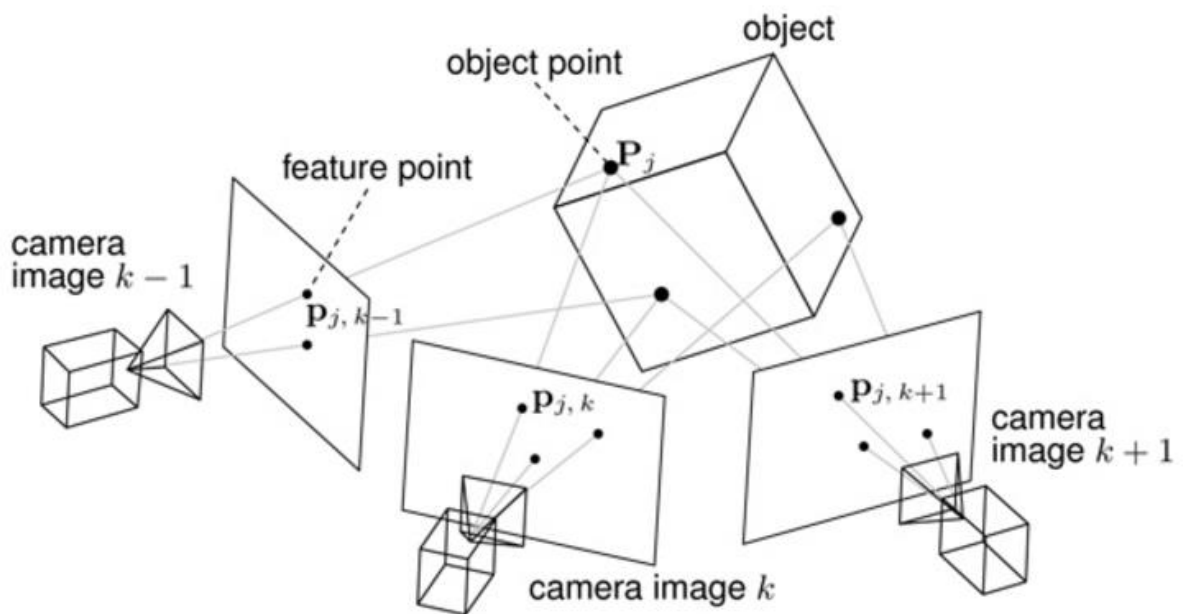


Figura 05. Reconstituição por SfM. Ao projetar-se um ponto P_j de um objeto 3D na imagem da câmera durante o tempo/posição k , o resultado é o ponto 2D rastreado $p_{j,k}$ (Kurz et al., 2011).

O processo então, de maneira geral, se dá através da pesquisa de correspondências estáveis em imagens, buscando e combinando características semelhantes esparsas, gerando dois subprodutos: os parâmetros de cada foto e um conjunto de pontos codificados como traços. Traços são definidos como sendo as coordenadas 3D de um ponto reconstruído e a lista de coordenadas 2D em um subconjunto das imagens utilizadas (Furukawa & Hernández, 2015). O funcionamento é favorecido quando as fotografias constituem uma área de sobreposição ampla, tendo o registro de diversos ângulos e

posicionamentos (Westoby *et al.*, 2012). A estrutura do ajuste de conjunto permite que haja a combinação de múltiplos sensores em uma estrutura com princípios de otimização (Furukawa & Hernández, 2015).

O subproduto dessa reconstrução geométrica das câmeras é uma representação esparsa tridimensional do objeto. A partir disso, inicia-se o processo de *Multi-View Stereo* (MVS), responsável pela reconstrução da geometria tridimensional densa, onde o algoritmo busca e encontra a correspondência visual nas imagens utilizadas a partir dos parâmetros da câmera estimados pelo SfM (Fuhrmann *et al.*, 2015).

A abordagem computacional da estereopsia, isto é, a obtenção de informações de profundidade e estrutura tridimensionais adquiridas a partir da combinação de imagens obtidas por dois olhos, é pontuada por Furukawa & Hernández (2015) como sendo a origem do MVS. Isso resultou no desenvolvimento do *multi-view*, que captura mais pontos de vista entre uma posição e outra, aumentando a robustez da reconstrução do cenário. Com algoritmos sendo projetados para lidar com as imagens a partir desses pontos de vista variáveis e um grande volume de imagens, costumeiramente o procedimento é aplicado na indústria para promover o mapeamento tridimensional. A reconstrução rápida de áreas metropolitanas foi experimentada utilizando imagens do *Google Street View*, obtendo uma acurácia de 94,7% (Xiao & Quan, 2009).

Mecanismos de foto-consistência que buscam medir a possibilidade de uma combinação de pixels ser verossímil são aplicados no MVS com a função de medir a consistência entre um conjunto de fotografias e as características que as compõem. São vistos como um problema de otimização sujeita a restrições (*constrained optimization*), onde a foto-consistência é maximizada como uma função de geometria, pontos de vista, materiais e iluminação. A otimização sujeita a restrições também é utilizada por Liu & Zayer (2012) para suavizar o ajuste de conjunto, ressaltando sua aplicação na metrologia.

4. MATERIAIS E MÉTODOS

A abordagem do projeto se divide em duas frentes: as práticas de campo e de escritório. No campo o objetivo foi coletar as informações das medidas da orientação dos diques, fotografias, coordenadas por GPS diferencial e estação total. Os dados são então trabalhados com o uso de softwares específicos para cada função: Agisoft Photoscan (Agisoft, 2014) para geração do modelo 3D por SfM-MVS, MeshLab (Cignoni *et al.*, 2008) para a seleção de estruturas, o *script ply2atti* (Viana *et al.*, 2016) com a função de recuperar as orientações das estruturas assinaladas, CloudCompare (CloudCompare 2.8.1., 2017) na

identificação de atitudes e identificação de formas e, por fim, o OpenStereo (Grohmann & Campanha, 2011) para análise estrutural estatística.

4.1. Atividades em campo

4.1.1. Primeiro campo - 11/07/2017

Na primeira etapa de campo, visitou-se o afloramento em estudo após uma integração de segurança, exigida pela CCR AutoBA que forneceu uma autorização permitindo a realização da pesquisa no trecho de interesse. No mesmo dia, esboçaram-se as práticas que seriam realizadas durante as atividades, onde foram determinadas quais seriam úteis e possíveis, bem como seu tempo de duração. Decidiu-se então pela produção de uma visita na semana seguinte tendo por objetivo a coleta dos dados necessários.

4.1.2. Segundo campo - 20/07/2017

Nesta atividade, seguiram-se as decisões estabelecidas na semana anterior. Primeiramente, foi obtida a disposição espacial ideal da estação total (ET) para com o afloramento e dois pontos fixos distantes lateralmente foram locados assim como os alvos na rocha em análise. O funcionamento da estação total se dá por meio de um dispositivo de medição eletrônica de distância que faz uso de um pulso laser infra-vermelho aparelhado a um teodolito eletrônico, garantindo o fornecimento de coordenadas, medidas de ângulos e distâncias verticais, horizontais e inclinadas. O modelo que foi utilizado nas atividades é TOPCON Série GPT-3200N, que realiza suas medições com o uso de um prisma (objeto bastante refletor) ou não (em distâncias maiores que um metro e menores que 400 metros).

De início foi localizado o ponto de fixação para a estação total, com a disposição adotada para a mesma cruzando a rodovia, ficando de frente para o afloramento; em seguida sua localização foi marcada permanentemente com um chumbador (garantindo a realização de trabalhos futuros a partir deste ponto de referência) e, após fixá-la, foi feita sua centralização em relação ao chumbador, onde ela passou a ser nivelada sobre o tripé. Com a estação total fixada, o prisma foi movido até o ponto mais distante à beira da estrada que ainda fosse avistado pela estação total (ponto fixo 1: FX01), esta então com o foco no centro do mesmo e atribuindo o valor zero para o ângulo horizontal, tornou-o o ponto de partida para as leituras angulares. Logo depois, os valores de distância horizontal e inclinada nos são fornecidos automaticamente.

O prisma em seguida teve sua localização mudada para um ponto nas mesmas condições descritas para o primeiro, porém dessa vez no sentido oposto da rodovia (ponto fixo 2: FX02). Além de adquirir as informações já citadas previamente, também foi obtido o ângulo de abertura de um ponto fixo a outro, com origem na estação total (Figura 06). Essa

grande distância entre os dois pontos fixos e a estação total se fez necessária para promover a diminuição do erro do dGPS em etapas futuras.



Figura 06. Posicionamento da estação total (ET), os pontos fixos (FX01 e FX02) e os alvos distribuídos no afloramento (em azul) em relação à rodovia BR-183, obtidos com as coordenadas do dGPS. Em destaque, o ângulo horizontal de abertura de um ponto fixo ao outro.

Feito isso, foram distribuídos no afloramento 13 alvos de modo a cobri-lo uniformemente, alvos estes que tiveram a função de marcadores gerados para guiar o Photoscan no georreferenciamento na etapa de escritório. O próximo passo foi coletar com a estação total o ângulo vertical e horizontal, além das distâncias vertical, horizontal e inclinadas dos alvos, concentrando a mira no centro dos mesmos, dessa vez sem o uso de um prisma. Os resultados então são anotados para serem utilizados no trabalho de escritório com o dGPS.

Dando prosseguimento às atividades, passou-se a determinar a atitude de alguns diques no afloramento fazendo uso de uma bússola Brunton Transit (tipo Clar) enquanto que com uma fita métrica foram obtidas suas espessuras, totalizando 25 diques medidos e com identificação numérica. O afloramento foi então fotografado segundo os critérios ideais para o cumprimento do SfM-MVS: fotografias orientadas perpendicularmente ao longo do objeto de estudo e, em seguida, novas fotografias buscando uma sobreposição horizontal de 60% e vertical de 30%, com uma Nikon D7000. Todavia, o horário já avançado ocasionou uma iluminação desfavorável sobre o afloramento, fornecendo fotos não satisfatórias, o que resultou em mais uma etapa de campo na semana seguinte.

4.1.3. Terceiro campo - 27/07/2017

Na terceira etapa de campo, a organização adotada foi de, primeiramente, redistribuir os 13 alvos pelo afloramento em novas posições, refazendo a identificação com números nos diques a terem suas orientações medidas com bússola novamente, dessa vez buscando uma maior amostragem que totalizou em 60 diques espalhados pelo afloramento e que se tornaram a base do estudo deste trabalho.

O registro das fotografias foi realizado de maneira a obter uma sobreposição lateral de 60% entre as imagens adjacentes obtidas com a câmera posicionada perpendicularmente ao afloramento. Adicionalmente, foi efetuado o registro de imagens com visada oblíqua ao afloramento, a fim de minimizar erros na reconstrução da superfície tridimensional (Wackrow & Chandler, 2011).

Após uma medição inicial com a câmera Nikon D7000 com a distância focal fixada em 35 mm, foi determinado que cada foto cobriria uma distância horizontal de 4 m. Com isso, esses intervalos passaram a ser demarcados no acostamento para guiar as fotografias que seriam registradas perpendicularmente ao afloramento. Em seguida foram demarcados intervalos de 1,5 m à esquerda das marcações com espaçamento de 4 m, resultando em uma sobreposição de 60%.

A câmera é então posicionada em intervalos de 1,5 m de distância, onde são registradas três fotografias: uma orientada perpendicularmente ao afloramento (Figura 07A) e obliquamente aos dois lados do arranjo (Figura 07B).

Ao mesmo tempo em que as fotografias eram realizadas, a medição das orientações dos diques selecionados foi efetuada (rumo do mergulho/mergulho), bem como as suas espessuras.

Foi feita então a aquisição da disposição espacial dos novos alvos no afloramento com a estação total, já que a localização dos mesmos nessa nova sessão fotográfica possuía diferenças em relação à anterior. Por fim, fotografias de detalhe foram realizadas para registrar exatamente o local onde as medidas com bússola foram efetuadas em cada dique, usando uma câmera Nikon AW130.

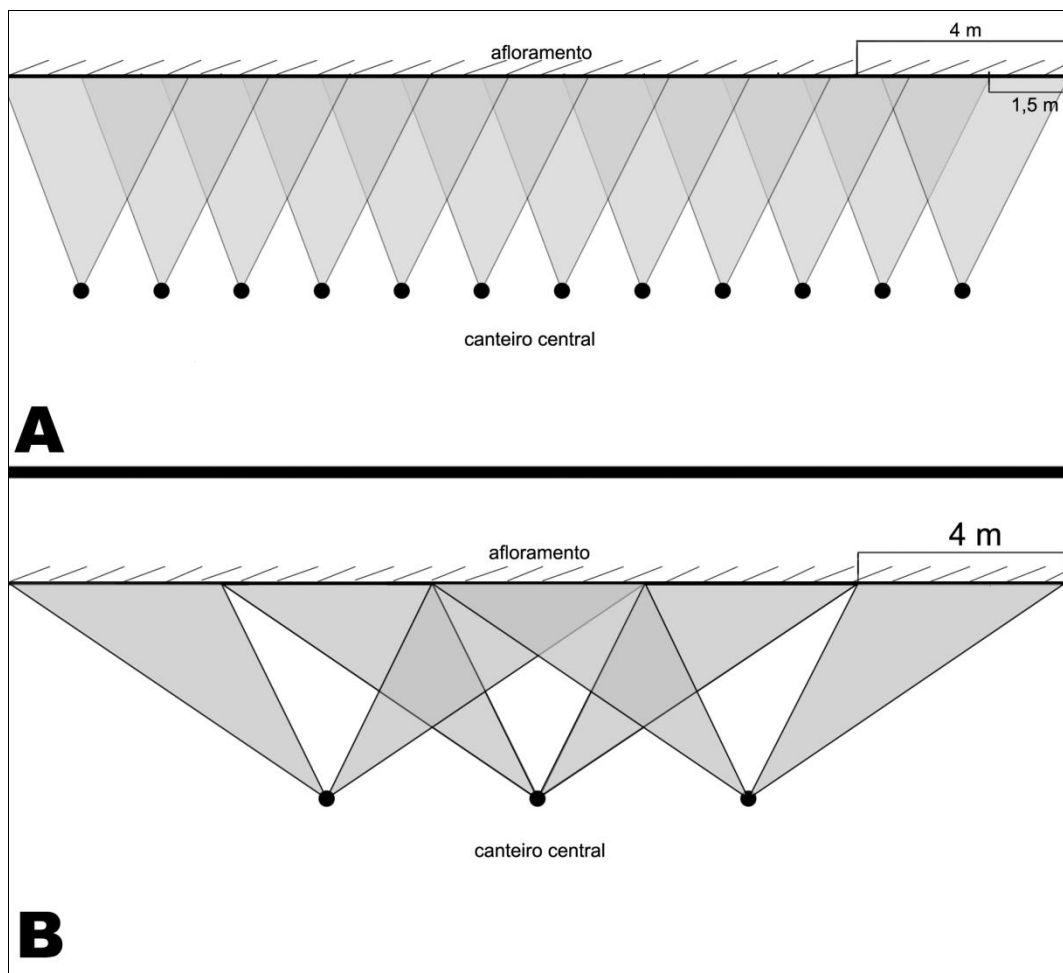


Figura 07. Esquema para a sequência de fotos tiradas do afloramento. Em (A) registra-se o afloramento em seções de 4m, perpendiculares, reposicionando-se lateralmente em intervalos de 1,5 m, gerando a sobreposição de 60%; em (B), nas mesmas posições assumidas em (A), fotografa-se duas seções de 4 m oblíquas.

4.1.4. Quarto campo - 05/09/2017

A quarta atividade de campo foi necessária para a obtenção de novas fotos com a Nikon D7000. Quinze alvos foram dispostos novamente no afloramento de maneira a cobri-lo homogeneamente e o mesmo foi mais uma vez fotografado da maneira previamente descrita. Essas fotografias foram então armazenadas e selecionadas para serem usadas no processo de SfM-MVS.

4.1.5. Quinto campo - 20/09/2017

Por fim, na quinta e última etapa de campo foi feito o uso do dGPS Spectra Precision SP60 para obter a localização do prisma e da ET com a maior precisão possível. O dGPS funciona partindo de uma localização fixa e conhecida (base ou referência) para ajustar os dados imediatos de GPS coletados com um aparelho móvel (*rover*), aumentando sua acurácia (IBGE, 2008). No presente trabalho, o equipamento utilizado como base foi localizado do mesmo lado da rodovia em que foi fixada a estação total.

Para que a base efetue leituras precisas, é necessário que não haja interferência causada por proximidades a prédios ou sob árvores, portanto buscou-se encontrar o local ideal para sua disposição: em uma região topograficamente elevada, melhorando a recepção do sinal de satélite e diminuindo a interferência, otimizando a recepção.

No processamento dos dados, utilizou-se como referência a estação da Rede Brasileira de Monitoramento Contínuo (RBMC) do IBGE localizada no campus de Campinas da Unicamp (Estação SPC1 - Anexo 01). Os dados coletados por essa estação durante o dia em que o levantamento em campo foi feito foram utilizados para corrigir as flutuações do sinal GPS da nossa base fixa, e assim determinar suas coordenadas com alta precisão. O mesmo procedimento é realizado para determinar as coordenadas dos pontos levantados com o equipamento *rover*, porém, utiliza-se como referência as coordenadas corrigidas do equipamento base.

4.2. Atividades em escritório

As fotos são selecionadas para o uso na modelagem tridimensional no Agisoft Photoscan, que utiliza-se de uma rotina a partir da qual é gerada, inicialmente, uma nuvem de pontos esparsa e uma densa que darão origem à malha 3D. Primeiramente, na opção *Add Photos* do menu *Workflow*, as fotos utilizadas na elaboração do modelo são escolhidas (no caso, fotografias da terceira e quarta etapas de campo) localizando-as no computador, para em seguida, no mesmo menu, a opção *Align Photos* ser selecionada, promovendo o alinhamento das fotos através da detecção de características e da combinação de características do SfM.

Para que a nuvem de pontos esparsa e densa sejam geradas, dá-se continuidade ao processo de SfM-MVS: novamente no menu *Workflow*, é escolhida a opção *Build Dense Cloud*, onde é possível optar pela qualidade da nuvem a ser criada dentre as opções *Ultra High*, *High*, *Medium*, *Low* e *Lowest* (muito alta, alta, média, baixa e muito baixa, respectivamente), sendo que quanto maior a qualidade, maior o número de pontos na nuvem gerada e maior o tempo de processamento envolvido. Terminada essas etapas, são obtidas as nuvens de pontos esparsa e densa na qualidade *High*, uma vez que foi percebido que a *Ultra High* carregava muito ruído no modelo elaborado e não favoreceria as análises. No menu *View*, na opção *Show/Hide Items* e ao selecionar *Show Cameras*, é possível selecionar a exibição da estimativa do posicionamento das câmeras fotográficas feito pelo ajuste de conjunto do software.

Na composição da nuvem de pontos, o registro do céu, do asfalto, vegetação e empilhamento de sedimentos geram um tempo a mais de processamento desnecessário, já que essas porções não são importantes para o cálculo das medidas de interesse. A fim de agilizar o processo, foi utilizada a função *Mask*, que remove partes da fotografia fazendo

com que sejam ignoradas pelo SfM-MVS. Foi então selecionado manualmente o que viria a ser ignorado no processamento, criando um polígono com o uso da função *Lasso* e a opção *Add Selection* clicada, destacando em tom mais escuro a região que não será processada (Figura 08).



Figura 08. Demonstração do funcionamento da função *Mask* no Agisoft Photoscan, as áreas da foto cobertas em cinza não serão processadas. As bandeiras verdes indicam o centro dos alvos (TG03 e TG04) identificados no software para auxiliar o georreferenciamento através da função *Create Marker*.

Para inserir as coordenadas de cada alvo no Photoscan, foi preciso calcular seus valores a partir dos dados levantados em campo com a estação total. No Spectra Precision Survey Office, software que acompanha o equipamento, primeiramente são inseridas as coordenadas que foram coletadas em campo para a base, estação total (ET), ponto fixo 1 (FX01) e ponto fixo 2 (FX02). Em seguida, são incluídas manualmente as medidas de distância inclinada (DI) e dos ângulos vertical (V) e horizontal (HD) em valores decimais correspondentes a cada alvo, o que faz com que o programa calcule as coordenadas automaticamente, salvando os dados em uma tabela.

