



Relatório

Mestrado em Engenharia Automóvel

***Implementação de metodologias de reconstrução
científica de acidentes***

Rui Filipe Gonçalves Martins

Leiria, setembro de 2018



Relatório

Mestrado em Engenharia Automóvel

***Implementação de metodologias de reconstrução
científica de acidentes***

Rui Filipe Gonçalves Martins

Relatório de Mestrado realizada sob a orientação do Engenheiro Sérgio Pereira dos Santos, Professor da Escola Superior de Tecnologia e Gestão do Instituto Politécnico de Leiria.

Leiria, setembro de 2018

Esta página foi intencionalmente deixada em branco

Agradecimentos

Os meus primeiros agradecimentos vão para o meu orientador, o Professor Sérgio Santos, que me acompanhou ao longo de toda a tese. Agradeço todo o empenho, disponibilidade e tempo que me foi despendido assim como todo o conhecimento que me transmitiu.

Agradeço também ao meu supervisor de estágio, Diogo Jerónimo, pela sua disponibilidade para me ajudar sempre que foi preciso.

Agradeço ao meu pai, João Martins, à minha mãe, Maria Martins, e ao meu irmão, Daniel Martins, por estarem sempre comigo, pelo seu apoio e por me lembrarem constantemente que eu consigo atingir os objetivos a que me proponho.

Agradeço também ao meu colega de curso, Luiz Fonseca, pela companhia e pela ajuda ao longo da realização do meu relatório de estágio

O meu profundo e sentido agradecimento a todas as pessoas que contribuíram de alguma forma para a concretização deste projeto!

Esta página foi intencionalmente deixada em branco

Resumo

A sinistralidade rodoviária continua a apresentar uma evolução muito negativa para as sociedades, atendendo às suas consequências nefastas para as famílias, a atividade produtiva e económica. O estudo das causas dos acidentes é um caminho para definir e tomar as medidas de prevenção adequadas tendo em vista a redução efetiva dos acidentes. Esta análise aos acidentes é realizada por Peritos especialistas onde têm de aplicar conhecimentos de engenharia mecânica, dinâmica automóvel, tecnologia automóvel e ainda conhecimentos das áreas médicas e sociais. A ineficácia das medidas de prevenção é muitas vezes resultado da incerteza do apuramento das causas do acidente. O trabalho do Perito Especialista no que concerne ao estudo da dinâmica é seguido após um conjunto de ações de recolha de informação sobre o local e os veículos envolvidos. Para chegar aos resultados finais, um dos passos principais que o Perito deve realizar é a recolha de dados sobre o local para elaboração de um *croqui* devidamente representativo do cenário do acidente. Uma inadequada realização desta tarefa pode colocar em causa todo um estudo da dinâmica de colisão realizada sobre os veículos envolvidos. Durante vários anos que a recolha das medidas no local de um acidente tem sido suportada por técnicas simples de execução, nomeadamente utilização de fita métrica, ou outro tipo de escala manual. No entanto, a evolução tecnológica ao nível do processamento de imagens permitiu com que seja possível aplicar novas técnicas na elaboração de *croquis* de acidente mais completos e fiáveis.

O trabalho desenvolvido no Estágio foi realizado e proporcionado pela empresa SERMOTIVE, Lda que atua no sector automóvel em áreas de consultadoria de Engenharia Automóvel. O estágio foi dedicado ao envolvimento numa das áreas de atuação desta empresa que é a Peritagem Técnico-científica de Acidentes para a atividade seguradora ramo automóvel. Neste tema foi definido que após o período de integração e enquadramento, o trabalho a desenvolver seria a avaliação e demonstração de nova técnica de elaboração de *croquis* de acidentes de viação.

Este trabalho pretendeu assim, analisar e aplicar uma metodologia de aquisição de dados no local por meio de fotografias para elaboração de um *croqui* com recurso a um meio aéreo não tripulado, mais conhecido como *drone*. O mapeamento do local, que é o nome dado ao processo de obtenção de fotografias aéreas numa área pré-definida, deve seguir um conjunto de passos de modo a garantir que o processo seja rápido e seguro e que o produto

final (*croqui*) seja fiável, ou seja, com erro minimizado ou até mesmo nulo. As duas aplicações de mapeamento para *smartphone/tablet* mais conhecidos e usados neste trabalho são o *Pix4Dcapture* e o *DroneDeploy*.

Com recurso ao *software Pix4Dmapper*, a partir das imagens capturadas obtêm-se uma nuvem de pontos que oferece a possibilidade de visionar o local tridimensionalmente através de um processo denominado de fotogrametria. O outro objetivo do trabalho passou por demonstrar as potencialidades da utilização do *croqui* 3D face aos *croquis* convencionais (2D). Para analisar a fiabilidade dos *croquis* foram feitas medições nos locais com uma fita métrica que depois são repetidas no *croqui* 3D.

Em suma, pretendeu-se apresentar duas metodologias que visam minimizar e facilitar o trabalho do Perito garantindo maior segurança no local e maior qualidade no resultado final, e consequentemente, tornar todo o processo rentável (melhor qualidade em menos tempo).

Palavras-chave: Reconstituição Científica de Acidentes, Aquisição de dados do local, Drone, Fotogrametria, Croqui 3D

Abstract

Nowadays, road fatalities have a very negative impact on society with people losing their families and friends. The study of the causes of accidents, is a way to minimize their consequences. That job is made by Experts, who use their knowledge in mechanical engineering, automotive dynamic, automotive technology and other areas.

One of the steps of Expertise is the collecting of information at the accident site to make an accident sketch. The data acquisition is very important for an Expertise because the bad execution of this step is enough to make whole the study be wrong. Over the years, the measurements on site is made using a measuring tape or a measuring wheel, but currently with the technological development in image processing, it's possible to make this step more easily, quickly and safely, and more importantly, make a complete and reliable sketch.

The work was developed in a internship in SERMOTIVE, Lda, being the focus the expertise, one of the areas of activity of this company. During the internship it was established that the work would be about the evaluation and application of a new method of elaborating an accident sketch.

One of the objectives of this work was to show a new way of acquiring data on site without taking measurements (necessarily) taking aerial photos with a drone, or in other words, acquire data of roads mapping them with *Pix4Dcapture*, *DroneDeploy* or other app on the market. The other one was based on aerial photographs create a reliable 3D sketch that is valid for almost all scenarios (e.g. road with inclination). The procedure of getting the 3D sketch or 3D point cloud from photographs is called Photogrammetry, and for this it's used *Pix4Dmapper*.

All of these proposals had the objectives of minimize on-site time, improve the safety of experts and facilitate the work of experts, presenting a reliable and innovative sketch and increasing the profitability of business.

Keywords: Accident reconstruction, Data acquisition on site, Drone, Photogrammetry, 3D sketch

Esta página foi intencionalmente deixada em branco

Lista de figuras

Figura 1 - Número de vítimas mortais em Portugal [1].	5
Figura 2 - Número de acidentes com vítimas em Portugal [1].	6
Figura 3 - Índice de gravidade [1].	6
Figura 4 - Número de acidentes com vítimas na EU [2].	7
Figura 5 - Número de vítimas mortais na EU [2].	8
Figura 6 - Croqui à mão e no computador [5].	15
Figura 7 - Imagem aérea do local e croqui.	15
Figura 8 - Croqui com medições por coordenadas [5].	16
Figura 9 - Croqui com medições por triângulos [5].	16
Figura 10 - Croqui com medição linear de distância [5].	17
Figura 11 - PC-Crash 12.0.	19
Figura 12 - Forças que atuam sobre um veículo (adaptado de [8]).	20
Figura 13 - Par ação-reação numa colisão e conservação do momento linear.	21
Figura 14 - Conservação do momento angular.	21
Figura 15 – Fluxograma.	24
Figura 16 - Distância Focal [13].	27
Figura 17 - Distância focal e campo de visão [14] [15].	27
Figura 18 – Relação entre sensor e resolução [18] [19].	28
Figura 19 - Abertura da lente [20].	28
Figura 20 - Sensibilidade ISO [22].	29
Figura 21 - Velocidade do obturador [22].	29
Figura 22 - Efeito Rolling Shutter [25].	30
Figura 23 - Relação entre tamanho do pixel e GSD [27].	31
Figura 24 - Relação entre GSD e precisão [26].	31
Figura 25 - GSD imagem vertical e oblíqua.	32
Figura 26 - GSD imagem oblíqua.	33
Figura 27 - Estratégias de mapeamento usando imagens verticais [28].	33
Figura 28 - Efeito das diferentes condições climáticas [27].	34
Figura 29 - GSD e altitude de voo.	35
Figura 30 - Overlap de imagens [27].	36
Figura 31 - Algoritmo SfM.	38

Figura 32 - Detecção de pontos candidatos a pontos-chave [29]	40
Figura 33 - Gradientes dos pontos vizinhos e histograma de orientação [29].	41
Figura 34 - Descritor de um ponto chave [29].	41
Figura 35 - Correspondência entre keypoints de duas imagens.	42
Figura 36 - Princípio da colinearidade [32].	44
Figura 37 - Princípio da coplanaridade [32].	44
Figura 38 - Influência do ruído e número de pontos no erro teórico [34] [35].	48
Figura 39 - Princípio do algoritmo Image Matching.	49
Figura 40 – Ortorectificação [38].	52
Figura 41 – Diferença entre DSM e DTM [40].	52
Figura 42 - Processo de ortorectificação [39].	53
Figura 43 - Valor de intensidade do ponto estimado [39].	54
Figura 44 - Oclusão provocada pelo edifício [41].	55
Figura 45 - Diferença entre valores de intensidade [39].	56
Figura 46 - Imagens misturadas [39].	56
Figura 47 - Imagens afetadas [39].	57
Figura 48 - Resultado final do Blending [39].	57
Figura 49 - DJI Phantom 4 Pro.	60
Figura 50 - Início da rua.	62
Figura 51 - Início de inclinação.	62
Figura 52 - Fim da rua.	63
Figura 53 - Local de estudo no Google Maps.	63
Figura 54 - Croqui pelo método convencional	64
Figura 55 - Trajeto recomendado [42].	65
Figura 56 - Trajeto real.	65
Figura 57 - Parâmetros definidos.	66
Figura 58 - Parâmetros definidos.	66
Figura 59 - Parâmetros da câmara otimizados.	68
Figura 60 - Parâmetros definidos para o processamento inicial (General).	69
Figura 61 - Parâmetros definidos para o processamento inicial (Matching).	70
Figura 62 - Parâmetros definidos para o processamento inicial (Calibration).	71
Figura 63 – Parâmetros definidos para criação da nuvem de pontos (Point Cloud). ..	72
Figura 64 - Parâmetros definidos para criação da nuvem de pontos (Advanced).	73
Figura 65 - Parâmetros definidos para criação da ortofotografia.	74

