



**RUDOLF GUSTAVO CANJANI PEREIRA**  
**CASSIA REGINA SANTOS TOSETTO**

**SIMULAÇÃO DO EXAGERO VERTICAL NO ESCOAMENTO  
SUPERFICIAL EM AMBIENTE DE REALIDADE AUMENTADA**

**INCONFIDENTES – MG**

**2017**

**RUDOLF GUSTAVO CANJANI PEREIRA**  
**CASSIA REGINA SANTOS TOSETTO**

**SIMULAÇÃO DO EXAGERO VERTICAL NO ESCOAMENTO  
SUPERFICIAL EM AMBIENTE DE REALIDADE AUMENTADA**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado como pré-requisito de conclusão de curso de Graduação em Engenharia de Agrimensura e Cartográfica no Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Sul de Minas Gerais – Campus Inconfidentes, para obtenção do título de Bacharel em Engenharia de Agrimensura e Cartográfica.

Orientador: Prof. Dr. Mosar Faria Botelho  
Co-orientador: Prof. Dr. Marcos Aurélio Basso

**INCONFIDENTES – MG**

**2017**

**RUDOLF GUSTAVO CANJANI PEREIRA  
CASSIA REGINA SANTOS TOSETTO**

**SIMULAÇÃO DO EXAGERO VERTICAL NO ESCOAMENTO  
SUPERFICIAL EM AMBIENTE DE REALIDADE AUMENTADA**

**Data de aprovação: \_\_\_\_\_ de \_\_\_\_\_ 2017**

---

**Orientador: Prof. Dr. Mosar Faria Botelho  
IFSULDEMINAS – Campus**

---

**Co-Orientador: Prof. Dr. Marcos Aurélio Basso  
IFSULDEMINAS – Campus Inconfidentes**

---

**Prof. Dr. Lucia Ferreira  
IFSULDEMINAS – Campus Inconfidentes**

## **DEDICATÓRIA**

Dedicamos este trabalho a nossa amada e saudosa tia Maria Aparecida Tosetto Ramos, mulher maravilhosa que por onde passou deixou lembranças inesquecíveis.

## **AGRADECIMENTOS**

Agradecemos primeiramente a Deus, Senhor de nossas vidas.

Aos nossos pais, que nos ajudaram e deram todo o apoio que necessitamos.

Agradecemos também a todos nossos familiares: avós, irmãos, tias, tios, primos, primas, cunhada e amigos que nos apoiaram e torceram por nós.

Ao professor Dr. Mosar Botelho por nos orientar na conclusão deste trabalho.

## RESUMO

O melhoramento do avanço tecnológico mundial nos últimos anos somados às mudanças na forma de mapear o terreno por técnicas de Fotogrametria e Sensoriamento Remoto tornam possível a cartografia interativa através da realidade aumentada. Essa representação do relevo é obtida na maquete dinâmica, foco desta pesquisa. Assim, este estudo justifica-se pela necessidade de interação entre usuário e a superfície. O experimento realizado neste trabalho consistiu em realizar um plano de voo sobre uma área de interesse para obter as curvas de nível da região. Nesse experimento foram utilizados quatro fatores de exagero vertical: 1, 2, 3 e 4, além de serem inseridas duas lombadas no projeto. O Experimento 1 teve o objetivo de calcular a velocidade de escoamento superficial para todos fatores de exagero vertical nos projetos sem e com intervenção de lombadas. O objetivo do Experimento 2 foi calcular a vazão desse escoamento superficial também para todos fatores de exagero vertical nos projetos sem e com intervenção de lombadas. O terceiro Experimento consistiu em analisar o volume de água acumulado e desviado pelas lombadas inseridas no projeto. Os resultados obtidos com o experimento permitiram gerar equações para a velocidade de escoamento superficial e para a vazão deste projeto, além de demonstrarem a eficiência das lombadas para a redução da velocidade e da vazão do escoamento superficial.

**Palavras-chave:** Maquete dinâmica; Realidade Aumentada; Exagero Vertical; Interatividade; MDT.

## ABSTRACT

The improvement of global technological advancement in recent years combined with changes in the way to map the terrain by photogrammetry and remote sensing techniques make it possible for interactive cartography through augmented reality. This representation of the relief is obtained in the dynamic model, focus of this survey. Thus, this study justifies the necessity of interaction between user and surface. The experiment conducted in this work consisted of conducting a flight plan on an area of interest to obtain the region's level curves. In this experiment four vertical exaggeration factors were used: 1, 2, 3 and 4, and two lumbar were inserted in the project. Test 1 had the objective of calculating the superficial flow rate for all vertical exaggeration factors in the projects without and with lumbar intervention. The objective of the Test 2 was to calculate the flow of this superficial drainage also for all the vertical exaggeration factors in the projects without and with the intervention of lumbar. The third Test consisted of analysing the volume of water accumulated and diverted by the lumbar inserted into the project. The results obtained with the experiment allowed to generate equations for the velocity of superficial drainage and the flow of this project, as well as demonstrating the efficiency of the lumbar to reduce the velocity and flow of the superficial drainage.

**Keywords:** Dynamic modeling; Augmented Reality; Vertical exaggeration; Interactivity; MDT.

## SUMÁRIO

<b>1. INTRODUÇÃO</b> .....	8
<b>2. OBJETIVOS</b> .....	9
<b>2.1. GERAL</b> .....	9
<b>2.2. ESPECÍFICOS</b> .....	9
<b>3. REVISÃO DE LITERATURA</b> .....	10
<b>3.1. MODELO DIGITAL DO TERRENO, DE ELEVAÇÃO E DE SUPERFÍCIE</b> .....	10
<b>3.2. REALIDADE AUMENTADA</b> .....	12
<b>3.2.1. MAQUETE DINÂMICA COM REALIDADE AUMENTADA</b> .....	14
<b>3.3. VOO COM VANT</b> .....	16
<b>3.3. EXAGERO VERTICAL</b> .....	19
<b>4. MATERIAIS E MÉTODOS</b> .....	21
<b>4.1. MATERIAIS</b> .....	21
<b>4.2. METODOLOGIA</b> .....	24
<b>4.2.1. Superfície do estudo de caso</b> .....	24
<b>4.2.2. Planejamento de voo</b> .....	25
<b>4.2.3. Geração de curvas de nível</b> .....	26
<b>4.2.4. Escala do exagero vertical</b> .....	27
<b>5. RESULTADOS E DISCUSSÕES</b> .....	35
<b>5.1. EXPERIMENTO 1 – EQUAÇÃO PARA VELOCIDADE</b> .....	35
<b>5.2. EXPERIMENTO 2 – EQUAÇÃO PARA VAZÃO</b> .....	39
<b>5.3. ANÁLISE DOS EXPERIMENTOS 1 E 2</b> .....	41
<b>5.4. EXPERIMENTO 3</b> .....	43
<b>5.5. VOLUME</b> .....	44
<b>6. CONCLUSÃO</b> .....	46
<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b> .....	47
<b>ANEXO A – Cálculos para a realização do Planejamento de Voo</b> .....	51

<b>ANEXO B – LEVANTAMENTO COM RECEPTOR GNSS.....</b>	<b>55</b>
<b>ANEXO C – Relatório da Estação Geodésica MGIN Homologada pelo IBGE.....</b>	<b>56</b>
<b>ANEXO D – Monografia dos Pontos de Controle .....</b>	<b>58</b>
<b>ANEXO E – NUVEM DE PONTOS.....</b>	<b>70</b>
<b>ANEXO F – GERAÇÃO DE CURVAS DE NÍVEL .....</b>	<b>72</b>

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

- Figura 01 – Representação de um (a) Terreno e de suas respectivas modelagens tridimensionais: (b) MDS, (c) MDE e (d) MDT
- Figura 02 – Realidade Mista
- Figura 03 – Esquema de funcionamento do sistema de visão ótica direta
- Figura 04 – Esquema de funcionamento do sistema de visão ótica direta por vídeo
- Figura 05 – Esquema de funcionamento do sistema de visão por vídeo baseado em monitor
- Figura 06 – Diagrama do protótipo da caixa de areia de realidade aumentada.
- Figura 07 – Dispositivo Kinect e seus principais componentes
- Figura 08 – Esquema das diferentes configurações de multirrotores
- Figura 09. Multirrotor octacóptero e componentes
- Figura 10 – Projeto Caixa de Areia com Realidade Aumentada
- Figura 11 – Esquema de funcionamento da Caixa de Areia com Realidade Aumentada
- Figura 12 – VANT Octacóptero utilizado no voo
- Figura 13 – Fluxograma do experimento realizado
- Figura 14 – Área de estudo – Fazenda Escola do IFSULDEMINAS – Campus Inconfidentes.
- Figura 15 – Área levantada através de voo com VANT Octacóptero.
- Figura 16 – Escala de cores customizada, utilizada na Maquete Dinâmica (a) Escala de cores hipsométrica e batimétrica (b)
- Figura 17 – Esboço moldado na Maquete Dinâmica: (a) vista panorâmica e (b) vista superior
- Figura 18 – Simulação de chuva pelo processo de Realidade Aumentada
- Figura 19 – Curvas de nível e escala de cores para o fator de exagero vertical 1
- Figura 20 – Rua com intervenção de duas lombadas perpendiculares ao eixo da rua: (a) vista panorâmica e (b) vista superior
- Figura 21 – Rua com intervenção de duas lombadas inclinadas a 30° em relação ao eixo da rua: (a) vista panorâmica e (b) vista superior
- Figura 22 – Representação do Experimento 1 e suas Linhas de Tendência: (a) Sem lombada e (b) Com lombada
- Figura 23 – Representação do Experimento 2 e suas Linhas de Tendência: (a) Sem lombada e (b) Com lombada
- Figura 24 – Gráficos da Velocidade (a) e da Vazão (b) obtidos a partir dos Experimento 1 e 2

## LISTA DE TABELAS

- Tabela 01 – Multirrotores: tipos, quantidade de rotores, vantagens e desvantagens
- Tabela 02 – Coordenadas dos pontos de controle.
- Tabela 03 – Alturas absolutas para cada fator de exagero vertical
- Tabela 04 – Resultados do Experimento 1
- Tabela 05 – Resultados (s) das equações da Linha de Tendência do Experimento 1 sem lombadas
- Tabela 06 – Desvios da Linha de Tendência do Experimento 1 sem lombadas (em segundos)
- Tabela 07 – Resultados (s) das equações da Linha de Tendência do Experimento 1 com lombadas
- Tabela 08 – Desvios da Linha de Tendência do Experimento 1 com lombadas (em segundos)
- Tabela 09 – Resultados do Experimento 2.
- Tabela 10 – Resultados (s) das equações da Linha de Tendência do Experimento 2 sem lombadas
- Tabela 11 – Desvios da Linha de Tendência do Experimento 2 sem lombadas (em segundos)
- Tabela 12 – Resultados (s) das equações da Linha de Tendência do Experimento 2 com lombadas
- Tabela 13 – Desvios da Linha de Tendência do Experimento 2 com lombadas (em segundos)
- Tabela 14 – Velocidade e Vazão obtidas a partir dos Experimentos 1 e 2
- Tabela 15 – Altura da lombada de acordo com o fator de exagero vertical
- Tabela 16 – Volumes equivalentes à Equação 08
- Tabela 17 – Lâmina d'água (m) a partir do volume em metros cúbicos

## LISTA DE SIGLAS

MDT	Modelo Digital do Terreno
MDE	Modelo Digital de Elevação
MDS	Modelo Digital de Superfície
AR	<i>Augmented Reality</i>
VANT	Veículo Aéreo Não Tripulado
VANTs	Veículos Aéreos Não Tripulados
GNSS	<i>Global Navigation Satellite System</i>
IFSULDEMINAS	Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Sul de Minas
FOTOROBI	Laboratório de Fotogrametria, Robótica e Inovação

## 1. INTRODUÇÃO

As geotecnologias embarcadas em Veículos Aéreos Não Tripulados (VANTs) que vem sendo lançadas nos últimos tempos apresentam diversos sistemas integrados como alternativas tecnológicas. A eficiência na resolução espacial dessas alternativas pode ser observada no mapeamento de pequenas áreas, assim como a resolução temporal, radiométrica e espectral.

Segundo Roberto (2013), as mudanças na forma de mapear o terreno vêm sendo modificadas há muito tempo, sendo realizadas por técnicas de Fotogrametria e Sensoriamento Remoto. Destaca-se nesse meio o sistema integrado de sensores de câmeras não métricas acoplados a VANT, constituindo uma alternativa para a atualização cartográfica.

Quando essas mudanças na técnica de mapeamento são agregados ao avanço tecnológico ocorrido nos últimos anos, justificam aplicações de sistemas integrados em diversas áreas de conhecimento e com diversas finalidades, como estudos de sistemas que representam o relevo de forma dinâmica e interativa (FONSECA NETO *et al.*, 2017).

O estudo sobre o escoamento pluvial com técnicas de mapeamento dinâmico e interativo – realidade aumentada, justifica-se pela necessidade de investigar o conjunto da drenagem urbana, que são: redes de água, redes de esgotos sanitários, redes de cabos elétricos, telefônicos e de iluminação, pavimentação de ruas, guias e passeios; o sistema de drenagem tem uma particularidade: o escoamento das águas pluviais ocorrerá existindo ou não um sistema de drenagem adequado (PREFEITURA DO MUNICÍPIO DE SÃO PAULO, 1999).

Como conseguir observar o comportamento do escoamento superficial da água em uma maquete tradicional? Como considerar todos os acidentes topográficos do relevo e realizar modificações nesse relevo para perceber a reação do escoamento superficial? Uma maquete dinâmica com interatividade do usuário em tempo real poderia solucionar essa necessidade.

Portanto, este trabalho tem como objetivo principal investigar a compreensão do escoamento superficial para diversos fatores de exagero vertical utilizando uma Maquete Dinâmica com realidade aumentada sobre um relevo.

## **2. OBJETIVOS**

### **2.1. GERAL**

Investigar diversos fatores de exagero vertical usando uma Maquete Dinâmica com Realidade Aumentada para compreensão do comportamento do escoamento superficial em um Modelo Digital do Terreno.

### **2.2. ESPECÍFICOS**

Para alcançar o objetivo deste trabalho é necessário que se realize as tarefas descritas a seguir:

- Gerar um conjunto de fotos e uma nuvem de pontos através de um levantamento aerofotogramétrico usando um VANT octacóptero;
- Gerar as curvas de nível a partir da nuvem de pontos;
- Projetar as curvas de nível obtidas através do voo com VANT na Maquete Dinâmica para o estudo do escoamento superficial;
- Avaliar a influência de diversos fatores de exagero vertical no estudo do escoamento superficial.

### **3. REVISÃO DE LITERATURA**

#### **3.1. MODELO DIGITAL DO TERRENO, DE ELEVAÇÃO E DE SUPERFÍCIE**

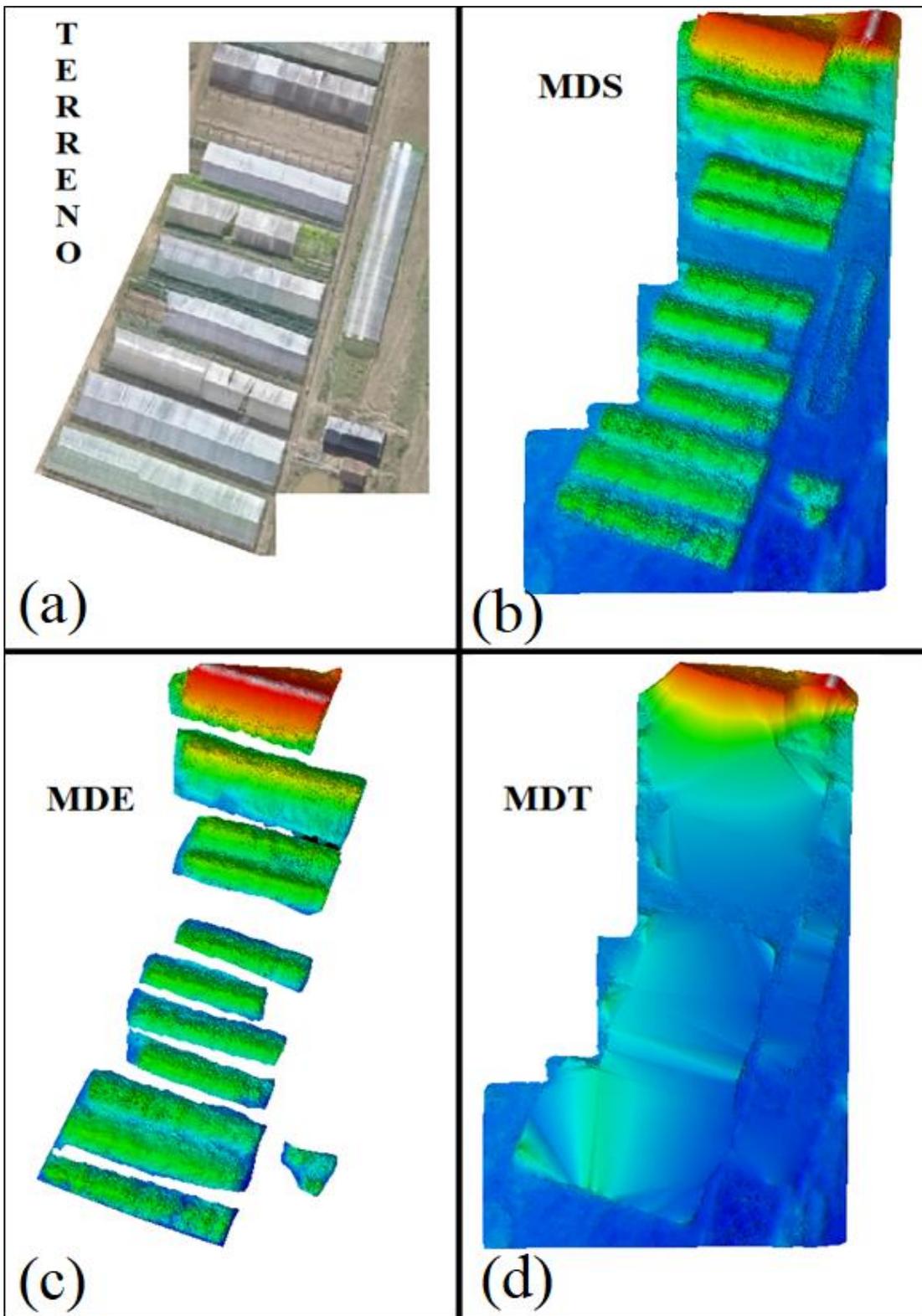
Existem diversas definições para Modelo Digital do Terreno (MDT), Modelo Digital de Elevação (MDE) e Modelo Digital de Superfície (MDS), a seguir serão destacadas as definições que foram utilizadas como base para este trabalho.

Os autores Centeno e Mitishita (2007) definem MDT para os dados que se referem aos pontos que atingiram o terreno, também definem MDS, que é quando esses dados incluem os objetos que estão sobrepostos ao terreno; para o termo MDE, Galvanin (2007) refere-se apenas às alturas, ou seja, desconsidera-se o terreno e utiliza-se apenas as elevações existentes sobre o mesmo.