O próximo passo foi localizar os alvos nas fotos e inserir as coordenadas. Os alvos foram identificados visualmente e no seu centro selecionada a opção *Create Marker*. No painel *Markers*, o nome do alvo foi então alterado para o do seu identificador previamente decidido (TG) e os valores de X, y e Z provenientes da tabela gerada pelo dGPS foram inseridos manualmente. A partir da seleção manual do alvo em uma imagem, o Photoscan é capaz de identificá-lo automaticamente nas demais, porém o posicionamento do marcador pode deslocar-se do centro, sendo necessário um pequeno ajuste manual.

Concluído este passo, o *setup* necessário para a fabricação da malha triangular está completo. As atividades são retomadas na nuvem densa com a escolha da opção *Build Mesh*, novamente no menu *Workflow*, bem como a qualidade da malha (no modelo para este estudo foi escolhida a qualidade média) e deixando desmarcada a opção *Interpolation*, assinalada por padrão. Após a seleção do sistema de coordenadas (UTM 23 Sul, datum SIRGAS 2000) e uma translação (*Shift*) aplicada para reduzir os valores das coordenadas, o arquivo é salvo no formato *.ply*, sendo então aberto no MeshLab, onde a imagem tridimensional passa a ser tratada para o uso do ply2atti.

No MeshLab, as superfícies da malha cuja atitude devem ser obtidas (ou seja, as laterais dos diques visíveis no afloramento) são coloridas até que todos estejam assinalados especificamente no mesmo local onde as medidas manuais foram efetuadas na etapa de campo (Figura 09). Para garantir que a localização seja a mesma, foram utilizadas fotografias de detalhe com a localização marcada no local onde a medição foi realizada no dique. Terminado isso, a numeração em RGB da cor utilizada é então anotada para ser fornecida ao programa. Concluída essa parte, exporta-se a malha com pontos marcados (opção *Export Mesh...* no menu *File*, selecionando as opções *Color*, *Normal* e *Binary Encoding*) novamente no formato *.ply*.

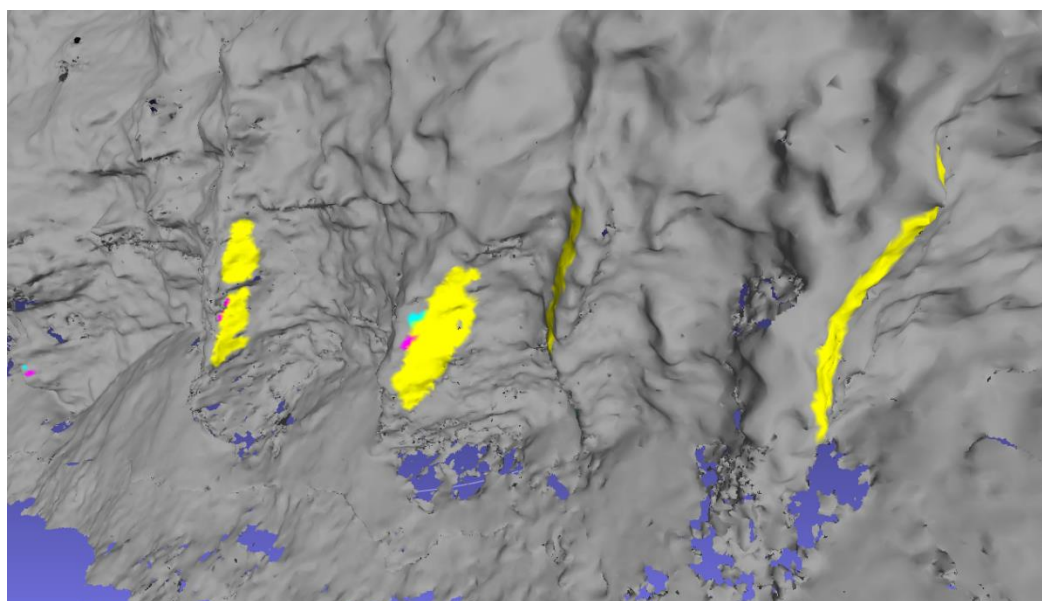


Figura 09. Malha vista no MeshLab com as indicações correspondentes ao local das medidas de campo no modelo, em magenta. Em amarelo, a lateral de alguns diques assinaladas para formar polígonos grandes. Em ciano, temos a localização de um teste feito previamente para determinar a normalidade do funcionamento do script.

Em sua versão mais recente, o ply2atti é um pacote Python e pode ser instalado através do gerenciador pip. Após sua instalação, ele é executado através do prompt de comando com a seguinte linha de comando:

```
ply2atti --file diques.ply 0,255,255
```

O *script* então buscará as superfícies que foram marcadas com a cor determinada pelo código RGB descrito na linha de comando, retornando dois arquivos no formato .txt: um com suas respectivas atitudes e outro contendo além destas, a localização no afloramento do centróide dos planos através de suas coordenadas X, Y e Z.

A comparação de pontos medidos manualmente com os obtidos pelo *script* é realizada fazendo uso do CloudCompare, onde primeiramente a malha .ply previamente colorida no MeshLab é adicionada, em seguida o mesmo sendo feito com o .txt contendo os dados dos centróides. O software então irá dispor sobre a malha os pontos provenientes dessa tabela, que deverão localizar-se sobre as manchas que foram pintadas manualmente, representando as superfícies em que o ply2atti efetuou o cálculo das atitudes.

É necessário identificar qual ponto representa qual dique marcado a partir das fotografias de detalhe tiradas no campo, por isso foi selecionado um ponto individual e sua localização foi comparada com a do modelo gerado pelo Agisoft Photoscan. O CloudCompare então fornecerá as coordenadas X, Y e Z únicas desse ponto correspondente ao centróide, com as quais é identificado no arquivo de texto a atitude calculada do plano pelo ply2atti, comparando-a por fim com as medidas de campo.

É preciso agora comparar a diferença angular entre a medida da bússola com a obtida digitalmente. Para tanto, foi utilizado o *script* angulo.py (Viana, 2017) que opera comparando a diferença angular (Δ) das atitudes dispostas em dois arquivos, par a par. O primeiro arquivo .txt é o das atitudes dos diques adquiridas com a bússola e o segundo, o das medidas geradas pelo ply2atti, sendo importante organizá-las para que estejam linearmente correspondentes. Após executá-lo, a diferença angular para cada par de medidas retornará no prompt de comando, onde a informação deve ser copiada e organizada em uma tabela pelo usuário. É realizada a análise de cada diferença para estimar a eficácia do método, onde determinamos que os valores aceitáveis serão os que retornarem idealmente abaixo de 5° (Allmendinger *et al.*, 2017).

A partir disso, o modelo é validado e passa-se a marcar novos pontos para serem medidos diretamente com o *script*, no caso, toda a lateral do dique quando isso se mostra possível, buscando obter sua orientação geral para compensar sua variação espacial. Para tanto, novamente colorem-se regiões buscando gerar a análise, seguindo o critério de ser uma lateral de dique aleatória e buscando desviar de buracos na malha, lembrando de fazer uso de uma cor diferente (no caso, 255,255,0) para em seguida ser digitada a mesma linha de comando anterior, porém mudando o valor RGB da cor para o utilizado neste processo. Isso faz com que o *script* busque somente pela cor especificada, ignorando as demais já assinaladas, nos retornando as orientações das superfícies.

Um arquivo .txt com os valores das novas orientações é então obtido. Com o OpenStereo, foram montados os diagramas de roseta, utilizando como base as medidas obtidas em campo com bússola, as medidas do ply2atti em cada posição de detalhe, além das medidas obtidas diretamente no modelo em regiões arbitrárias.

Os dados do rumo do mergulho do campo são então relacionados com a espessura de cada dique. A partir disso, o software forneceu as rosetas de frequência dos azimutes em intervalos de 10°, também as ponderando em relação à espessura. Em seguida, as medidas adquiridas pelo ply2atti na mesma localização de campo são por sua vez convertidas em diagramas, assim como as obtidas diretamente no modelo ao ter sua superfície toda selecionada no MeshLab. Por fim, essas rosetas são comparadas entre si e com a de Turra (2009), buscando avaliar a eficácia do método perante os dados de campo e com o trabalho de referência.

5. RESULTADOS OBTIDOS

As medidas da estação total TOPCON Série GPT-3200N para os pontos fixos 1 (FX01), 2 (FX02) e dos 15 alvos (TG) encontram-se apresentados na Tabela 01.

TERCEIRA CAMPANHA - 05/09						
PONTO	HD	DH	DV	V	DI	hprisma
FX01	329°59'59"	445.887	18.082	87°40'39"	446.253	1.45
FX02	172°23'02"	585.923	-22.823	92°13'53"	586.367	1.45
TG01	39°59'51"	61.849	2.217	87°56'50"	61.889	
TG02	40°37'13"	62.099	3.179	87°04'05"	62.180	
TG03	48°31'27"	54.132	1.998	87°53'14"	54.169	
TG04	49°26'19"	53.688	3.161	86°37'51"	53.781	
TG05	69°50'40"	42.908	1.694	87°44'27"	42.941	
TG06	69°54'48"	41.896	-0.238	90°19'33"	41.896	
TG07	77°29'53"	39.822	-0.542	90°46'47"	39.825	
TG08	90°00'48"	39.213	-0.115	90°10'06"	39.213	
TG09	97°50'31"	39.694	0.175	89°44'49"	39.694	
TG10	112°58'38"	41.786	-1.082	91°29'01"	41.800	
TG11	116°38'26"	43.467	-0.371	90°29'01"	43.468	
TG12	127°34'02"	48.116	-1.554	91°50'57"	48.141	
TG13	125°23'21"	47.975	0.583	89°18'15"	47.978	
TG14	108°48'51"	42.105	1.593	87°50'05"	42.135	
TG15	139°01'42"	57.232	-2.478	92°28'41"	57.286	

Tabela 01. Dados colhidos pela estação total (ET). HD para ângulo horizontal, DH para distância horizontal, DV para distância vertical, V para ângulo vertical, DI para distância inclinada e hprisma para a altura do prisma.

A Tabela 02 fornece as coordenadas registradas por um GPS de navegação Garmin GPSMap 64S, em comparação com os valores obtidos pelo pós processamento dos dados

do dGPS, enquanto que a Tabela 03 mostra também as coordenadas de cada alvo calculadas no Spectra Precision Survey Office. Ao fim desses procedimentos, o erro obtido foi de 3-4 mm na componente horizontal e de 6-8 mm na componente vertical das coordenadas, como trazido pelo Anexo 02, o relatório gerado pelo Spectra Precision Survey Office.

PONTO	TIPO	UTM E	UTM N	Elevação	erro H (m)	erro V (m)
ET	Garmin	247460.000	7505369.000	639.000	3.000	3.000
	pós-proces.	247460.673	7505374.731	644.575	0.003	0.008
FX-01	Garmin	247869.000	7505564.000	657.000	3.000	3.000
	pós-proces.	247862.710	7505567.743	662.117	0.004	0.008
FX-02	Garmin	246973.000	7505052.000	626.000	3.000	3.000
	pós-proces.	246970.587	7505053.179	621.273	0.004	0.006

Tabela 02. Dados de coordenadas UTM para a estação total (ET), ponto fixo 01 (FX-01) e ponto fixo 02 (FX-02) obtidos através de um GPS de navegação e do dGPS com pós-processamento.

ID	UTM E	UTM N	ELEVAÇÃO
ET	247460.644	7505374.671	645.509
FX01	247862.710	7505567.743	662.117
FX02	246970.587	7505053.179	621.273
TG01	247520.581	7505359.340	647.726
TG02	247520.652	7505358.625	648.689
TG03	247510.533	7505353.623	647.506
TG04	247509.785	7505353.009	648.669
TG05	247491.416	7505344.751	647.201
TG06	247474.105	7505334.984	645.271
TG07	247485.250	7505343.347	644.967
TG08	247477.615	7505339.308	645.394
TG09	247472.787	7505336.868	645.684
TG10	247462.593	7505332.918	644.427
TG11	247459.892	7505331.198	645.142
TG12	247450.705	7505327.578	643.955
TG13	247452.526	7505327.374	646.091
TG14	247466.014	7505329.876	647.214
TG15	247437.927	7505322.122	643.032

Tabela 03: coordenadas obtidas com o dGPS para a ET (estação total), FX01 (ponto fixo 01), FX02 (ponto fixo 02) e os alvos dispostos no afloramento (TG).

A Tabela 04 dispõe as medidas obtidas com a bússola no afloramento e com o ply2atti, bem como a diferença angular calculada entre cada par de medidas para cada dique (Δ). Adotamos o critério descrito em Allmendinger *et al.* (2017) para essa diferença angular (tolerância de 5°) e baseando-nos nesta determinação, classificamos cada dique em três categorias responsáveis pela geração de um valor diferente do esperado: dificuldade do ply2atti para identificar a superfície a ser medida, podendo identificar mais de uma superfície no mesmo local (A); zona de sombra, o que pode ocasionar buracos na malha ou

aproximações indesejadas pelo software (B); e dificuldade de localização do local exato onde foi realizada a medida do dique, seja por insuficiência de informações nas fotografias de detalhe ou por serem pouco espessos (C).

A reconstrução tridimensional do afloramento está apresentada na Figura 10.

ID	bússola	ply2atti	Δ	A	B	C	ID	bússola	ply2atti	Δ	A	B	C
1	053/86	079/89	26		✓		26	116/80	118/87	7	✓		
2	084/80	081/79	3	✓	✓		27	300/80	303/80	3			✓
3	241/78	208/88	34		✓		28	034/86	036/81	5			✓
4	181/12	210/14	7		✓		29	107/84	108/87	3		✓	
5	235/88	249/79	17		✓		30	260/87	266/81	8		✓	
6	037/72	029/84	14		✓		31	094/90	101/80	12		✓	
7	066/80	055/88	14			✓	32	106/80	102/62	18		✓	✓
8	347/80	340/74	9			✓	33	059/60	055/58	4	✓		
9	066/80	100/75	34	✓	✓		34	283/86	279/77	10	✓		
10	102/64	098/72	9		✓		35	301/89	309/89	8		✓	
11	090/88	089/86	2		✓		36	278/86	280/83	4		✓	
12	006/88	357/83	10	✓			37	311/89	304/87	7		✓	
13	033/74	031/78	4	✓			38	065/90	060/87	6	✓	✓	
14	075/80	052/64	27		✓	✓	39	261/81	263/76	5	✓	✓	
15	030/78	014/63	21		✓	✓	40	115/72	315/77	143			✓
16	065/78	065/77	1		✓		41	246/81	254/83	8		✓	
17	260/60	119/85	129			✓	42	312/90	319/88	7	✓		
18	064/56	087/57	19		✓		43	261/80	244/82	17	✓	✓	
19	097/82	125/82	28		✓	✓	44	093/64					✓
20	054/89	052/82	7			✓	45	056/89					✓
21	087/64	103/69	15		✓		46	338/64	349/59	11	✓		
22	098/86	103/72	15	✓	✓		47	069/80	073/75	6		✓	
23	114/84	109/77	9	✓			48	263/82	252/87	12		✓	
24	281/78	285/74	6	✓		✓	49	276/87	271/85	5	✓		
25	348/86	358/86	10			✓	50	037/73	031/59	15	✓	✓	

Tabela 04. Apresentação das medidas de cada dique identificado com bússola e pelo ply2atti, bem como a diferença angular (Δ) e o que ocasionou essa diferença, sendo: (A) para dificuldade de identificação da superfície pelo script, (B) para presença de sombra e buracos na malha e (C) para informação insuficiente de localização a partir de fotos ou dique de pouca espessura.

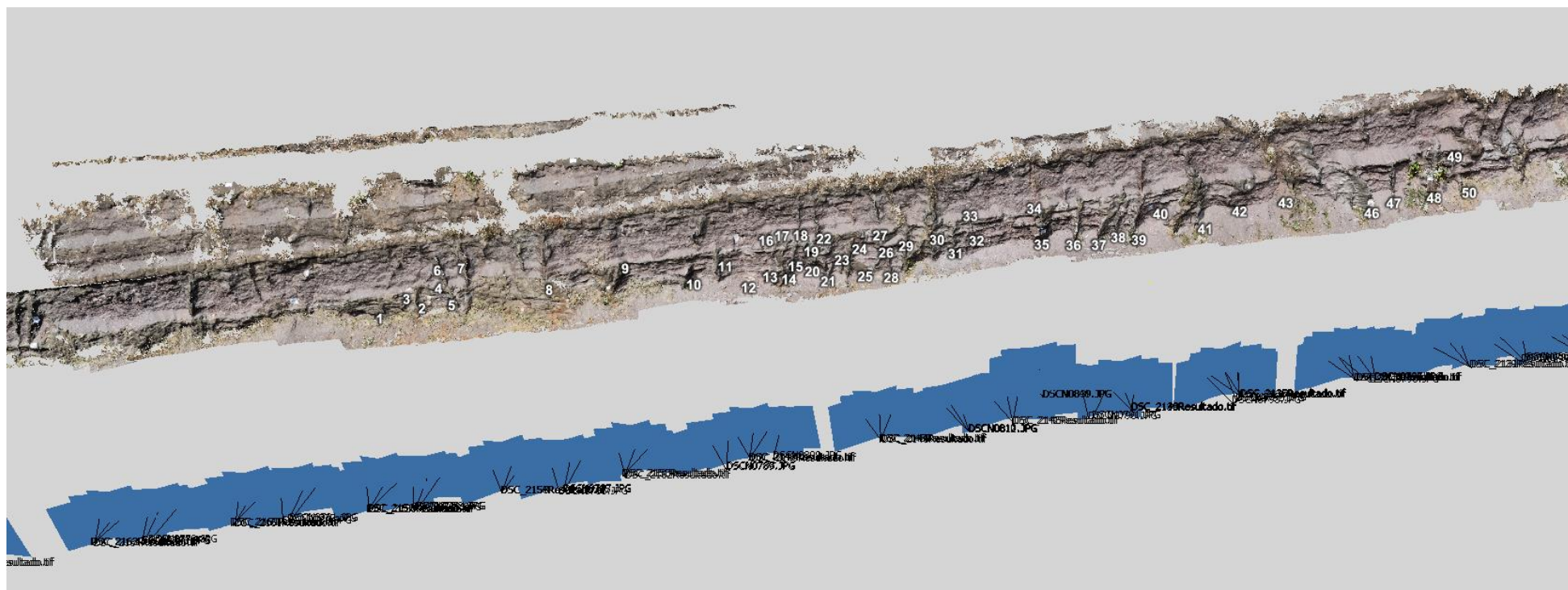


Figura 10. Reconstrução tridimensional do afloramento com o Agisoft Photoscan, com a identificação dos diques localizados. Em azul temos o posicionamento a partir da onde as fotos utilizadas no modelo foram registradas.

Um relatório também é gerado pelo Photoscan, fornecendo informações sobre a sobreposição das fotos (Figura 11), tipo de câmera (Figura 12), resolução, quantidade de fotografias, sistema de coordenadas, informações detalhadas sobre os parâmetros para a geração da nuvem de pontos esparsa e densa, versão do software e plataforma onde o processamento foi feito (Anexo 03) . A partir dele, vemos que o software baseou-se em 106 fotografias disponíveis do afloramento, com parâmetros de qualidade média para gerar a nuvem esparsa com 62.149 pontos e também a densa com 30.660.551 pontos, levando cerca de 1 hora e 15 minutos até o final do processamento, em um computador Windows 64 bit com processador Intel i7 de 4.2 Ghz e 64 GB de memória RAM, além de uma GPU EVGA Geforce GTX 1080 Ti com 11 GB de memória.

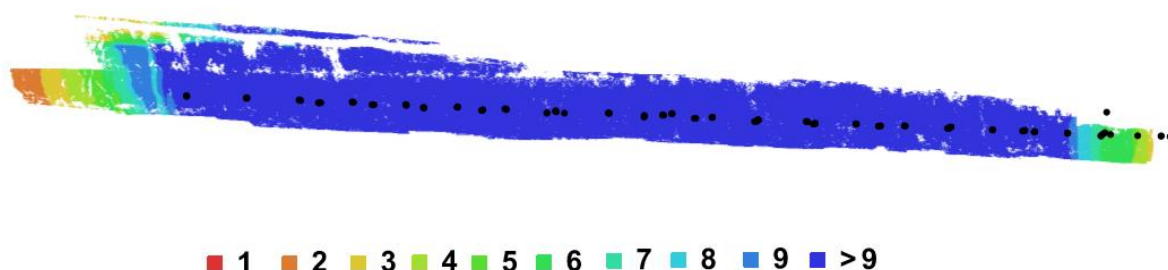


Figura 11. Imagem fornecida no relatório do Agisoft Photoscan indicando a localização das câmeras para as fotografias usadas na reconstrução tridimensional (círculos pretos) calculadas automaticamente pelo software e o número de fotos sobrepostas pelo afloramento de acordo classificadas em cores, partido de 1 até mais que 9.