Figura 66 - Ortofotografia do local.	74
Figura 67 - Ortofotografia melhorada.	75
Figura 68 - Ortofotografia no software de RCA.	76
Figura 69 - Medições tiradas.	78
Figura 70 - Local em estudo (parte plana).	79
Figura 71 - Local em estudo (parte inclinada).	80
Figura 72 - Imagem da estrada com inclinação no Google Maps.	80
Figura 73 - Croqui do local pelo método convencional.	81
Figura 74 - Missão double grid.	82
Figura 75 - Definição dos parâmetros de mapeamento.	83
Figura 76 - Nuvem de pontos danificada no PC-Crash 12.0.	84
Figura 77 - Resolução do problema.	84
Figura 78 - Croqui 3D.	85
Figura 79 - Medições tiradas.	87
Figura 80 - Rotunda.	89
Figura 81 - Rotunda.	90
Figura 82 - Imagem da rotunda no Google Maps.	90
Figura 83 - Croqui da rotunda pelo método convencional.	91
Figura 84 - Missão circular (adaptado de Paladrone).	92
Figura 85 - Mapeamento do local usando a missão circular.	92
Figura 86 - Croqui 3D com imagens verticais.	93
Figura 87 - Croqui 3D com imagens verticais e oblíquas.	94
Figura 88 - Aproximação ao cruzamento pelo veículo vermelho.	95
Figura 89 - Aproximação ao cruzamento pelo veículo azul.	95
Figura 90 - Imagem do cruzamento pelo Google Maps.	95
Figura 91 - Croqui do cruzamento pela metodologia convencional.	96
Figura 92 - Estratégia de mapeamento do cruzamento.	97
Figura 93 - Croqui 3D do cruzamento.	98
Figura 94 - Croqui 3D no PC-Crash 12.0.	99
Figura 95 - Linha de visibilidade.	99
Figura 96 - Visibilidade na primeira pessoa.	100
Figura 97 - Autoestrada.	100
Figura 98 - Autoestrada.	101
Figura 99 - Imagem da autoestrada no Google Maps.	101

Figura 100 - Croqui da autoestrada usando a metodologia convencional.	101
Figura 101 - Parâmetros de mapeamento.	102
Figura 102 - Croqui 3D.....	104
Figura 103 - Viaduto sobre a autoestrada.	104
Figura 104 - Estrada com curva.	105
Figura 105 - Imagem da estrada no Bing Maps.....	105
Figura 106 - Croqui da estrada usando método convencional.....	106
Figura 107 - Mapeamento do local.	107
Figura 108 - Croqui 3D da estrada com curva.....	108

Lista de tabelas

Tabela 1 - Gradiente de uma imagem.	51
Tabela 2 - Dados do drone.	60
Tabela 3 - Opções do Point Density.....	72
Tabela 4 - Resultados simulações.	77
Tabela 5 - Resultados obtidos.	78
Tabela 6 - Resultados obtidos.	79
Tabela 7 - Resultados obtidos.	86
Tabela 8 - Resultados obtidos (imagens verticais mais oblíquas).....	89
Tabela 9 - Parâmetros definidos para cada função.....	97

Esta página foi intencionalmente deixada em branco

Lista de siglas

ANSR – Autoridade Nacional de Segurança Rodoviária
ASF – Autoridade de Supervisão de Seguros e Fundos de Pensões
BBA – Bundle Block Adjustment
CARE – Community Road Accident Database
DAAA - Declaração Amigável de Acidente Automóvel
EES – Energy Equivalent Speed
POI – Parâmetros de Orientação Interna
POE – Parâmetros de Orientação Externa
RANSAC – Random Sample Consensus
RCA – Reconstituição científica do acidente
SIFT – Scale Invariant Feature Transform
SfM – Structure from Motion
UAV – Unmanned aerial vehicle

Esta página foi intencionalmente deixada em branco

Índice

AGRADECIMENTOS	III
RESUMO	V
ABSTRACT	VII
LISTA DE FIGURAS	IX
LISTA DE TABELAS	XIII
LISTA DE SIGLAS	XV
ÍNDICE	XVII
1. INTRODUÇÃO	1
1.1. Contexto e Motivação	1
1.2. Objetivos	2
1.3. Presente contribuição	3
1.4. Organização do trabalho	3
2. SINISTRALIDADE RODOVIÁRIA	5
3. ENQUADRAMENTO DA PERITAGEM AUTOMÓVEL	9
3.1. Acidente automóvel	9
3.1.1. Mercado segurador automóvel	10
3.2. Peritagem	11
3.2.1. Recolha de informação	12
3.2.2. Elaboração do <i>croqui</i> do acidente	14
3.2.3. Ferramentas computacionais de apoio	17

3.3.	Mecânica dos corpos rígidos	19
4.	ESTUDO DE METODOLOGIA DE AQUISIÇÃO DE INFORMAÇÃO DO LOCAL COM RECURSO A UM <i>DRONE</i> .	23
4.1.	Conceitos de imagem e fotogrametria	26
4.1.1.	Conceitos de imagem	26
4.1.2.	Fatores que influenciam a qualidade do mapa/modelo 3D	34
4.2.	Algoritmo de Fotogrametria Aérea - SfM	38
4.2.1.	Scale Invariant Feature Transform (SIFT)	39
4.2.2.	Random Sample Consensus (RANSAC)	42
4.2.3.	Bundle Block Adjustment (BBA)	43
4.2.4.	Image matching	48
4.2.5.	Ortofotografia	52
4.3.	Legislação associada ao <i>drone</i>	58
5.	IMPLEMENTAÇÃO DA METODOLOGIA DE AQUISIÇÃO DE INFORMAÇÃO COM O <i>DRONE</i>	59
5.1.	Metodologia implementada numa passeadeira	62
5.1.1.	Metodologia convencional	63
5.1.2.	Metodologia com drone	64
5.1.2.1.	Mapeamento do local	64
5.1.2.2.	Fotogrametria	67
5.1.2.3.	<i>Software</i> de RCA	75
5.1.2.4.	Resultados	76
5.2.	Metodologia implementada num local com inclinação	79
5.2.1.	Metodologia convencional	80
5.2.2.	Metodologia com drone	81
5.2.2.1.	Mapeamento do local	81
5.2.2.2.	Fotogrametria	83
5.2.2.3.	Resultados	85
5.3.	Metodologia implementada numa rotunda	89
5.3.1.	Metodologia convencional	90
5.3.2.	Metodologia com drone	91
5.3.2.1.	Mapeamento do local	91

5.3.2.2.	Fotogrametria	93
5.4.	Metodologia implementada num cruzamento	94
5.4.1.	Metodologia convencional	95
5.4.2.	Metodologia com drone	96
5.4.2.1.	Mapeamento do local	96
5.4.2.2.	Fotogrametria	97
5.4.2.3.	<i>Software</i> de RCA	98
5.5.	Metodologia implementada numa autoestrada	100
5.5.1.	Metodologia convencional	101
5.5.2.	Metodologia com drone	102
5.5.2.1.	Mapeamento do local	102
5.5.2.2.	Fotogrametria	103
5.6.	Mapeamento de uma estrada com curva	104
5.6.1.	Metodologia convencional	105
5.6.2.	Metodologia com drone	106
5.6.2.1.	Mapeamento do local	106
5.6.2.2.	Fotogrametria	107
CONCLUSÃO		109
Futuros trabalhos		112
BIBLIOGRAFIA		113

1. Introdução

1.1. Contexto e Motivação

Todos os anos, milhões de carros circulam nas estradas o que combinado com fatores externos, nomeadamente as condições meteorológicas e da estrada, e com fatores internos, como por exemplo o comportamento do condutor, pode levar a que ocorra um acidente. Felizmente, o desenvolvimento da tecnologia automóvel no aspeto da segurança leva a que os estragos causados pelo acidente sejam minimizados, o que se nota principalmente na redução do número de mortes nas estradas ao longo dos últimos anos.

Com o acidente ocorrido, é importante identificar o responsável pelo sinistro de modo a que a seguradora possa regularizá-lo. No entanto, vários fatores podem levar a que a seguradora não consiga identificar o responsável, recorrendo nesta situação a Peritos para estudar o acidente.

A função do Perito passa por fazer um estudo minucioso ao acidente apresentando as possíveis causas da sua ocorrência. Quando o Perito necessita de dados, a presença no local do acidente e junto dos veículos revela ser um passo muito importante para a reconstituição científica do acidente.

Os métodos convencionais usados na aquisição de dados no local de acidente apresentam ainda algumas lacunas. Por um lado, a utilização das ferramentas convencionais está sempre sujeito a erro humano, como por exemplo medição errada ou má leitura dos dados. Por outro lado, a necessidade de mão-de-obra e o tempo dispendido no processo de medição não favorece a utilização destas ferramentas. Deste modo, com o aparecimento de novas tecnologias, a utilização de novas ferramentas, como por exemplo os *drones*, são ideais para minimizar ou até mesmo eliminar estes problemas.

1.2. Objetivos

O primeiro objetivo deste trabalho passou por apresentar o estado da arte da Peritagem Científica e analisando as metodologias convencionalmente utilizadas numa peritagem, principalmente na fase da aquisição de informação no local e da elaboração do *croqui* do acidente.

O segundo objetivo passou por estudar as metodologias de reconstituição do acidentes mais importantes baseadas na física simples e na mecânica dos corpos rígidos, para identificar o modelo numérico usado nos softwares de reconstituição de acidentes, nomeadamente como estes tratam e utilizam as informações presentes num *croqui* de acidente.

Após apresentar as lacunas das metodologias convencionais, o terceiro objetivo passou por propor uma metodologia de aquisição de informação do local por meio de fotografias aéreas com recurso a um *drone* que por sua vez permitisse adotar uma metodologia nova de elaboração do *croqui* tridimensional de um acidente. Estas metodologias propostas têm como objetivo contornar as lacunas dos métodos convencionais.

No entanto, para implementar as metodologias propostas foi preciso perceber como todo o processo funciona desde a obtenção das fotografias aéreas até à criação da nuvem de pontos (*croqui* 3D). Como tal, o quarto objetivo consistiu em apresentar e interpretar todos os parâmetros importantes na fotogrametria. O quinto objetivo consistiu em resumir como funciona os algoritmos da fotogrametria e demonstrar a sua aplicabilidade na atividade concreta da Reconstituição Científica de Acidentes usando para o efeito casos reais de acidente.

Por fim, o último objetivo consistiu em implementar as metodologias propostas em tipos de locais distintos (ex. Curva, rotunda, entrocamento...) com a finalidade de demonstrar as suas potencialidades relativamente às metodologias convencionais e as suas lacunas. Pretende-se também apresentar formas de minimizar ou eliminar as lacunas detetadas se possível.

1.3. Presente contribuição

A utilização do *drone* na aquisição permite dar um novo rumo na forma como a informação no local é obtida e exposta no *croqui*. Por um lado pretende-se melhorar a forma como a informação é adquirida ao nível de tempo despendido, mão-de-obra e segurança no local sem colocar em causa a precisão do *croqui*.