Correia (2008) afirma que não é possível gerar curvas de nível a partir do MDE, pois seus pontos representam apenas a elevação da superfície, ou seja, tudo que possui altura: incluindo vegetação, construção, etc. Cruz et al. (2011) acreditam que o MDS, da mesma forma que o MDE, não pode ser utilizado para a geração de curvas de nível, já que ele representa a superfície do terreno somada de todos objetos existentes sobre essa superfície, ou seja, se existirem árvores e construções, a superfície representada refere-se ao topo das mesmas.

A Figura 01(a) exibe um terreno que teve sua área levantada; na Figura 01(b) todos os pontos da área levantada são considerados – desde o terreno até as elevações existentes nele – caracterizando o MDS; na Figura 01(c) é possível observar que apenas as elevações estão sendo representadas no modelo tridimensional, caracterizando o MDE; já na Figura 01(d), tem-se apenas o terreno sendo representado no modelo 3D, caracterizando o MDT.

Figura 01 – Representação de um (a) Terreno e de suas respectivas modelagens tridimensionais: (b) MDS, (c) MDE e (d) MDT

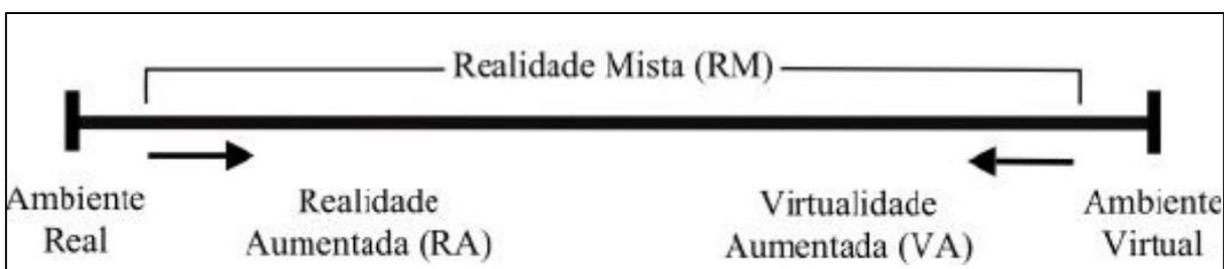


Fonte: Autoria própria.

### 3.2. REALIDADE AUMENTADA

A realidade misturada, segundo Kierner e Zorzal (2005), consiste na sobreposição em tempo real de ambientes reais e virtuais através de um dispositivo tecnológico. Ela é dividida em dois segmentos: virtualidade aumentada e realidade aumentada. O primeiro é quando o ambiente principal ou predominante é o mundo virtual; o segundo é quando o ambiente principal ou predominante é o mundo real. Na Figura 02 é possível visualizar essa relação.

Figura 02 – Realidade Mista



Fonte: Santee e Gomes (2010)

A realidade aumentada é definida por Cardoso *et al.* (2007):

“Pode-se definir Realidade Aumentada – RA – como a amplificação da percepção sensorial por meio de recursos computacionais [...] as soluções de Realidade Aumentada envolvem a geração de elementos virtuais que são inseridos no ambiente real, de tal forma que o usuário crê que os mesmos são partes do meio na qual está inserido”.

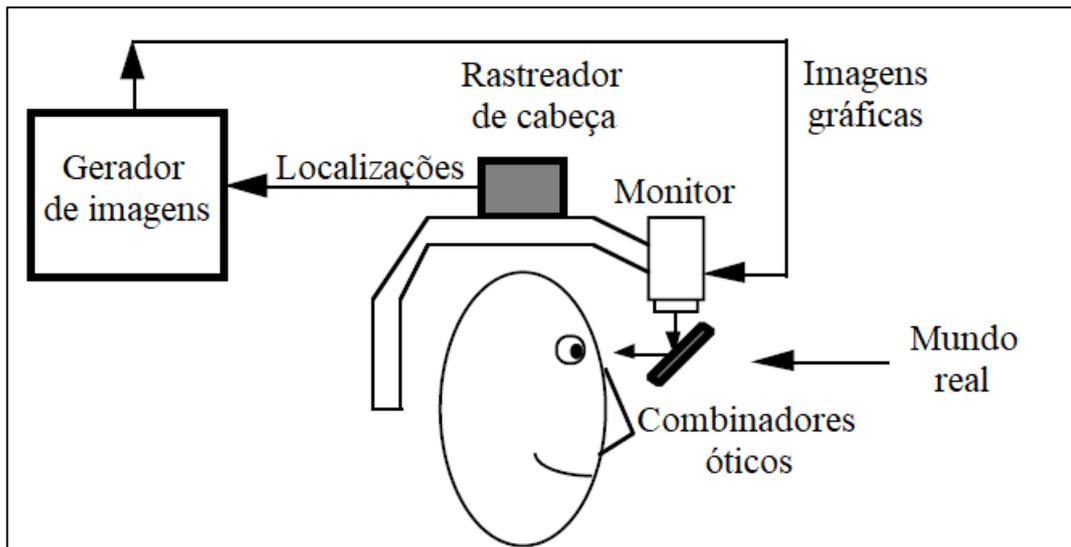
Segundo Azuma (1997), para ser considerado Realidade Aumentada devem ser cumpridos três quesitos:

- Combinar virtualidade e realismo;
- Possuir interatividade em tempo real;
- Ser registrada em três dimensões.

Azuma (1997) ainda afirma que conforme o tipo de *display* utilizado, é possível classificar quatro tipos de sistemas:

- Sistema de visão ótica direta – como mostra a Figura 03, necessita da utilização de óculos ou capacetes com lentes que permitam receber a imagem real diretamente, ao mesmo tempo em que permitam projetar imagens virtuais ajustadas com a cena real.

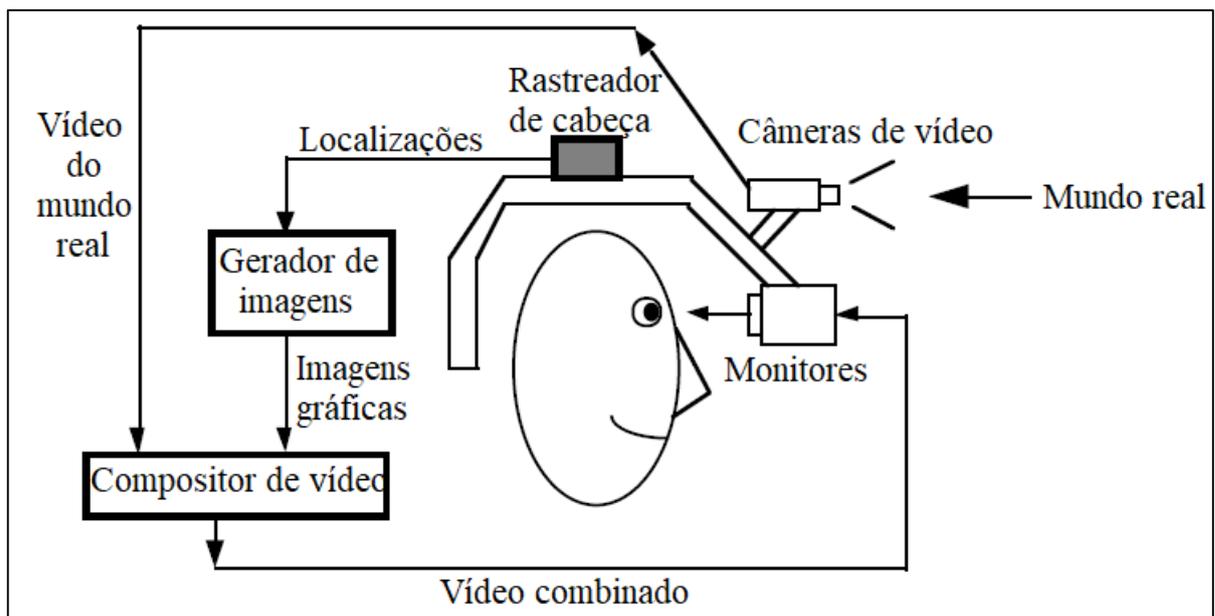
Figura 03 – Esquema de funcionamento do sistema de visão ótica direta



Fonte: Adaptado de Azuma (1997)

- Sistema de visão ótica direta por vídeo – como mostra a Figura 04, esse sistema se utiliza de capacetes com microcâmeras de vídeo acopladas, em que a cena real é misturada com os elementos virtuais gerados no computador e apresentados diretamente nos olhos do usuário através de pequenos monitores acoplados no capacete.

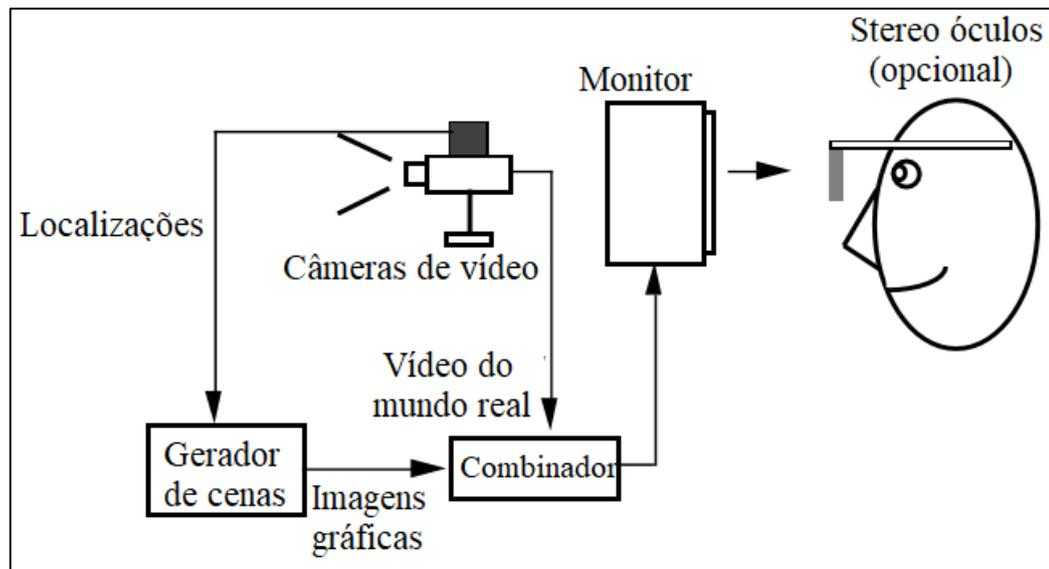
Figura 04 – Esquema de funcionamento do sistema de visão ótica direta por vídeo



Fonte: Adaptado de Azuma (1997)

- Sistema de visão por vídeo baseado em monitor – como pode ser visto na Figura 05, a cena real é capturada através de uma *webcam* e é misturada com os objetos virtuais que foram gerados no computador e, então, a cena é apresentada no monitor.

Figura 05 – Esquema de funcionamento do sistema de visão por vídeo baseado em monitor



Fonte: Adaptado de Azuma (1997)

- Sistema de visão ótica por projeção – um exemplo desse sistema é a Maquete Dinâmica com Realidade Aumentada. Ele necessita de uma superfície de projeção, em que são projetadas imagens de objetos virtuais sem que o usuário necessite de algum equipamento auxiliar para visualizá-lo.

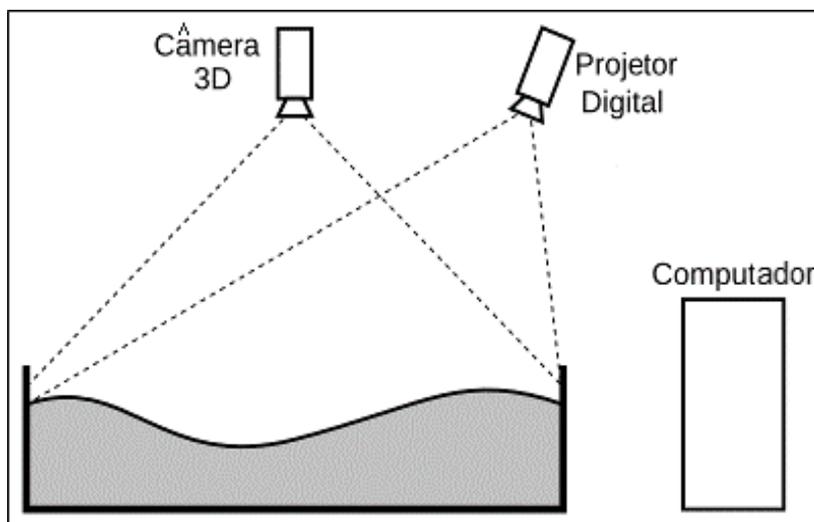
### 3.2.1. MAQUETE DINÂMICA COM REALIDADE AUMENTADA

A maquete dinâmica consiste em uma caixa de areia na qual a realidade aumentada é projetada sobre ela, sendo originalmente conhecida como SARnbox, foi desenvolvida a partir de uma parceria entre as seguintes instituições americanas: Universidade da Califórnia, Centro de Pesquisa Ambiental de Tahoe e o Aquário e Centro de Ciências ECHO Lake<sup>1</sup> (KREYLOS, 2017, tradução nossa).

<sup>1</sup> UC Davis' W.M. Keck Center for Active Visualization in the Earth Sciences (KeckCAVES), together with the UC Davis Tahoe Environmental Research Center, Lawrence Hall of Science, and ECHO Lake Aquarium and Science Center

Realizaram uma combinação de uma caixa de areia com topografia e água virtual utilizando um loop fechado da câmera 3D do Kinect Microsoft, *software* de simulação e visualização, além de um projetor de dados. A realidade aumentada (AR) resultante permite aos usuários criarem modelos de topografia moldando a areia real, que é então aumentada em tempo real por um mapa de elevação colorido, linhas de contorno topográfico (curvas de nível) e simulação de água. Assim, o sistema ensina conceitos geográficos, geológicos e hidrológicos, como ler um mapa de topografia, o significado de curvas de nível, bacias hidrográficas, diques, etc.<sup>2</sup> (KREYLOS, 2017, tradução nossa). A Figura 06 é um esboço do protótipo da caixa dinâmica.

Figura 06 – Diagrama do protótipo da caixa de areia de realidade aumentada.



Fonte: Adaptado de KREYLOS (2017, tradução nossa).

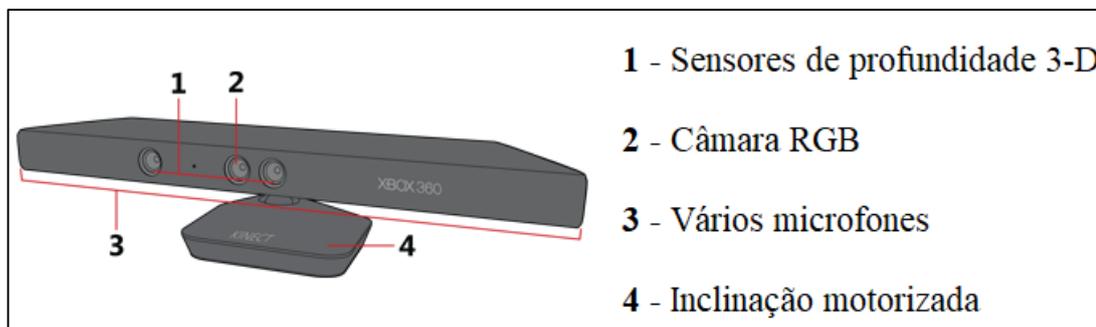
Basicamente, a câmera 3D do sensor Kinect deve ser posicionada de modo que permita a medição das distâncias entre ele e a modelagem da areia. A imagem do projetor deve sobrepor a mesma área para que de acordo com a distância encontrada pelo Kinect e processada no computador ele possa projetar as curvas de nível e a coloração correspondente.

---

<sup>2</sup> [...] combining a real sandbox, and virtual topography and water created using a closed loop of a Microsoft Kinect 3D camera, powerful simulation and visualization software, and a data projector. The resulting augmented reality (AR) sandbox allows users to create topography models by shaping real sand, which is then augmented in real time by an elevation color map, topographic contour lines, and simulated water. The system teaches geographic, geologic, and hydrologic concepts such as how to read a topography map, the meaning of contour lines, watersheds, catchment areas, levees, etc.

O Kinect, representado na Figura 07, é um sensor de movimentos que foi desenvolvido como um periférico de suporte ao console de jogos eletrônicos Xbox 360, da empresa *Microsoft* (FERREIRA, 2014).

Figura 07 – Dispositivo Kinect e seus principais componentes



Fonte: Microsoft Xbox (2017)

Segundo Ferreira (2014), o princípio de funcionamento do Kinect, baseia-se em:

“(...) obter o mapeamento de profundidade pixel a pixel de uma cena. Nesta técnica, conhecida como Luz Estruturada, feixes de luz muito estreitos, ou, um padrão geométrico de luz previamente conhecido – na etapa de calibração – é projetado sobre a cena, iluminando-a”.

A profundidade da cena é estimada através das distâncias relativas entre os pontos projetados pelo sensor e refletidos pelo ambiente. Para uma maior resolução e precisão é necessário um padrão mais denso utilizado na projeção (relação entre as linhas efetivamente iluminadas e aquelas que servem como intervalo de guarda, levando-se em conta a abertura da projeção); pontos que não foram mapeados são interpolados no processamento, posteriormente (FERREIRA, 2014).

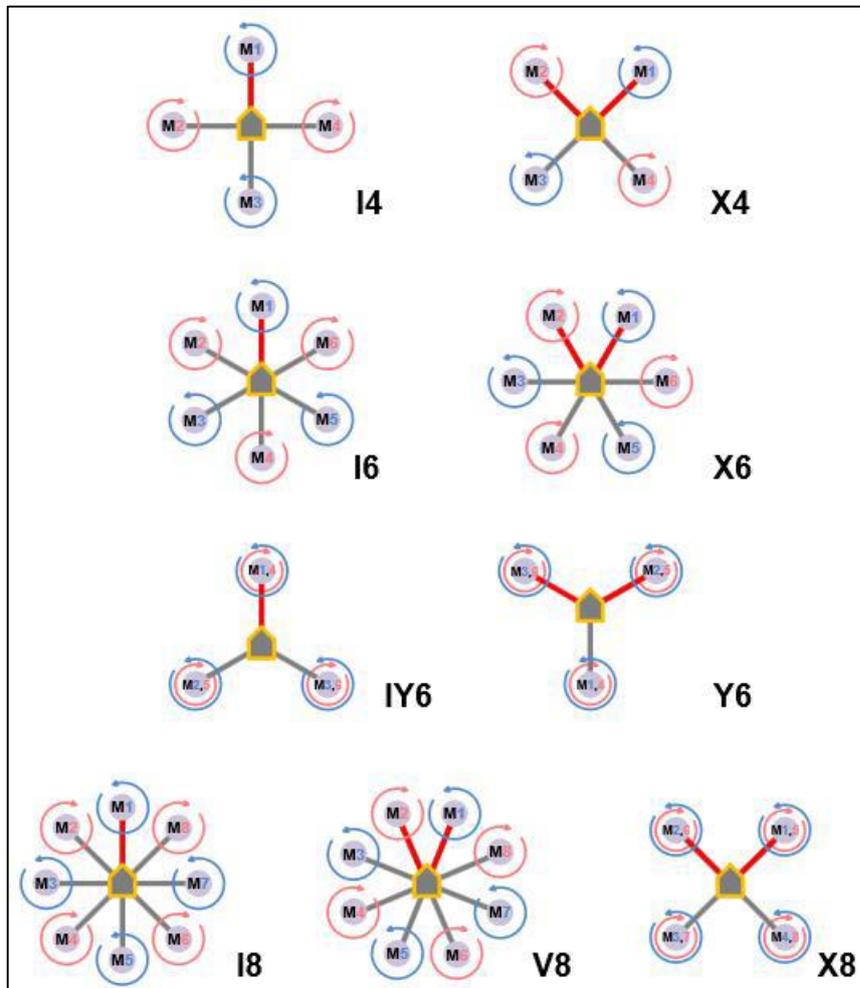
### 3.3. VOO COM VANT

Os Veículos aéreos não tripulados (VANTs) são divididos em dois grupos: os de asas fixas e os de asas rotativas, também conhecidos como multirrotores.