Number of images:	106	Camera stations:	106
Flying altitude:	17.7861 m	Tie-points:	8259
Ground resolution:	0.00259972 m/pix	Projections:	49561
Coverage area:	9.85994e-005 sq km	Error:	1.23749 pix

Camera Model	Resolution	Focal Length	Pixel Size	Precalibrated
NIKON D7000 (35 mm)	4928 x 3264	35 mm	4.92678 x 4.92678 um	No
COOLPIX AW130 (7.8 mm)	4608 x 3456	7.8 mm	1.3316 x 1.3316 um	No
COOLPIX AW130 (6.1 mm)	4608 x 3456	6.1 mm	1.34766 x 1.34766 um	No

Figura 12. Informações obtidas no relatório gerado pelo Photoscan sobre as fotos e câmeras utilizadas no SfM-MVS. Ao total foram utilizadas 106 fotografias, com duas diferentes câmeras: Nikon D7000 com distância focal de 35 mm e uma Nikon AW130 com distância focal de 7.8 mm e 6.1 mm.

Os gráficos obtidos a partir das medidas de campo e do ply2atti encontram-se representados nas figuras 13 a 16.

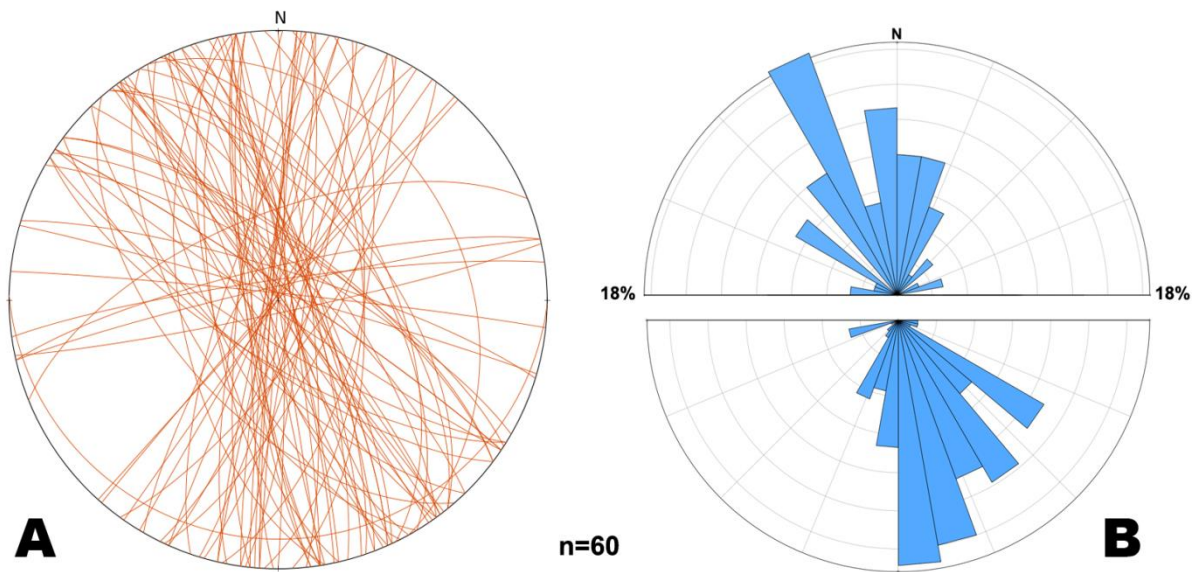


Figura 13. Diagramas produzidos pelo software OpenStereo. (A) círculos máximos de direção dos diques clásticos; (B) diagramas de roseta no de cima é fornecida a representação da frequência acumulada e no de baixo a frequência ponderada pela espessura ($n=60$).

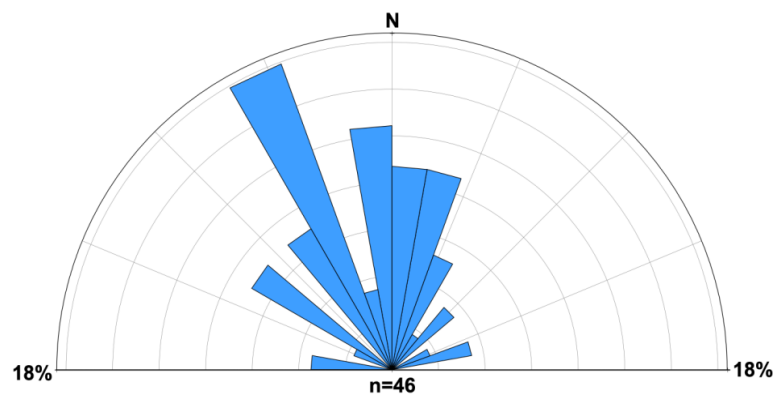


Figura 14. Diagrama de roseta com as medidas de campo que foram identificadas com sucesso no ply2atti ($n=46$).

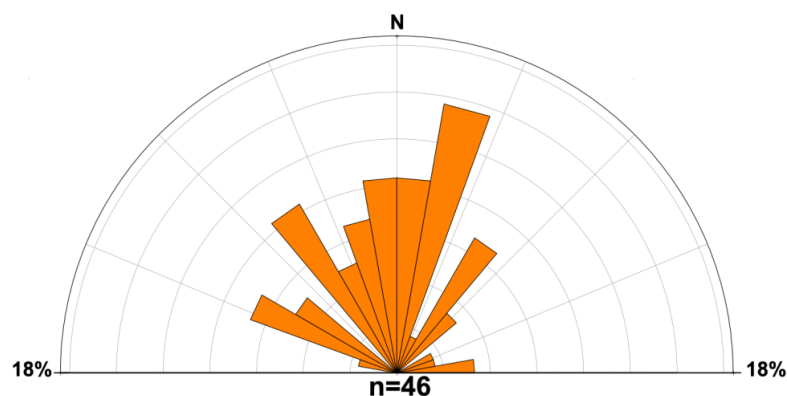


Figura 15. Diagrama de roseta das medidas adquiridas pelo ply2atti nas mesmas localizações de campo ($n=46$).

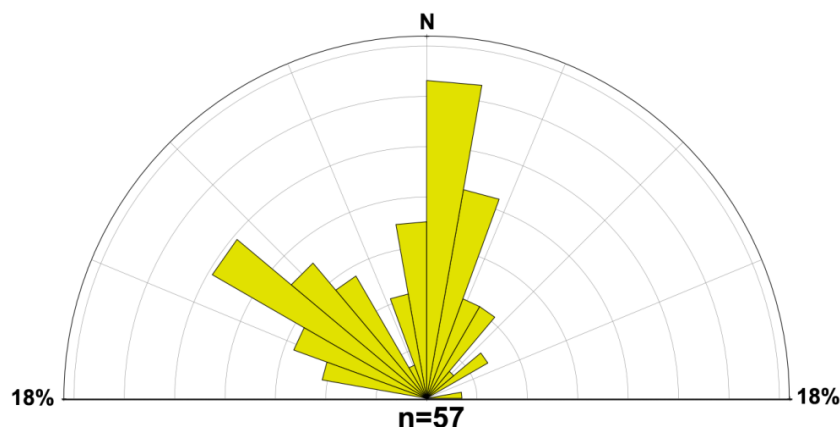


Figura 16. Diagrama de roseta das medidas adquiridas pelo ply2atti a partir do modelo que teve toda a lateral do dique identificada no MeshLab (n=57).

6. INTERPRETAÇÃO E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Foram encontradas dificuldades a respeito do tamanho do afloramento e a resolução espacial desejada, além da quantidade de fotos necessárias para promover a sobreposição. Para que o SfM funcione corretamente, é preciso que a sobreposição seja dentro de parâmetros ideais já predeterminados. Com isso, cada porção do afloramento foi fotografada diversas vezes, totalizando um número elevado de fotos que também foram registradas com qualidade elevada, esgotando o espaço disponível no cartão de memória da câmera em pouco tempo.

Portanto, é inevitável escolher dentre as seguintes possibilidades: produzir fotografias de qualidade inferior, ter um computador próximo preparado para descarregar as fotos conforme são tiradas ou adquirir um cartão de memória maior e de alta velocidade de gravação de dados. Para a terceira etapa de campo, foi utilizado um cartão de memória de alta capacidade, contudo, ao extrairmos as fotos, foi verificado que algumas delas encontravam-se corrompidas e inacessíveis ao computador, provavelmente por causa da velocidade de armazenagem lenta. Como essa extração foi feita em um notebook ainda no afloramento, isso pôde ser remediado imediatamente pelo uso de uma segunda câmera fotográfica que encontrava-se disponível (Nikon AW130) possibilitando o registro de novas imagens. Além disso, esse modelo de câmera possui um GPS próprio, o que forneceu uma orientação geoespacial prévia servindo de auxílio para a elaboração do modelo 3D no Photoscan.

Ainda sobre as fotos, a iluminação possui importância vital para que a qualidade do modelo seja assegurada, registrando com maior detalhe as estruturas em estudo. A presença de sombras no afloramento também pode prejudicar bastante a visualização e análise estrutural, desse modo, o ideal é possuir fotos com diferentes iluminações,

fornecendo opções das quais as mais favoráveis são escolhidas, ou então que elas sejam tiradas no momento de iluminação mais favorável.

Outro fator é a inclinação na porção superior do afloramento que por consequência acaba promovendo a inclinação dos alvos ali dispostos, dificultando ou impossibilitando sua captura e inserção de marcadores no Photoscan. Com isso, foi decidido realizar o processo de SfM-MVS somente na porção central do afloramento, descartando a porção superior, acima da berma.

O uso da estação total rendeu alguns desafios em relação à localização do afloramento, próximo a uma curva da estrada, sendo necessário um esforço maior para atingir a disposição ideal dos pontos fixos buscando a diminuição do erro.

Além disso, a passagem constante de carros por vezes interrompia medições e, no caso de veículos pesados, foi ocasionado um pequeno desalinhamento antes dos pontos terem suas medidas efetuadas, o que foi resolvido alinhando novamente a estação total e o alvo. O fluxo constante de caminhões também foi um empecilho pois promovia uma circulação de vento muito forte, sendo capaz de remover alguns alvos e identificadores de diques previamente dispostos no afloramento.

Para a elaboração do modelo tridimensional, uma das críticas ao Agisoft Photoscan é a falta de informações para o usuário na seleção do nível de qualidade do modelo, pois os seus critérios para gerar nuvens com graus variáveis de definição não são esclarecidos. Posto isso, especula-se que ele reduza a qualidade das fotos utilizadas para que se adeque dentro de suas classes pré-estabelecidas.

A presença de plantas foi fonte de um empecilho para a reconstrução tridimensional tanto pelos seus detalhes difíceis de serem reconstituídos quanto por promoverem também a geração de sombras. Já estas últimas tiveram muita influência em um dos modelos elaborados ao fazermos uso exclusivo de fotos tiradas no quarto campo, quando todas as fotos foram registradas no mesmo horário. Pelo afloramento ter orientação NE-SW e pelos diques serem estruturas que têm o relevo mais destacado em relação à rocha hospedeira, sombras protuberantes foram geradas durante o horário de registro. Nessas regiões escuras o Photoscan mostrou dificuldade para reconhecer o plano do dique e, conseqüentemente, transmitir esse plano para a malha. Assim, durante o cálculo das medidas pelo ply2atti, observou-se que elas saíram prejudicadas, constantemente retornando valores muito diferentes dos medidos com a bússola.

Uma tentativa de contornar esse problema foi com o aproveitamento das fotos tiradas na terceira etapa de campo, durante o período da tarde, quando o sol iluminava o afloramento com outra inclinação. Previamente com essas fotos foi elaborado um perfil parcial, onde foi possível perceber que o mesmo encontrava-se com maior incidência de luminosidade. Valendo-se disso, foi decidido gerar o modelo final a partir da junção das fotos do terceiro e quarto campos conjuntamente. Como resultado, algumas das sombras

diminuíram e clarearam, tornando visíveis planos de diques que previamente eram apenas buracos na malha ou aproximações irreais do Photoscan (Figura 17).

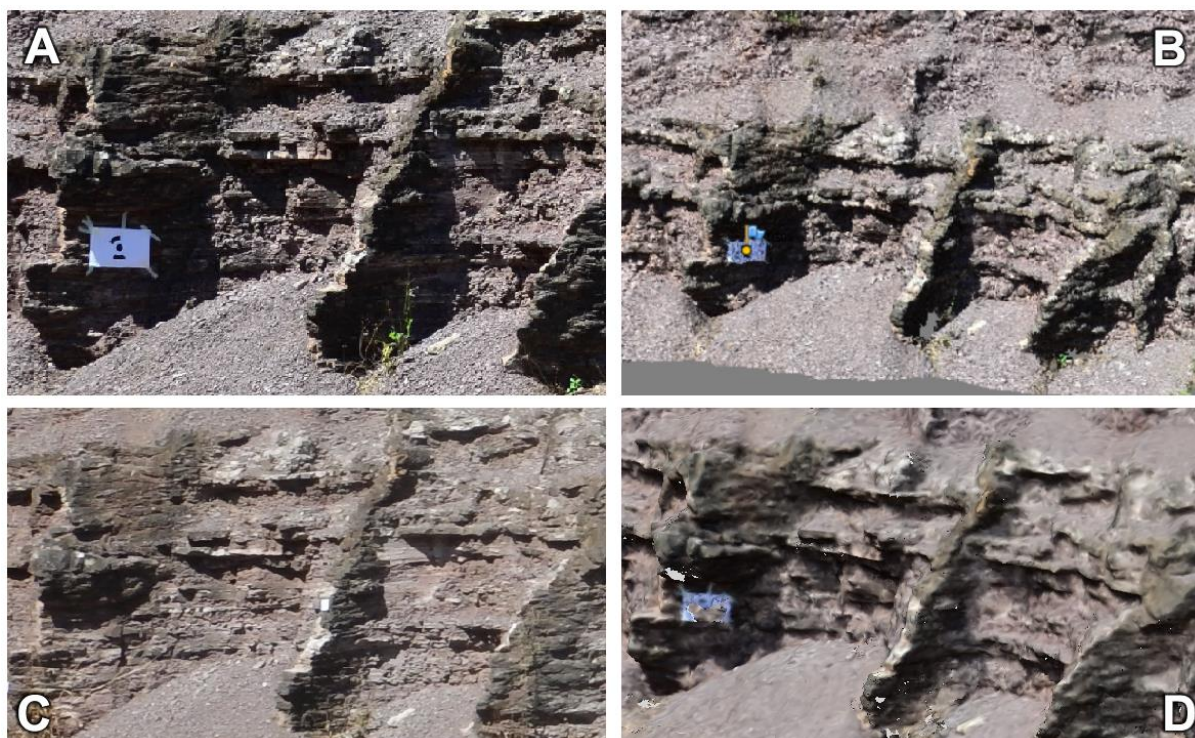


Figura 17. Comparação das fotografias e modelos tridimensionais em relação à sombra. Em (A) temos uma fotografia da Nikon D7000 do quarto campo, utilizada para a elaboração do modelo disposto na imagem (B), onde as sombras se mostram muito mais evidentes. (C) é uma fotografia tirada na terceira etapa de campo com a Nikon AW130, com mais iluminação, resultando no modelo (D), feito com a junção das duas classes de fotos e onde é possível observar com maior detalhe a lateral dos diques que antes estavam escurecidas.

Os buracos observados poderiam ser preenchidos com o uso da ferramenta *Build Texture* no menu *Workflow*, porém isso promoveria uma indução ao erro já que as atitudes reais dos diques nessas porções não seriam respeitadas justamente por não haverem informações suficientes provenientes das fotografias para que o software aproxime-as corretamente na cobertura. Além disso, esse preenchimento seria apenas visual, não poligonal na própria malha, o que inutilizaria essa opção com o objetivo de preencher a malha para facilitar o reconhecimento de planos pelo ply2atti.

A função de translação é necessária para a utilização das coordenadas no sistema escolhido (UTM). Caso nenhum sistema seja determinado, as coordenadas utilizadas serão as do espaço (x,y) dos *pixels* das imagens, sem a localização da superfície reconstruída no espaço geográfico e, conseqüentemente, sem possibilidade de determinar a orientação dos diques clásticos.

Quando escolhe-se um sistema de coordenadas, porém, percebe-se que a malha extraída não é formada corretamente e a identificação de formas se torna impossível (Figura 18). Isso se deve a uma instabilidade numérica dos algoritmos de MVS ao lidar com

coordenadas de valor alto (Radke, 2009), como aquelas determinadas para os alvos afixados no afloramento.

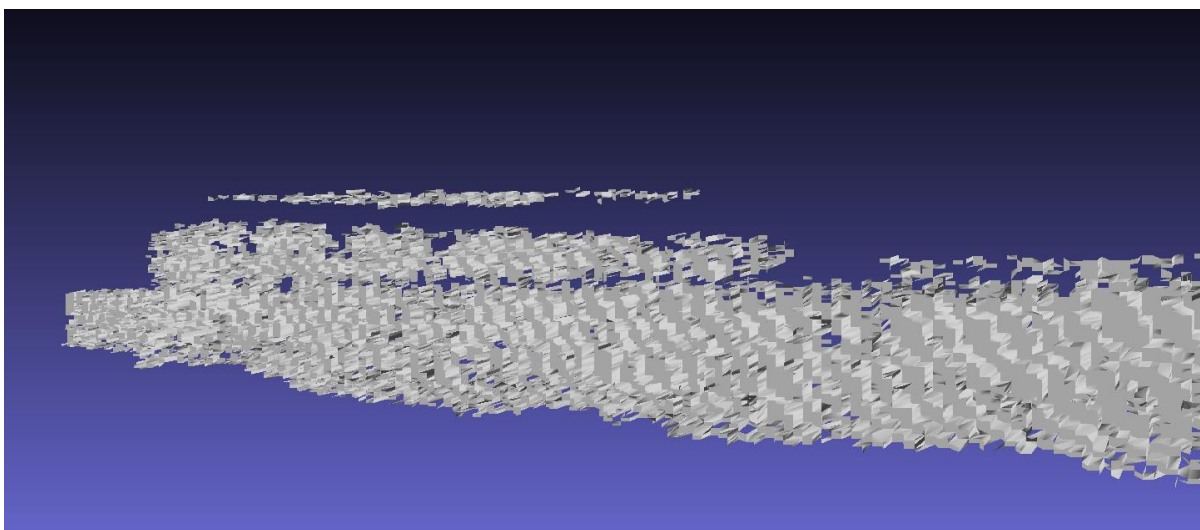


Figura 18. Malha sem o uso da função Shift ao inserir as coordenadas, vista no MeshLab.

Ao fazer uso desta função, é necessário que seja feita uma redução das coordenadas a partir dos maiores valores comuns (no caso, 247.000 para o eixo E-W e 7.505.000 para o eixo N-S). Assim, o software passa a operar somente com coordenadas em metros e os decimais subsequentes, mantendo a orientação e escala da superfície reconstruída no espaço geográfico.

Embora nem todas as medidas estivessem dentro do erro aceitável estipulado por Allmendinger *et al.* (2017) para comparação das que foram feitas com bússola e as obtidas digitalmente, esse desvio angular pode ser reduzido com mais fotografias do afloramento sendo feitas em um dia nublado, quando a iluminação se encontra mais uniforme e a formação de sombras é muito baixa. Isso garante maior fidelidade na reconstrução digital de áreas que se encontraram sombreadas e, por consequência, na identificação das superfícies no MeshLab e posterior cálculo das orientações pelo ply2atti.

Este cálculo de orientações diretamente no modelo digital também representou uma dificuldade na obtenção de atitudes de diques de irregulares ou sinuosos, uma vez que não se tratam de estruturas completamente retilíneas. Buscando obter uma orientação geral, foi decidido colorir completamente a lateral do dique a ser medido, permitindo que o *script* calculasse automaticamente esse valor para compensar essa variação.