Por outro lado, o processo de fotogrametria utilizando as imagens adquiridas pelo *drone* permite trabalhar com um *croqui* tridimensional que é excelente quando se pretende simular em locais inclinados ou quando se pretende demonstrar visualmente as afirmações tomadas pelo Perito.

Para que todos os métodos apresentados não falhem, é preciso saber definir os parâmetros, e, portanto, este trabalho pretendeu apresentar a melhor configuração de parâmetros adaptada ao tipo de local.

1.4. Organização do trabalho

Este trabalho encontra-se dividido em sete capítulos. O primeiro e presente capítulo visa apresentar, contextualizar e objetivar o presente trabalho. O segundo capítulo apresenta as estatísticas relativas à sinistralidade em Portugal e na Europa. No terceiro capítulo é feita uma abordagem ao estado da arte da peritagem explicando qual a sua necessidade, quais as metodologias adotadas e quais as ferramentas utilizadas. No mesmo capítulo aborda as temáticas da física importantes para compreender o cálculo que é feito pelo software de RCA, nomeadamente a cinemática e dinâmica de corpos rígidos e as energias associadas ao movimento e deformação do veículo. No quarto capítulo é estudada uma metodologia para aquisição de informação no local do acidente utilizando o *drone* para elaboração de um *croqui* apresentando os conceitos de imagem e de fotogrametria e resumindo o funcionamento dos algoritmos utilizados. No mesmo capítulo é apresentada a legislação associada ao *drone*. O quinto e último capítulo visa, através de todos os conceitos abordados no capítulo anterior, demonstrar as potencialidades e os defeitos da metodologia apresentada para vários locais.

2. Sinistralidade Rodoviária

Este capítulo tem como objetivo apresentar a evolução da taxa de sinistralidade e de mortalidade nas estradas em Portugal e na União Europeia na presente década.

Durante esta década, o número de mortes nas estradas portuguesas tem vindo a reduzir tendo ocorrido o valor mais alto em 2010 onde se verificaram 741 vítimas mortais e o valor mais baixo em 2016 onde se verificaram 445 vítimas mortais, resultando numa redução de 40%. O ano passado, o número de vítimas mortais aumentou para os 510, mais 14,6% face a 2016 invertendo assim a redução de vítimas mortais ao longo da década. A evolução pode ser observada na Figura 1 [1]. Para o presente ano, prevê-se que o número de mortes na estrada volte a aumentar.

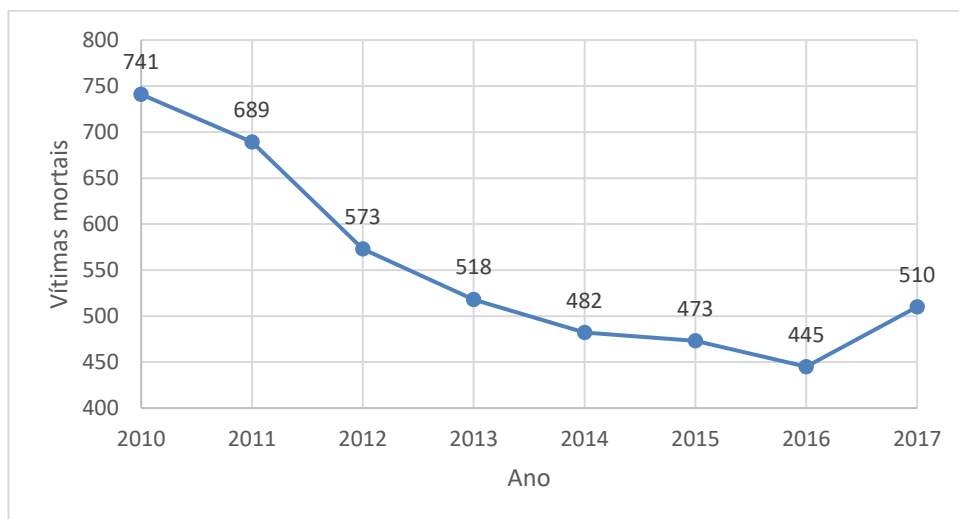


Figura 1 - Número de vítimas mortais em Portugal [1].

O número de acidentes com vítimas numa primeira fase reduziu dos 35426 para os 29867 acidentes entre 2010 e 2012 e numa segunda fase aumentou para os 34416 acidentes verificados em 2017 como mostra a Figura 2 [1].

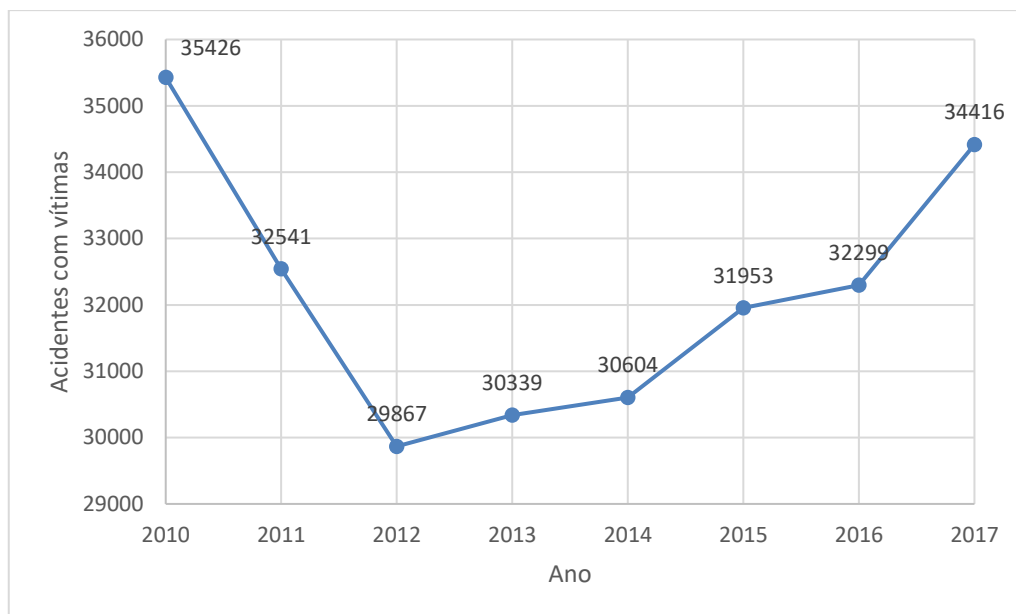


Figura 2 - Número de acidentes com vítimas em Portugal [1].

O índice de gravidade, que define o número de mortes a cada 100 acidentes com vítimas, reduziu dos 2,1 para os 1,4 entre 2010 e 2016 e em 2017 aumentou para 1,5 como é visível na Figura 3 [1].

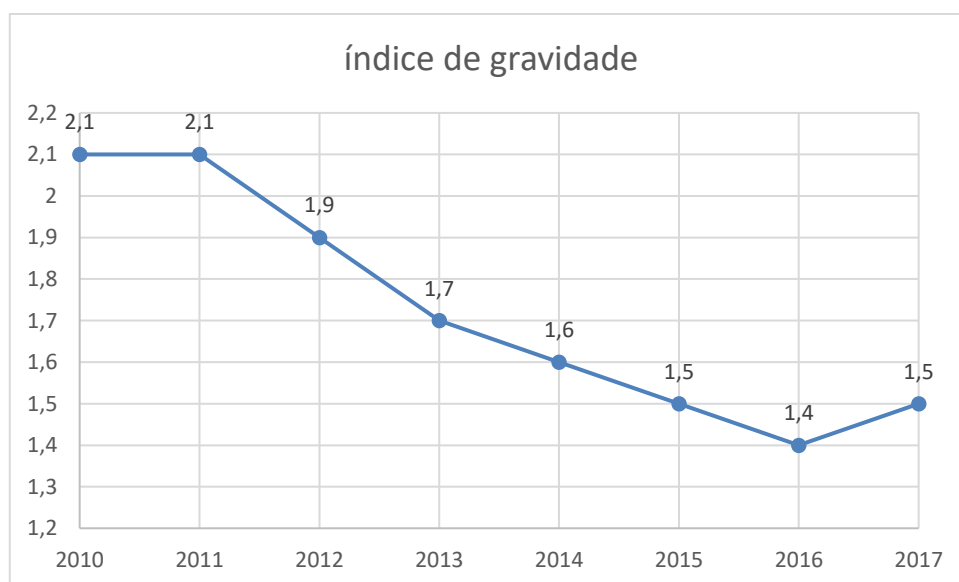


Figura 3 - Índice de gravidade [1].

Verificou-se que mais de metade dos acidentes com vítimas ocorreram em arruamentos (60,4%), mas ocorreram mais mortes em estradas nacionais (35,7%). Estes dados e muito mais podem ser vistos no Relatório Anual de Sinistralidade Rodoviária 2017 facultado pela ANSR (Autoridade Nacional de Segurança Rodoviária) [1].

Relativamente à União Europeia, o número de acidentes reduziu de 1,20 milhões para 1,08 milhões entre 2010 e 2015 (Figura 4) correspondendo a uma redução de 10,4%. No entanto, o menor número de acidentes verificou-se em 2014 quando ocorreram 1,06 milhões [2].

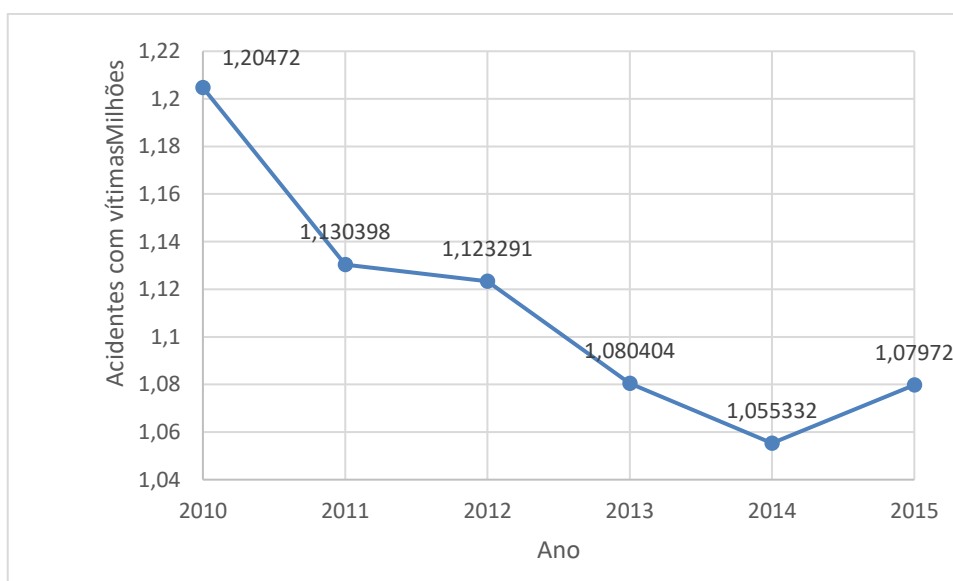


Figura 4 - Número de acidentes com vítimas na EU [2].