Segundo Casseiro e Pinto (2014), o multirrotor vem sendo utilizado em larga escala, pois proporciona estabilidade sobre os pontos que as fotos serão tiradas; isso ocorre porque ele é uma plataforma aérea, onde sua força de sustentação é dividida entre seus múltiplos motores, assim, o torque das reações cancelam-se entre si permitindo que o multirrotor paire sobre um ponto fixo.

Na Figura 08 tem-se um esquema das diferentes configurações de multirrotores, onde os motores podem ser posicionados na estrutura em forma de “I”, “X”, “IY”, “Y” e “V”.

Figura 08 – Esquema das diferentes configurações de multirrotores



Fonte: FLYINGTECH, 2016

Na Tabela 01 é possível analisar o tipo, a quantidade de rotores e suas vantagens e desvantagens.

Tabela 01 – Multirrotores: tipos, quantidade de rotores, vantagens e desvantagens

<b>Tipo</b>	<b>Quantidade de rotores</b>	<b>Vantagens</b>	<b>Desvantagens</b>
Y	3	Baixo custo	Sem proteção contra falhas
I4	4	Simplicidade e baixo custo	Sem proteção contra falhas
X4	4	Simplicidade e baixo custo	Sem proteção contra falhas
I6	6	Limitada proteção contra falhas e grande capacidade de carga	Grandes dimensões e preço elevado
X6	6	Limitada proteção contra falhas e grande capacidade de carga	Grandes dimensões e preço elevado
Y6	6	Pequeno, boa estabilidade e resistência ao vento	Baixa eficiência e mecanismos complexos
IY6	6	Pequeno, boa estabilidade e resistência ao vento	Baixa eficiência e mecanismos complexos
I8	8	Proteção contra falhas e potente	Grandes e caros
V8	8	Proteção contra falhas e potente	Grandes e caros
X8	8	Atinge grandes altitudes e resistência ao vento	Ineficiente

Fonte: Adaptado de FLYINGTECH, 2016

Segundo Cassemiro e Pinto (2014), os multirrotores, entre outros componentes, são compostos basicamente por:

- Frame – estrutura principal do aparelho, onde são alocados todos os componentes;
- Motores;
- Placa controladora – quem controla a estabilidade e precisão milimétrica na movimentação do VANT em voos autônomos, além de receber e atuar conforme os comandos recebidos pelo usuário via rádio;
- Sensores utilizados na coleta de dados para a estabilização da aeronave: acelerômetro, magnetômetro, giroscópio, barômetro e GPS;
- Câmera;
- Transmissor e receptor de vídeo – responsável pela captura dos sinais de vídeo da câmera fixada ao multirrotor e transmissão do mesmo para o piloto;
- Gimbal – suporte para a câmera, em que o objetivo principal é garantir a estabilização da mesmo nos três eixos de rotação;
- Bateria.

A Figura 09 mostra um esquema que relaciona alguns componentes e um multirrotor octacóptero.

Figura 09. Multirroto octacóptero e componentes



Fonte: Adaptado de DIYDRONES, 2017

Existem diversas utilizações para voos realizados com VANTs (ARAÚJO *et al.*, 2010). Uma dessas aplicações é a utilização de VANTs para montagem de mapas (ALVES JR. *et al.*, 2014), já que é possível obter maior atualização das informações aliado ao baixo custo do equipamento e de todo o processo, se mostrando uma excelente alternativa.

### 3.3. EXAGERO VERTICAL

Uma maquete apresenta duas escalas: uma chamada escala horizontal, que representa a relação entre as medidas planas (a escala do mapa), e a outra chamada escala vertical, que representa a relação entre as amplitudes altimétricas reais e as da maquete” (COLLISCHONN, 1997).

Segundo Oliveira *et al.* (2008) a generalização cartográfica implica em uma “seleção dos dados a serem representados e uma adequação destes dados à maquete”. Quando se aplica um fator de exagero vertical, o usuário está utilizando da generalização cartográfica.

Firkowski (2002) afirma que a aplicação da generalização cartográfica não deve desrespeitar o projeto cartográfico, nem a comunicação cartográfica; cabe ao processo de

generalização cartográfica reduzir a complexidade para alcançar uma apresentação mais eficiente.

Tem-se por exagero vertical a proporcionalidade entre as escalas horizontal e vertical. Para ter uma proporção mais próxima do real ambas escalas (horizontal e vertical) devem ser iguais, porém, quando se observa uma maquete tridimensionalmente, em que as duas escalas são iguais a dificuldade de enxergar as altitudes da superfície será maior. Assim, recomenda-se trabalhar com uma escala vertical maior, ou seja, um maior exagero vertical (SIMIELLI, 2007).

## 4. MATERIAIS E MÉTODOS

### 4.1. MATERIAIS

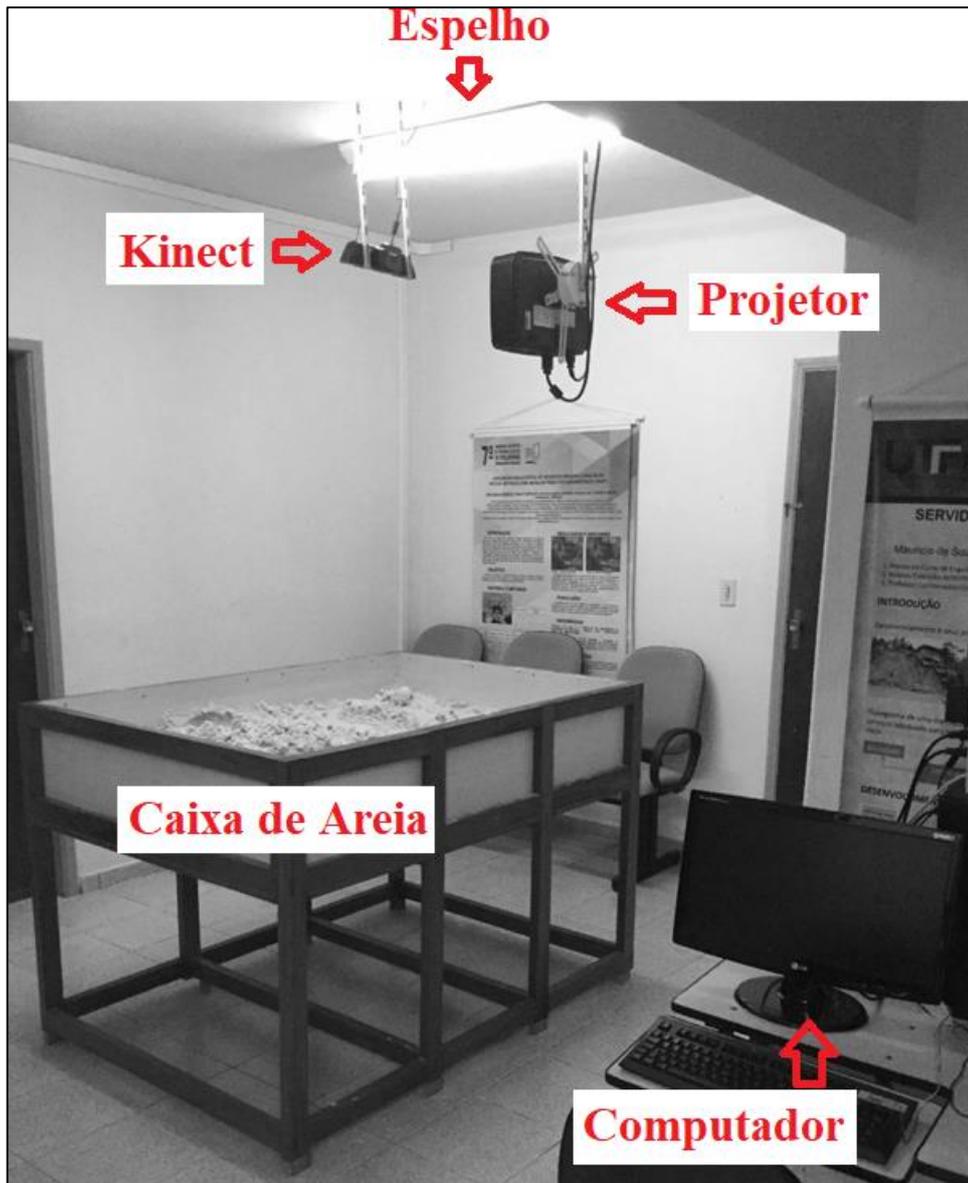
Os materiais utilizados foram disponibilizados pelo Setor de Agrimensura e pelo Laboratório FOTOROBI, ambos do IFSULDEMINAS – Campus Inconfidentes.

Para ser possível executar os estudos propostos foi necessário utilizar o experimento da Maquete Dinâmica com Realidade Aumentada, que é composto pelos seguintes materiais:

- Caixa de madeira com 1,50 m de largura, 1,10 m de comprimento, 1,05 m de altura, sendo que 0,30 m corresponde à profundidade que está contida a areia;
- Areia com espessura fina, de cor clara e levemente úmida, para facilitar a criação de relevos;
- Sensor Microsoft Kinect 1.0 para medir profundidade;
- Projetor digital de dados com *interface* de vídeo digital (como HDMI);
- Computador com placa gráfica dedicada com sistema operacional Linux;
- Espelho – pois o sistema de coordenadas do projetor é o inverso do encontrado na maquete dinâmica, assim, quando as coordenadas recebidas pelo projetor são refletidas na caixa de areia (inversamente), o sistema é corrigido. Além de que o projetor deve ficar a uma altura maior que o sensor Microsoft Kinect – pois seus ângulos de abertura são diferentes – e, como a sala não possuía altura necessária para tal, o espelho foi a solução para que igualar ambas as áreas de projeção.

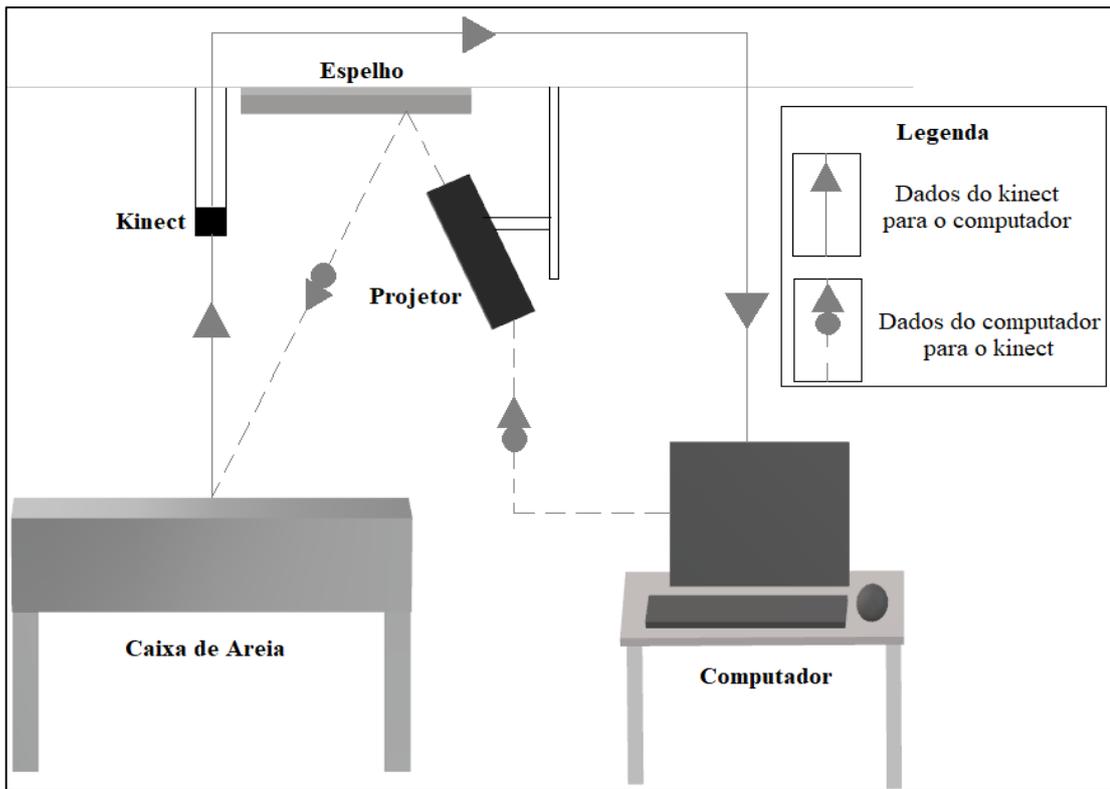
A Maquete Dinâmica com Realidade Aumentada utilizada pode ser observada na Figura 10, bem como, um esquema de seus componentes pode ser visto na Figura 11.

Figura 10 – Projeto Caixa de Areia com Realidade Aumentada



Fonte: Autoria própria.

Figura 11 – Esquema de funcionamento da Caixa de Areia com Realidade Aumentada



Fonte: Autoria própria.

Os equipamentos descritos a seguir também foram necessários para a realização deste trabalho:

- Câmera *Go Pro* modelo *Hero3* – suas especificações encontram-se no **Anexo B**;
- Receptor GNSS modelo *ProMark Field L1/L2* e tripé;
- VANT modelo Octacóptero (Figura 12).

Figura 12 – VANT Octacóptero utilizado no voo

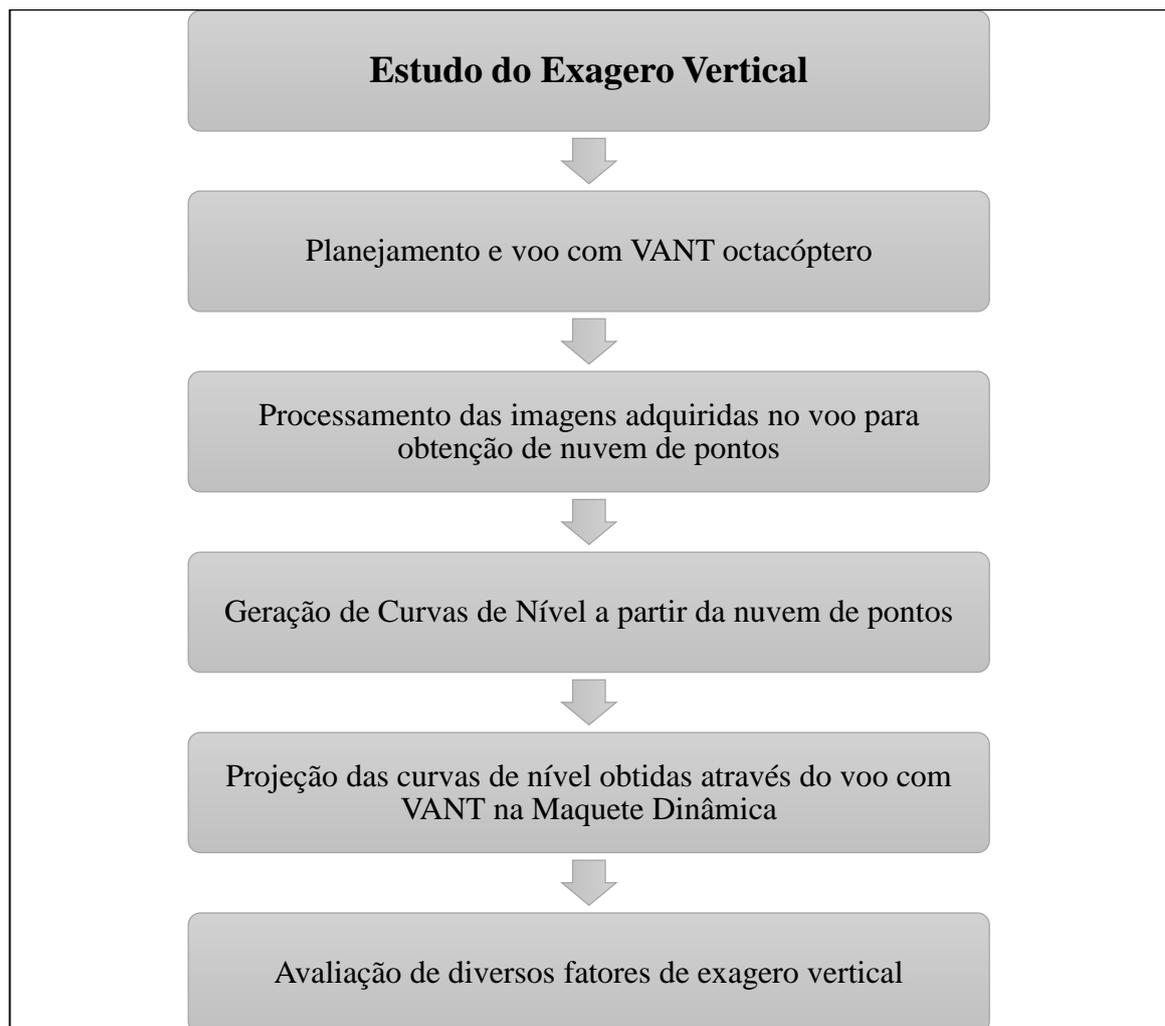


Fonte: Autoria própria.

## 4.2. METODOLOGIA

O experimento realizado relaciona a interatividade do usuário com o estudo de soluções para problemas encontrados em projetos de diversas escalas, seu fluxograma pode ser visto na Figura 13.

Figura 13 – Fluxograma do experimento realizado



### 4.2.1. Superfície do estudo de caso

O estudo de caso deste trabalho refere-se à rua situada da sala dos professores até o Bloco de Bromatologia da Fazenda Escola do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Sul de Minas – Campus Inconfidentes, conforme mostra o polígono demarcado na Figura 14.

Figura 14 – Área de estudo – Fazenda Escola do IFSULDEMINAS – Campus Inconfidentes.



Fonte: Google Earth Pro, 2017.

#### 4.2.2. Planejamento de voo

Foi utilizado um planejamento de voo feito para a disciplina de Fotogrametria Digital do 9º Período da Engenharia de Agrimensura e Cartográfica do IFSULDEMINAS – Campus Inconfidentes. A área deste levantamento fotogramétrico pode ser vista na Figura 15.

Figura 15 – Área levantada através de voo com VANT Octacóptero.



Fonte: Google Earth Pro, 2017

Os cálculos necessários para fazer o planejamento de voo podem ser consultados no Anexo A.