Essa análise foi parcialmente dificultada devido à presença dos buracos na malha em zonas de sombra e plantas. Como algumas laterais dos diques não foram suficientemente bem reconstruídas, vários espaçamentos foram encontrados e o *script* encontrou uma deficiência para ignorá-los e dar uma medida única, optando por dividir o polígono único em vários outros, o que em alguns diques desvirtuou o propósito inicial de

fornecer uma orientação única. Esse problema foi contornado selecionando-se áreas menores que não incluíssem esses buracos, fornecendo assim a orientação geral em regiões menos abrangentes do dique, porém ainda retornando resultados.

Uma possibilidade para a remoção de buracos nas laterais dos diques na malha é manter a opção *Interpolation* marcada durante a construção da mesma. Porém foi decidido não fazer uso dessa alternativa tendo em vista que para essa reconstrução em porções esburacadas seria realizada uma aproximação matemática que não necessariamente seria correspondente com a realidade do afloramento, podendo enviesar, assim, a medida que viria a ser obtida com o ply2atti.

Em campo foram medidos 60 diques, porém foi possível localizar apenas 48 no afloramento devido a problemas com fotos de detalhe que não foram registradas corretamente. Concluímos que é necessário documentá-las bem para posterior localização no afloramento tridimensional, uma vez que sem essa identificação o dado levantado em campo se torna inutilizável, caso o objetivo seja estabelecer uma comparação com as medidas digitais.

Alguns diques apresentaram uma medida muito diferente da obtida em campo, o que é refletido na diferença angular, por isso são aqui mais profundamente analisados. O dique 17 não retornou uma diferença angular aceitável pois sua localização não foi bem reconstruída pelo Agisoft Photoscan devido ao fato da medida ter sido efetuada em um local de maior elevação topográfica, não havendo fotografias que visassem com maior atenção a parte superior do afloramento.

Já o local de medição do dique 40, apesar de tratar-se de uma estrutura bastante retilínea, foi efetuada na região dominada pela sombra, com isso, acabou retornando uma diferença angular bastante elevada tendo em vista que nessa região a reconstrução da malha deixou a desejar. Os diques 44 e 45 não tiveram sua identificação suficientemente bem marcada, portanto encontram-se em branco nas medidas do ply2atti (Tabela 04) por haver dúvida sobre o local de sua marcação, o que impossibilitou o processo de indicação no MeshLab.

Quando comparadas com a roseta de Turra (2009) para a porção do afloramento chamada de primeiro nível, onde os diques alimentam a extrusão de sedimento e também onde nossas medidas foram realizadas, podemos observar que há certa diferença entre as orientações, embora a orientação geral seja semelhante (Figura 19).

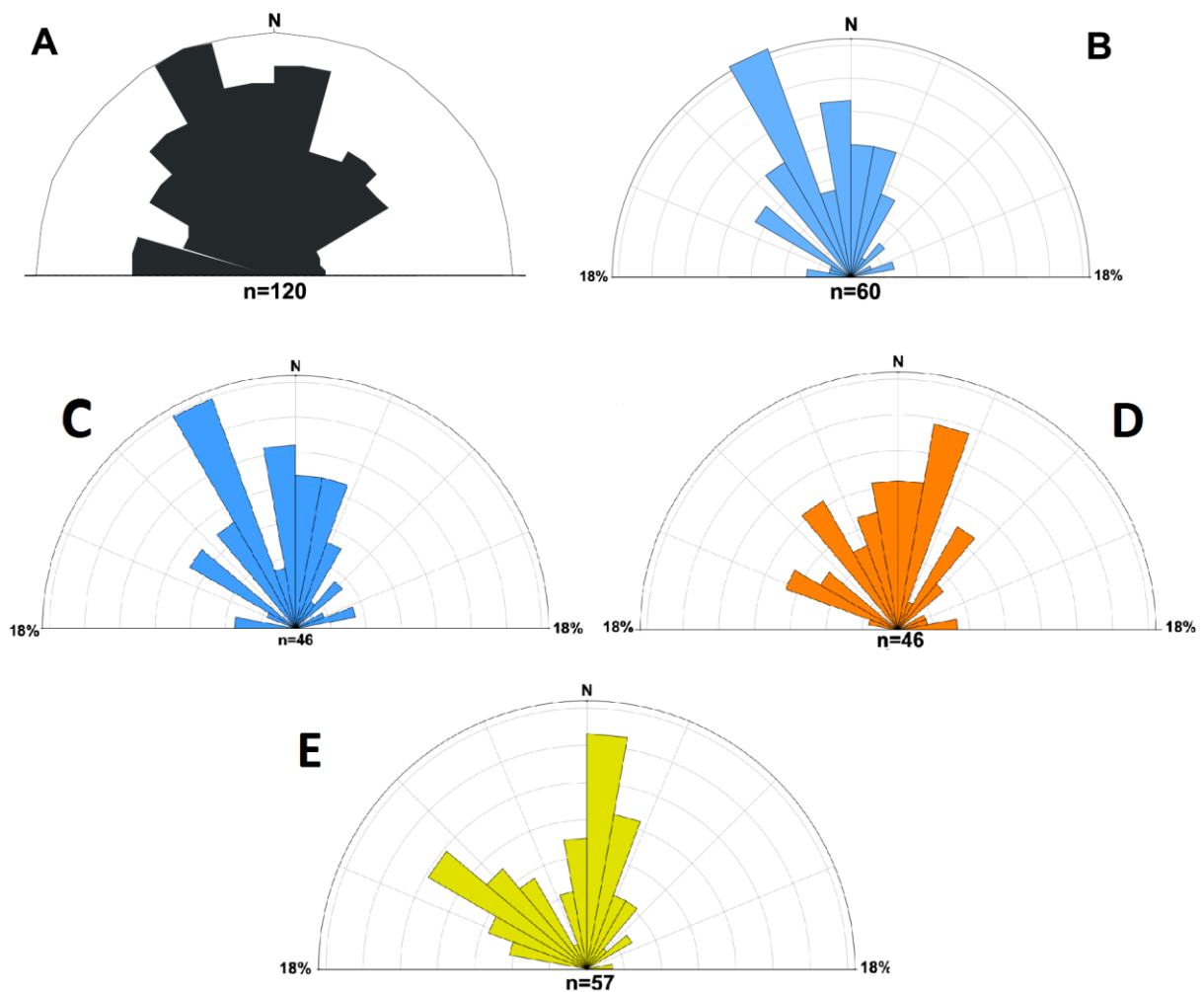


Figura 19. Diagramas de roseta para comparação. (A) Modificada de Turra (2009) para o primeiro nível de diques no afloramento em estudo; (B) obtida através das medidas coletadas em campo; (C) elaborada com os dados do campo que tiveram correspondência no modelo; (D) composta com as medidas obtidas pelo ply2atti na mesma localização das medidas de campo; (E) composta com as medidas obtidas pelo ply2atti a partir do modelo que teve toda a lateral do dique identificada no MeshLab.

A diferença entre o número de medidas colhidas neste trabalho em relação ao de Turra (2009) manifesta-se também nas estatísticas, uma vez que alguns diques encontram-se inacessíveis no afloramento ou recobertos por vegetação. Por essa diferença nas quantidades obtidas, é possível que haja uma certa influência na análise estatística que também é refletida nos diagramas de roseta. Entretanto, podemos observar que a direção preferencial NNW constatada no afloramento de Limeira se mantém, embora haja uma certa variação NNE presente.

Comparando as medidas obtidas na atividade de campo deste trabalho com as obtidas pelo *script*, é observável que há uma certa variação, embora a orientação geral seja semelhante. Esse fator relaciona-se com as práticas de campo, que não necessariamente fornecem uma medida exata devido a erros de uso da bússola, ou causados pelo ajuste manual na formação do plano. Contudo, ao identificarmos formas diretamente na malha e

com o ply2atti fornecendo a orientação, a medição se torna uma função matemática precisa, alheia a essas variações, sendo portanto já esperado que hajam diferenças para a amostragem localizada com polígonos de menor dimensão.

As rosetas representadas na Figura 19, itens (C) e (D) demonstram as diferenças entre usos da identificação de formas na malha. Em (C), ao amostrar-se um pequeno polígono, o mesmo será sujeito à rugosidade do plano selecionado, o que pode influenciar a orientação calculada pelo ply2atti. Enquanto isso, em (D), áreas maiores são selecionadas para amostragem, portanto o resultado é uma orientação menos dispersa para as regiões selecionadas, tendo em vista uma maior disponibilidade de área do polígono para a obtenção do centróide.

Outro ponto importante é o nível de detalhe a ser escolhido para o processo de SfM-MVS. Uma nuvem densa gerada na resolução *Ultra High* retornará muito mais pontos que uma gerada na resolução *Very Low*, porém a quantidade de ruído será igualmente maior. Por consequência, um maior ruído se traduz em maior rugosidade nas superfícies, o que, como abordado previamente, significa uma dificuldade para a amostragem local com pequenos polígonos, prejudicando o ajuste aos dados do campo. Uma malha gerada a partir de uma nuvem com quantidade reduzida de pontos irá apresentar menor ruído (rugosidade), mas ao mesmo tempo pode não representar corretamente as superfícies de interesse.

Estima-se então, que entre ambos é possível encontrar o equilíbrio para maximizar a qualidade, satisfazendo ambas as necessidades. A discussão levantada acerca deste ponto é semelhante ao problema de se encontrar uma resolução espacial ideal para Modelos Digitais de Elevação em análises geomorfológicas (Hengl, 2006), carecendo de mais estudos para encontrar uma solução.

Um estudo sobre a combinação dos seguintes fatores pode fornecer respostas sobre essa questão: resolução das fotografias, área de sobreposição, geometria de imageamento (perpendicular ao afloramento ou convergente) e influência da direção de iluminação.

Também é importante considerar que o Agisoft Photoscan não esclarece quais são os critérios adotados para o SfM-MVS, o que dificulta a identificação de parâmetros que possam favorecê-lo. Assim sendo, o uso de outros programas pode ser um recurso para esse levantamento, como por exemplo o OpenSfM (Mapillary, 2014), MVE (Fuhrmann *et al.*, 2015) ou COLMAP (Schönberger & Frahm, 2016).

7. CONCLUSÕES

O caso abordado neste trabalho não representa uma aplicação simples para as técnicas escolhidas, devido às particularidades litológicas e estruturais do afloramento. Entretanto, de acordo com as metas estabelecidas para o projeto, é possível concluir que os objetivos foram alcançados. A reconstrução tridimensional com o SfM-MVS foi realizada

com sucesso, apesar de ainda poder ser aprimorada com a inclusão de mais fotos, o que também caracteriza uma qualidade do método: a inclusão de novos dados para melhorar a acurácia da análise pode ser feito constantemente, conforme novas informações forem sendo adquiridas.

Apesar de se destacar pela funcionalidade, é necessário atenção para a geração de medidas de orientação geral em superfícies irregulares pelo ply2atti e, principalmente, uma malha sem buracos. Ao assinalar grandes áreas, ele fornece bons resultados na aproximação quando a malha encontra-se completamente preenchida, uma vez que funciona calculando a medida de um plano médio que passa pela estrutura cuja orientação se busca obter, formando um grande polígono.

Posto isso, a aplicação do ply2atti também foi bem sucedida, o *script* cumpriu sua função de fornecer a orientação dos planos assinalados em um tempo de processamento curto (de 3 a 4 segundos). Observa-se no entanto a necessidade de identificar com exatidão o mesmo local onde a medida com bússola foi realizada e o cuidado durante a pintura dessa localização no MeshLab, uma vez que um polígono muito pequeno pode não ser identificado pelo *script* e um polígono muito grande em uma superfície rugosa pode levar à identificação de mais de um plano, o que por consequência retorna mais de uma medida. As irregularidades da estrutura também devem ser levadas em conta, pois podem retornar um resultado diferente do esperado em medidas locais.

Em comparação ao trabalho de referência, desenvolvido por Turra (2009), ao analisarmos as medidas de orientação geral temos que as calculadas pelo *script* foram satisfatórias ao fornecer uma orientação preferencial semelhante. Também é preciso levar em consideração a diferença entre os resultados obtidos com diferentes tipos de amostragem na malha (pontual ou geral) e a qualidade da reconstrução tridimensional mais adequada para cada um deles, questões que precisam ser melhor analisadas futuramente.

8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Agisoft 2014. *Agisoft PhotoScan User Manual*. Acesso em: 30 de março de 2017, <http://www.agisoft.com/pdf/photoscan-pro_1_1_en.pdf>.

Allmendinger, R. W., Siron, C. R., Scott, C. P. (2017). Structural data collection with mobile devices: Accuracy, redundancy, and best practices. *Journal of Structural Geology*, 102, 98-112.

Almeida, F. F. M., Carneiro, C. D. R. (2004). Inundações marinhas fanerozóicas no Brasil e recursos minerais associados. In: Mantesso-Neto, V. *et al.* (Eds), *Geologia do continente sul-americano: Evolução da obra de Fernando Flávio Marques de Almeida*. São Paulo: Beca, 2004. 43-58.

Armstrong, M., Zisserman A., Beardsley P. (1994). Euclidean reconstruction from uncalibrated images. In: Hancock E. R. (Eds), *Proceedings of the British Machine Conference*. Durham: BMVA Press, 1994. 50.1-50-10.

Carrivick, J. L., Quincey, D. J., Smith, M. W. (2016). Structure from motion photogrammetry in physical geography. *Progress in Physical Geography*, 40(2), 247-275.

Chamani, M. A. C. (2011). *Tectônica intraplaca e deformação sinsedimentar induzida por abalos sísmicos: o lineamento transbrasiliiano e estruturas relacionadas na Província Paranaíba, Brasil*. Dissertação (Mestrado). São Paulo: Instituto de Geociências. USP.

Chamani, M. A. C. (2015). *Tectônica sinsedimentar no siluro-devoniano da Bacia do Paranaíba, Brasil: O papel das grandes estruturas do embasamento na origem e evolução de bacias intracratônicas*. Tese (Doutorado). São Paulo: Instituto de Geociências. USP.

Cignoni, P., Callieri, M., Corsini, M., Dellepiane, M., Ganovelli, F., Ranzuglia, G. (2008). MeshLab: an Open-Source Mesh Processing Tool. *Sixth Eurographics Italian Chapter Conference*, 129-136, Italy.

CloudCompare (versão 2.8.1). (2017). Acesso em: 30 de março de 2017, <<http://www.cloudcompare.org/>>.

Fuhrmann, S., Langguth, F., Moehrle, N., Waechter, M., Goesele, M. (2015). MVE - An image-based reconstruction environment. *Computers & Graphics*, 53(A), 44-53.

Furukawa, Y., Hernández, C. (2015). Multi-View Stereo: A Tutorial. *Foundations and Trends® in Computer Graphics and Vision*, 9(1-2), 1-148.

Grohmann, C.H., Campanha, G.A.C., Soares Junior, A.V. (2011). OpenStereo: um programa Livre e multiplataforma para análise de dados estruturais. *XIII Simpósio Nacional de Estudos Tectônicos*, 26-28. Campinas.

Hayashi, T. (1966). Clastic dykes in Japan. *Transactions of Japanese Journal of Geology and Geography*, 37, 1-20.

Hengl, T. (2006). Finding the right pixel size. *Computers & Geosciences*, 32(9), 1283-1298.

Hurst, A., Scott, A., Vigorito, M. (2011). Physical Characteristics of sand injectites. *Earth-Science Reviews*, 106, 215-246.

IBGE (2008). *Recomendações para Levantamento Relativo Estático - GPS*. Acesso em: 28 de outubro de 2017,

<ftp://geoftp.ibge.gov.br/metodos_e_outros_documentos_de_referencia/normas/recom_gps_internet.pdf>

Johnson, H. D. (1977). Sedimentation and water escape structures in some late Precambrian shallow marine sandstones from Finnmark, North Norway. *Sedimentology*, 24, 389-411.

Jolly, R. J. H., Lonergan, L. (2002). Mechanisms and controls on the formation of sand intrusions. *Journal of the Geological Society*, 159, 605-617.

Kurz, C., Thormahlen, T., & Seidel, H.-P. (2011). Visual Fixation for 3D Video Stabilization. *JVRB - Journal of Virtual Reality and Broadcasting*, 8(2011)(2).

Le Heron, D. P., Étienne, J. (2005). A complex subglacial clastic dyke swarm, Sólheimajökull, southern Iceland. *Sedimentary Geology*, 181, 25-37.

Levi, T., Weinberger, R., Aifa, T., Eyal, Y., Marco, S. (2006). Earthquake-induced clastic dikes detected by anisotropy of magnetic susceptibility. *Geology*, 34(2), 69-72.

Liu, K., Zayer, R. (2012). Bundle adjustment constrained smoothing for multi-view point cloud data. *8th International Symposium on Visual Computing*, 126-137. Rethymno.

Mapillary, 2014. *OpenSfM*. Acesso em: 05 de novembro de 2017. <<https://github.com/mapillary/OpenSfM>>.

Obermeier, S. F. (1996). Use of liquefaction-induced features for paleoseismic analysis - An overview of how seismic liquefaction features can be distinguished from other features and how their regional distribution and properties of source sediment can be used to infer the location and strength of Holocene paleo-earthquakes. *Engineering Geology*, 44, 1-76.

- Perinotto, J. A. J., Etchebehere, M. L. D. C., Simões, L. S. A., Zanardo, A. (2008). Diques clásticos na Formação Corumbataí (P) no nordeste da Bacia do Paraná, SP: análise sistemática e significações estratigráficas, sedimentológicas e tectônicas. *Geociências*, 27(4), 469-491.
- Perucca, L. P., Godoy, E., Pantano, A. (2014). Late Pleistocene-Holocene earthquake-induced slumps and soft-sediment deformation structures in the Acequion River valley, Central Precordillera, Argentina. *Geologos*, 20(2), 147-156.
- Radke, R. J., 2009. Multi-View Geometry for Camera Networks. In: Aghajan, H. & Cavallaro, A. (Eds.) *Multi-Camera Networks*, Academic Press.
- Riccomini, C. (1995). *Tectonismo gerador e deformador dos depósitos sedimentares pós-gondvânicos da porção centro-oriental do Estado de São Paulo e áreas vizinhas*. Tese (Livre Docência). São Paulo: Instituto de Geociências. USP.
- Riccomini, C., Velázquez, V. F., Gomes, C. B. (2005). Tectonic controls of the mesozoic and cenozoic alkaline magmatism in central-southeastern brazilian platform. In: Comin-Chiaramonti, P. & Gomes, C. B. (eds.) *Mesozoic to cenozoic alkaline magmatism in the Brazilian Platform*. São Paulo, Edusp-Fapesp, 2005: 31-56.
- Schönberger, J.L., Frahm, J. F. (2016). Structure-from-Motion Revisited. *2016 IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR)*. Las Vegas.
- Shenmugan, G. (2016). The seismite problem. *Journal of Paleogeography*, 5(4), 318-364.
- Sousa, S. H. M. (1985). *Fácies sedimentares das Formações Estrada Nova e Corumbataí no Estado de São Paulo*. Dissertação (Mestrado). São Paulo: Instituto de Geociências. USP.
- TOPCON 2011. *Manual de Instruções Estação Total Construção Série GPT-3200N*.
- Turra, B. B. (2009). *Diques clásticos da Formação Corumbataí, Bacia do Paraná, no contexto da tectônica permotriássica do Gondwana Ocidental*. Dissertação (Mestrado). São Paulo: Instituto de Geociências. USP.
- Viana, C. D. (2017). angulo.py. Acesso em: 24 de outubro de 2017, <<https://github.com/cdviana/angulo>>.
- Viana, C. D., Endlein, A., Campanha, G. A. C., Grohmann, C. H. (2016). Algorithms for extraction of structural attitudes from 3D outcrop models. *Computers & Geosciences*, 90, 112-122.
- Wackrow, R., Chandler, J. H. (2011). Minimising systematic error surfaces in digital elevation models using oblique convergent imagery. *The Photogrammetric Record*, 26(133), 16-31.

Westoby, M.J., Brasington, J., Glasser, N. F., Hambrey, M. J., Reynolds, J.M. (2012). 'Structure-from-Motion' photogrammetry: A low cost, effective tool for geoscience applications. *Geomorphology*, 179, 300-314.

Xiao, J., Quan, L. (2009). Multiple view semantic segmentation for Street View images. *IEEE 12th International Conference on Computer Vision*, 686-693. Kyoto.