Relativamente ao número de vítimas mortais, verificou-se uma redução drástica entre 2010 e 2013 tendo depois aumentado ligeiramente até 2015, como mostra a Figura 5. Em 2015 houve redução de 4221 vítimas mortais em relação a 2010, o que equivale a 14,7%. Em 2015, mais de metade das vítimas mortais (55%) perderam as suas vidas em estradas fora das localidades (exceto autoestradas) [2].

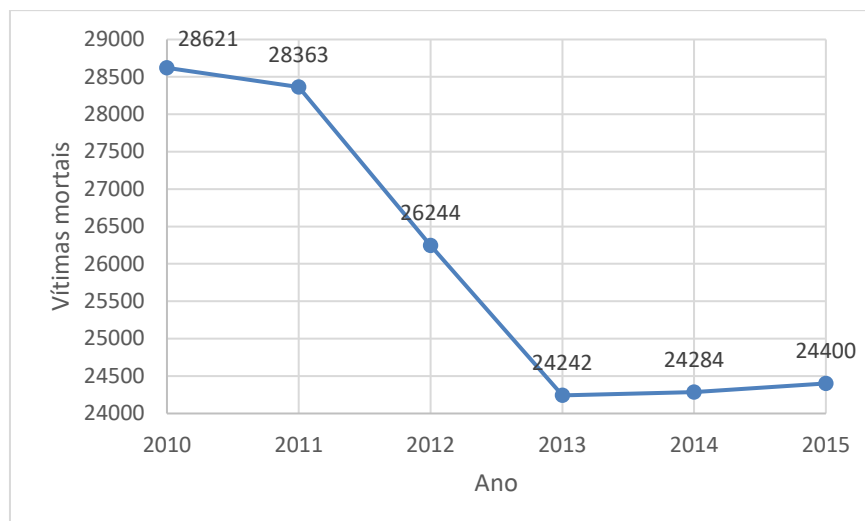


Figura 5 - Número de vítimas mortais na EU [2].

Mais recentemente, em 2017, quase todos os países da UE reduziram o número de vítimas mortais, sendo a Noruega o país que mais reduziu (48%). Portugal aparece entre os países com maior redução (31%). No entanto, Portugal continua a ter um número de mortes por um milhão de habitantes elevado (52) comparado com os restantes países da UE.

Todos estes dados estão presentes no “*Annual Accident Report 2017*” facultado pela CARE (*Community Road Accident Database*) e também em infografias fornecidas pela mesma entidade. Os dados do parágrafo anterior podem ser vistos no site da Comunidade Europeia, secção *Road Safety, accidents data*.

3. Enquadramento da Peritagem Automóvel

Este capítulo visa por um lado explicar qual a necessidade de existir Peritagens na regularização de acidentes, e por outro lado apresentar o estado da arte da Peritagem. No entanto para haver uma Peritagem é preciso compreender tudo o que acontece desde o acidente até ao seu pedido. Como tal, o primeiro subcapítulo resume sobre quais os procedimentos a efetuar após o acidente até reportar à seguradora. Nesse mesmo subcapítulo é apresentado o mercado segurador automóvel no ano 2017 em Portugal.

O segundo subcapítulo fala então sobre a Peritagem explicando quais são os seus objetivos, quais as fases de uma Peritagem e que metodologia é adotada em cada uma delas e que ferramentas são utilizadas.

3.1. Acidente automóvel

Para perceber a importância de uma Peritagem é importante entender todo o processo desde o acidente até à sua reconstituição.

Um acidente é um evento inesperado que provoca danos materiais e/ou pessoais e que ocorre de modo não intencional. Num acidente automóvel (também válido para outras áreas), o proprietário ou condutor do veículo são responsáveis por indemnizar os lesados caso a culpa seja deles. Como muitas das vezes os valores dos danos, obtidos através de uma peritagem técnica, são avultados, existe legalmente obrigatório um seguro de responsabilidade civil que protege o culpado destas situações. Este seguro é obrigatório por lei (existindo algumas exceções) de acordo com o nº1 do Artigo 4º do Decreto-Lei nº 291/2007, de 21 de agosto e o incumprimento da lei pode levar à apreensão do veículo e ao pagamento de uma multa de acordo com o Artigo 85º. O seguro de responsabilidade civil garante o pagamento das indemnizações por danos corporais causados a terceiros e às pessoas transportadas (exceto o condutor) e os danos materiais provocados pelo sinistro.

Caso o veículo do condutor culpado não tenha seguro obrigatório por incumprimento da lei ou se o veículo causador é desconhecido, o lesado pode recorrer ao Fundo de Garantia Automóvel de acordo com o Artigo 47º do mesmo Decreto-Lei.

Numa situação de um acidente, os condutores envolvidos devem preencher a Declaração Amigável de Acidente Automóvel (DAAA) com informações indispensáveis para a regularização do sinistro por parte das seguradoras e depois entregar esse documento às suas seguradoras. Entre as seguradoras foi criado por convenção um sistema facilitador e acelerador do tempo de regularização do acidente que se designa IDS (Indemnização Direta ao Segurado) [3].

3.1.1. Mercado segurador automóvel

O mercado segurador automóvel faz parte do mercado de seguro não vida representando uma quota de 35,8% do total de não vida em 2017, tendo variado entre os 35,1% e os 36,5% nos últimos três anos. O número de apólices tem vindo a crescer nos últimos 3 anos dos 5,86 milhões para os 6,74 milhões, tendo o número de veículos assegurados aumentado dos 6,26 milhões para os 6,98 milhões de veículos. Quanto aos capitais seguros, este oscilou entre os 102,8 biliões de euros e os 116,1 biliões de euros (em 2017). Os prémios brutos emitidos variaram entre os 1,32 mil milhões de euros e os 1,48 mil milhões de euros. O prémio médio (por mil euros de capital) ao longo dos últimos anos anda em torno dos 1,3%.

O parque automóvel é constituído por 7,39 milhões de veículos, sendo que para todas as categorias mais de metade dos veículos têm mais de 10 anos sendo a percentagem de veículos comprados em 2017 não superior a 7,64%. Relativamente aos veículos ligeiros, que são 6,11 milhões, 62,37% deles têm mais de 10 anos e apenas 3,59% foram comprados no ano anterior (219 mil).

Todos os dados apresentados foram arredondados e podem ser vistos nas “*Estatísticas de Seguros 2017*” da ASF (Autoridade de Supervisão de Seguros e Fundos de Pensões).

3.2. Peritagem

No capítulo 3.1. foi feito um resumo do papel do proprietário/conductor do veículo numa situação de acidente. Este subcapítulo visa resumir o papel da seguradora na regularização de um sinistro e explicar porque muitas das vezes estas recorrem a Peritagens.

Depois de a seguradora receber o DAAA, o Perito Avaliador designado pela seguradora deve marcar com o proprietário/conductor do veículo uma peritagem para fazer o levantamento dos danos dos veículos bem como quantificar o custo de reparação associados dentro dos prazos definidos pelo Artigo 34º do DL nº291/2007, de 21 de agosto. O mesmo artigo em conjunto com o Artigo 37º do mesmo Decreto-Lei definem os prazos para divulgação dos relatórios de peritagem dos veículos bem como a assunção ou não da responsabilidade e outros aspetos.

No entanto, nem sempre as seguradoras assumem essa responsabilidade, e como tal, as seguradoras contratam serviços a Peritos Especialistas com o intuito de perceber o modo como o acidente ocorreu. Uma Peritagem visa por um lado estudar as possíveis causas (pluricausalidade) do acidente e por outro verificar a plausibilidade de certas situações (por exemplo, se o acidente que ocorreu por velocidade excessiva poderia ocorrer se o veículo circulasse dentro dos limites de velocidade legais).

O processo de Peritagem passa por numa primeira fase levantar os dados relativos ao acidente para estudar o acidente e para elaborar um *croqui*, e de seguida, com recurso a um *software* de reconstituição científica de acidentes (RCA), reconstituir o acidente.

Algumas empresas que trabalham nesta área em Portugal são a DEKRA, a Sinistrauto, a SGS e a Sermotive.

3.2.1. Recolha de informação

A recolha de informação consiste no levantamento de dados no local do acidente e juntos dos veículos com recurso a ferramentas de medição e fotografias. Este processo deve estar em concordância com todos os princípios inerentes à investigação. Só deste modo se consegue garantir que vai ao encontro das suas necessidades. Deve-se também constituir um ponto de partida para todo o processo que se segue, devendo prever que as restantes fases não serão negativamente influenciadas logo nesta fase inicial. Deste modo, torna-se fundamental registar toda a informação possível de uma forma imparcial e rigorosa, pois todas as hipóteses estão em aberto e devem ser considerados todos os cenários possíveis [4].

Os objetivos da metodologia de reconstituição assentam essencialmente na uniformização da recolha de dados entre as várias entidades competentes, criando um código mais amplo e de fácil interpretação. Como tal, pretende-se que a investigação seja mais eficiente e rigorosa, através de uma recolha rápida e eficiente de provas. Tal como na investigação de acidentes aeronáuticos, na investigação de acidentes rodoviários deverá existir um conjunto de procedimentos pré-estabelecidos que permitam de forma única definir quais as tarefas de cada uma das entidades envolvidas [4].

A metodologia adotada pelos Peritos é dividida em várias fases (não necessariamente ordenadas da seguinte maneira):

- **Levantamento de documentação associada ao processo:** caso exista documentação, nesta fase, o Perito tem acesso ao auto das autoridades que estiveram no local no dia do acidente, onde consta informação relevante para ser levantada, nomeadamente veículos envolvidos, danos dos veículos, entre outros aspetos. Em caso de atropelamento, o Perito tem acesso ao relatório médico ou de autópsia de modo a verificar as lesões do peão provocadas pelo atropelamento.