Para a coleta dos pontos foi realizado o transporte de coordenadas, utilizando um receptor GNSS Astech modelo ProMark 200 no modo estático rápido, no Anexo B é possível observar os cuidados tomados no levantamento.

A base utilizada foi a estação MGIN da RBMC (Rede Brasileira de Monitoramento Contínuo), localizada no município de Inconfidentes – MG. As coordenadas oficiais dessa estação se encontram no Anexo C.

A partir de uma análise criteriosa da área, as posições dos pontos de controle foram definidas, sendo distribuídos espacialmente por toda a área.

Para realizar o cálculo do transporte de coordenadas a partir da estação MGIN, utilizou-se o *software* GNSS Solutions versão 3.80.08. Os dados obtidos foram processados e ajustados pelo Método dos Mínimos Quadrados. Assim, as coordenadas obtidas podem ser visualizadas na Tabela 02. A monografia dos pontos de controle encontra-se no Anexo D.

Tabela 02 – Coordenadas dos pontos de controle

Ponto	Latitude	Longitude	E (m)	N (m)	Alt. Geom. (m)
01	22°18'55,504"S	46°19'46,524"W	363055,355	7531656,636	850,141
02	22°18'53,129"S	46°19'48,407"W	363000,831	7531729,200	848,074
03	22°18'51,551"S	46°19'45,872"W	363072,941	7531778,368	847,349
04	22°18'49,817"S	46°19'44,323"W	363116,795	7531832,085	848,663
05	22°18'47,287"S	46°19'47,732"W	363018,562	7531909,031	852,412
06	22°18'46,189"S	46°19'48,813"W	362987,332	7531942,525	858,489
07	22°18'44,488"S	46°19'53,088"W	362864,543	7531993,757	870,815
08	22°18'46,249"S	46°19'50,823"W	362929,833	7531940,173	853,216
09	22°18'48,496"S	46°19'54,351"W	362829,490	7531870,179	848,069
10	22°18'52,673"S	46°19'54,715"W	362820,208	7531741,631	847,953
11	22°18'49,242"S	46°19'49,505"W	362968,358	7531848,461	848,783
12	22°18'50,468"S	46°19'49,727"W	362962,339	7531810,701	848,020

Fonte: adaptado de GNSS Solutions (2017).

#### 4.2.3. Geração de curvas de nível

Foram obtidas 68 fotos a partir do aerolevanteamento realizado com o VANT Octacóptero. Por causa do efeito causado pela lente grande angular da câmera utilizada, as bordas tiveram que ser recortadas.

Com essas fotografias e as coordenadas dos pontos de controle foi possível gerar uma nuvem de pontos no *software* Agisoft PhotoScan. No Anexo E encontram-se os detalhes de como foi realizado o processamento.

A nuvem de pontos foi inserida no *software* DataGeosis Office Demonstração e a partir dele foi possível gerar o MDT e as curvas de nível. O passo a passo deste processo pode ser analisado no Anexo F.

O conceito de MDT utilizado neste trabalho, segundo Centeno e Mitishita (2007), refere-se apenas ao relevo, desconsiderando suas elevações.

Observou-se um desnível de 20 metros do início ao fim da rua, já que a cota mais alta encontrada foi de 871,000 metros e a mais baixa de 851,000 metros. O comprimento longitudinal calculado foi de 173,851 metros.

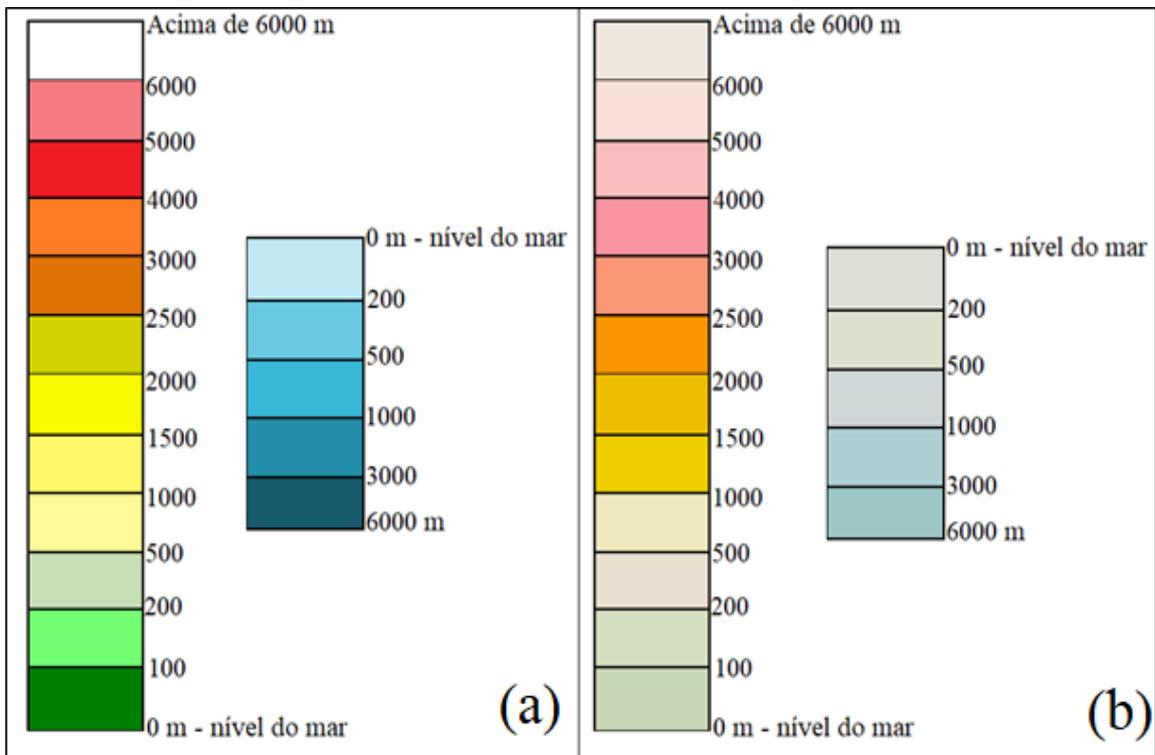
Todo o processamento foi executado com a mesma escala na horizontal e na vertical (fator de exagero vertical 1). Repetiu-se o processamento para diferentes escalas verticais: 2, 3 e 4.

Para o estudo do exagero vertical foi necessário repetir o processamento no DataGeosis Office Demonstração para os fatores de exageros verticais 2, 3 e 4, totalizando 4 curvas de nível.

#### **4.2.4. Escala do exagero vertical**

O estudo do exagero vertical foi feito para os fatores 1, 2, 3 e 4 porque a Caixa de Areia tem como fator limitante a altura de projeção. A altura máxima reconhecida pelo sistema da maquete dinâmica é de aproximadamente 70 centímetros. Quando essa altura é ultrapassada, a coloração deixa de ser vermelha (que é coloração da altura máxima reconhecida) e passa a ficar branca. A escala de cores da Maquete Dinâmica utilizada (Figura 16(a)) baseou-se nas faixas de cores hipsométricas e batimétricas (Figura 16(b)).

Figura 16 – Escala de cores customizada, utilizada na Maquete Dinâmica (a) Escala de cores hipsométrica e batimétrica (b)

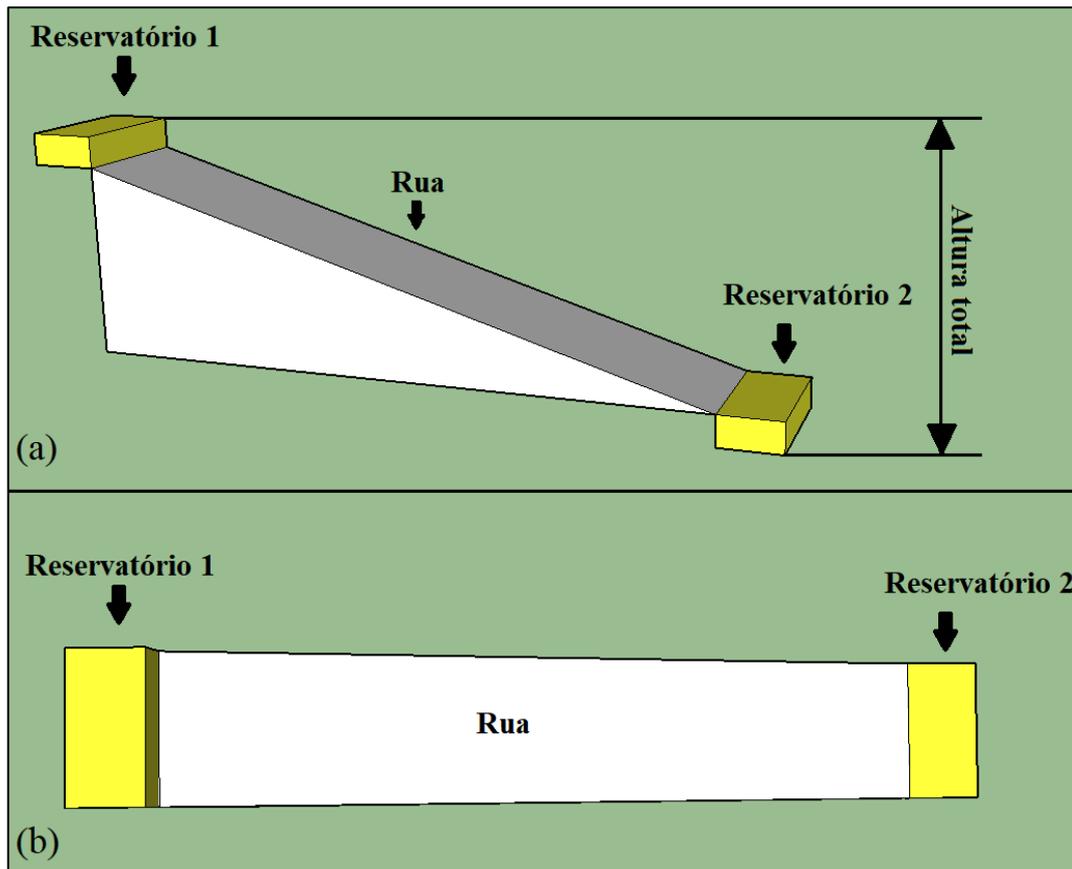


Fonte: (a) Autoria própria e (b) Adaptado de IBGE (2016).

Para determinar quais fatores de exagero vertical seriam utilizados, foi realizado uma estimativa da altura total que seria utilizada para cada fator, pois a altura total não poderia ultrapassar os 70 centímetros, como explicado anteriormente.

A Figura 17 mostra um esquema dos moldes realizados na Maquete Dinâmica.

Figura 17 – Esboço moldado na Maquete Dinâmica: (a) vista panorâmica e (b) vista superior



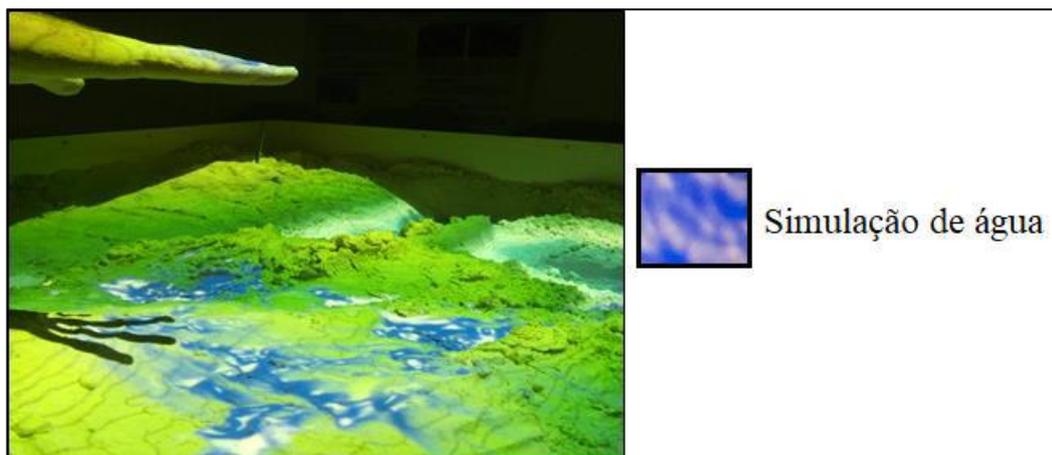
Fonte: Autoria Própria.

O cálculo do desnível para cada fator deve considerar a escala de projeção na caixa de areia. A escala é obtida a partir da Equação 01.

$$E = \frac{\text{Distância no desenho}}{\text{Distância no terreno}} = \frac{\text{Distância na caixa de areia}}{\text{Distância no terreno}} = \frac{101,5 \cdot 10^{-2} \text{ m}}{173,851 \text{ m}} \rightarrow E = \frac{1}{171,282} \quad (01)$$

Deve ser considerado um espaço para a simulação da chuva, com mostra a Figura 18. Por causa da Realidade Aumentada, a Maquete Dinâmica permite que o usuário simule uma chuva quando se coloca uma mão aberta sobre o local desejado; assim que o *software* SARnbox reconhece o desenho de uma mão aberta, ele inicia o processo de simulação de uma chuva.

Figura 18 – Simulação de chuva pelo processo de Realidade Aumentada



Fonte: Autoria Própria.

A Tabela 03 mostra os valores absolutos para cada fator de exagero vertical. Logo, se fosse utilizado um fator de exagero vertical maior que 4, essa altura seria ultrapassada, tornando inviável sua utilização.

Tabela 03 – Alturas absolutas para cada fator de exagero vertical

<b>Exagero Vertical</b>	<b>Reservatório 1</b>	<b>Desnível</b>	<b>Reservatório 2</b>	<b>Chuva</b>	<b>Total</b>
1	5 cm	11,677 cm	5 cm	10 cm	31,667 cm
2	5 cm	23,353 cm	5 cm	10 cm	43,353 cm
3	5 cm	35,030 cm	5 cm	10 cm	55,030 cm
4	5 cm	46,707 cm	5 cm	10 cm	66,707 cm

#### 4.2.5 Análise e montagem experimental

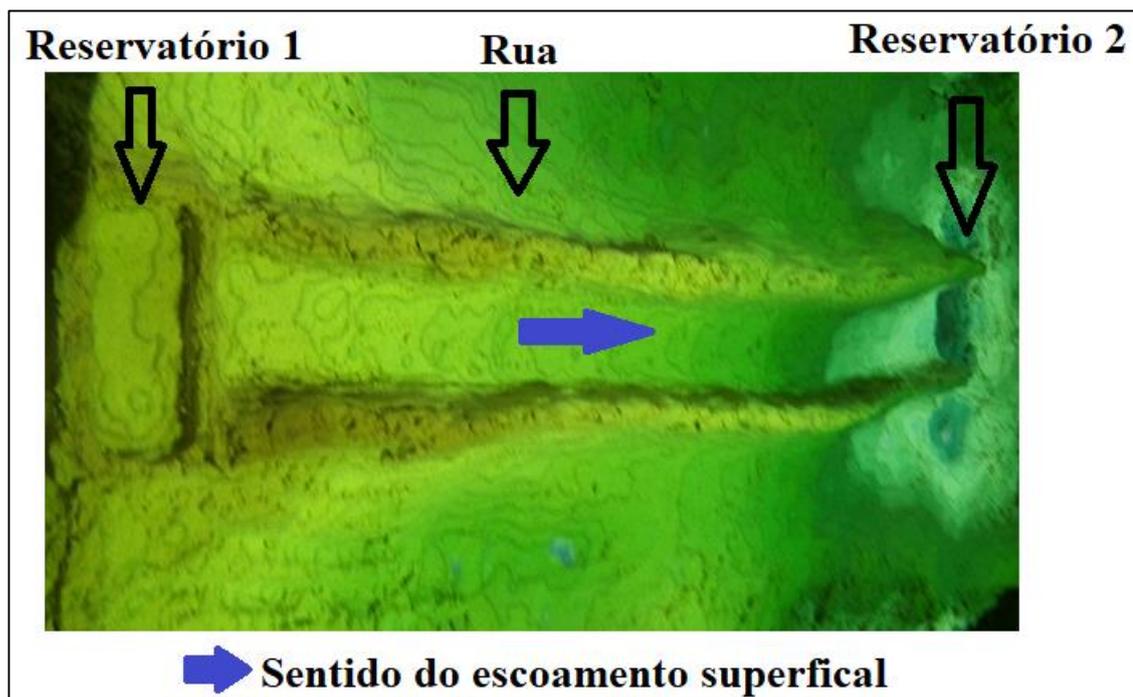
Para iniciar o experimento, foi projetada a curva de nível gerada pelo *software* DataGeosis Office Demonstração sobre a areia para poder moldar a areia o mais fielmente possível. Durante esse processo observou-se que era muito mais fácil começar da parte de baixo para cima, pois assim é possível controlar a altura. Se começar de cima, pode não ter espaço suficiente para construir a parte de baixo.

Também foram moldadas duas barreiras, uma de cada lado da rua. Elas foram necessárias para que a água seguisse apenas o curso da rua. Dois reservatórios, um acima e outro abaixo da rua foram modelados para o armazenamento da água.

Ambos reservatórios foram medidos com o auxílio de uma régua, obtendo: 12,5 cm de comprimento, a largura de 4,7 cm e a altura de 1 m no terreno (conforme o fator de exagero vertical, a escala deve ser aplicada para que o volume permaneça constante).

Então, iniciou-se o *software* SARndbox e a coloração com suas curvas de nível foram projetadas a partir da altura em que se encontrava a areia, como mostra a Figura 19.

Figura 19 – Curvas de nível e escala de cores para o fator de exagero vertical 1



Fonte: Autoria própria.