Young, E. J. (2012). dGPS. In: Clarke, L. E., Nield, J. M. (Eds.), *Geomorphological Techniques (Online Edition)*, London: British Society for Geomorphology. Acesso em 30 de março de 2017, <http://www.geomorphology.org.uk/sites/default/files/geom_tech_chapters/2.1.3_dGPS.pdf>.

ANEXO 01



RBMC - Rede Brasileira de Monitoramento Contínuo dos Sistemas GNSS
Relatório de Informação de Estação
SPC1 - Campinas

0. Formulário

Preparado por: Centro de Controle Eng. Kátia Duarte Pereira - RBMC
Data: 30/04/2015
Atualização: 22/03/2017 - Atualização de Firmware

1. Identificação da estação GPS

Nome da Estação: CAMPINAS - UNICAMP
Ident. da Estação: SPC1
Código SAT: 96181
Código Internacional: 41678M002

2. Informação sobre a localização

Cidade: Campinas
Estado: São Paulo
Informações Adicionais: Cilindro de concreto medindo 20 cm de diâmetro, altura de 67 cm, construído no topo do edifício. Possui pino de centragem forçada e chapa estampada na lateral com o código SAT 96181. Campus Universitário da UNICAMP, Departamento de Geotecnica e Transporte, Faculdade de Engenharia Civil.

3. Coordenadas oficiais

3.1. SIRGAS2000 (Época 2000.4)

Coordenadas Geodésicas			
Latitude:	- 22° 48' 58,63052"	Sigma:	0,001 m
Longitude:	- 47° 03' 45,69584"	Sigma:	0,002 m
Alt. Elip.:	622,980 m	Sigma:	0,008 m
Coordenadas Cartesianas			
X:	4.007.215,1075 m	Sigma:	0,005 m
Y:	-4.306.650,1936 m	Sigma:	0,005 m
Z:	-2.458.220,5598 m	Sigma:	0,003 m
Coordenadas Planas (UTM)			
UTM (N):	7.475.338,889 m		
UTM (E):	288.294,854 m		
MC:	-45		

4. Informações do equipamento GNSS

4.1. Receptor

- 4.1.1 Tipo do Receptor - TRIMBLE NETR9
Número de Série - 5426R49008
Versão do Firmware - 5.22 (Principal)
Atualização do Firmware - 22/03/2017 às 20:50 UTC
- 4.1.2 Tipo do Receptor - TRIMBLE NETR9
Número de Série - 5426R49008
Versão do Firmware - 5.20 (Principal)
Atualização do Firmware - 04/01/2017 às 17:49 UTC
- 4.1.3 Tipo do Receptor - TRIMBLE NETR9
Número de Série - 5426R49008
Versão do Firmware - 5.03 (Principal)
Atualização do Firmware - 10/08/2015 às 19:35 UTC



RBMC - Rede Brasileira de Monitoramento Contínuo dos Sistemas GNSS
Relatório de Informação de Estação
SPC1 - Campinas

- 4.1.4 Tipo do Receptor - TRIMBLE NETR9
Número de Série - 5426R49008
Versão do Firmware - 4.85 (Principal)
Data de Instalação - 29/04/2015 às 17:53 UTC

4.2. Antena

- 4.2.1 Tipo de Antena - ZEPHYR GNSS GEODETIC II (TRM57971.00)
URL imagem - <http://igscb.jpl.nasa.gov/igscb/station/general/antenna.gra>
Número de Série - 3121180521
Altura da Antena (m) - 0,0080 (distância vertical do topo do dispositivo de centragem forçada à base da antena)
Data de Instalação - 29/04/2015 às 17:53 UTC

5. Informações Complementares

5.1. Para informações técnicas contatar:

Nome: IBGE/DGC/Coordenação de Geodésia
Endereço: Av. Brasil, 15.671, CEP 21.241-051, Rio de Janeiro, RJ
Telefone: (21) 2142-4935
FAX: (21) 2142-4859
Home Page: www.ibge.gov.br
Contato: rbmc@ibge.gov.br

5.2. Para informações sobre comercialização e aquisição de dados contatar:

Nome: Centro de Documentação e Disseminação de Informações - CDDI/IBGE
Endereço: Rua General Canabarro, 706, CEP 20271-201, Rio de Janeiro, RJ
Telefone: 0800-721-8181
Contato: ibge@ibge.gov.br

5.3. Instituições participantes

Estação da rede GNSS do Estado de São Paulo (GNSS-SP) apoiada pela FAPESP e CNPq.
<http://www.fct.unesp.br/#/pesquisa/grupos-de-estudo-e-pesquisa/gege/rede-gnss-sp2089/>
A RBMC conta com o apoio das seguintes instituições:
<http://www.ibge.gov.br/home/geociencias/geodesia/rbmc/parcerias.shtm>

ANEXO 02

Project file data		Coordinate System	
Name:		Name:	World wide/UTM
Size:		Datum:	SIRGAS2000
Modified:	8/30/2013 1:12:17 PM (UTC:-6)	Zone:	23 South
Time zone:	Hora Padrão das Montanhas	Geoid:	
Reference number:		Vertical datum:	
Description:			
Comment 1:			
Comment 2:			
Comment 3:			

Baseline Processing Report

Processing Summary

Observation	From	To	Solution Type	H. Prec. (Meter)	V. Prec. (Meter)	Geodetic Az.	Ellipsoid Dist. (Meter)	ΔHeight (Meter)
BASE_1 --- 15 (B17)	BASE_1	15	Fixed	0.004	0.006	232°37'53"	499.607	-38.740
BASE_1 --- 4 (B22)	BASE_1	4	Fixed	0.003	0.008	84°07'09"	98.536	-15.438
BASE_1 --- 7 (B25)	BASE_1	7	Fixed	0.004	0.008	68°40'25"	540.032	2.104

Acceptance Summary

Processed	Passed	Flag	Fail
3	3	0	0

BASE_1 - 15 (12:28:23 PM-12:31:54 PM) (S16)

Baseline observation:	BASE_1 --- 15 (B17)
Processed:	9/21/2017 3:17:19 PM
Solution type:	Fixed
Frequency used:	Multiple Frequencies
Horizontal precision:	0.004 m
Vertical precision:	0.006 m
RMS:	0.007 m
Maximum PDOP:	1.568
Ephemeris used:	Broadcast
Antenna model:	NGS Absolute
Processing start time:	9/20/2017 12:28:23 PM (Local: UTC-3hr)
Processing stop time:	9/20/2017 12:31:54 PM (Local: UTC-3hr)
Processing duration:	00:03:31
Processing interval:	1 second

Vector Components (Mark to Mark)

From: BASE_1					
Grid		Local		Global	
Easting	247362.761 m	Latitude	S22°32'22.72590"	Latitude	S22°32'22.72590"
Northing	7505363.020 m	Longitude	W47°27'23.07595"	Longitude	W47°27'23.07595"
Elevation	660.013 m	Height	660.013 m	Height	660.013 m

To: 15					
Grid		Local		Global	
Easting	246970.587 m	Latitude	S22°32'32.58360"	Latitude	S22°32'32.58360"
Northing	7505053.179 m	Longitude	W47°27'36.97203"	Longitude	W47°27'36.97203"
Elevation	621.273 m	Height	621.273 m	Height	621.273 m

Vector					
ΔEasting	-392.174 m	NS Fwd Azimuth	232°37'53"	ΔX	-395.374 m
ΔNorthing	-309.841 m	Ellipsoid Dist.	499.607 m	ΔY	-156.477 m
ΔElevation	-38.740 m	ΔHeight	-38.740 m	ΔZ	-265.240 m

Standard Errors

Vector errors:					
σ ΔEasting	0.002 m	σ NS fwd Azimuth	0°00'01"	σ ΔX	0.002 m
σ ΔNorthing	0.001 m	σ Ellipsoid Dist.	0.001 m	σ ΔY	0.002 m
σ ΔElevation	0.003 m	σ ΔHeight	0.003 m	σ ΔZ	0.002 m

Aposteriori Covariance Matrix (Meter²)

	X	Y	Z
X	0.0000060019		
Y	-0.0000026198	0.0000037251	
Z	-0.0000025809	0.0000013281	0.0000031144

Occupations

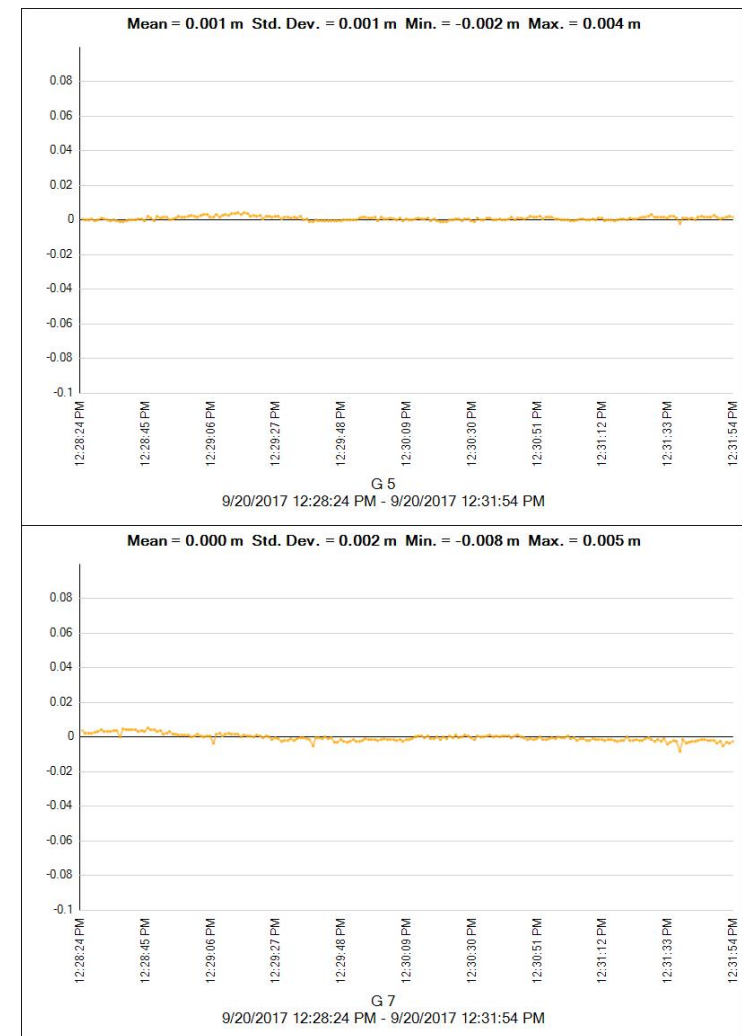
	From	To
Point ID:	BASE_1	15
Data file:	C:\Users\guano\Documents\Spectra Precision Survey Office\Unnamed \Q_base_G0224A17.263	C:\Users\guano\Documents\Spectra Precision Survey Office\Unnamed \Q0228P17.263
Receiver type:	SP60	SP60
Receiver serial number:	5722550224	5722550228
Antenna type:	SP60	SP60
Antenna serial number:	5722550224	5722550228
Antenna height (measured):	1.720 m	2.000 m
Antenna method:	Slant measure mark	Bottom of antenna mount

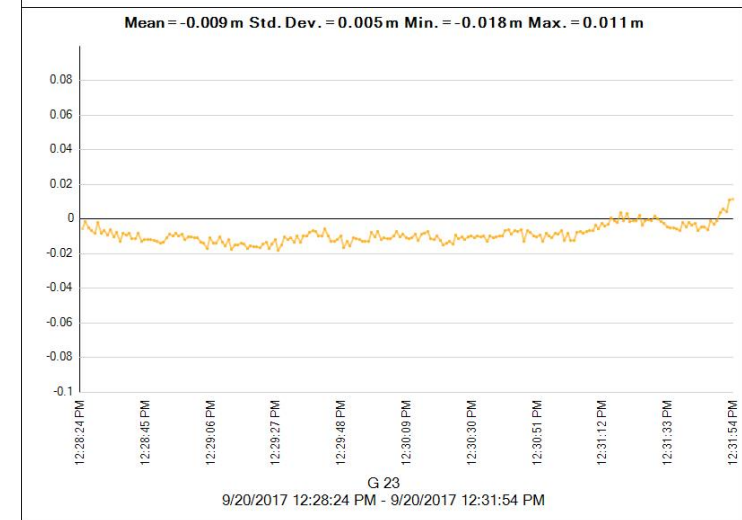
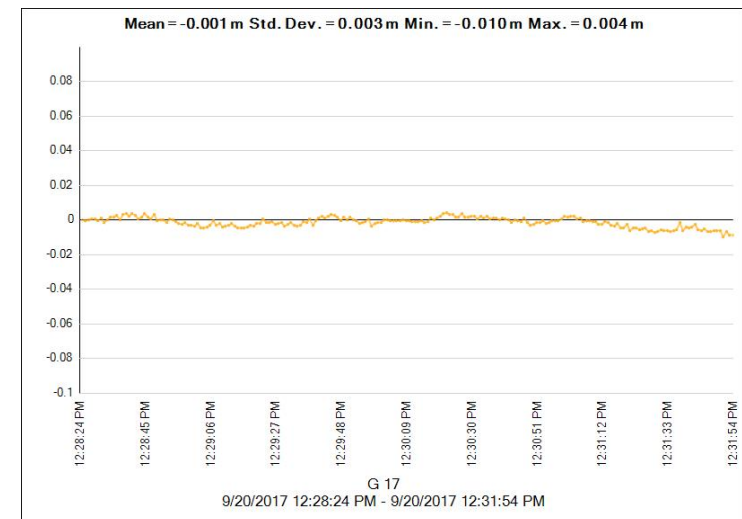
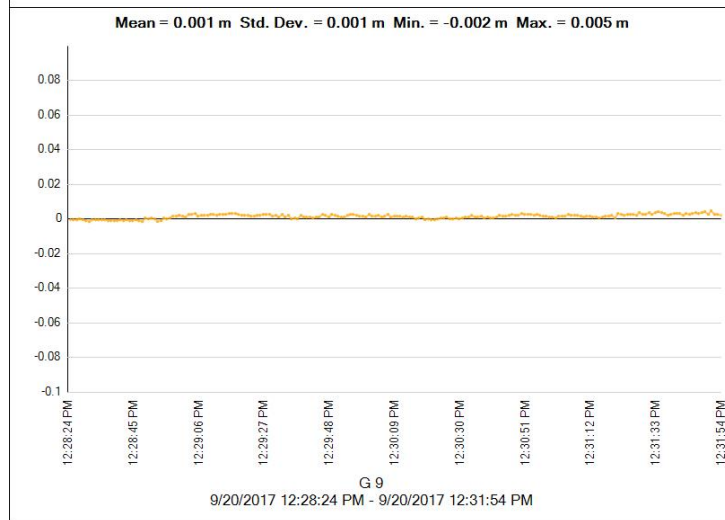
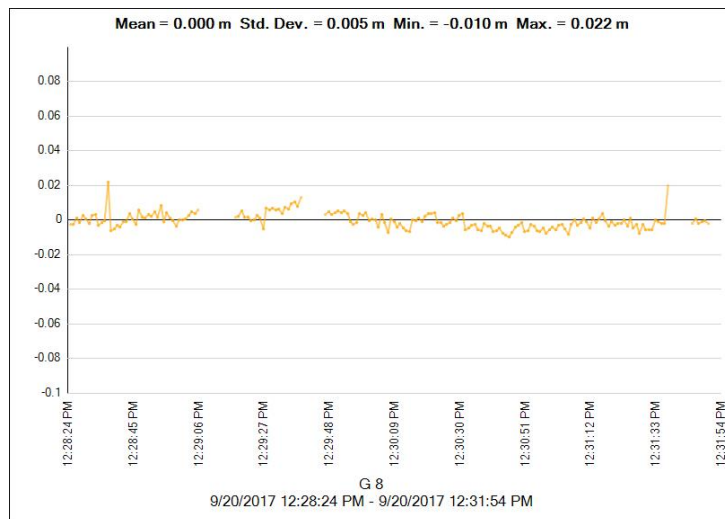
Tracking Summary

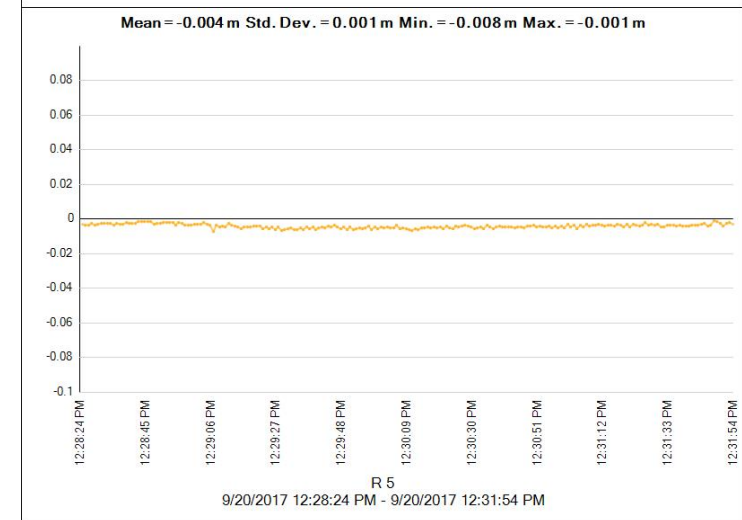
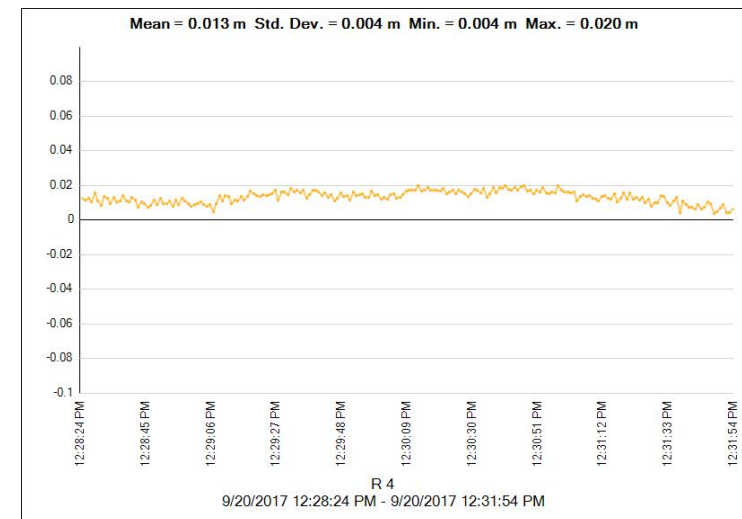
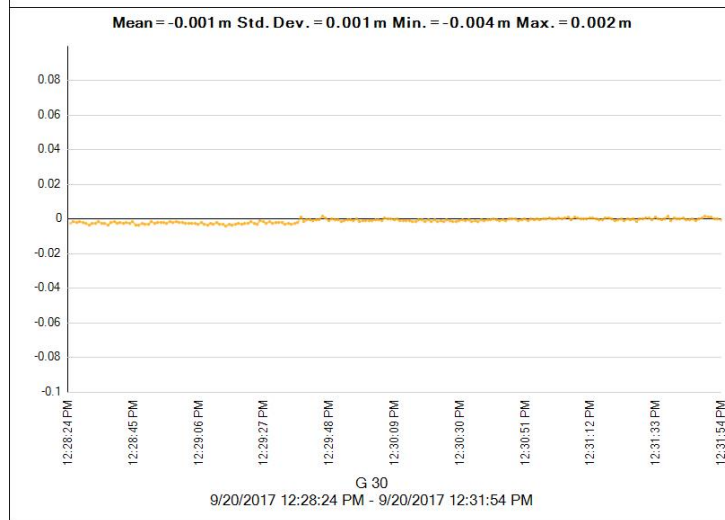
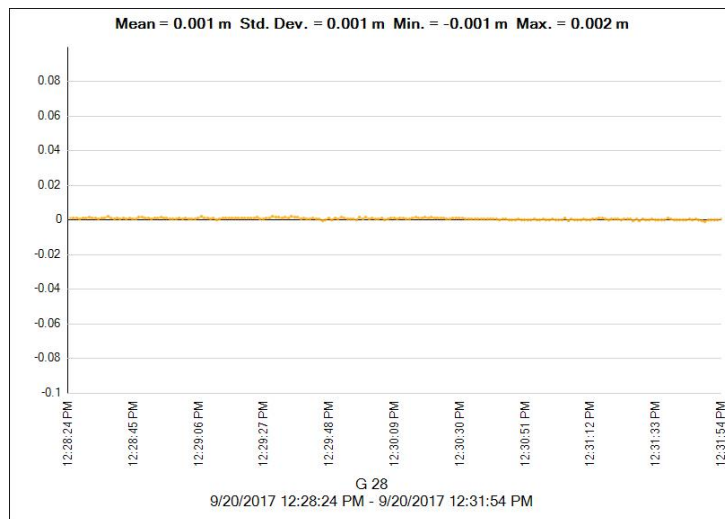
SV	9/20/2017 12:28:23 PM	Duration: 00:03:31	Major interval: 00:01:00	9/20/2017 12:31:54 PM
G 5	L1 L2			
G 7	L1 L2			
G 8	L1 L2			
G 9	L1 L2			
G 17	L1 L2			
G 23	L1 L2			
G 28	L1 L2			
G 30	L1 L2			
R 4	L1 L2			
R 5	L1 L2			
R 6	L1 L2			
R 9	L1 L2			
R 15	L1 L2			
R 16	L1 L2			
R 17	L1 L2			
R 18	L1 L2			
E 2	E1 E5			
E 3	E1 E5			
E 7	E1 E5			
E 8	E1 E5			