- **Presença no local do acidente:** esta fase consiste na deslocação dos Peritos ao local do acidente com o intuito de tirar fotografias detalhadas do local, nomeadamente à zona de conflito, nas aproximações à zona de conflito por parte dos veículos envolventes, e noutras zonas caso o Perito ache pertinente, bem como medições para elaboração do *croqui*. Esta fase é importante quando ou não existe um documento relativo ao acidente (p.e., auto da autoridade) ou quando existe, mas apresenta falta de informação ou informação pouco nítida que obriga o Perito a se deslocar ao local do acidente para não colocar em causa os resultados a obter no futuro. Nesta fase é ideal que o intervalo de tempo entre o sinistro e a deslocação seja o mais curta possível uma vez que com o passar do tempo, os vestígios tendem a desaparecer (p.e., marcas de travagem/derrapagem, destroços, entre outros).
- **Presença junto do(s) veículo(s) sinistrado(s):** esta fase consiste na deslocação do Perito ao local onde se encontra o(s) veículo(s) ainda danificado(s). Aqui o Perito faz o levantamento de danos dos veículos intervenientes para que com base nesses dados faça o enquadramento de danos, isto é, apresentar uma tipologia de contacto plausível tendo em conta os danos apresentados nos veículos (p.e., forma dos danos, presença de marcas de raspagem, entre outros). Por outro lado, esta fase permite estimar a velocidade de embate entre os veículos, com base na profundidade dos danos apresentados. Tal como no ponto anterior, esta fase é importante quando não existem dados (fotografias dos veículos) ou quando existem dados pouco claros. Muitas vezes devido ao elevado desfasamento temporal entre o sinistro e a perícia, o Perito não tem acesso ao(s) veículo(s) no estado pós-colisão, e portanto, este desfasamento poderá ter impacto nos resultados futuros.
- **Presença junto do(s) condutores intervenientes e/ou testemunhas:** esta fase consiste na obtenção de depoimentos por parte dos intervenientes do acidente ou de testemunhas do mesmo. Os depoimentos podem servir como ponto de partida para a reconstituição do acidente ou como conteúdo que possa refutar versões contraditórias por parte de um dos condutores envolvidos no acidente.

No local do acidente, existem vários materiais possíveis de serem utilizados na recolha de informação. Atualmente, as ferramentas convencionais são [4]:

- **Fita métrica:** é um utensílio pouco rigoroso, uma vez que as medições estão condicionadas ao comprimento da fita e só permite medições em linha reta;
- **Roda de medição:** mede a distância entre pontos, em que perímetro que a roda percorre entre os dois pontos é a distância que se pretende medir. Este equipamento tem a grande vantagem de medir distâncias curvilíneas com precisão e deve ser usado como complemento às medições com a fita métrica;
- **Dispositivo com infravermelhos:** este tipo de equipamento é o mais preciso nas medições, em que é possível fazer o desenho de todo o cenário do acidente. Tem a desvantagem de ter um elevado custo e de ser necessário uma formação específica para trabalhar com estes utensílios;
- **Máquina fotográfica:** tem como principal função registar visualmente todas as informações do cenário do acidente, tais como deformações nos veículos, rastros de travões, cenário geral do acidente.

3.2.2. Elaboração do *croqui* do acidente

Quando se fala num relatório de peritagem, a elaboração do *croqui* é um passo inevitável. O *croqui* de um acidente é um esboço onde é possível ilustrar o local do acidente e todas as informações relativas ao acidente, como por exemplo as posições de repouso dos veículos, o ponto de impacto e as distâncias de travagem. Um *croqui* não tem de respeitar obrigatoriamente as regras de um desenho técnico, como por exemplo estar à escala [5].

Um *croqui* bem elaborado depende da informação obtida no local, e como tal, um *croqui* com informações erradas ou com falta de informação põe em causa a sua fiabilidade.

A primeira fase da elaboração do *croqui* passa por desenhar o local. Atualmente, existem três maneiras de apresentar um *croqui*: ou é feito um esboço à mão no local onde são sinalizados os pontos fixos (p.e. postes de iluminação, muros, ...) e são apresentadas as medições obtidas no local, ou com base no esboço à mão é feito um *croqui* em computador usando um programa de desenho (p.e. *Microsoft Visio*). Em ambas as opções, o *croqui* não é apresentado à escala [5]. A figura 6 exemplifica os dois tipos de *croquis*.

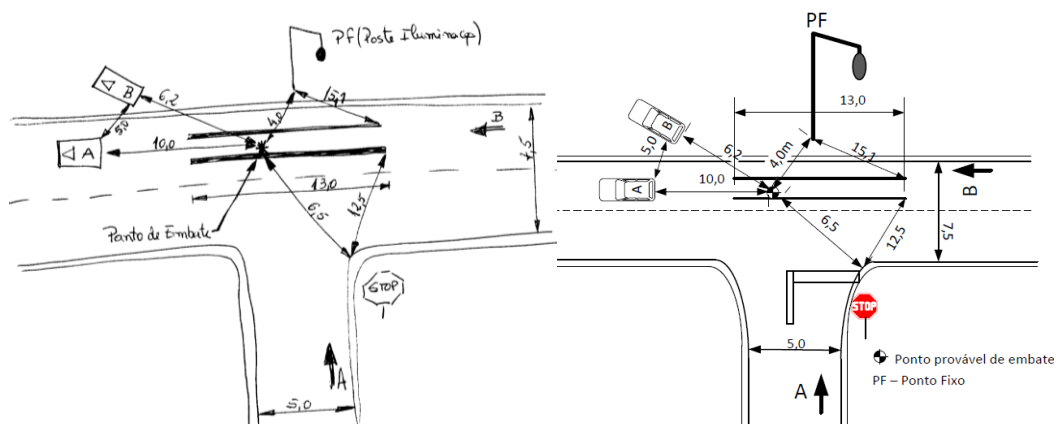


Figura 6 - Croqui à mão e no computador [5].

A terceira opção consiste em elaborar um croqui em computador à escala [5]. Para tal, é obtida uma imagem aérea do local com recurso a um programa de mapas (p.e. *Google Maps*). Utilizando um *software* de desenho, todas as linhas e pontos fixos relevantes são desenhados. A Figura 7 mostra a imagem mostra a imagem aérea do local obtida e o *croqui* elaborado com base nessa imagem.

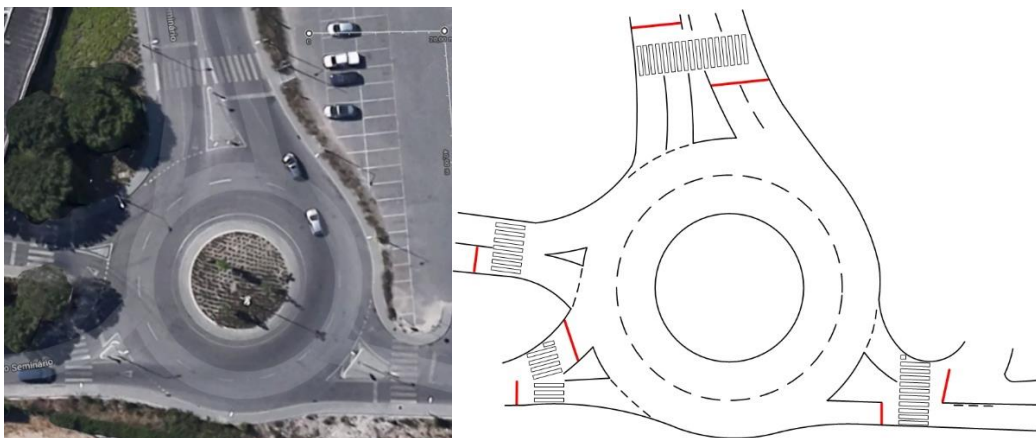


Figura 7 - Imagem aérea do local e croqui.

Por fim, são colocadas no croqui as informações importantes do acidente. Existem três formas de apresentar as informações, sendo elas [5]:

- **Medições por coordenadas**, representado na Figura 8, onde as medições são apresentadas ortogonalmente baseado num sistema cartesiano, sendo a referência do sistema um ponto fixo do local (p.e., poste de iluminação);

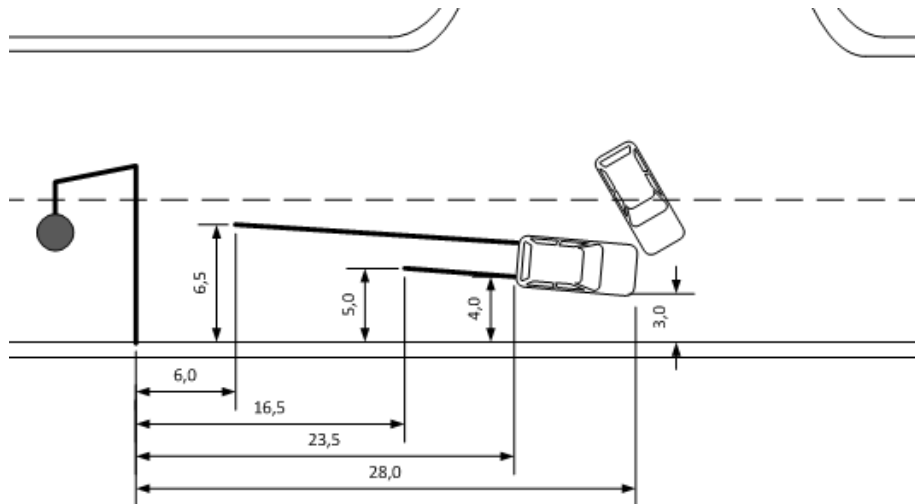


Figura 8 - Croqui com medições por coordenadas [5].

- **Medições por triângulos**, representado na Figura 9, onde os dados do acidente (p.e. posição de repouso dos veículos) são apresentadas por meio de duas medições obtidas em relação a dois pontos de referência.

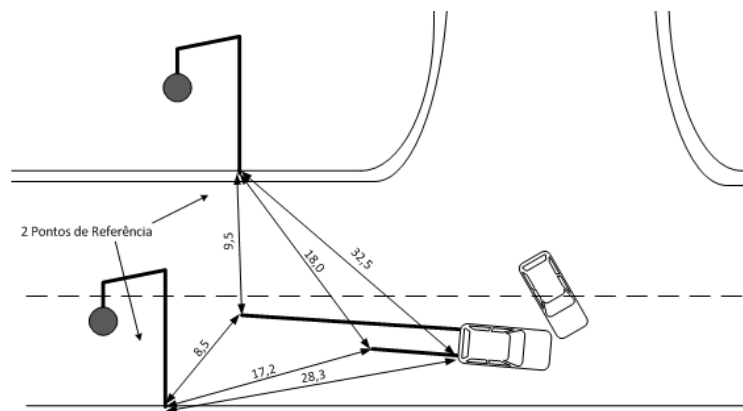


Figura 9 - Croqui com medições por triângulos [5].

- **Medição linear de distância**, representado na Figura 10, onde os dados do acidente são apresentados por meio de uma medição linear.

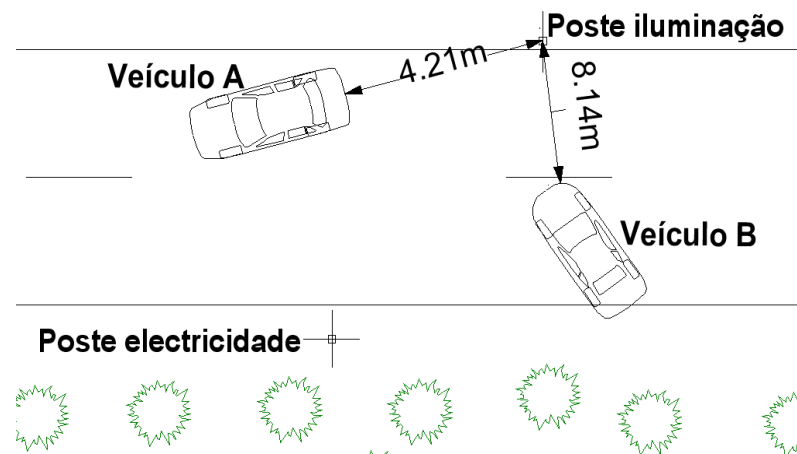


Figura 10 - Croqui com medição linear de distância [5].