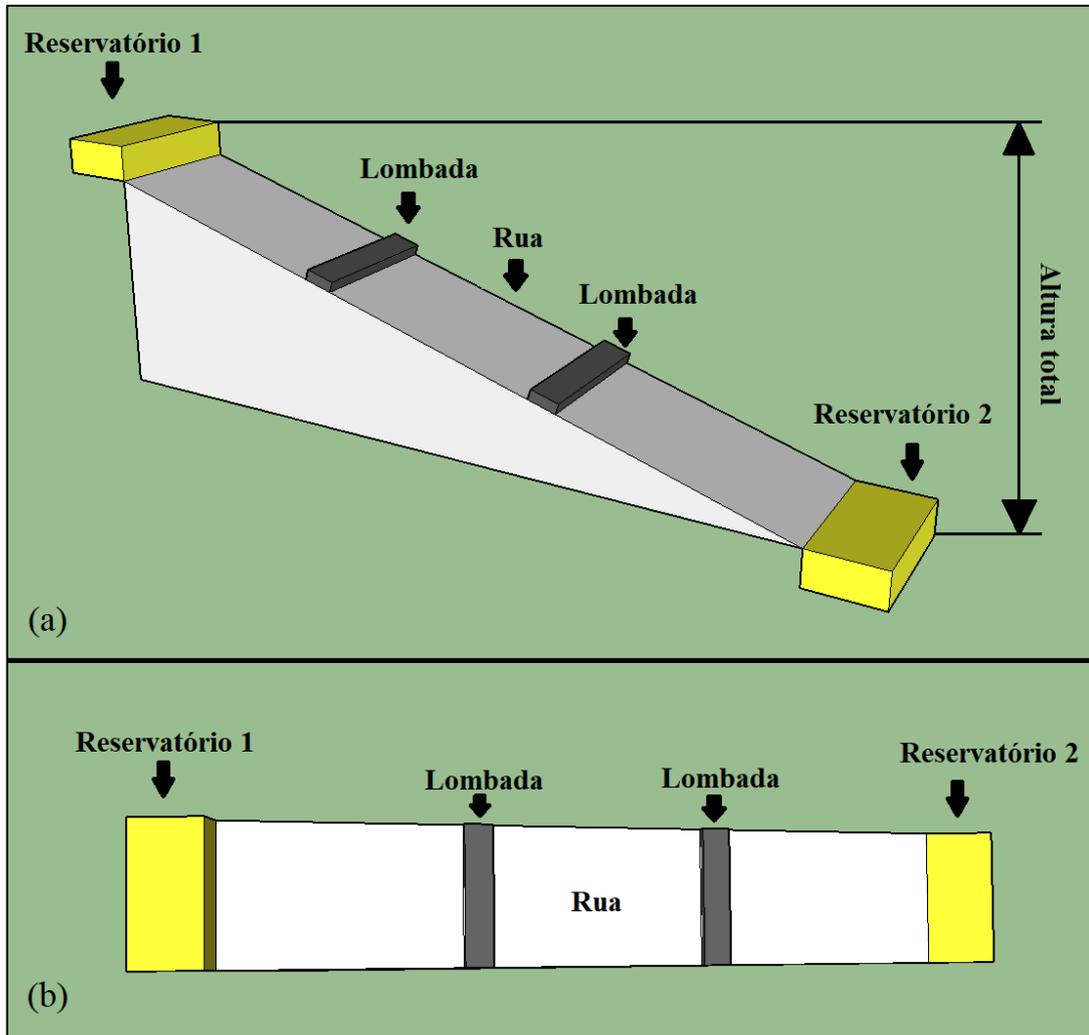
Os mesmos procedimentos para modelagem das curvas de nível na maquete dinâmica foram executados para os demais fatores de exagero vertical.

O Experimento 1 baseou-se no tempo que a água leva para percorrer do início ao fim do percurso, com o objetivo de obter a velocidade de escoamento da água. O Experimento 2, dado o volume do reservatório 1, consistiu em analisar o tempo em que todo o volume desse reservatório esvaziou-se, com o objetivo de se obter a vazão. Já o Experimento 3 consistiu em observar áreas de acumulação de água e como resolver esses problemas pontuais.

Como o MDT escolhido é referente a uma rua, não possui áreas de acumulação de água. Dessa forma, foram acrescentadas, no final dos Experimentos 1 e 2, duas lombadas no terreno com alturas equivalentes a 0,5 metros no terreno. Essas lombadas foram moldadas

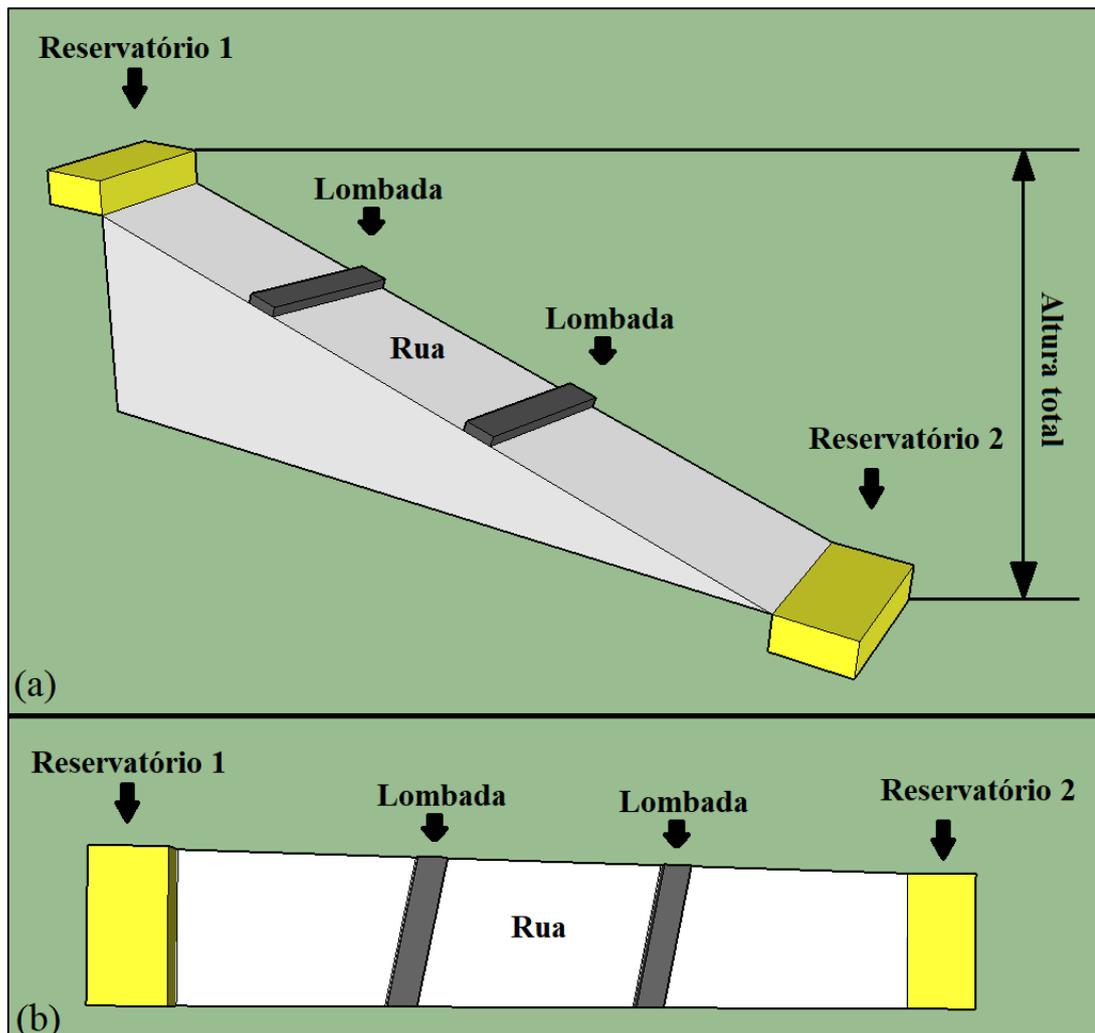
perpendicularmente (Figura 20) e com inclinação de 30° (Figura 21) em relação ao eixo da rua, localizando em um terço e dois terços do comprimento longitudinal.

Figura 20 – Rua com intervenção de duas lombadas perpendiculares ao eixo da rua: (a) vista panorâmica e (b) vista superior



Fonte: Autoria Própria.

Figura 21 – Rua com intervenção de duas lombadas inclinadas a 30° em relação ao eixo da rua: (a) vista panorâmica e (b) vista superior



Fonte: Autoria Própria.

Portanto, foram realizados três experimentos para cada fator de exagero vertical:

- Experimento 1 – Analisou-se o tempo necessário para a água percorrer todo o percurso sem e com intervenção de lombadas. Para este experimento foram realizadas três repetições, sendo apresentada sua média.
- Experimento 2 – Observou-se o tempo utilizado para que todo o volume de água do reservatório 1 escoasse totalmente sem e com intervenção de lombadas; para este experimento realizaram-se três repetições sendo apresentada sua média.
- Experimento 3 – Calculou-se o volume acumulado pela intervenção de duas lombadas no decorrer do percurso.

Finalizados os experimento, foi possível gerar os gráficos dos tempos obtidos e suas respectivas equações da linha de tendência (Tomazoni *et al.*, 2005; Moraes e Pereira, 2011). Os tipos de equação que o *software* disponibiliza são: exponencial, linear, logarítmica, polinomial de 2ª ordem e potencial. Para a escolha ser a mais adequada possível, todas as equações foram aplicadas. Assim, a que possui menor desvio entre os resultados obtidos da equação e os tempos obtidos nos experimentos, em valores absolutos, deve ser a escolhida para representar a linha de tendência.

## 5. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Realizaram-se três experimentos para cada fator de exagero vertical:

- Experimento 1 – Analisou-se o tempo necessário para a água percorrer todo o percurso sem e com intervenção de lombadas; para este experimento realizou-se três repetições, sendo apresentada sua média.
- Experimento 2 – Observou-se o tempo utilizado para que todo volume de água do reservatório 1 escoasse totalmente sem e com intervenção de lombadas; para este experimento realizaram-se três repetições, sendo apresentada sua média.
- Experimento 3 – Calculou-se o volume acumulado pela intervenção de duas lombadas no decorrer do percurso.

Para ser possível realizar os experimentos, duas lombadas de 50 cm de altura e comprimento ao da rua, foram acrescentadas no percurso. Para a construção das lombadas na caixa de areia, por meio da Equação 01, as seguintes medidas foram encontradas:

- Exagero vertical com fator 1: a altura da lombada equivale a 0,292 cm;
- Exagero vertical com fator 2: a altura da lombada equivale a 0,584 cm;
- Exagero vertical com fator 3: a altura da lombada equivale a 0,876 cm;
- Exagero vertical com fator 4: a altura da lombada equivale a 1,168 cm.

### 5.1. EXPERIMENTO 1 – EQUAÇÃO PARA VELOCIDADE

A Tabela 04 traz os valores obtidos no Experimento 1 sem e com intervenção de lombadas para cada fator de exagero vertical. Os valores obtidos estão na unidade de segundos.

Tabela 04 – Resultados do Experimento 1

Fator de Escala Vertical	Tempo médio de escoamento	
	Sem lombadas (s)	Com lombadas (s)
1	19,35	21,47
2	17,62	19,23
3	16,36	18,45
4	15,57	17,72

Extraindo as informações da Tabela 04 foi possível gerar dois gráficos (Figura 22), no *software* Excel da Microsoft Office, bem como obter as respectivas linhas de tendência e suas equações.

No momento de gerar o gráfico é possível escolher o tipo da equação da linha de tendência entre: exponencial, linear, logarítmica, polinomial de 2ª ordem e potencial, os valores gerados por cada equação podem ser analisados na Tabela 05. A equação escolhida deve ser a que apresentar menor desvio com os valores inseridos. No caso do Experimento 1 sem lombada, apenas a equação polinomial de 2ª ordem teve todos os desvios iguais a zero, como mostra a Tabela 06.

Tabela 05 – Resultados (s) das equações da Linha de Tendência do Experimento 1 sem lombadas

Tipos de Equações	Tempo de escoamento (s)			
	Fator 1	Fator 2	Fator 3	Fator 4
<b>Exponencial</b>	19,135	17,788	16,536	15,371
<b>Linear</b>	19,115	17,855	16,595	15,335
<b>Logarítmica</b>	19,402	17,503	16,392	15,604
<b>Polinomial 2ª ordem</b>	19,350	17,620	16,360	15,570
<b>Potencial</b>	19,447	17,442	16,366	15,643

Tabela 06 – Desvios da Linha de Tendência do Experimento 1 sem lombadas (em segundos)

Tipos de Equações	Desvios dos tempos de escoamento (s)				
	Fator 1	Fator 2	Fator 3	Fator 4	Média
<b>Exponencial</b>	0,215	0,168	0,176	0,199	0,189
<b>Linear</b>	0,235	0,235	0,235	0,235	0,235
<b>Logarítmica</b>	0,052	0,117	0,032	0,034	0,059
<b>Polinomial 2ª ordem</b>	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
<b>Potencial</b>	0,097	0,178	0,006	0,006	0,073

A Tabela 07 traz os resultados das equações da linha de tendência para o experimento com lombadas e a Tabela 08 os desvios obtidos para cada tipo de equação para o mesmo experimento.

Tabela 07 – Resultados (s) das equações da Linha de Tendência do Experimento 1 com lombadas

Tipos de Equações	Tempo de escoamento (s)			
	Fator 1	Fator 2	Fator 3	Fator 4
<b>Exponencial</b>	21,021	19,758	18,570	17,454
<b>Linear</b>	21,022	19,819	18,616	17,143
<b>Logarítmica</b>	21,350	19,490	18,401	17,629
<b>Polinomial 2ª ordem</b>	21,400	19,442	18,239	17,791
<b>Potencial</b>	21,372	19,436	18,386	17,675

Tabela 08 – Desvios da Linha de Tendência do Experimento 1 com lombadas (em segundos)

Tipos de Equações	Desvios dos tempos de escoamento (s)				
	Fator 1	Fator 2	Fator 3	Fator 4	Média
<b>Exponencial</b>	0,449	0,528	0,120	0,266	0,341
<b>Linear</b>	0,448	0,589	0,166	0,307	0,378
<b>Logarítmica</b>	0,120	0,260	0,049	0,091	0,130
<b>Polinomial 2ª ordem</b>	0,070	0,212	0,211	0,071	0,141
<b>Potencial</b>	0,098	0,206	0,064	0,045	0,103

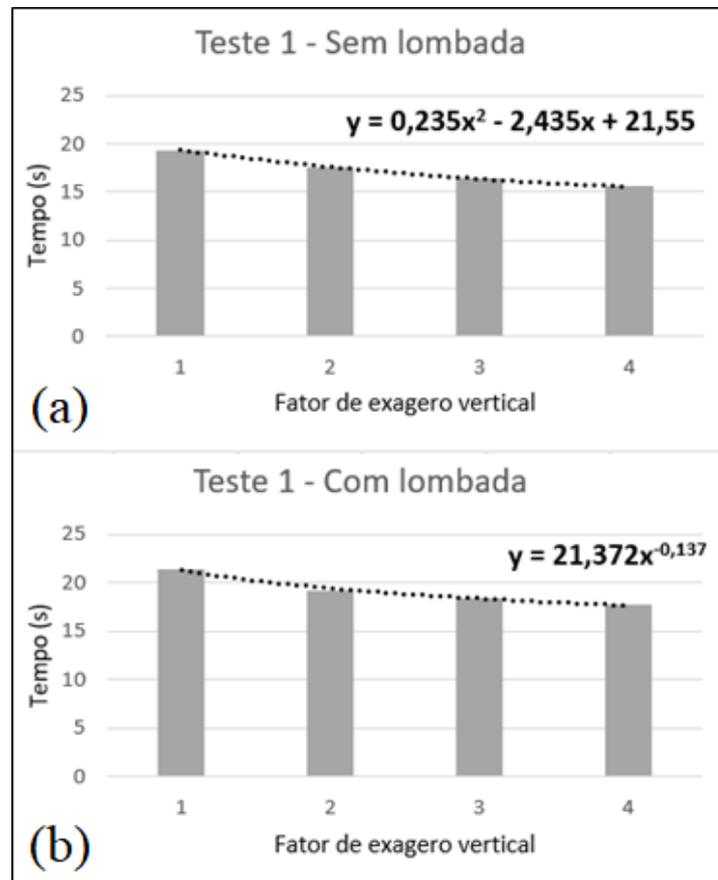
Para o Experimento 1 sem lombadas, a equação polinomial de 2ª ordem teve o menor desvio, então ela foi escolhida para representar sua linha de tendência (Tabela 06). Assim, a Equação 02 é uma equação polinomial de 2ª ordem, em que x é o fator de exagero vertical e y o tempo (em segundos) que a água demora para percorrer do início ao fim do percurso sem intervenção de lombadas.

$$y = 0,235x^2 - 2,435x + 21,55 \quad (02)$$

Para o Experimento 1 com lombadas, a equação potencial teve o menor desvio, então ela foi escolhida para representar sua linha de tendência (Tabela 08). Portanto, a Equação 03 é uma Equação potencial, em que x é o fator de exagero vertical e y o tempo (sem segundos) que a água demora para percorrer do início ao fim do percurso com intervenção de lombadas.

$$y = 21,372x^{-0,137} \quad (03)$$

Figura 22 – Representação do Experimento 1 e suas Linhas de Tendência: (a) Sem lombada e (b) Com lombada



A partir das Equações 02 e 03 é possível calcular a velocidade do escoamento, dividindo a distância pelo tempo, obtendo as Equações 04 e 05 em m/s. Essas equações são generalizadas para quaisquer fatores de exagero vertical deste estudo de caso. A Equação 04 calcula a velocidade do escoamento superficial para a rua sem lombada e a Equação 05 para a rua com intervenção de duas lombadas longitudinais ao percurso. A sigla  $V_s$  significa velocidade para o experimento sem lombadas e, a sigla  $V_c$  significa velocidade para o experimento com lombadas. Deve ser destacado que o volume em todos os experimentos foi constante.

$$V_s = \frac{\text{Distância}}{\text{Tempo}} = \frac{173,851 \text{ m}}{y} = \frac{173,851 \text{ m}}{0,235x^2 - 2,435x + 21,55 \text{ (segundos)}} \quad (04)$$

$$V_c = \frac{\text{Distância}}{\text{Tempo}} = \frac{173,851 \text{ m}}{y} = \frac{173,851 \text{ m}}{21,372x^{-0,137} \text{ (segundos)}} \quad (05)$$

## 5.2. EXPERIMENTO 2 – EQUAÇÃO PARA VAZÃO

A Tabela 09 traz os valores obtidos no Experimento 2 sem e com intervenção de lombadas para cada fator de exagero vertical. Os valores obtidos estão na unidade de segundos.

Tabela 09 – Resultados do Experimento 2.

<b>Exagero Vertical</b>	<b>Tempo médio de escoamento</b>	
	<b>Sem lombadas (s)</b>	<b>Com lombadas (s)</b>
<b>Fator 1</b>	54,84	64,66
<b>Fator 2</b>	47,62	51,50
<b>Fator 3</b>	44,26	47,23
<b>Fator 4</b>	40,95	43,41

Extraíndo as informações da Tabela 05 foi possível gerar dois gráficos e as equações de suas respectivas linhas de tendência, como mostra a Figura 23.

A Tabela 10 mostra os resultados obtidos para todos os tipos de equação da linha de tendência do Experimento 2 sem lombadas. Pela Tabela 11 é possível ver que a equação logarítmica foi a que gerou menor desvio.

Tabela 10 – Resultados (s) das equações da Linha de Tendência do Experimento 2 sem lombadas

<b>Tipos de Equações</b>	<b>Tempo de escoamento (s)</b>			
	<b>Fator 1</b>	<b>Fator 2</b>	<b>Fator 3</b>	<b>Fator 4</b>
<b>Exponencial</b>	53,778	48,905	44,473	40,442
<b>Linear</b>	53,672	49,169	44,666	40,163
<b>Logarítmica</b>	54,762	47,918	43,914	41,074
<b>Polinomial 2ª ordem</b>	54,650	48,192	43,689	41,141
<b>Potencial</b>	59,952	51,975	47,810	45,059

Tabela 11 – Desvios da Linha de Tendência do Experimento 2 sem lombadas (em segundos)

<b>Tipos de Equações</b>	<b>Desvios dos tempos de escoamento</b>				
	<b>Fator 1</b>	<b>Fator 2</b>	<b>Fator 3</b>	<b>Fator 4</b>	<b>Média</b>
<b>Exponencial</b>	1,062	1,285	0,213	0,508	0,767
<b>Linear</b>	1,168	1,549	0,406	0,787	0,978
<b>Logarítmica</b>	0,078	0,298	0,346	0,124	0,211
<b>Polinomial 2ª ordem</b>	0,190	0,572	0,571	0,191	0,381
<b>Potencial</b>	5,112	4,355	3,550	4,109	4,281

A Tabela 12 mostra os resultados obtidos para todos os tipos de equação da linha de tendência do Experimento 2 com lombadas. Pela Tabela 13 é possível ver que a equação potencial foi a que gerou menor desvio.