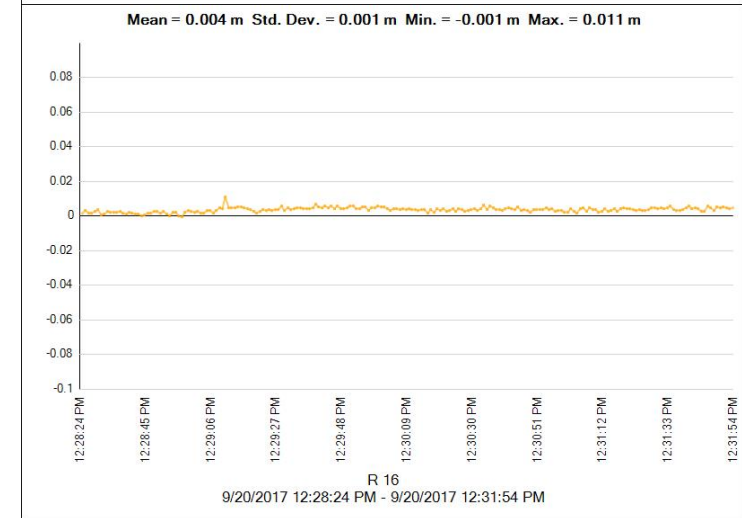
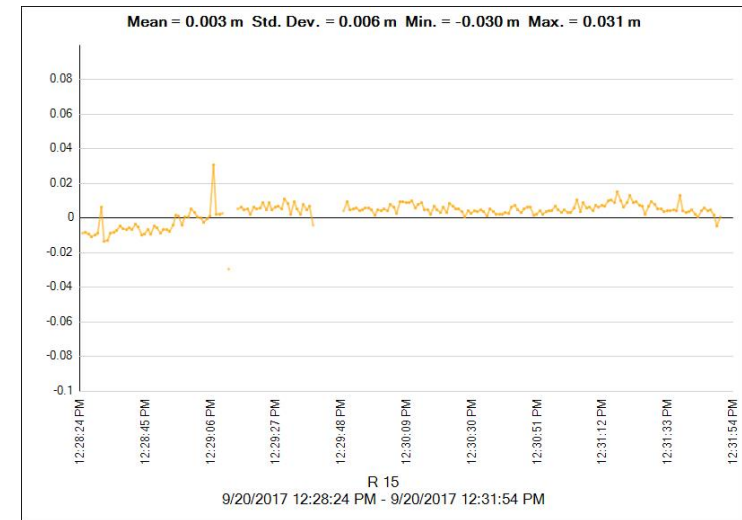
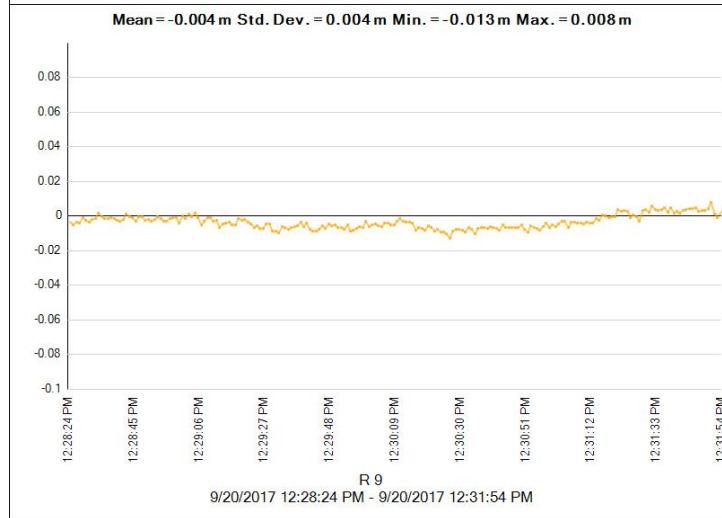
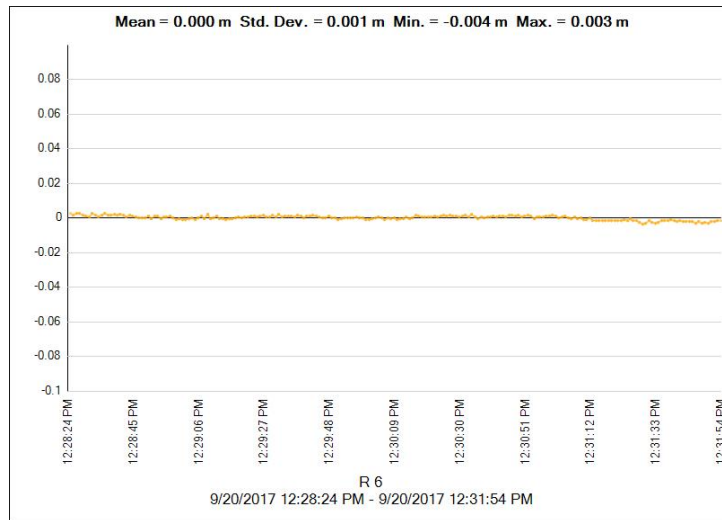
SV	9/20/2017 12:28:23 PM	Duration: 00:03:31	Major interval: 00:01:00	9/20/2017 12:31:54 PM
E 22	E1			
	E5			
E 30	E1			
	E5			
C 12	B1			
	B2			
C 14	B1			
	B2			

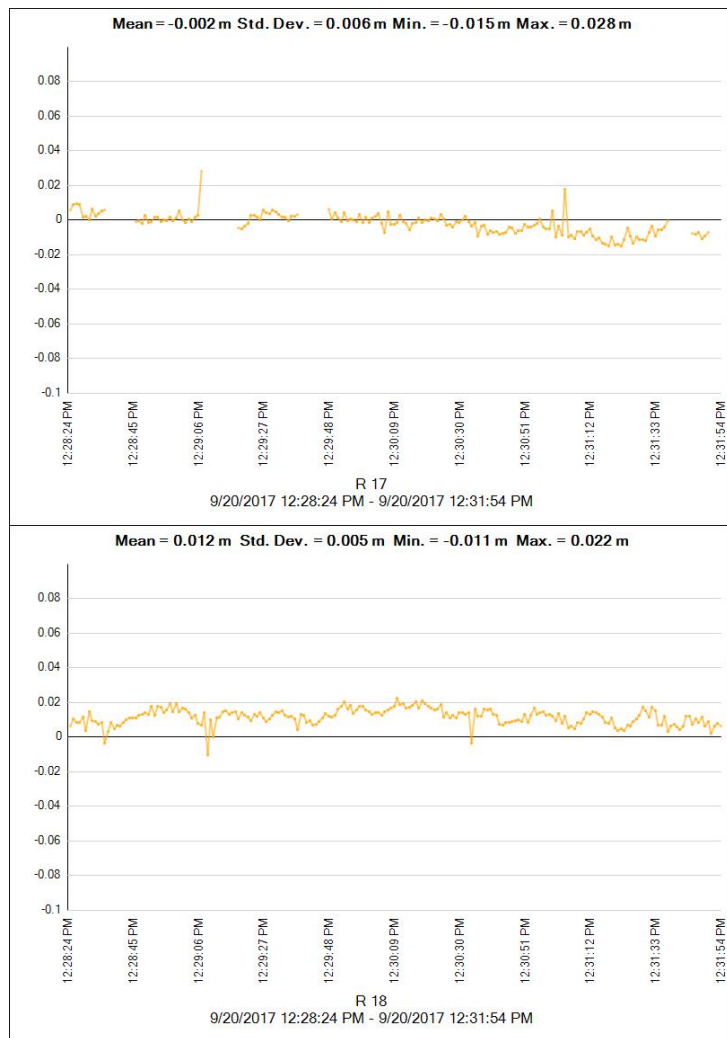
Residuals











Processing style

Elevation mask:	10°00'00.0"
Auto start processing:	Yes
Start automatic ID numbering:	AUTO0001
Continuous vectors:	No
Generate residuals:	Yes
Antenna model:	Automatic
Ephemeris type:	Automatic
Frequency:	Multiple Frequencies
Processing interval:	Use all data
Force float:	No

Acceptance Criteria

Vector Component	Flag 	Fail 
Horizontal Precision >	0.050 m + 1.000 ppm	0.100 m + 1.000 ppm
Vertical Precision >	0.100 m + 1.000 ppm	0.200 m + 1.000 ppm

BASE_1 - 4 (11:21:03 AM-11:24:37 AM) (S21)

Baseline observation:	BASE_1 --- 4 (B22)
Processed:	9/21/2017 3:17:13 PM
Solution type:	Fixed
Frequency used:	Multiple Frequencies
Horizontal precision:	0.003 m
Vertical precision:	0.008 m
RMS:	0.004 m
Maximum PDOP:	1.636
Ephemeris used:	Broadcast
Antenna model:	NGS Absolute
Processing start time:	9/20/2017 11:21:03 AM (Local: UTC-3hr)
Processing stop time:	9/20/2017 11:24:37 AM (Local: UTC-3hr)
Processing duration:	00:03:34
Processing interval:	1 second

Vector Components (Mark to Mark)

From: BASE_1					
Grid		Local		Global	
Easting	247362.761 m	Latitude	S22°32'22.72590"	Latitude	S22°32'22.72590"
Northing	7505363.020 m	Longitude	W47°27'23.07595"	Longitude	W47°27'23.07595"
Elevation	660.013 m	Height	660.013 m	Height	660.013 m

To: 4					
Grid		Local		Global	
Easting	247460.637 m	Latitude	S22°32'22.39768"	Latitude	S22°32'22.39768"
Northing	7505374.731 m	Longitude	W47°27'19.64568"	Longitude	W47°27'19.64568"
Elevation	644.575 m	Height	644.575 m	Height	644.575 m

Vector					
ΔEasting	97.876 m	NS Fwd Azimuth	84°07'09"	ΔX	65.198 m
ΔNorthing	11.711 m	Ellipsoid Dist.	98.536 m	ΔY	73.935 m
ΔElevation	-15.438 m	ΔHeight	-15.438 m	ΔZ	15.243 m

Standard Errors

Vector errors:					
σ ΔEasting	0.001 m	σ NS fwd Azimuth	0°00'03"	σ ΔX	0.003 m
σ ΔNorthing	0.001 m	σ Ellipsoid Dist.	0.001 m	σ ΔY	0.003 m
σ ΔElevation	0.004 m	σ ΔHeight	0.004 m	σ ΔZ	0.002 m

Aposteriori Covariance Matrix (Meter²)

	X	Y	Z
X	0.0000079797		
Y	-0.0000063188	0.0000073753	
Z	-0.0000034177	0.0000032327	0.0000032572

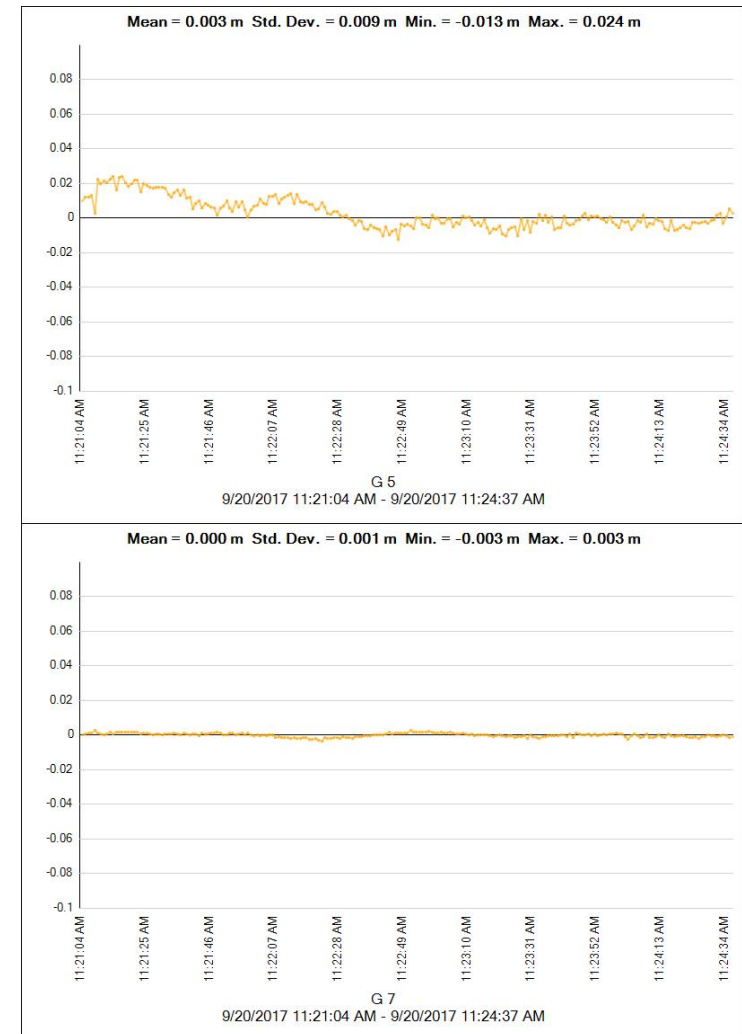
Occupations

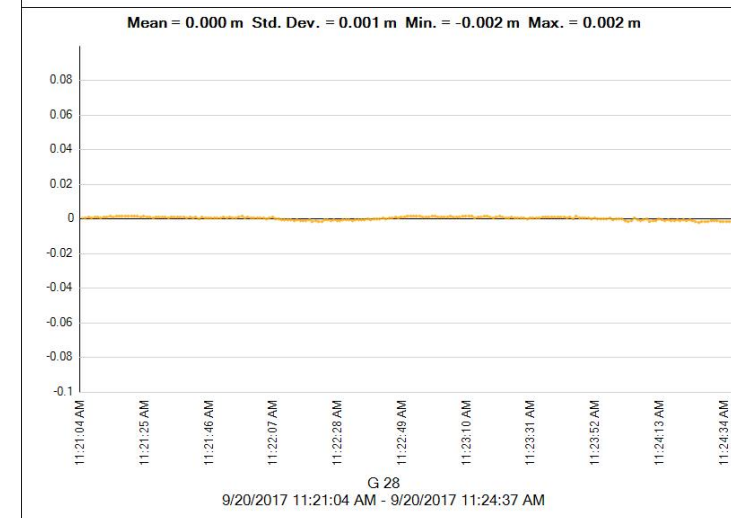
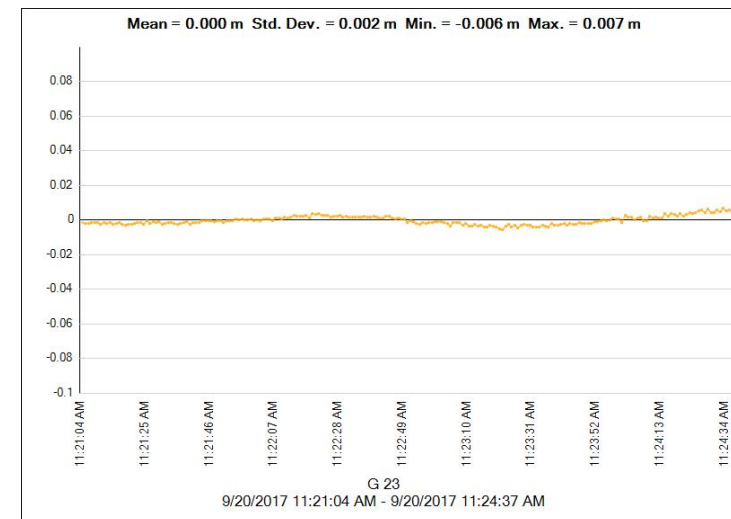
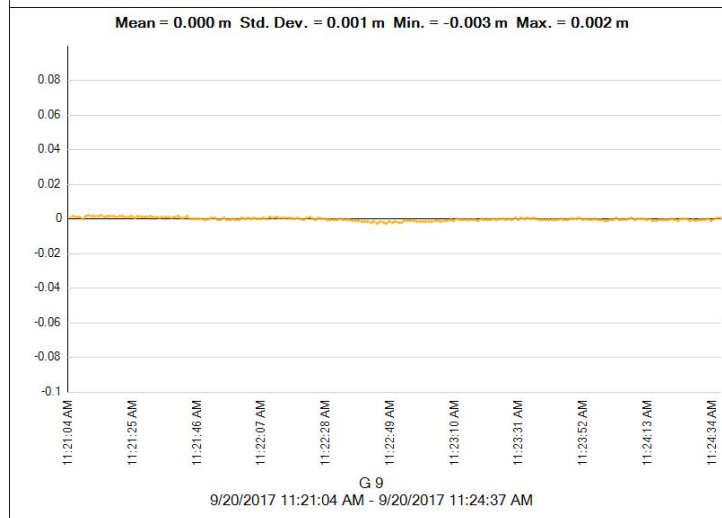
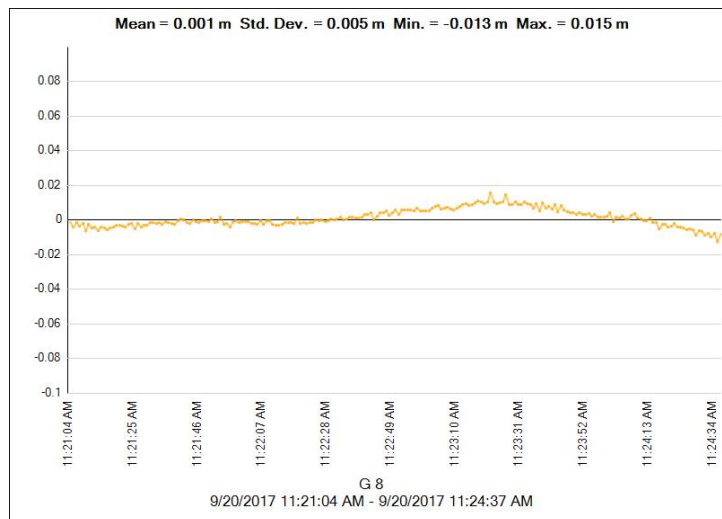
	From	To
Point ID:	BASE_1	4
Data file:	C:\Users\guano\Documents\Spectra Precision Survey Office\Unnamed\Q_base_G0224A17.263	C:\Users\guano\Documents\Spectra Precision Survey Office\Unnamed\Q0228E17.263
Receiver type:	SP60	SP60
Receiver serial number:	5722550224	5722550228
Antenna type:	SP60	SP60
Antenna serial number:	5722550224	5722550228
Antenna height (measured):	1.720 m	2.000 m
Antenna method:	Slant measure mark	Bottom of antenna mount