O croqui à escala é uma boa opção porque permite não só apresentar os dados do acidente como pode ser utilizada como suporte (estrada) para fazer as simulações uma vez que se encontra à escala. No entanto, a utilização de imagens aéreas dos programas de mapas nem sempre é boa uma vez que a qualidade delas nem sempre é garantida o que torna impercetível as linhas da estrada. Por outro lado, a presença de árvores dificulta a percepção de como é a estrada por debaixo delas o que pode induzir o Perito em erro. Por fim, muitas das vezes as imagens utilizadas são algo antigas o que pode enganar o Perito (p.e. uma linha de cedência de passagem presente no local que não existe na imagem do programa de mapas).

3.2.3. Ferramentas computacionais de apoio

A reconstituição de acidentes incide principalmente na utilização de modelos computacionais que recriam as condições e características dos veículos originais. Existem programas de computador disponíveis para este efeito, sendo também possível desenvolver ferramentas para certos casos. O estudo específico de certos acontecimentos, especialmente quando envolvem o corpo humano, implica a utilização de modelos computacionais mais complexos (modelos multicorpos), de modo a ser possível estudar os efeitos das desacelerações sobre este [6].

Estes *softwares* permitem a recriação do cenário onde ocorreram os acidentes, a utilização de veículos com características técnicas semelhantes aos veículos reais e a utilização de modelos multicorpos para simular acontecimentos com sistemas mais complexos, como são o caso dos veículos de duas rodas e pessoas [6].

A reconstituição é feita com base numa análise dinâmica direta da evolução temporal das trajetórias dos veículos intervenientes, podendo ser necessário a realização de ajustes dentro de limites aceitáveis, de alguns parâmetros físicos que caracterizam a própria colisão e das condições dinâmicas que condicionam os movimentos pré e pós colisão [6].

Esses ajustes são efetuados com o recurso a um método iterativo de otimização que parte das posições finais dos veículos e otimiza as trajetórias e velocidades iniciais com um erro que se encontra dentro de um limite predefinido, tendo também em conta as deformações visíveis nos veículos [6].

São testados vários cenários para o acidente, tendo em conta as declarações dos intervenientes no acidente, sendo que estes cenários (ou possíveis cenários) estão relacionados com os danos nos veículos e com as posições finais dos veículos indicadas no *croqui* das autoridades [6].

A reconstituição de acidentes inicia-se com a construção do cenário aproximado onde ocorreu o acidente. No cenário inserem-se a via, obstáculos, passeios, marcações horizontais, entre outros, de modo a recriar da melhor maneira possível as condições reais. Os modelos utilizados para otimizar as trajetórias e velocidades iniciais, apesar de não incluírem os modelos dos ocupantes, permitem uma estimativa das condições iniciais com um erro aceitável. O valor do erro permitido é escolhido pelo utilizador do programa, utilizando-se como referência aceitável o valor de 10%. Após a refinação das condições e otimização dos resultados, é possível consultar as velocidades iniciais, obter energias, verificar trajetórias, entre outros parâmetros [6].

Estes modelos são também vantajosos em termos computacionais, pois não exigem um nível de processamento de cálculo tão elevado como os modelos multicorpos. Por esta razão as simulações são efetuadas num espaço de tempo inferior, sendo possível ajustar os vários parâmetros de modo a atingir o valor do erro pretendido [6].

Existem atualmente diversas ferramentas computacionais específicas para reconstituir acidentes, como por exemplo o *PC-Crash* (figura 11), *Virtual Crash*, *HVE-CSI*, *REC-TEC*, entre outros. O capítulo 3.3 aborda os conceitos de mecânica de corpos rígidos e energia importantes para perceber como são feitos os cálculos nestes *softwares*.

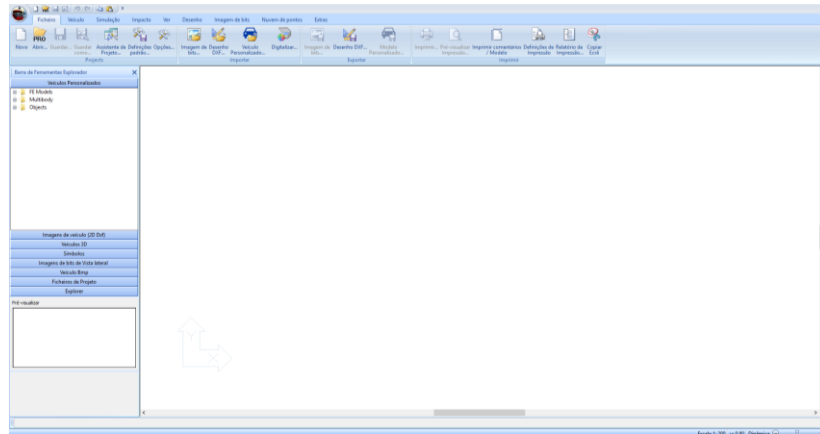


Figura 11 - PC-Crash 12.0.

3.3. Mecânica dos corpos rígidos

Ao longo do capítulo 3.2 foi referido a importância da reconstituição científica de acidentes rodoviários uma vez que se trata de uma base para compreender e determinar fatores que levaram à ocorrência dos mesmos. No entanto, uma reconstituição é feita com base na Física e nas leis que a constituem, e como tal, é importante falar sobre alguns conceitos físicos aplicados numa primeira fase a um simples corpo rígido e seguidamente enquadrados num veículo automóvel e/ou na reconstituição científica de um acidente. Os conceitos da Física que serão abordados neste capítulo são a Cinemática, a Dinâmica e a Energia.

A Cinemática é a área da Física que estuda apenas o movimento sem olhar para as suas causas. Deste ramo, duas equações são muito utilizadas numa RCA, sendo [7]:

- Equação da velocidade: $v(t) = v_0 + at$ (1)

- Equação da posição: $x(t) = x_0 + v_0t + \frac{1}{2}at^2$ (2)

Já da Dinâmica, que estuda as causas do movimento, existe um conjunto de leis que servem para compreender o comportamento estático e dinâmico de um corpo (veículo) denominadas de Leis de Newton. Para falar das Leis de Newton, dois conceitos devem ser abordados. São eles [7]:

- Massa (m), que quantifica a quantidade de matéria presente num corpo;
- Força ($\vec{F}$), que é uma interação entre corpos. As forças que atuam sobre um veículo (Figura 12) são o Peso (força que o veículo exerce sobre o solo), Reação Normal (força reativa ao Peso que permite sustentar o veículo sobre o solo), Força de Atrito (força que permite colocar o veículo em movimento ou que trave), Força de Arrasto (força provocada pelo movimento relativo entre o veículo e o fluído (neste caso é o ar) e Força de Tração (força reativa responsável por colocar o veículo em movimento).

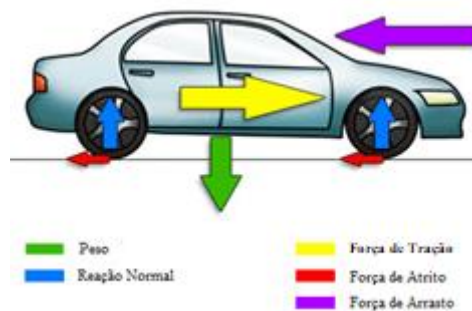


Figura 12 - Forças que atuam sobre um veículo (adaptado de [8]).

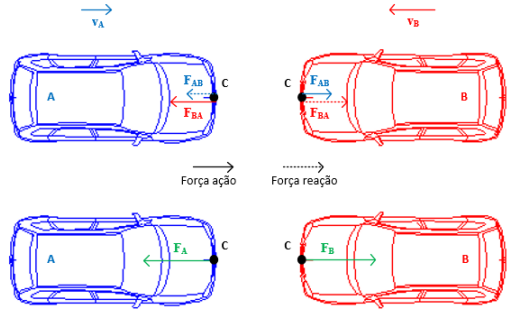
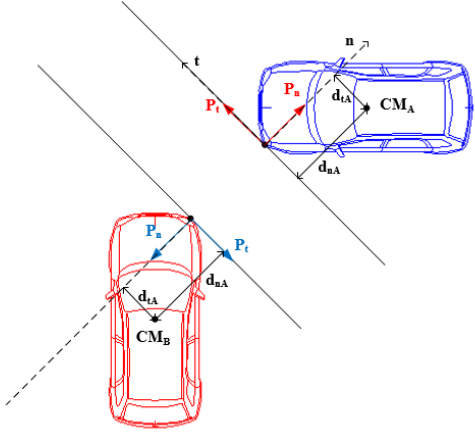
Newton enunciou três leis sendo a primeira delas a Lei da Inércia que diz que se num corpo (veículo) em movimento (com velocidade $\vec{v}$)/parado o somatório das forças for nulo, então esse corpo continuará em movimento/parado. A segunda lei, ou princípio fundamental da Dinâmica, diz que a força resultante (vetor) aplicada num corpo é igual à taxa de variação temporal do seu momento linear ($\vec{p}$, que consiste no produto entre a massa e o vetor velocidade) [7]:

$$\vec{F} = \frac{d\vec{p}}{dt} = \frac{d(m\vec{v})}{dt} \quad (3)$$

Desta equação é obtida a equação do Impulso $\vec{I}$ que é a diferença do momento linear de um corpo durante um intervalo de tempo [7], ou seja, $\vec{I} = \vec{p}_2 - \vec{p}_1$ (4).

A terceira e última lei, conhecida também como princípio da ação e reação, define que se um corpo A exercer uma força sobre o corpo B, em resposta, o corpo B exerce no corpo A a mesma força (em intensidade) na mesma direção, mas com sentido oposto [7].