Tabela 12 – Resultados (s) das equações da Linha de Tendência do Experimento 2 com lombadas

Tipos de Equações	Tempo de escoamento (s)			
	Fator 1	Fator 2	Fator 3	Fator 4
<b>Exponencial</b>	61,966	54,521	47,971	42,207
<b>Linear</b>	61,903	55,101	48,299	41,497
<b>Logarítmica</b>	63,822	53,245	47,057	42,667
<b>Polinomial 2ª ordem</b>	64,238	52,766	45,964	43,832
<b>Potencial</b>	64,071	52,622	46,899	43,219

Tabela 13 – Desvios da Linha de Tendência do Experimento 2 com lombadas (em segundos)

Tipos de Equações	Desvios dos tempos de escoamento				
	Fator 1	Fator 2	Fator 3	Fator 4	Média
<b>Exponencial</b>	2,694	3,021	0,741	1,203	1,915
<b>Linear</b>	2,757	3,601	1,069	1,913	2,335
<b>Logarítmica</b>	0,838	1,745	0,173	0,743	0,875
<b>Polinomial 2ª ordem</b>	0,422	1,266	1,266	0,422	0,844
<b>Potencial</b>	0,589	1,122	0,331	0,191	0,558

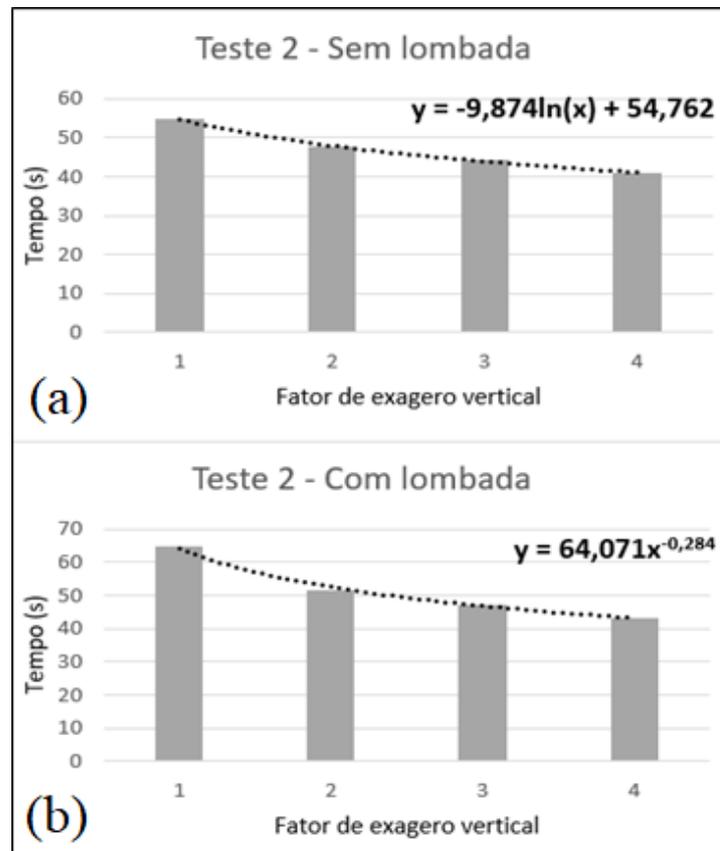
Assim, a Equação 06 é uma equação logarítmica para o projeto sem nenhuma intervenção, em que x é o fator de exagero vertical e y o tempo (em segundos) em que todo o volume do reservatório 1 foi escoado.

$$y = -9,874\ln(x) + 54,762 \quad (06)$$

A Equação 07 consiste em uma equação potencial para o projeto com intervenção de 2 lombadas, em que x é o fator de exagero vertical e y o tempo (em segundos) em que todo o volume do reservatório 1 foi escoado.

$$y = 67,071x^{-0,284} \quad (07)$$

Figura 23 – Representação do Experimento 2 e suas Linhas de Tendência: (a) Sem lombada e (b) Com lombada



Com os dados obtidos é possível encontrar a vazão ( $Q$ ) dividindo o volume pelo tempo. Pela Equação 08 é possível fazer esse cálculo para quaisquer fatores de exagero vertical no projeto sem nenhuma intervenção, já a Equação 09 possibilita o cálculo para o projeto com intervenção de duas lombadas.

$$Q_s = \frac{\text{Volume}}{\text{Tempo}} = \frac{\text{Volume (m}^3\text{)}}{y} = \frac{\text{Volume (m}^3\text{)}}{-9,874 \ln(x) + 54,762 \text{ (seg)}} \quad (08)$$

$$Q_c = \frac{\text{Volume}}{\text{Tempo}} = \frac{\text{Volume (m}^3\text{)}}{y} = \frac{\text{Volume (m}^3\text{)}}{67,071x^{-0,284} \text{ (seg)}} \quad (09)$$

### 5.3. ANÁLISE DOS EXPERIMENTOS 1 E 2

Os valores da velocidade e da vazão obtidos a partir deste estudo sem e com a intervenção de duas lombadas encontra-se na Tabela 14, na qual também é possível notar a diferença encontrada entre ambos.

Tabela 14 – Velocidade e Vazão obtidas a partir dos Experimento 1 e 2

Exagero Vertical	Velocidade (m/s)			Vazão (m <sup>3</sup> /s)		
	Sem lombada	Com lombadas	Diferença	Sem lombada	Com lombadas	Diferença
<b>1</b>	8,985	8,097	9,87 %	3,143	2,666	15,19 %
<b>2</b>	9,867	9,041	8,37 %	3,619	3,347	7,53 %
<b>3</b>	10,627	9,423	11,33 %	3,894	3,649	6,29 %
<b>4</b>	11,166	9,811	12,13 %	4,209	3,970	5,67 %

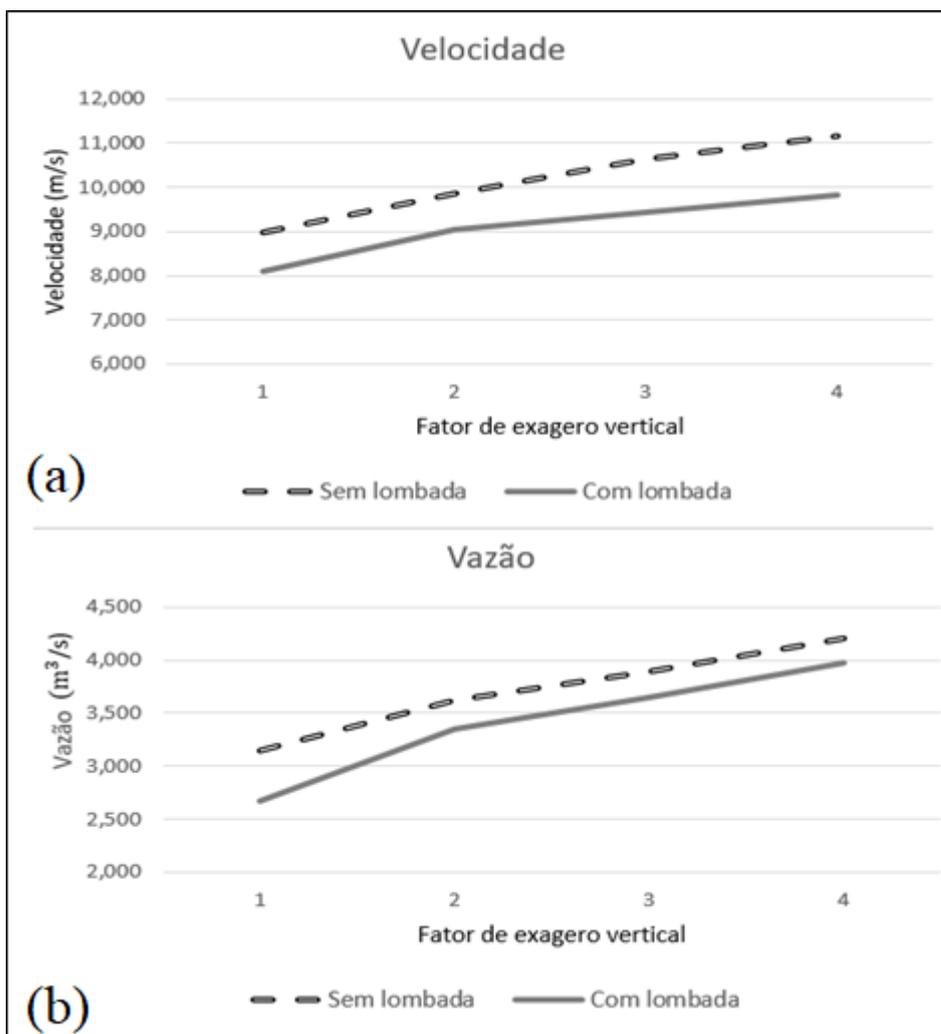
Pode-se observar que a velocidade e a vazão foram reduzidas quando houve a intervenção de lombadas, uma provável causa é que ela tem que percorrer um caminho maior (subir, passar pela lombada e descer), diminuindo sua velocidade e sua vazão.

Ao observar a Figura 24, nota-se que as curvas da velocidade e da vazão com intervenção de lombadas possuem valores menores quando comparadas com as curvas sem intervenção de lombadas.

De acordo com a Figura 24a, a superfície sem intervenção de lombada e com intervenção de lombada, notou-se que até o exagero vertical com fator 2 a diferença entre as curvas se mantiveram constantes. Após o fator 2 de exagero vertical, a diferença entre essas curvas se ampliam.

No que se refere à a Figura 24b, notou-se que entre os fatores 1 e 2 de exagero vertical houve redução na diferença entre as curvas. Após o fator 2 de exagero vertical, a diferença entre essas curvas se mantiveram constantes.

Figura 24 – Gráficos da Velocidade (a) e da Vazão (b) obtidos a partir dos Experimentos 1 e 2



#### 5.4. EXPERIMENTO 3

Para ser possível realizar o terceiro experimento, duas lombadas de 0,50m foram acrescentadas no percurso. Pela Tabela 15 é possível analisar as alturas das lombadas em relação aos fatores de exagero vertical, sendo que em todos os experimentos a largura da lombada foi de 2 centímetros na caixa de areia e o comprimento continuou igual ao da rua.

Tabela 15 – Altura da lombada de acordo com o fator de exagero vertical

Exagero Vertical	Altura da lombada (cm)
1	0,292
2	0,584
3	0,876
4	1,168

Esse experimento consistiu em mensurar o volume de água acumulado e/ou desviado do percurso. Isso foi possível calculando-se a diferença entre o volume dos reservatórios. Pode-se verificar uma média de 10% a menos no reservatório 2 – que recebeu a água, ou seja, 10% da água foi acumulada e/ou desviada pelas duas lombadas. Essas lombadas foram moldadas perpendicularmente ao eixo da rua.

Quando moldadas com uma inclinação próxima de 30°, pôde-se notar uma pequena diferença: de 15% entre os volumes dos reservatórios. Porém, essa diferença pôde ser notada apenas no fator 4 de exagero vertical.

As áreas de acumulação de água são percebidas com mais facilidade conforme aumenta o fator de exagero vertical.

## 5.5. VOLUME

Dado um determinado volume, em metros cúbicos, e a medida do reservatório na caixa de areia de 12,5 cm de comprimento e 4,7 cm de largura, é possível encontrar a altura necessária para preencher o reservatório, como pode ser observado na Equação 10. Deve ser lembrado que para cada exagero vertical deve-se multiplicar o valor do volume pelo seu respectivo fator de exagero vertical, para que o volume seja constante em todos os experimentos, como mostra a Tabela 16.

$$Volume = \text{Área} * \text{Altura} \rightarrow \text{Altura} = \left( \frac{Volume * (\text{fator do exagero vertical})}{\text{Área}} \right) \quad (10)$$

Tabela 16 – Volumes equivalentes à Equação 08

<b>Exagero Vertical</b>	<b>Volume equivalente</b>
<b>1</b>	Volume do fator 1
<b>2</b>	2 vezes o volume do fator 1
<b>3</b>	3 vezes o volume do fator 1
<b>4</b>	4 vezes o volume do fator 1

Logo, como se observa na Tabela 17, pode-se obter a altura necessária (visto que a equidistância entre as curvas de nível é de 1 metro) para o projeto sem e com intervenção de duas lombadas.

Tabela 17 – Lâmina d'água (m) a partir do volume em metros cúbicos

<b>Exagero Vertical</b>	<b>Altura da Lâmina d'água</b>
<b>1</b>	$[\text{volume (m}^3)] / [172,357\text{m}^2]$
<b>2</b>	$[\text{volume (m}^3)] / [172,357\text{m}^2]$
<b>3</b>	$[\text{volume (m}^3)] / [172,357\text{m}^2]$
<b>4</b>	$[\text{volume (m}^3)] / [172,357\text{m}^2]$

## 6. CONCLUSÃO

Esta pesquisa permitiu, a partir do uso de uma maquete dinâmica com realidade aumentada, validar o uso de diversos fatores de exagero vertical no estudo do escoamento superficial.

No Experimento 1, a diferença de velocidade do escoamento superficial foi de 1,068 m/s a menos com a intervenção de duas lombadas.

Já o Experimento 2, a diferença de vazão foi de 0,308 m<sup>3</sup>/s a menos para o projeto com intervenção de lombadas.

Ainda foi possível exprimir equações que permitem o cálculo da velocidade e da vazão dado um fator de exagero vertical para o projeto.

No Experimento 3 foi possível analisar a quantia de água armazenada e/ou desviada pela intervenção das duas lombadas no projeto, encontrando um volume de 10% a menos no segundo reservatório no projeto com intervenção de duas lombadas horizontais ao eixo da rua e de 15% a menos no segundo reservatório no projeto com intervenção de duas lombadas inclinadas a 30° em relação ao eixo da rua. Se for observado o conjunto dos três fatores – velocidade, vazão e volume é notável a diferença que a intervenção de duas lombadas possui no projeto.

Uma das vantagens da Maquete Dinâmica é de não precisar esperar que haja chuva para que os experimentos sejam realizados.

A Maquete Dinâmica torna possível prevenir e testar métodos para a solução de problemas, o que na prática levaria tempo para ser solucionado ou apresentar o risco de aplicar soluções ineficazes.

O estudo do exagero vertical facilita a observação de: escoamento superficial, armazenamento de água, volume e vazão.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALVES JR., L. R.; Côrtes, J. B. R.; FERREIRA, M. E. Validação de mosaicos aerofotogramétricos utilizando fotografias obtidas com câmara digital não métrica acoplada a um VANT. 2014.

ARAUJO, R. S.; SILVA, G. V.; FREITAS, D.; KLEIN, A. H. F. **Georreferenciamento de Fotografias Aéreas e Análise da Variação da Linha de Costa**. Itajaí – SC: Universidade do Vale do Itajaí. Centro de Ciências Tecnológicas da Terra e do Mar – Laboratório de Oceanografia Geológica, 2013. 17p.

ARAUJO, I. R. D; SILVA, H. P.; LOPES, A. S.; ALENCAR, B. P. B; SILVA, H. D. B. **Cálculo de NDVI no suporte ao estudo de desertificação no Município de Orocó – PE**. III Simpósio Brasileiro de Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação, 2010. p. 1 – 6.

AZUMA, Ronald T. **A survey of Augmented Reality**. *In* Presence: Teleoperators and Virtual Environments 6, 4 (August 1997), Malibu. p. 355-385.

CARDOSO, Alexandre; LAMOUNIER JÚNIOR, Edgard; KIRNER, Claudio; KELNER, Judith. **Tecnologia para o Desenvolvimento de Sistemas de Realidade Virtual e Aumentada**. Universidade Federal de Pernambuco, 2007.

CASSEMIRO, Guilherme Henrique Medeiros; PINTO, Hugo Borges. **Composição e Processamento de Imagens Aéreas de Alta Resolução Obtidas com Drone**. Brasília – DF: Trabalho de Conclusão de Curso. Universidade de Brasília – UNB. Faculdade UnB Gama – FGA, 2014. 80p.

CENTENO, Jorge Antonio Silva; MITISHITA, Edson Aparecida. **Laser scanner aerotransportado no estudo de áreas urbanas: A experiência da UFPR**. Anais XIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Florianópolis, Brasil, 21-26 abril 2007, INPE, p.3645-3652.

COLLISCHONN, E. Maquetes de Municípios – Um recurso Didático. *In: Agora*. Santa Cruz do Sul, v.3, n.1, p.75-89, 1997.

CORREIA, J. D. **Mapeamento de Feições Depositionais Quaternárias por Imagens Orbitais de Alta Resolução Espacial – Médio Vale do Paraíba do Sul**. Programa de Pós-Graduação em Geologia. Universidade Federal do Rio de Janeiro: Tese de Doutorado, 2008. 267p.

CRUZ, C. B. M.; BARROS, R. S.; CARDOSO, P. V.; REIS, R. B., ROSÁRIO, L. S.; BARBOSA, S. S.; RABACO, L. M. L.; LOURENÇO, J. S. Q. **Avaliação da exatidão planialtimétrica dos modelos digitais de superfície (MDS) e do terreno (MDT) obtidos através do LIDAR**. Anais XV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto - SBSR, Curitiba – PR: INPE, 2011. p.5463.

DIYDRONES. The Leading Community for Personal UAVs. 2017. Acesso em: 15 de novembro de 2017. Disponível em: <<http://diydrones.com/>>.

FERREIRA, Glauber Maroto. **Ferramenta computacional de reconhecimento gestual como apoio a atividades expositivas (lousa invisível)**. Instituto Federal do Espírito Santo – Vitória – ES, 2014.

FIRKOWSKI, Henrique. **Generalização Cartográfica de Grades Retangulares Baseada na Teoria Matemática da Comunicação**. 2002. UFPR. Paraná.

FLYINGTECH. **Multirotor frame configurations**. 2016. Acesso em: 5 de novembro de 2017. Disponível em: <[https://www.flyingtech.co.uk/sites/default/files/multi\\_rotor\\_configurations](https://www.flyingtech.co.uk/sites/default/files/multi_rotor_configurations)>.

FONSECA NETO, Francisco de Deus; GRIPP JÚNIOR, Joel; BOTELHO, Mosar Faria; SANTOS, Afonso de Paula; NASCIMENTO, Lécio Alves; FONSECA, Alessandra Lopes Braga. **Avaliação da Qualidade Posicional de Dados Espaciais Gerados por VANT Utilizando Feições Pontuais e Lineares para Aplicações Cadastrais**. Bol. Ciênc. Geod., sec. Artigos, Curitiba, v.23, n°1, p.134-149, jan-mar, 2017.