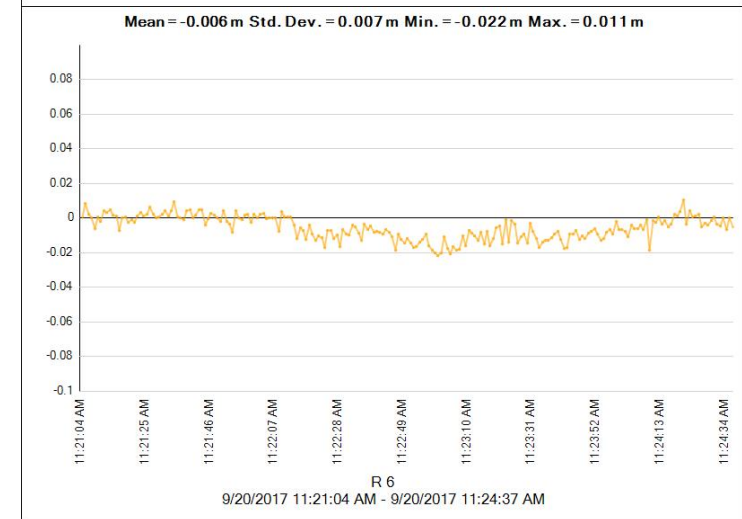
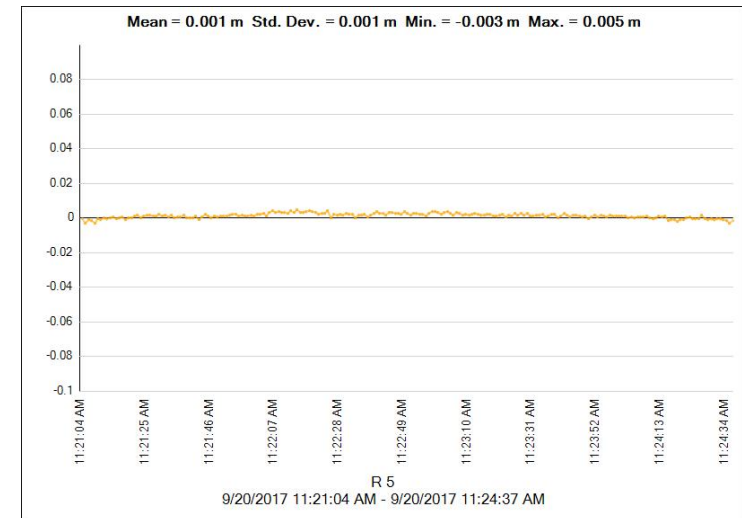
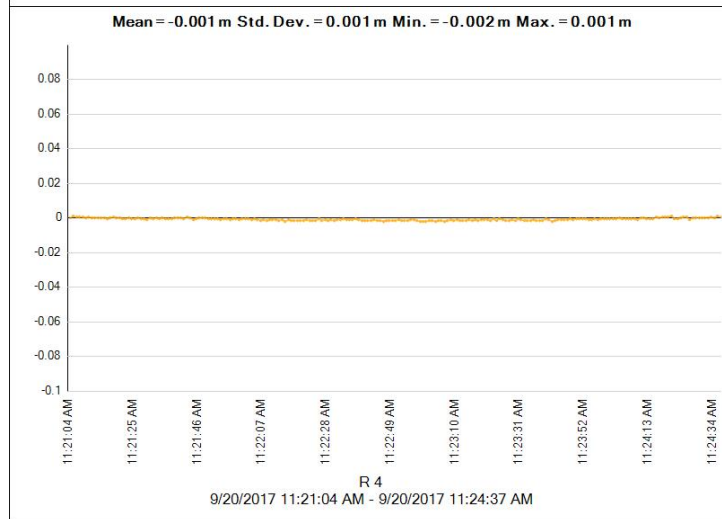
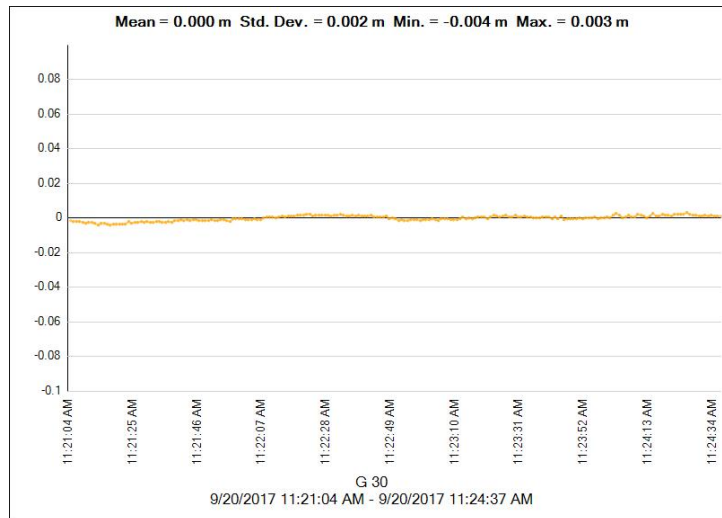
Tracking Summary

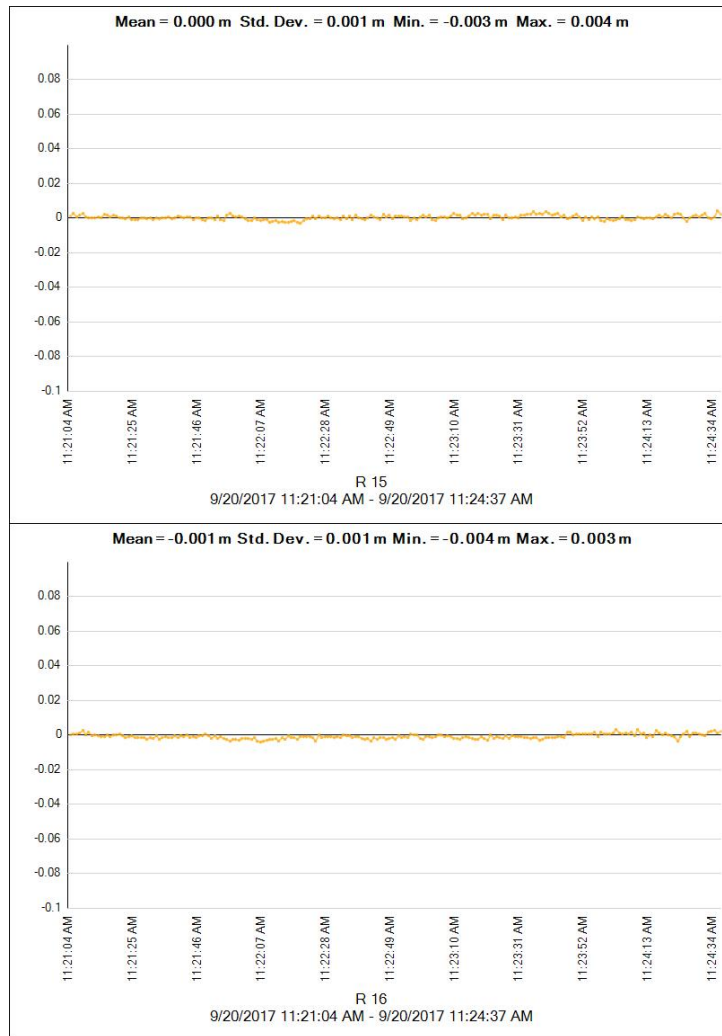
SV	9/20/2017 11:21:03 AM	Duration: 00:03:34	Major interval: 00:01:00	9/20/2017 11:24:37 AM
G 5	L1			
G 5	L2			
G 7	L1			
G 7	L2			
G 8	L1			
G 8	L2			
G 9	L1			
G 9	L2			
G 23	L1			
G 23	L2			
G 28	L1			
G 28	L2			
G 30	L1			
G 30	L2			
R 4	L1			
R 4	L2			
R 5	L1			
R 5	L2			
R 6	L1			
R 6	L2			
R 15	L1			
R 15	L2			
R 16	L1			
R 16	L2			
E 2	E1			
E 2	E5			
E 3	E1			
E 3	E5			
E 7	E1			
E 7	E5			
E 8	E1			
E 8	E5			
E 30	E1			
E 30	E5			
C 14	B1			
C 14	B2			

Residuals









Processing style

Elevation mask:	10°00'00.0"
Auto start processing:	Yes
Start automatic ID numbering:	AUTO0001
Continuous vectors:	No
Generate residuals:	Yes
Antenna model:	Automatic
Ephemeris type:	Automatic
Frequency:	Multiple Frequencies
Processing interval:	Use all data
Force float:	No

Acceptance Criteria

Vector Component	Flag 	Fail 
Horizontal Precision >	0.050 m + 1.000 ppm	0.100 m + 1.000 ppm
Vertical Precision >	0.100 m + 1.000 ppm	0.200 m + 1.000 ppm

BASE_1 - 7 (11:43:37 AM-11:47:03 AM) (S23)

Baseline observation:	BASE_1 --- 7 (B25)
Processed:	9/21/2017 3:17:13 PM
Solution type:	Fixed
Frequency used:	Multiple Frequencies
Horizontal precision:	0.004 m
Vertical precision:	0.008 m
RMS:	0.009 m
Maximum PDOP:	1.902
Ephemeris used:	Broadcast
Antenna model:	NGS Absolute
Processing start time:	9/20/2017 11:43:37 AM (Local: UTC-3hr)
Processing stop time:	9/20/2017 11:47:03 AM (Local: UTC-3hr)
Processing duration:	00:03:26
Processing interval:	1 second

Vector Components (Mark to Mark)

From: BASE_1					
Grid		Local		Global	
Easting	247362.761 m	Latitude	S22°32'22.72590"	Latitude	S22°32'22.72590"
Northing	7505363.020 m	Longitude	W47°27'23.07595"	Longitude	W47°27'23.07595"
Elevation	660.013 m	Height	660.013 m	Height	660.013 m

To: 7					
Grid		Local		Global	
Easting	247862.710 m	Latitude	S22°32'16.34083"	Latitude	S22°32'16.34083"
Northing	7505567.743 m	Longitude	W47°27'05.47101"	Longitude	W47°27'05.47101"
Elevation	662.117 m	Height	662.117 m	Height	662.117 m

Vector					
ΔEasting	499.949 m	NS Fwd Azimuth	68°40'25"	ΔX	422.877 m
ΔNorthing	204.723 m	Ellipsoid Dist.	540.032 m	ΔY	283.286 m
ΔElevation	2.104 m	ΔHeight	2.104 m	ΔZ	180.619 m

Standard Errors

Vector errors:					
σ ΔEasting	0.001 m	σ NS fwd Azimuth	0°00'01"	σ ΔX	0.003 m
σ ΔNorthing	0.001 m	σ Ellipsoid Dist.	0.001 m	σ ΔY	0.003 m
σ ΔElevation	0.004 m	σ ΔHeight	0.004 m	σ ΔZ	0.002 m

Aposteriori Covariance Matrix (Meter²)

	X	Y	Z
X	0.0000079977		
Y	-0.0000056130	0.0000073627	
Z	-0.0000046837	0.0000041955	0.0000053318

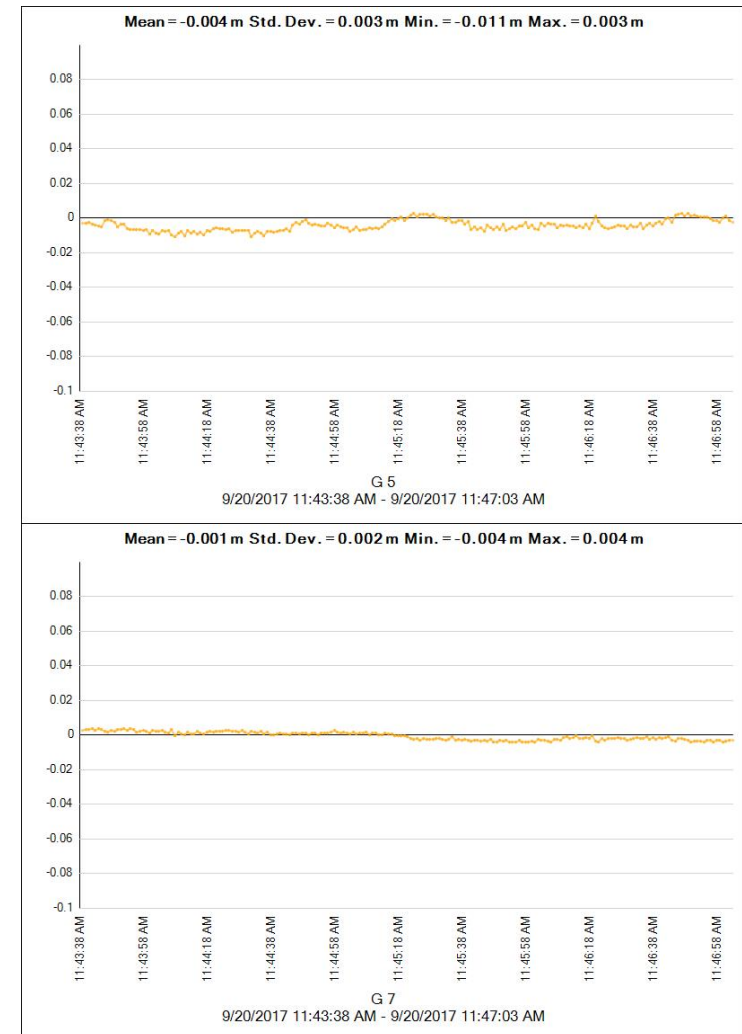
Occupations

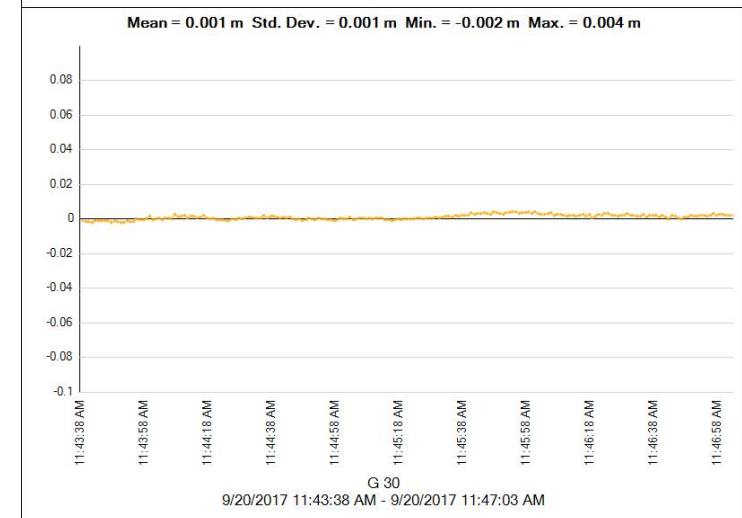
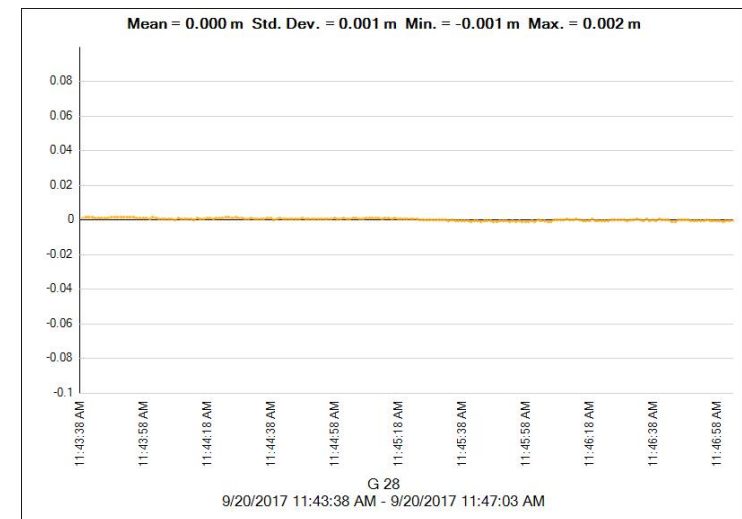
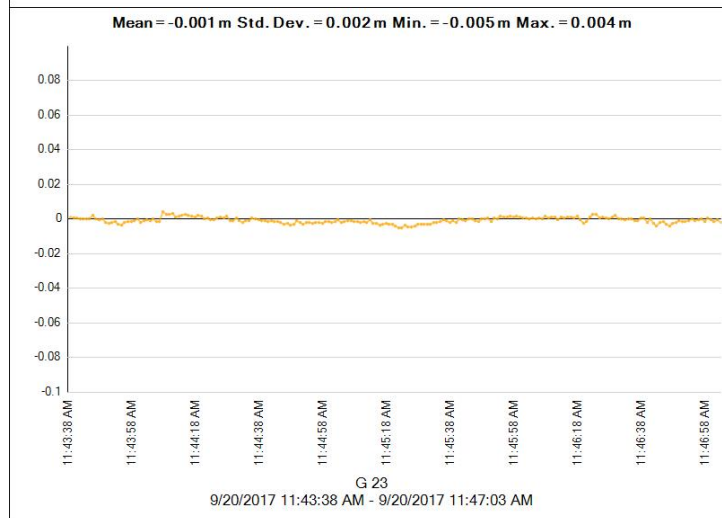
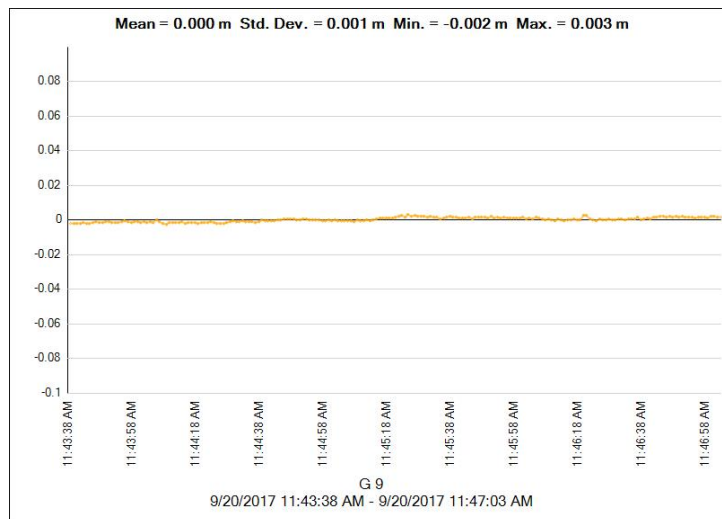
	From	To
Point ID:	BASE_1	7
Data file:	C:\Users\guano\Documents\Spectra Precision Survey Office\Unnamed \Q_base_G0224A17.263	C:\Users\guano\Documents\Spectra Precision Survey Office\Unnamed \Q0228G17.263
Receiver type:	SP60	SP60
Receiver serial number:	5722550224	5722550228
Antenna type:	SP60	SP60
Antenna serial number:	5722550224	5722550228
Antenna height (measured):	1.720 m	2.000 m
Antenna method:	Slant measure mark	Bottom of antenna mount