Quando se estuda uma colisão, dois conceitos são extremamente importantes. O primeiro é o conceito de conservação do momento linear. A partir da segunda e terceira lei de Newton, numa colisão entre dois veículos, a soma das forças ação e reação que atuam num veículo A é igual as mesmas forças para o veículo B, logo, existe conservação do momento linear [9]. O mesmo se pode dizer relativamente ao momento angular do sistema. Em baixo estão apresentadas as equações da conservação do momento linear e angular

$m_A * \vec{v}_A + m_B * \vec{v}_B = m_A * \vec{v}_A' + m_B * \vec{v}_B' \quad (5)$	 <i>Figura 13 - Par ação-reação numa colisão e conservação do momento linear.</i>
$I_A(\vec{\omega}_A' - \vec{\omega}_A) = d_{tA}P_n - d_{nA}P_t \quad (6a)$ $I_B(\vec{\omega}_B' - \vec{\omega}_B) = d_{tB}P_n - d_{nB}P_t \quad (6b)$	 <i>Figura 14 - Conservação do momento angular.</i>

A energia tem uma grande importância no estudo da dinâmica de um veículo. A energia consiste na capacidade de um corpo em produzir trabalho, ação ou movimento. Quando se fala em energia é importante falar na lei da conservação da energia, que estabelece que a energia total associada a um sistema isolado mantém-se constante. Existem quatro energia associadas à dinâmica de um veículo. São elas:

Trabalho (W) , que é a energia transferida pela aplicação de uma força F ao longo de um deslocamento d .	$W = F * d \quad (7)$
Energia cinética translacional (E_c) , que é a energia associada ao movimento de translação de um corpo e varia quadraticamente com a velocidade.	$E_c = \frac{1}{2} * m * v^2 \quad (8)$
Energia cinética rotacional (E_{rot}) , por analogia à translação, é a energia associada ao movimento de rotação de um corpo e varia quadraticamente com a velocidade angular.	$E_{rot} = \frac{I * \omega^2}{2} \quad (9)$

A quarta energia é a Energia de deformação (E_d) é a energia absorvida pelo veículo numa colisão. Da Energia de deformação chega-se ao conceito de *EES* (*Energy Equivalent Speed*, na literatura inglesa) consiste na velocidade correspondente à energia de deformação do veículo no momento da colisão. O *EES* é depois aplicado na equação da conservação do momento linear.

4. Estudo de Metodologia de aquisição de informação do local com recurso a um *drone*.

No capítulo 3 foram apresentadas metodologias convencionais para aquisição de informação no local e para elaboração do *croqui* tendo sido apresentadas algumas críticas a essas metodologias. Como tal, o objetivo deste trabalho passa por apresentar uma metodologia de aquisição de informação sobre o local por meio de fotografias aéreas com recurso a um veículo aéreo na tripulado, mais conhecido como *drone*, que por sua vez permite implementar uma metodologia de elaboração do *croqui*.

A figura 15 mostra o fluxograma que explica o que o conjunto dos *softwares* fazem. Todo o procedimento que vai desde a aquisição de informação até à elaboração do *croqui* passa por duas ferramentas para além do *software* de reconstituição de acidentes: uma aplicação de mapeamento de local para *smartphone/tablet* para definir a trajetória a percorrer pelo *drone* e outros parâmetros relevantes para fotografar o local e um *software* de fotogrametria que permite através das fotografias aéreas obter uma nuvem de pontos (*croqui* 3D) ou uma ortofotografia (*croqui* 2D) num processo denominado de Fotogrametria. A Fotogrametria é definida pela *American Society for Photogrammetry and Remote Sensing* como *a arte usada para a recolha de informação métrica e interpretativa dos objetos, por meio da medição e interpretação de imagens recolhidas determinando com vista à classificação e determinação de posições e dimensões reais dos objetos nelas representadas*

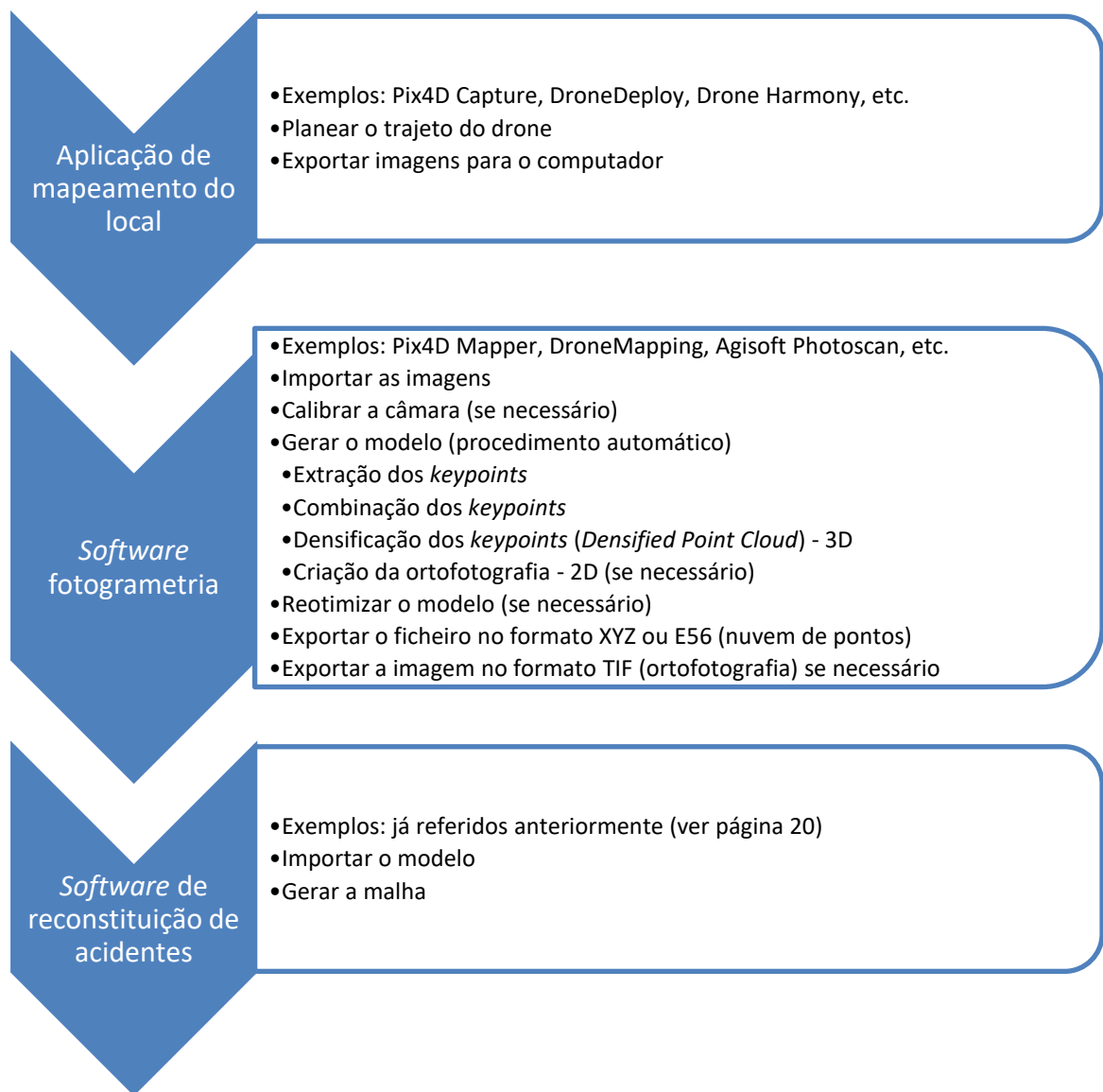


Figura 15 – Fluxograma.

De seguida, será resumido como funciona toda a metodologia. No *smartphone/tablet*, a aplicação de mapeamento permite definir não só o trajeto do drone com o modo como as fotografias são tiradas, nomeadamente o *overlap* das imagens, inclinação do estabilizador (*gimbal*) da câmara, altura de voo e velocidade do drone. A configuração do trajeto irá influenciar o GSD, um conceito extremamente importante na fotogrametria que será abordado adiante [10].

Seguidamente, as imagens são importadas para um *software* de fotogrametria que depois são alinhadas consoante as coordenadas de cada uma delas obtidas pelo GPS do *drone*. É importante antes do processamento das imagens verificar no *software* se os parâmetros da câmara estão calibrados uma vez que se os parâmetros internos (distância

focal, tamanho do sensor, resolução, ...) e externos (orientação do *gimbal* e coordenadas do GPS) da câmara estiverem errados, o modelo 3D fica impreciso [10].

Numa primeira fase, o *software* identifica pontos com características específicas em cada imagem, denominados *keypoints*, que depois são extraídos (extração de *keypoints*). Depois, caso duas imagens tenham os mesmos *keypoints*, ocorre a união dos mesmos (combinação dos *keypoints*). Caso seja necessário, é possível adicionar pontos de controlo ou GCP (*Ground Control Points*) para geolocalizar um ponto do modelo. Este conceito será abordado mais à frente [10].

Com este passo, pontos de ligação automáticos (*Automatic Tie Points*) são gerados sendo a base para a criação de mais pontos de ligação (densificação de pontos). O resultado final é uma nuvem de pontos densificada que depois é exportada para um *software* de reconstituição de acidentes sob o formato XYZ. Um ficheiro em formato XYZ é constituído por seis colunas: as três primeiras definem as coordenadas de cada um dos pontos segundo *x*, *y* e *z* respetivamente e as últimas três colunas definem a cor dos pontos em RGB (vermelho, verde e azul) [10].

Por fim, no *software* de reconstituição de acidentes, o ficheiro é então importado, e de seguida, é gerada uma malha sobre o mapa 3D que permitirá ao veículo circular sobre o ele [11].

A utilização da metodologia de aquisição de informação do local com o *drone* e da metodologia de elaboração do *croqui* por fotogrametria oferece grandes vantagens para o Perito. A primeira metodologia oferece a possibilidade de reduzir o tempo de presença no local. Por outro lado, não é necessário efetuar medições no local, e consequentemente, permite reduzir o número de Peritos no local e melhorar a segurança do Perito (o Perito ao efetuar medições na estrada pode estar sujeito a um acidente) [12].

Por outro lado, a segunda metodologia permite criar não só um *croqui* bidimensional como também um *croqui* tridimensional. Relativamente a um *croqui* convencional, o *croqui* 2D criado por esta metodologia apresenta um aspeto visual bem melhor. Já o *croqui* 3D permite reconstituir um acidente corretamente em locais inclinados algo que o *croqui* convencional não consegue devido à falta da terceira dimensão. Para além disto, o *croqui* 3D permite ao Perito justificar visualmente as suas afirmações, como por exemplo que o local em estudo apresenta visibilidade reduzida.

Outra vantagem do conjunto das duas metodologias consiste em minimizar a mão-de-obra do Perito necessitando apenas de definir os parâmetros de cada metodologia consoante os resultados que pretende obter [12]. Consequentemente, o erro humano (p.e. medições mal efetuadas, má leitura dos valores) e o tempo despendido a elaborar o *croqui* é minimizado. Se todos os passos forem seguidos corretamente, o erro máximo associado ao conjunto das duas metodologias pode ir até 2-3cm o que não é muito elevado [10].

Para demonstrar as potencialidades do drone, é necessário perceber todo o processo desde a aquisição de fotografias até à fotogrametria. No capítulo 4.1 são abordados os conceitos de imagem e fotogrametria. O capítulo 4.2. apresenta os algoritmos de fotogrametria. Por fim, embora desenquadrado do processo, o capítulo 4.3. fala sobre Legislação relacionada com o *drone*.