GALVANIN, E. A. S. **Extração automática de contornos de telhados de edifícios em u modelo digital de elevação, utilizando inferência Bayesiana e campos aleatórios de Markov.** Pós-Graduação em Ciências Cartográficas. Universidade Estadual Paulista. Presidente Prudente – SP. 2007.

GEODRONES. [on-line]. **Pontos de Controle no Mapeamento Aéreo com Drones – Guia Básico.** Minas Gerais, 19 de janeiro de 2017. Acessado em: 25 de agosto de 2017. Acesso em: 5 de novembro de 2017. Disponível em: <<http://geodrones.com.br/blog/pontos-de-controle-no-mapeamento-aereo-com-drones-guia-basico/>>.

KREYLOS, Oliver. **Augmented Reality Sandbox.** University of California: Davis Campus, 2017. Acesso em: 22 de agosto de 2017. Disponível em: <<http://idav.ucdavis.edu/~okreylos/ResDev/SARndbox/>>.

MORAES, L. N.; PEREIRA, F. O. R. **Um método simplificado para avaliação do desempenho dinâmico da iluminação natural.** II Encontro Latino Americano de Conforto no Ambiente construído. 10p. Búzios – RJ, 2011.

OLIVEIRA, Bárbara Renata; MALANSKI, Lawrence Mayer. **O uso da maquete no ensino de geografia.** Extensão em foco, Curitiba, n.2, p.181-189, jul./dez. 2008. Editora da UFPR.

PREFEITURA DO MUNICÍPIO DE SÃO PAULO. **Diretrizes Básicas para Projetos de Drenagem Urbana no Município de São Paulo.** São Paulo: Fundação Centro Tecnológico de Hidráulica, 1999.

ROBERTO, Arcádio J. **Extração de Informação Geográfica a partir de Fotografias Aéreas obtidas com Vants para apoio de SIG Municipal.** Dissertação de Mestrado, Faculdade de Ciências da Universidade do Porto, 2013.

SANTEE, Nellie Rego; GOMES, Suely Henrique de Aquino. **Realidade Aumentada: Origem, Funcionamento e Usos.** II SEMIC – Seminário de Mídia e Cultura. Processos midiáticos e narrativas culturais. nov. 2010. Universidade Federal de Goiás. Goiânia – GO.

SIMIELLI, Maria Elena Ramos; GIRARDI, Gisele; MORONE, Rosemeire. **Maquete de Relevo: um Recurso Didático Tridimensional**. Boletim Paulista de Geografia, São Paulo, nº 87, p. 131-148, 2007.

TOMAZONI, J. C.; MANTOVANI, L. E.; BITTENCOURT, A. V.; FILHO, E. F. R. **Utilização de medidas de turbidez na quantificação de sólidos por veiculação hídrica nas bacias dos rios Anta Gorda, Brinco, Coxilha e Jirau – Sudoeste do Estado do Paraná**. Boletim Paranaense de Geociências, n. 57, p. 49-56, 2005. Editora UFPR.

## ANEXO A – Cálculos para a realização do Planejamento de Voo

As especificações da câmera Go Pro – Hero 3 podem ser observadas na Tabela B1, cujos valores serão utilizados nos cálculos subsequentes.

Tabela B1 – Especificações da câmera *Go Pro – Hero3*.

Unidade CCD (metros)	$1,55 \times 10^{-6}$
Distância focal (metros)	$2,77 \times 10^{-3}$
Quantidade de pixels longitudinalmente	3000
Quantidade de pixels latitudinalmente	4000
Configuração tempo entre fotos (segundos)	0,5; 1; 2; 5 e 10

Fonte: Disponibilizado pelo Laboratório FOTOROBI do IFSULDEMINAS – Campus Inconfidentes.

Recobrimentos utilizados considerando que a câmera Go Pro Hero3 possui uma lente grande angular, devendo descartar as bordas de suas imagens e ainda garantir a estereoscopia:

- Recobrimento Longitudinal = 80%
- Recobrimento Lateral = 75%

A partir da Equação B1 pode-se obter o valor do GSD (*Ground Sample Distance – Tamanho do Pixel no Terreno*), considerando a escala final de projeto como 1:1.000 e sabendo que a menor unidade cartográfica corresponde a 0,2 mm.

$$\text{Escala} = \frac{\text{Menor unidade cartográfica}}{\text{GSD}} \rightarrow \text{GSD} = \frac{0,0002\text{m}}{1/1.000} \rightarrow \text{GSD} = \mathbf{0,2\text{m}} \quad (\text{B1})$$

A altura de voo (H) pode ser obtida a partir da Equação B2, onde os valores do tamanho do pixel (unidade CDD) e a distância focal (f) podem ser vistos na Tabela B1.

$$\text{GSD} = \frac{\text{UnidadeCCD} \times \text{H}}{f} \rightarrow \text{H} = \frac{\text{GSD} * f}{\text{UnidadeCCD}} = \frac{0,2 * 2,77 * 10^{-3}}{1,55 * 10^{-6}} \rightarrow \text{H} = \mathbf{357,419\text{m}} \quad (\text{B2})$$

Porém, para garantir que seria obtido um GSD de 0,2m em todo o percurso, foi recalculado a altura de voo para a escala de 1:400, obtendo uma altura de voo igual a 142,968

m. Assim, para fins de facilitar a altura a ser mantida pelo piloto, ela foi arredondada para: **H = 140 m.**

A escala de voo pode ser obtida a partir da altura de voo (H) e da distância focal (f), como mostra a Equação B3.

$$\text{Escala de voo} = \frac{f}{H} = \frac{2,77 \cdot 10^{-3}}{140} \rightarrow \text{Escala de voo} = \frac{1}{50.541,516} \quad (\text{B3})$$

A aerobase (B) é calculada pela Equação B4, onde TF é o tamanho da foto, DEF o denominador da escala da foto e Rlong o recobrimento longitudinal.

$$B = \frac{TF \cdot DEF \cdot (100 - Rlong)}{100} = \frac{3000 \cdot 1,55 \cdot 10^{-6} \cdot 50541,516 \cdot (100 - 80)}{100} \rightarrow \mathbf{B = 47,004m} \quad (\text{B4})$$

Pela Equação B5 pode-se calcular a distância entre faixas (W), onde TF é o tamanho da foto, DEF o denominador da escala da foto e Rlat o recobrimento latitudinal.

$$W = \frac{TF \cdot DEF \cdot (100 - Rlat)}{100} = \frac{4000 \cdot 1,55 \cdot 10^{-6} \cdot (100 - 75)}{100} \rightarrow \mathbf{W = 78,339m} \quad (\text{B5})$$

Já o Tempo entre fotos (T) pode ser calculado através da Equação B6, onde B é o tamanho da base aérea e V a velocidade média do VANT. No caso, adotou-se 10m/s para a velocidade média.

$$T = \frac{B}{V} = \frac{47,004}{10} \rightarrow \mathbf{T = 4,7004 \text{ segundos}} \quad (\text{B6})$$

Como o cálculo da Equação B6 resultou um tempo entre fotos de 4,700 segundos, adotou-se a configuração de **T = 5 segundos.**

Como o tempo entre fotos adotado foi diferente do calculado, a nova Aerobase (B) pode ser obtida através da Equação B7.

$$B = (\text{Tempo entre Fotos}) \times (\text{Velocidade do drone}) = 5 \times 10 \rightarrow \mathbf{B = 50,000 \text{ metros}} \quad (\text{B7})$$

O Número de Fotos por Faixa (NFF) pode ser adquirido dividindo a distância longitudinal da área a recobrir pela aerobase. Considerou-se que o valor da distância longitudinal (Dlong) era de 323,000 metros.

$$NFF = \frac{DLong}{B} + 2 = \frac{323}{50} + 2 \rightarrow \mathbf{NFF = 8,46 \text{ fotos}} \quad (B8)$$

Como não é possível obter 8,46 fotos, então tem-se que: **NFF = 9 fotos**.

A Equação B9 traz o número de faixas, onde Dlat é a distância lateral da área a recobrir (que é de 276,000 metros) e W é a distância entre faixas.

$$NF = \frac{DLat}{W} = \frac{276}{78,339} \rightarrow \mathbf{NF = 3,523 \text{ faixas}} \quad (B9)$$

Como não é possível ter um número de faixas não inteiro, tem-se que **NF = 4 faixas**.

Portanto, o número total de fotos (NTF) pode ser obtido pela Equação B10, onde NFF é o número de fotos por faixa e NF o número de faixas.

$$NTF = NFF * NF = 9 * 4 \rightarrow \mathbf{NTF = 36 \text{ fotos}} \quad (B10)$$

Pelo recobrimento longitudinal de 80%, tem-se a cada 4 pares consecutivos estereoscópicos (ou seja: 5 fotos) uma área em comum de 20%.

Para saber o número de pontos fotogramétricos por faixa (PFF) deve-se calcular pela Equação B11, onde NFF é o número de fotos por faixa e QFC é a quantidade de fotos com área em comum.

$$PFF = \left(\frac{NFF}{QFC}\right) * 2 = \left(\frac{9}{5}\right) * 2 \rightarrow \mathbf{PFF = 3,6 \text{ pontos}} \quad (B11)$$

Como não existe pontos não inteiros, arredonda-se para cima, obtendo **PFF = 4 pontos**.

Consequentemente, é possível obter o número de pontos fotogramétricos total (PFT) multiplicando o número de faixas pelo número de pontos fotogramétricos por faixa, obtendo: **PFT = 16 pontos**.

A partir de uma análise, viu-se que era necessário um total de **12 pontos de apoio**.

Por fim, o tempo estimado de voo dá-se dividindo a distância total percorrida pela velocidade de voo, onde a distância total percorrida é a distância total da linha de voo mais o deslocamento da origem até o primeiro ponto. Depois, multiplicou-se por 2 o resultado para garantir que as paradas em cima dos pontos de controle fossem dimensionadas. Assim, obteve-se um **tempo de voo de 6 minutos e 43,644 segundos**. Como a bateria do VANT Octacóptero possui autonomia de 18 minutos, observou-se que era viável fazer o levantamento com apenas um voo.

## **ANEXO B – LEVANTAMENTO COM RECEPTOR GNSS**

Para ser possível alcançar uma boa precisão, algumas condições tiveram que ser seguidas, como:

- PDOP máximo: 1,9;
- Horizonte mínimo de rastreamento: 10°;
- Mínimo de satélites rastreados simultaneamente: 4;
- Intervalo de gravação da base MGIN: 15 segundos;
- Intervalo de gravação do receptor: 1 segundo;
- Tempo médio de ocupação: 5 minutos.

# ANEXO C – Relatório da Estação Geodésica MGIN Homologada pelo IBGE



## RBMC - Rede Brasileira de Monitoramento Contínuo dos Sistemas GNSS Relatório de Informação de Estação MGIN - Inconfidentes

### 0. Formulário

Preparado por: Centro de Controle Eng. Kátia Duarte Pereira - RBMC  
Data: 01/01/2008  
Atualização:

### 1. Identificação da estação GPS

Nome da Estação: INCONFIDENTES  
Ident. da Estação: MGIN  
Inscrição no Monumento: Não há inscrição  
Código Internacional: [93940](#)  
Informações Adicionais: -

### 2. Informação sobre a localização

Cidade: Inconfidentes  
Estado: Minas Gerais  
Informações Adicionais: Pilar quadrangular de concreto engastado na parede medindo 7,10 m de altura e 0,40 m de lado e no final acrescido de um tubo de PVC com 1,20 m de altura por 0,30 m de diâmetro, com dispositivo de centragem forçada padrão IBGE e chapa de identificação a 1,70 m do chão. No Prédio da Coordenação do Curso de Engenharia de Agrimensura e Cartográfica do Instituto Federal Sul de Minas Gerais - IFSULMINAS - Campus Inconfidentes (Antiga EAFI) Inconfidentes - MG.

### 3. Coordenadas oficiais

#### 3.1. SIRGAS2000 (Época 2000.4)

Coordenadas Geodésicas			
Latitude:	- 22° 19' 6,8233"	Sigma:	0,001 m
Longitude:	- 46° 19' 40,8866"	Sigma:	0,001 m
Alt. Elip.:	883,720 m	Sigma:	0,004 m
Coordenadas Cartesianas			
X:	4.076.879,955 m	Sigma:	0,003 m
Y:	-4.270.390,930 m	Sigma:	0,003 m
Z:	-2.407.418,136 m	Sigma:	0,002 m
Coordenadas Planas (UTM)			
UTM (N):	7.531.309,952 m		
UTM (E):	363.219,729 m		
MC:	-45		

### 4. Informações do equipamento GNSS

#### 4.1. Receptor

4.1.1 Tipo do Receptor - TRIMBLE NETR5  
Número de Série - 4652K03710  
Versão do Firmware - 3.50 (Principal)  
Data de Instalação - 10/10/2007 às 00:00 UTC

#### 4.2. Antena

4.2.1 Tipo de Antena - ZEPHYR GNSS GEODETIC MODEL 2 (TRM55971.00)  
URL imagem - [http://www.ngs.noaa.gov/ANTCAL/LoadImage?name=TRM55971\\_00%2BNONE.gif](http://www.ngs.noaa.gov/ANTCAL/LoadImage?name=TRM55971_00%2BNONE.gif)  
Número de Série - 30337697  
Altura da Antena (m) - 0,0000 (distância vertical do topo do dispositivo de centragem forçada à base da antena)  
Data de Instalação - 10/10/2007 às 00:00 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](http://www.ibge.gov.br)  
Contato: [rbmc@ibge.gov.br](mailto: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](mailto:ibge@ibge.gov.br)

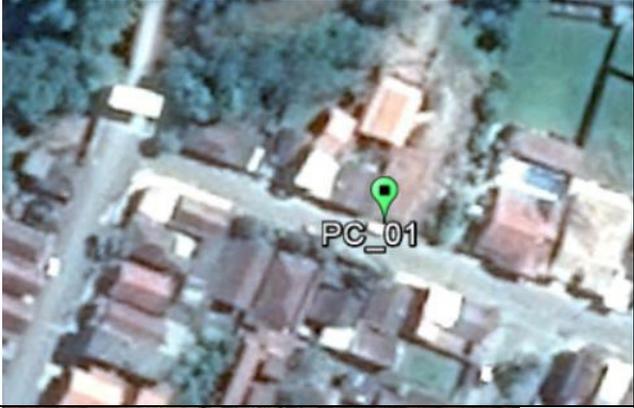
### 5.3. Instituições participantes

A RBMC conta com o apoio das seguintes instituições:

<http://www.ibge.gov.br/home/geociencias/geodesia/rbmc/parcerias.shtm>

---

**ANEXO D – Monografia dos Pontos de Controle**

<b>PONTO DE CONTROLE PARA PLANO DE VOO</b>		
<b>IDENTIFICAÇÃO DO PONTO: PC_01</b>		
<b>Data do Levantamento:</b>	24/05/2017	07h 30min 00seg
<b>Equipamento:</b>	<b>Receptor:</b>	Astech
	<b>Modelo da antena:</b>	ProMark 200
	<b>Altura da antena (m):</b>	2,000
<b>Coordenadas Geodésicas – SIRGAS2000</b>		
	<b>Coordenadas</b>	<b>Dado</b>
<b>Latitude:</b>	22°18'55,504000" S	GPS
<b>Longitude:</b>	46°19'46,524000" W	GPS
<b>Alt. Geom.:</b>	850,141 m	GPS
<b>Coordenadas Planas (UTM)</b>		
	<b>Coordenadas</b>	<b>Dado</b>
<b>UTM (E):</b>	363.055,355 m	PROGRID
<b>UTM (N):</b>	7.531.656,636 m	PROGRID
<b>MC:</b>	45° WGr	PROGRID
<b>LOCALIZAÇÃO DO PONTO: na calçada perto da guarita da Fazenda do IFSULDEMINAS – Campus Inconfidentes</b>		
		<p>Ao lado, a localização espacial. Abaixo, à direita, o ponto visto de perto e abaixo, à esquerda, o ponto visto panoramicamente.</p>
		

PONTO DE CONTROLE PARA PLANO DE VOO		
IDENTIFICAÇÃO DO PONTO: PC_02		
<b>Data do Levantamento:</b>	24/05/2017	07h 30min 00seg
<b>Equipamento:</b>	<b>Receptor:</b>	Astech
	<b>Modelo da antena:</b>	ProMark 200
	<b>Altura da antena (m):</b>	2,000
<b>Coordenadas Geodésicas – SIRGAS2000</b>		
	<b>Coordenadas</b>	<b>Dado</b>
<b>Latitude:</b>	22°18'53,129000" S	GPS
<b>Longitude:</b>	46°19'48,407000" W	GPS
<b>Alt. Geom.:</b>	848,074 m	GPS
<b>Coordenadas Planas (UTM)</b>		
	<b>Coordenadas</b>	<b>Dado</b>
<b>UTM (E):</b>	363.000,831 m	PROGRID
<b>UTM (N):</b>	7.531.729,200 m	PROGRID
<b>MC:</b>	45° WGr	PROGRID
LOCALIZAÇÃO DO PONTO: no meio fio dentro da Fazenda do IFSULDEMINAS – Campus Inconfidentes perto da guarita		
		Ao lado, a localização espacial. Abaixo, à direita, o ponto visto de perto e abaixo, à esquerda, o ponto visto panoramicamente.
		

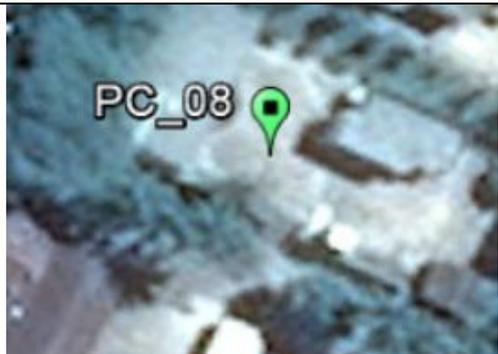
<b>PONTO DE CONTROLE PARA PLANO DE VOO</b>		
<b>IDENTIFICAÇÃO DO PONTO: PC_03</b>		
<b>Data do Levantamento:</b>	24/05/2017	07h 30min 00seg
<b>Equipamento:</b>	<b>Receptor:</b>	Astech
	<b>Modelo da antena:</b>	ProMark 200
	<b>Altura da antena (m):</b>	2,000
<b>Coordenadas Geodésicas – SIRGAS2000</b>		
	<b>Coordenadas</b>	<b>Dado</b>
<b>Latitude:</b>	22°18'51,551000" S	GPS
<b>Longitude:</b>	46°19'45,872000" W	GPS
<b>Alt. Geom.:</b>	847,349 m	GPS
<b>Coordenadas Planas (UTM)</b>		
	<b>Coordenadas</b>	<b>Dado</b>
<b>UTM (E):</b>	363.072,941 m	PROGRID
<b>UTM (N):</b>	7.531.778,368 m	PROGRID
<b>MC:</b>	45° WGr	PROGRID
LOCALIZAÇÃO DO PONTO: no descampado à direita da entrada da Fazenda do IFSULDEMINAS – Campus Inconfidentes		
	Ao lado, a localização espacial. Abaixo, à direita, o ponto visto de perto e abaixo, à esquerda, o ponto visto panoramicamente.	
		