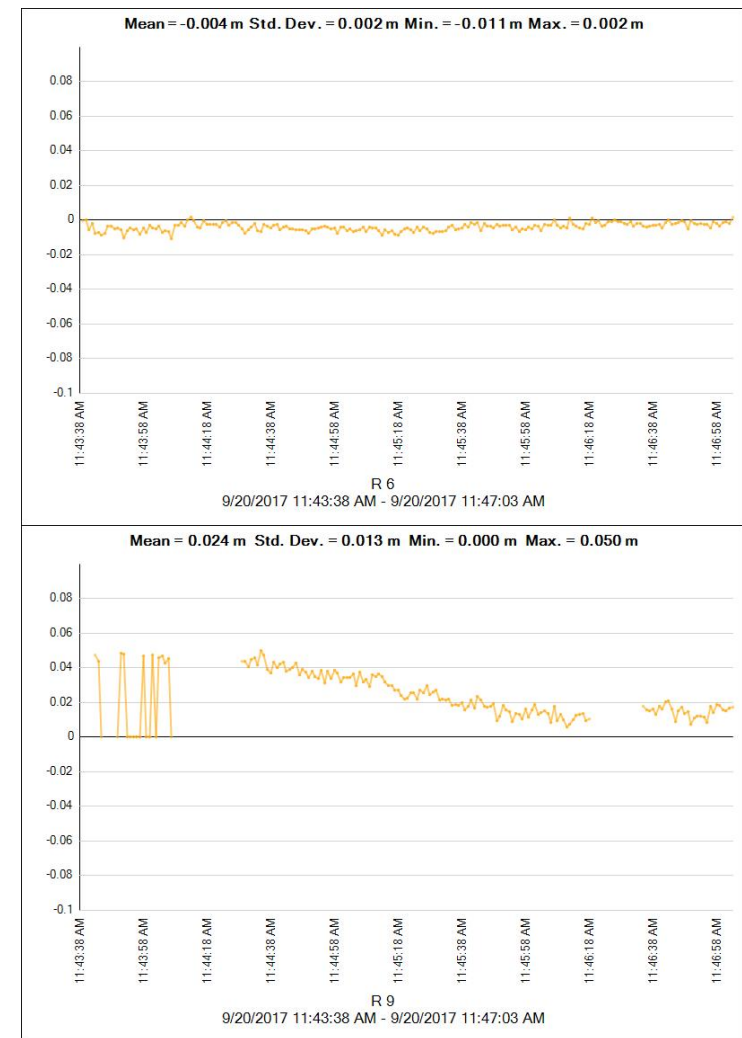
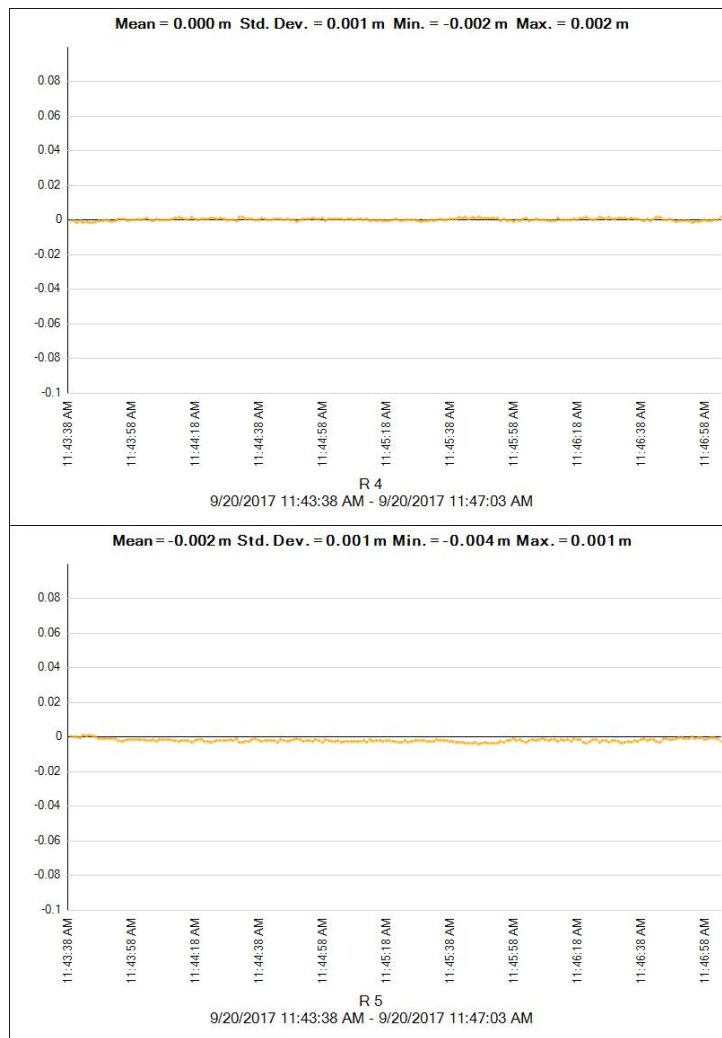
Tracking Summary

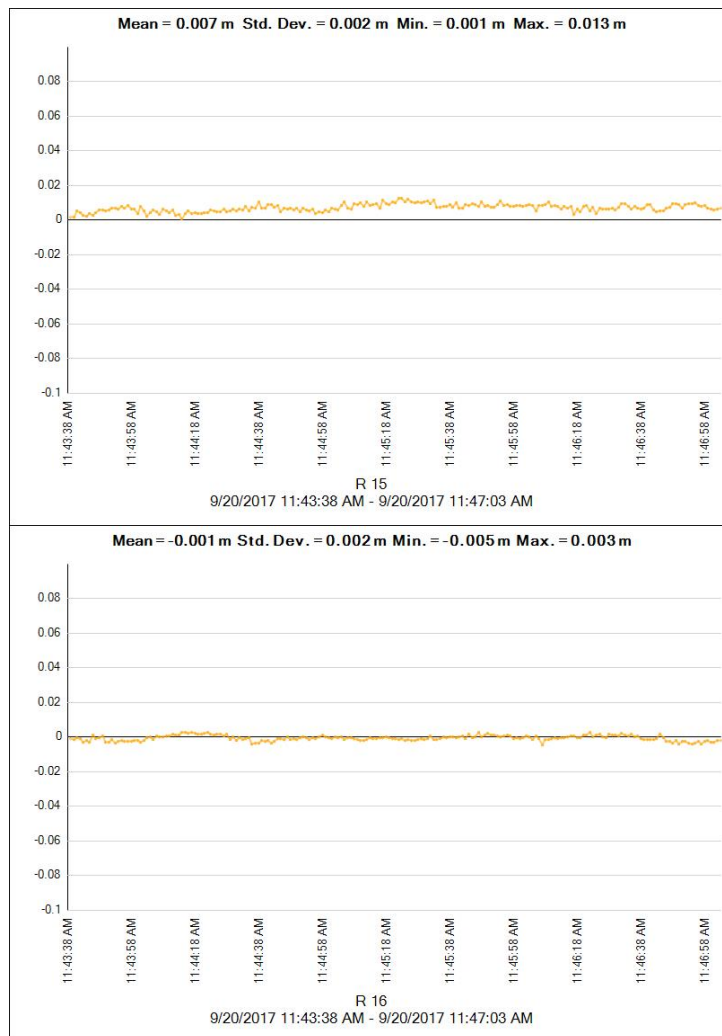
SV	9/20/2017 11:43:37 AM	Duration: 00:03:26 Major interval: 00:01:00	9/20/2017 11:47:03 AM
G 5	L1		
G 5	L2		
G 7	L1		
G 7	L2		
G 9	L1		
G 9	L2		
G 23	L1		
G 23	L2		
G 28	L1		
G 28	L2		
G 30	L1		
G 30	L2		
R 4	L1		
R 4	L2		
R 5	L1		
R 5	L2		
R 6	L1		
R 6	L2		
R 9	L1		
R 9	L2		
R 15	L1		
R 15	L2		
R 16	L1		
R 16	L2		
E 2	E1		
E 2	E5		
E 3	E1		
E 3	E5		
E 7	E1		
E 7	E5		
E 8	E1		
E 8	E5		
E 30	E1		
E 30	E5		
C 14	B1		
C 14	B2		

Residuals









Processing style

Elevation mask:	10°00'00.0"
Auto start processing:	Yes
Start automatic ID numbering:	AUTO0001
Continuous vectors:	No
Generate residuals:	Yes
Antenna model:	Automatic
Ephemeris type:	Automatic
Frequency:	Multiple Frequencies
Processing Interval:	Use all data
Force float:	No

Acceptance Criteria

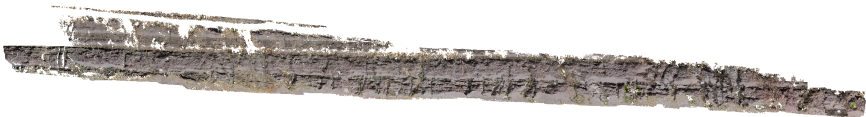
Vector Component	Flag 	Fail 
Horizontal Precision >	0.050 m + 1.000 ppm	0.100 m + 1.000 ppm
Vertical Precision >	0.100 m + 1.000 ppm	0.200 m + 1.000 ppm

9/21/2017 3:27:36 PM		Spectra Precision Survey Office
----------------------	--	---------------------------------

ANEXO 03

diques_clasticos

Processing Report
06 November 2017



Survey Data

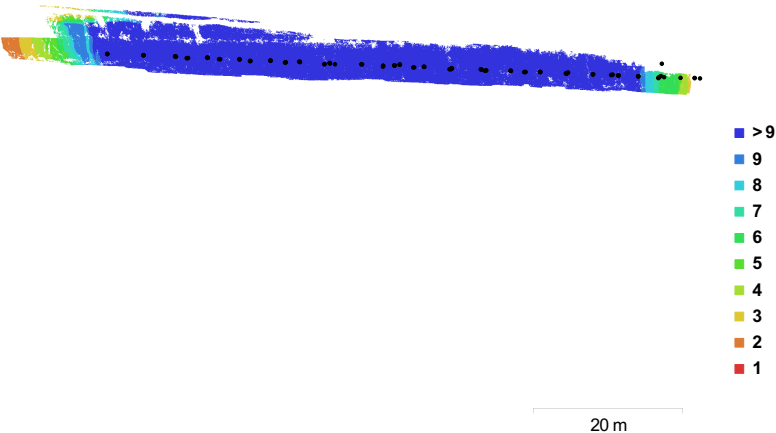


Fig. 1. Camera locations and image overlap.

Number of images:	106	Camera stations:	106
Flying altitude:	17.8 m	Tie points:	62,149
Ground resolution:	2.59 mm/pix	Projections:	267,986
Coverage area:	463 m²	Reprojection error:	0.61 pix

Camera Model	Resolution	Focal Length	Pixel Size	Precalibrated
NIKON D7000 (35 mm)	4928 x 3264	35 mm	4.93 x 4.93 µm	No
COOLPIX AW130 (7.8 mm)	4608 x 3456	7.8 mm	1.33 x 1.33 µm	No
COOLPIX AW130 (6.1 mm)	4608 x 3456	6.1 mm	1.35 x 1.35 µm	No

Table 1. Cameras.

Camera Calibration

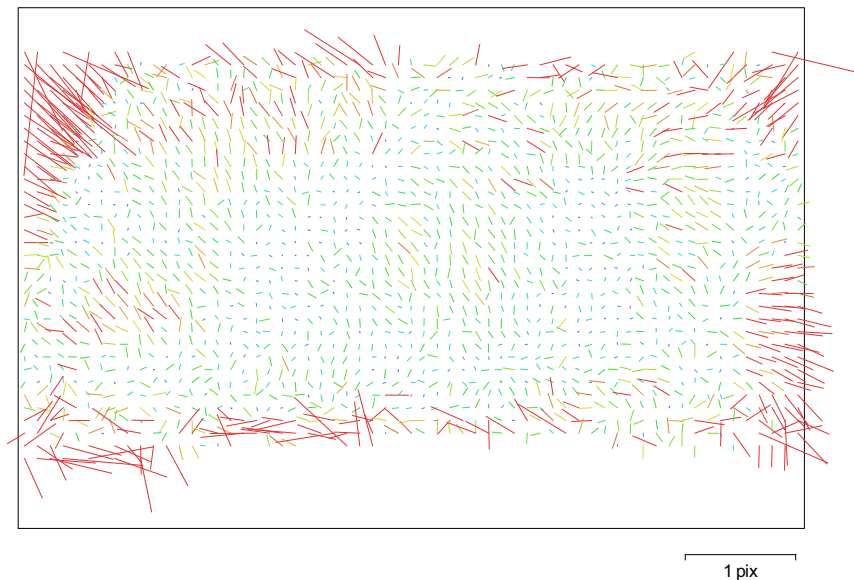


Fig. 2. Image residuals for NIKON D7000 (35 mm).

NIKON D7000 (35 mm)

66 images

Resolution	Focal Length	Pixel Size	Precalibrated
4928 x 3264	35 mm	4.93 x 4.93 μm	No
Type:	Frame	F:	7500.67
Cx:	0	B1:	8.24991
Cy:	0	B2:	0
K1:	0.146273	P1:	-0.00168431
K2:	0.613516	P2:	-0.00291393
K3:	0	P3:	0
K4:	0	P4:	0

Camera Calibration

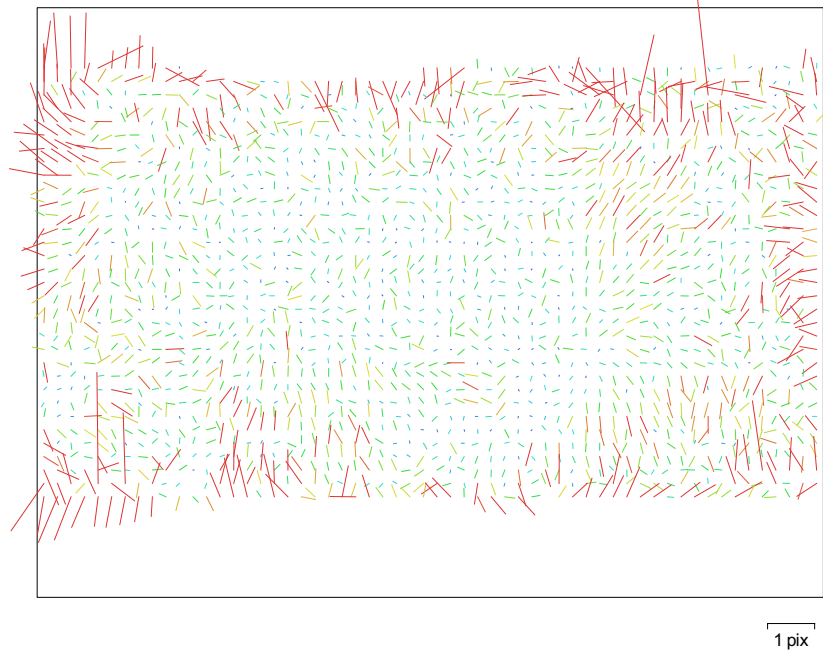


Fig. 3. Image residuals for COOLPIX AW130 (7.8 mm).

COOLPIX AW130 (7.8 mm)

37 images

Resolution	Focal Length	Pixel Size	Precalibrated
4608 x 3456	7.8 mm	1.33 x 1.33 μm	No
Type:	Frame	F:	5844.99
Cx:	0	B1:	-17.3435
Cy:	0	B2:	0
K1:	0.00275898	P1:	0.0012105
K2:	0.0407891	P2:	-0.00636542
K3:	0	P3:	0
K4:	0	P4:	0

Camera Calibration

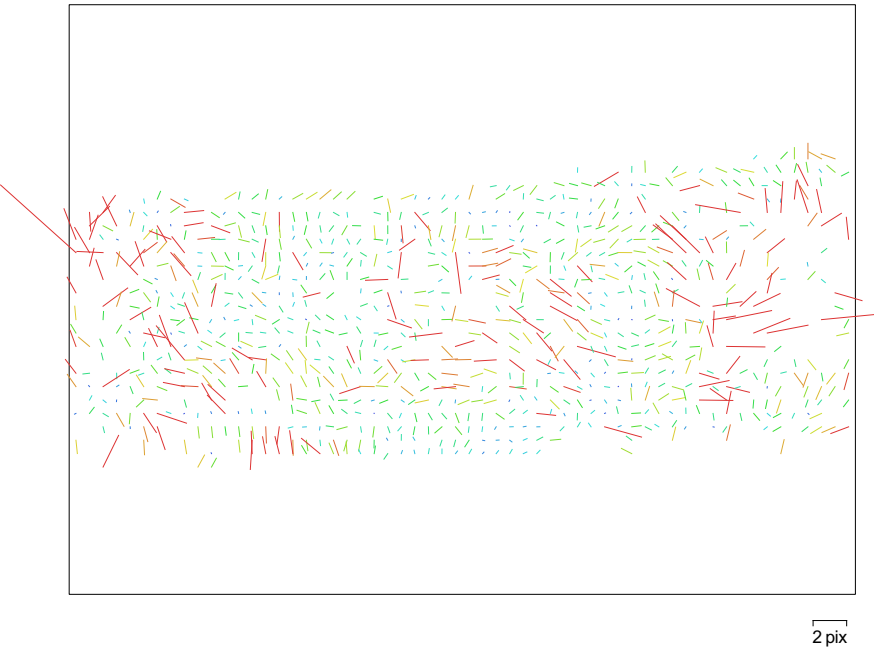


Fig. 4. Image residuals for COOLPIX AW130 (6.1 mm).

COOLPIX AW130 (6.1 mm)

3 images

Resolution	Focal Length	Pixel Size	Precalibrated
4608 x 3456	6.1 mm	1.35 x 1.35 µm	No
Type:	Frame	F:	4552.53
Cx:	0	B1:	4.84477
Cy:	0	B2:	0
K1:	-0.000433246	P1:	0.00148261
K2:	0.0227404	P2:	0.00152537
K3:	0	P3:	0
K4:	0	P4:	0

Ground Control Points



● Control points ● Check points 20 m

Fig. 5. GCP locations.

Count	X error (m)	Y error (m)	Z error (m)	XY error (m)	Total (m)	Image (pix)
10	0.00461644	0.00472858	0.0043288	0.0066084	0.00789997	0.102

Table 2. Control points RMSE.

Count	X error (m)	Y error (m)	Z error (m)	XY error (m)	Total (m)	Image (pix)
5	7.39385	4.8521	0.951992	8.84374	8.89484	0.086

Table 3. Check points RMSE.

Digital Elevation Model

Label	X error (m)	Y error (m)	Z error (m)	Total (m)	Image (pix)
TG01	0.00169477	0.00352752	-0.00248127	0.00463383	0.082 (4)
TG02	0.00938746	0.00361641	-0.00528233	0.0113625	0.323 (4)
TG03	-0.00252563	-0.00242451	0.00306727	0.00465459	0.122 (9)
TG04	-0.00944609	-0.00510285	0.00149943	0.0108405	0.107 (9)
TG08	-0.00284704	-0.000664614	0.00601992	0.00669229	0.033 (10)
TG09	0.00133679	-0.00785358	0.00239313	0.00831822	0.034 (8)
TG10	-0.00268034	0.00738962	0.00533816	0.00950193	0.061 (8)
TG11	0.002415	0.00574896	-0.00721255	0.00953434	0.055 (9)
TG12	0.00144312	-0.00404071	0.000934692	0.0043913	0.039 (9)
TG15	0.00123266	-0.000225657	-0.00427925	0.00445897	0.037 (5)
Total	0.00461644	0.00472858	0.0043288	0.00789997	0.102

Table 4. Control points.

Label	X error (m)	Y error (m)	Z error (m)	Total (m)	Image (pix)
TG05	-0.0118314	-0.00733043	0.00351271	0.0143546	0.129 (8)
TG06	16.5296	10.4433	0.0137614	19.5522	0.107 (8)
TG07	-0.00770571	0.0055793	0.0136828	0.0166651	0.052 (8)
TG13	0.0152168	-0.0350367	2.12501	2.12535	0.079 (11)
TG14	-0.341615	2.94127	-0.124047	2.96364	0.045 (10)
Total	7.39385	4.8521	0.951992	8.89484	0.086

Table 5. Check points.

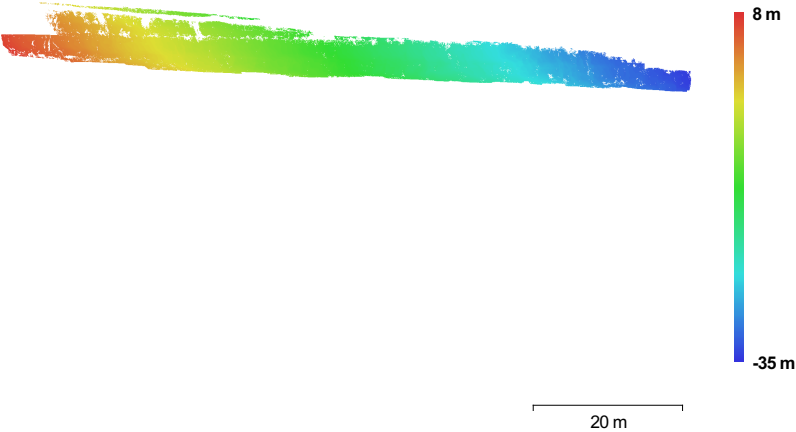


Fig. 6. Reconstructed digital elevation model.

Resolution:
Point density:

5.19 mm/pix
3.72 points/cm²

Processing Parameters

General	
Cameras	106
Aligned cameras	106
Markers	15
Coordinate system	WGS 84 / UTM zone 23S (EPSG::32723)
Point Cloud	
Points	62,149 of 93,888
RMS reprojection error	0.294788 (0.610269 pix)
Max reprojection error	1.86399 (15.0538 pix)
Mean key point size	1.92338 pix
Effective overlap	4.87826
Alignment parameters	
Accuracy	Highest
Pair preselection	Disabled
Keypoint limit	40,000
Tie point limit	4,000
Constrain features by mask	Yes
Adaptive camera model fitting	Yes
Matching time	25 minutes 54 seconds
Alignment time	49 seconds
Optimization parameters	
Parameters	f, b1, k1, k2, p1, p2
Optimization time	0 seconds
Dense Point Cloud	
Points	30,660,551
Reconstruction parameters	
Quality	High
Depth filtering	Moderate
Depth maps generation time	12 minutes 13 seconds
Dense cloud generation time	6 minutes 25 seconds
Model	
Faces	6,132,109
Vertices	4,095,536
Reconstruction parameters	
Surface type	Arbitrary
Source data	Dense
Interpolation	Disabled
Quality	High
Depth filtering	Moderate
Face count	6,132,110
Processing time	29 minutes 23 seconds
Software	
Version	1.2.6 build 2834
Platform	Windows 64 bit