<b>PONTO DE CONTROLE PARA PLANO DE VOO</b>		
<b>IDENTIFICAÇÃO DO PONTO: PC_04</b>		
<b>Data do Levantamento:</b>	24/05/2017	07h 30min 00seg
<b>Equipamento:</b>	<b>Receptor:</b>	Astech
	<b>Modelo da antena:</b>	ProMark 200
	<b>Altura da antena (m):</b>	2,000
<b>Coordenadas Geodésicas – SIRGAS2000</b>		
	<b>Coordenadas</b>	<b>Dado</b>
<b>Latitude:</b>	22°18'49,817000" S	GPS
<b>Longitude:</b>	46°19'44,323000" W	GPS
<b>Alt. Geom.:</b>	848,663 m	GPS
<b>Coordenadas Planas (UTM)</b>		
	<b>Coordenadas</b>	<b>Dado</b>
<b>UTM (E):</b>	363.116,795 m	PROGRID
<b>UTM (N):</b>	7.531.832,085 m	PROGRID
<b>MC:</b>	45° WGr	PROGRID
LOCALIZAÇÃO DO PONTO: no descampado à direita da entrada da Fazenda do IFSULDEMINAS – Campus Inconfidentes		
	Ao lado, a localização espacial. Abaixo, à direita, o ponto visto de perto e abaixo, à esquerda, o ponto visto panoramicamente.	
		

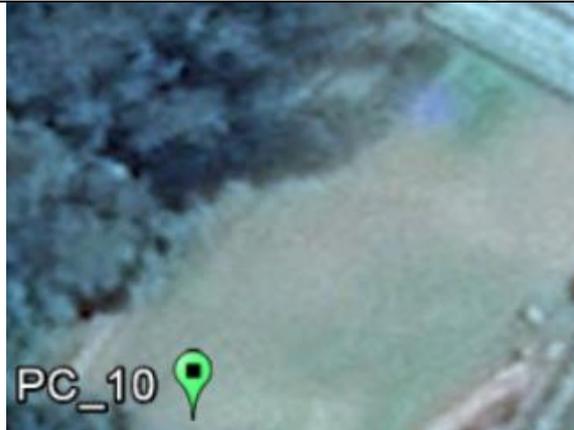
PONTO DE CONTROLE PARA PLANO DE VOO		
IDENTIFICAÇÃO DO PONTO: PC_05		
<b>Data do Levantamento:</b>	24/05/2017	07h 30min 00seg
<b>Equipamento:</b>	<b>Receptor:</b>	Astech
	<b>Modelo da antena:</b>	ProMark 200
	<b>Altura da antena (m):</b>	2,000
<b>Coordenadas Geodésicas – SIRGAS2000</b>		
	<b>Coordenadas</b>	<b>Dado</b>
<b>Latitude:</b>	22°18'47,287000" S	GPS
<b>Longitude:</b>	46°19'47,732000" W	GPS
<b>Alt. Geom.:</b>	852,412 m	GPS
<b>Coordenadas Planas (UTM)</b>		
	<b>Coordenadas</b>	<b>Dado</b>
<b>UTM (E):</b>	363.018,562 m	PROGRID
<b>UTM (N):</b>	7.531.909,031 m	PROGRID
<b>MC:</b>	45° WGr	PROGRID
LOCALIZAÇÃO DO PONTO: na calçada na subida do CEU da Fazenda do IFSULDEMINAS – Campus Inconfidentes		
	Ao lado, a localização espacial. Abaixo, à direita, o ponto visto de perto e abaixo, à esquerda, o ponto visto panoramicamente.	
		

PONTO DE CONTROLE PARA PLANO DE VOO		
IDENTIFICAÇÃO DO PONTO: PC_06		
<b>Data do Levantamento:</b>	24/05/2017	07h 30min 00seg
<b>Equipamento:</b>	<b>Receptor:</b>	Astech
	<b>Modelo da antena:</b>	ProMark 200
	<b>Altura da antena (m):</b>	2,000
<b>Coordenadas Geodésicas – SIRGAS2000</b>		
	<b>Coordenadas</b>	<b>Dado</b>
<b>Latitude:</b>	22°18'46,189000" S	GPS
<b>Longitude:</b>	46°19'48,813000" W	GPS
<b>Alt. Geom.:</b>	858,489 m	GPS
<b>Coordenadas Planas (UTM)</b>		
	<b>Coordenadas</b>	<b>Dado</b>
<b>UTM (E):</b>	362.987,332 m	PROGRID
<b>UTM (N):</b>	7.531.942,525 m	PROGRID
<b>MC:</b>	45° WGr	PROGRID
LOCALIZAÇÃO DO PONTO: na entrada do prédio dos professores da Fazenda do IFSULDEMINAS – Campus Inconfidentes		
		Ao lado, a localização espacial. Abaixo, à direita, o ponto visto de perto e abaixo, à esquerda, o ponto visto panoramicamente.
		

PONTO DE CONTROLE PARA PLANO DE VOO		
IDENTIFICAÇÃO DO PONTO: PC_07		
<b>Data do Levantamento:</b>	24/05/2017	07h 30min 00seg
<b>Equipamento:</b>	<b>Receptor:</b>	Astech
	<b>Modelo da antena:</b>	ProMark 200
	<b>Altura da antena (m):</b>	2,000
<b>Coordenadas Geodésicas – SIRGAS2000</b>		
	<b>Coordenadas</b>	<b>Dado</b>
<b>Latitude:</b>	22°18'44,488000" S	GPS
<b>Longitude:</b>	46°19'53,088000" W	GPS
<b>Alt. Geom.:</b>	870,815 m	GPS
<b>Coordenadas Planas (UTM)</b>		
	<b>Coordenadas</b>	<b>Dado</b>
<b>UTM (E):</b>	362.864,543 m	PROGRID
<b>UTM (N):</b>	7.531.993,757 m	PROGRID
<b>MC:</b>	45° WGr	PROGRID
LOCALIZAÇÃO DO PONTO: na frente do Bloco Pedagógico VIII da Fazenda do IFSULDEMINAS – Campus Inconfidentes		
		Ao lado, a localização espacial. Abaixo, à direita, o ponto visto de perto e abaixo, à esquerda, o ponto visto panoramicamente.
		

PONTO DE CONTROLE PARA PLANO DE VOO		
IDENTIFICAÇÃO DO PONTO: PC_08		
<b>Data do Levantamento:</b>	24/05/2017	07h 30min 00seg
<b>Equipamento:</b>	<b>Receptor:</b>	Astech
	<b>Modelo da antena:</b>	ProMark 200
	<b>Altura da antena (m):</b>	2,000
<b>Coordenadas Geodésicas – SIRGAS2000</b>		
	<b>Coordenadas</b>	<b>Dado</b>
<b>Latitude:</b>	22°18'46,249000" S	GPS
<b>Longitude:</b>	46°19'50,823000" W	GPS
<b>Alt. Geom.:</b>	853,216 m	GPS
<b>Coordenadas Planas (UTM)</b>		
	<b>Coordenadas</b>	<b>Dado</b>
<b>UTM (E):</b>	362.929,833 m	PROGRID
<b>UTM (N):</b>	7.531.940,173 m	PROGRID
<b>MC:</b>	45° WGr	PROGRID
LOCALIZAÇÃO DO PONTO: na frente da cantina da Fazenda do IFSULDEMINAS – Campus Inconfidentes		
		Ao lado, a localização espacial. Abaixo, à direita, o ponto visto de perto e abaixo, à esquerda, o ponto visto panoramicamente.
		

PONTO DE CONTROLE PARA PLANO DE VOO		
IDENTIFICAÇÃO DO PONTO: PC_09		
<b>Data do Levantamento:</b>	24/05/2017	07h 30min 00seg
<b>Equipamento:</b>	<b>Receptor:</b>	Astech
	<b>Modelo da antena:</b>	ProMark 200
	<b>Altura da antena (m):</b>	2,000
<b>Coordenadas Geodésicas – SIRGAS2000</b>		
	<b>Coordenadas</b>	<b>Dado</b>
<b>Latitude:</b>	22°18'48,496000" S	GPS
<b>Longitude:</b>	46°19'54,351000" W	GPS
<b>Alt. Geom.:</b>	848,069 m	GPS
<b>Coordenadas Planas (UTM)</b>		
	<b>Coordenadas</b>	<b>Dado</b>
<b>UTM (E):</b>	362.829,490 m	PROGRID
<b>UTM (N):</b>	7.531.870,179 m	PROGRID
<b>MC:</b>	45° WGr	PROGRID
LOCALIZAÇÃO DO PONTO: atrás da horta da Fazenda do IFSULDEMINAS – Campus Inconfidentes		
		Ao lado, a localização espacial. Abaixo, à direita, o ponto visto de perto e abaixo, à esquerda, o ponto visto panoramicamente.
		

PONTO DE CONTROLE PARA PLANO DE VOO		
IDENTIFICAÇÃO DO PONTO: PC_10		
<b>Data do Levantamento:</b>	24/05/2017	07h 30min 00seg
<b>Equipamento:</b>	<b>Receptor:</b>	Astech
	<b>Modelo da antena:</b>	ProMark 200
	<b>Altura da antena (m):</b>	2,000
<b>Coordenadas Geodésicas – SIRGAS2000</b>		
	<b>Coordenadas</b>	<b>Dado</b>
<b>Latitude:</b>	22°18'52,673000" S	GPS
<b>Longitude:</b>	46°19'54,715000" W	GPS
<b>Alt. Geom.:</b>	847,953 m	GPS
<b>Coordenadas Planas (UTM)</b>		
	<b>Coordenadas</b>	<b>Dado</b>
<b>UTM (E):</b>	362.820,208 m	PROGRID
<b>UTM (N):</b>	7.531.741,631 m	PROGRID
<b>MC:</b>	45° WGr	PROGRID
LOCALIZAÇÃO DO PONTO: ao lado da horta da Fazenda do IFSULDEMINAS – Campus Inconfidentes		
		Ao lado, a localização espacial. Abaixo, à direita, o ponto visto de perto e abaixo, à esquerda, o ponto visto panoramicamente.
		

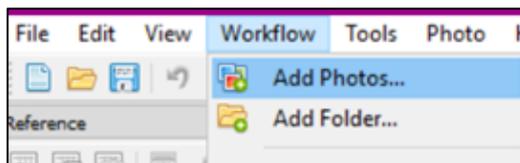
PONTO DE CONTROLE PARA PLANO DE VOO		
IDENTIFICAÇÃO DO PONTO: PC_11		
<b>Data do Levantamento:</b>	24/05/2017	07h 30min 00seg
<b>Equipamento:</b>	<b>Receptor:</b>	Astech
	<b>Modelo da antena:</b>	ProMark 200
	<b>Altura da antena (m):</b>	2,000
<b>Coordenadas Geodésicas – SIRGAS2000</b>		
	<b>Coordenadas</b>	<b>Dado</b>
<b>Latitude:</b>	22°18'49,242000" S	GPS
<b>Longitude:</b>	46°19'49,505000" W	GPS
<b>Alt. Geom.:</b>	848,783 m	GPS
<b>Coordenadas Planas (UTM)</b>		
	<b>Coordenadas</b>	<b>Dado</b>
<b>UTM (E):</b>	362.968,358 m	PROGRID
<b>UTM (N):</b>	7.531.848,461 m	PROGRID
<b>MC:</b>	45° WGr	PROGRID
LOCALIZAÇÃO DO PONTO: no marco à esquerda da entrada da fazenda atrás do Bloco Pedagógico I da Fazenda do IFSULDEMINAS – Campus Inconfidentes		
	Ao lado, a localização espacial. Abaixo, à direita, o ponto visto de perto e abaixo, à esquerda, o ponto visto panoramicamente.	
		

PONTO DE CONTROLE PARA PLANO DE VOO		
IDENTIFICAÇÃO DO PONTO: PC_12		
<b>Data do Levantamento:</b>	24/05/2017	07h 30min 00seg
<b>Equipamento:</b>	<b>Receptor:</b>	Astech
	<b>Modelo da antena:</b>	ProMark 200
	<b>Altura da antena (m):</b>	2,000
<b>Coordenadas Geodésicas – SIRGAS2000</b>		
	<b>Coordenadas</b>	<b>Dado</b>
<b>Latitude:</b>	22°18'50,468000" S	GPS
<b>Longitude:</b>	46°19'49,727000" W	GPS
<b>Alt. Geom.:</b>	848,020 m	GPS
<b>Coordenadas Planas (UTM)</b>		
	<b>Coordenadas</b>	<b>Dado</b>
<b>UTM (E):</b>	362.962,339 m	PROGRID
<b>UTM (N):</b>	7.531.810,701 m	PROGRID
<b>MC:</b>	45° WGr	PROGRID
LOCALIZAÇÃO DO PONTO: no descampado esquerda da entrada da Fazenda do IFSULDEMINAS – Campus Inconfidentes		
		Ao lado, a localização espacial. Abaixo, à direita, o ponto visto de perto e abaixo, à esquerda, o ponto visto panoramicamente.
		

## ANEXO E – NUVEM DE PONTOS

Através do caminho Workflow → Add Photos, as 68 fotografias foram inseridas, como mostra a Figura F1.

Figura F1 – Adicionando Fotos no *software* Agisoft PhotoScan



Fonte: Agisoft PhotoScan, 2017.

Em seguida, os 12 pontos de controle (no *software* chamados de *Markers*) foram inseridos e selecionados nas fotos.

Finalmente, deu-se início ao processamento das imagens.

Em Workflow → Align Photos elas foram devidamente alinhadas no modo acurácia alta.

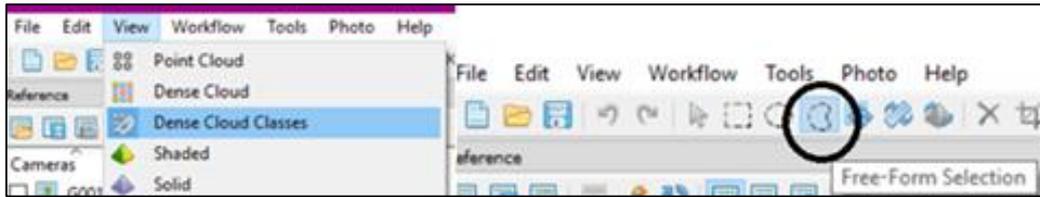
Depois de alinhadas, construiu-se uma densa nuvem de pontos através do menu Workflow → Build Dense Cloud no modo qualidade Ultra Alta.

Para a construção da profundidade, o menu Workflow → Build Mesh no modo Densa Nuvem foi acessado.

Se fosse usada a nuvem de pontos de toda a área coberta pelas 68 fotografias, seria um processo muito demorado para gerar a MDT (Modelo Digital do Terreno) e as curvas de nível no *software* Data Geosis Office Demonstração.

Então, ainda no *software* Agisoft PhotoScan pelo caminho View → Dense Cloud Classes é possível recortar a área apenas para a desejada, sendo possível exportar somente os pontos referentes a essa área. A Figura F2 mostra o caminho para fazer esse processo do lado esquerdo e o botão utilizado para fazer os recortes do lado direito.

Figura F2 – Caminhos utilizados para fazer o recorte da área.



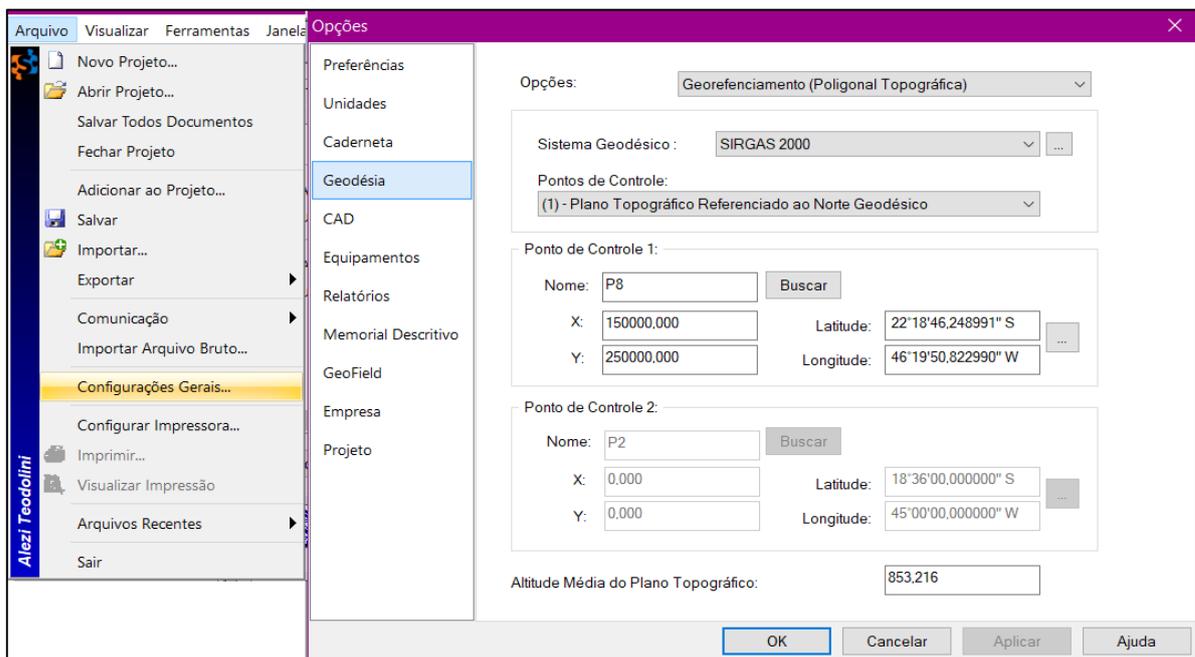
Fonte: Agisoft PhotoScan, 2017.

Por fim, para exportar a nuvem de pontos referente apenas à área de estudo, o caminho File → Export Points foi acessado.

## ANEXO F – GERAÇÃO DE CURVAS DE NÍVEL

No *software* DataGeosis Office Demonstração, depois de criado o projeto, pelo caminho Arquivo → Configurações Gerais foi possível colocar as coordenadas de um ponto de controle, que, no caso, foram as coordenadas referentes ao ponto 8, para georreferenciar a imagem, como mostra a Figura G1.

Figura G1 – Configuração para georreferenciar o projeto.



Fonte: DataGeosis Office Demonstração, 2017.

Dessa forma, pelo caminho Criar Item → Desenho foi possível georreferenciar o desenho, conforme mostra a Figura G2.

Figura G2 – Georreferenciamento do Desenho a ser criado.



Fonte: DataGeosis Office Demonstração, 2017.

E então, pelo caminho Inserir → Nuvem de Pontos, foi possível inserir a nuvem de pontos processada pelo *software* Agisoft PhotoScan.

Para criar o MDT, o caminho Modelagem → Nova Modelagem foi acessado e, para apagar as arestas com lados muito extensos da triangulação, utilizou-se o menu Modificar → Apagar arestas foi utilizado. E, assim, o MDT criado, sendo possível voltar ao desenho e em Modelagem → Criar curvas de nível, com as mestras a cada 5 metros e as secundárias a cada 1 metro, as curvas de nível foram inseridas no desenho.