4.1. Conceitos de imagem e fotogrametria

Para saber definir todos os parâmetros das metodologias é preciso entender o que realmente eles são e quais as consequências nos resultados finais. Por isso, este subcapítulo visa apresentar conceitos de imagem e de fotogrametria extremamente importantes. O capítulo 4.1.1. aborda os conceitos de imagem enquanto o capítulo 4.1.2. aborda os fatores que influenciam a qualidade do *croqui*.

4.1.1. Conceitos de imagem

Quando se pretende fazer o mapeamento de um local ou de um objeto pretende-se que as imagens tenham qualidade. Para tal, é necessário entender alguns conceitos associados à imagem. Esses conceitos são:

- **Distância focal:** a distância focal é a distância que vai desde o sensor da câmara até ao ponto de convergência da luz (ponto focal) [13], como mostra a Figura 16.



Figura 16 - Distância Focal [13].

Quanto maior for a distância focal, menor será o ângulo de visão oferecendo maior aproximação do objeto a fotografar. Se o ângulo de visão diminui, então o campo de visão (FOV – *Field of View*) também diminui, o que significa que para a mesma resolução de câmara (mesmo número de pixels) quando menor for a área a fotografar menor será o GSD (*Ground Sample Distance*, na literatura inglesa) [14]. Este conceito será abordado adiante.

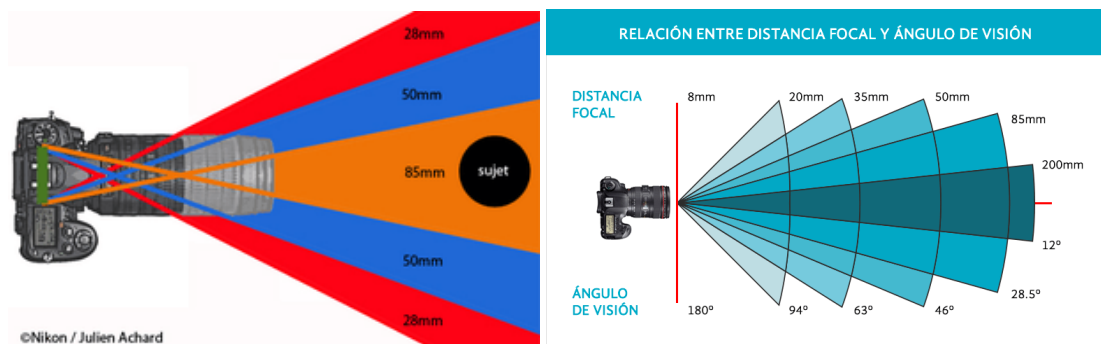


Figura 17 - Distância focal e campo de visão [14] [15].

- **Sensor e resolução:** o sensor da imagem é uma superfície que captura as imagens projetadas sobre ele. Já a resolução define o número de pixels existentes sobre a imagem. A relação entre estes dois conceitos é extremamente importante. Considerando a mesma resolução, quanto maior for o tamanho do sensor, maior é o tamanho do pixel no sensor. Para as mesmas dimensões do sensor, quando maior a resolução, menor é o tamanho do pixel no sensor. Para que a qualidade da imagem seja boa, pretende-se que o tamanho do pixel seja o mais baixo possível [16] [17].

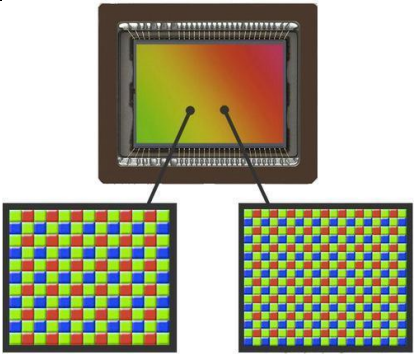
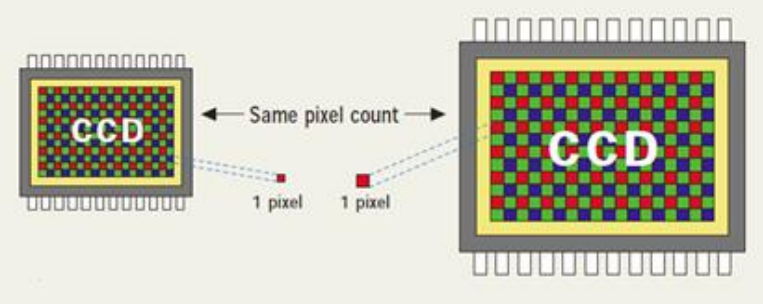
	O sensor da esquerda tem menor resolução (menos pixéis) do que o da direita.
	Para a mesma resolução, o tamanho do pixel é maior no sensor da direita do que no da esquerda.

Figura 18 – Relação entre sensor e resolução [18] [19].

- Abertura da lente:** a abertura da lente define a quantidade de luz que entra no sensor. Quanto maior for o número da abertura, menor será a quantidade de luz que entra no sensor e maior é a profundidade de campo (distância nítida maior) como mostra a Figura 19 [20].

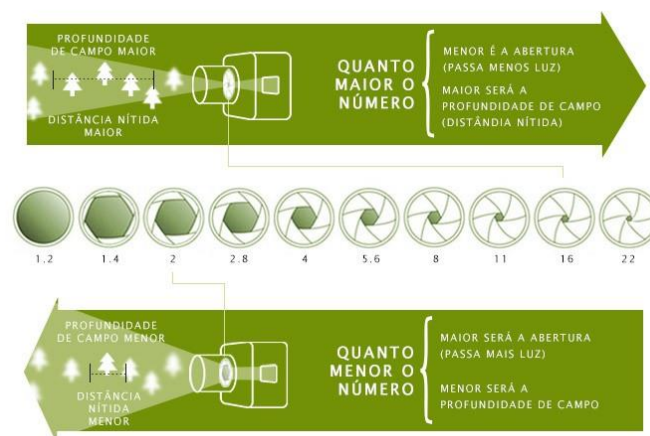


Figura 19 - Abertura da lente [20].

- **Sensibilidade ISO:** a sensibilidade ISO (ou sensibilidade fotográfica) define a sensibilidade do sensor à exposição da luz. Quando maior for o número ISO, maior é a sensibilidade do sensor à entrada de luz. No entanto, a imagem fica sujeita a maior ruído, como mostra a Figura 20 [21].



Figura 20 - Sensibilidade ISO [22].

- **Velocidade do obturador (ou tempo de exposição):** o obturador consiste numa “cortina” que permite ou não a passagem de luz para o sensor. Ou seja, a velocidade do obturador define o tempo durante o qual o sensor fica exposto à entrada de luz. O tempo de exposição do sensor vem em fração de segundos (p.e. 2000 = 1/2000 segundos). Ou seja, quanto menor for o número, maior será o tempo durante o qual o sensor fica exposto, logo entra mais luz. No entanto, quando há movimento (por parte da câmara ou do objeto a fotografar), a imagem fica com distorções como mostra a Figura 21 [22].

Velocidade elevada do obturador (exposição curta)	Velocidade baixa do obturador (exposição longa)
	

Figura 21 - Velocidade do obturador [22].

Existem dois tipos de obturadores: o obturador eletrônico e o obturador mecânico (existe também o obturador central, mas é menos vulgar hoje em dia). O funcionamento do obturador eletrônico consiste em ligar e desligar o sensor da imagem para controlar a exposição do sensor à luz enquanto que o do obturador mecânico consiste em cortina(s) ou lâmina(s) de metal localizada(s) à frente do sensor que abrem e fecham. As vantagens do obturador eletrônico face ao mecânico são o funcionamento silencioso uma vez que não há movimento de peças internas, e com isto, o efeito de vibração é reduzido e permite que a velocidade de disparo seja maior. A vantagem do obturador mecânico face ao eletrônico é a menor distorção da imagem [23].

Para explicar o porquê da distorção é preciso explicar o que é um sensor e como se obtém uma fotografia. Um sensor é constituído por um painel de células fotoelétricas onde cada célula corresponde a um pixel da imagem. Com o obturador eletrônico, o sensor é ligado e digitaliza linha a linha (processo denominado *rolling shutter* presente na maioria das câmaras). A informação obtida sendo linha a linha não é obtida no mesmo instante de tempo, e por isso, as imagens ficam distorcidas (efeito *rolling shutter*, Figura 22). A utilização do obturador mecânico em conjunto com o elétrico, denominado de obturador híbrido, permite reduzir esse efeito. O drone utilizado neste trabalho possui um obturador mecânico [24].



Figura 22 - Efeito Rolling Shutter [25].

- **Ground Sample Distance (GSD):** o GSD define a distância entre o centro de dois pixéis adjacentes medidos no chão (real), ou por outras palavras, a largura de um pixel no chão. Explicando com um recurso à Figura 23, se a fotografia aérea foi tirada para um GSD igual a 1cm/pixel, significa que o tamanho do pixel na fotografia é igual a 1cm na

vida real. Este parâmetro é extremamente importante no âmbito da fotogrametria uma vez que permite estimar qual o erro associado ao projeto [26].



Figura 23 - Relação entre tamanho do pixel e GSD [27].

O GSD normalmente é um valor pré-definido pelo utilizador que em conjunto com outros parâmetros da câmara, nomeadamente a resolução, o tamanho do sensor e a distância focal, permite calcular a altitude de voo do *drone*.

Uma imagem não é nada mais do que uma grelha de quadrados coloridos, mais conhecidos com pixéis, como mostra a Figura 24. Quando um objeto aparece à frente dessa grelha, é importante identifica-lo e mensurá-lo e só poderá ser feito com recurso aos quadrados. Neste caso, o comprimento da pá carregadora ocupa mais do que 1 quadrado, mas menos do que 2 quadrados, o que considerando o tamanho dos quadrados é um longo intervalo de valores. Portanto é necessário reduzir o tamanho dos quadrados se se pretende medir a largura da pá com precisão. Por outras palavras, quanto maior for a resolução da imagem (GSD baixo), maior será a precisão [26].

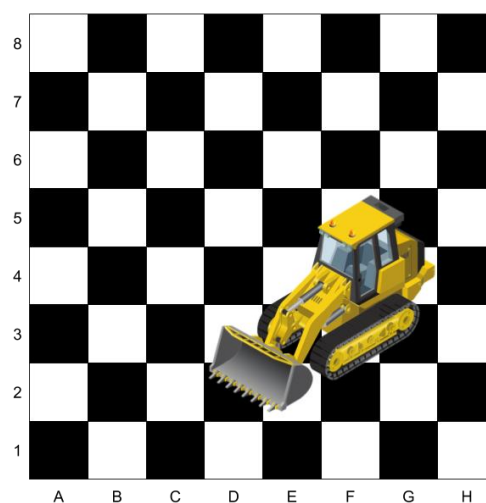
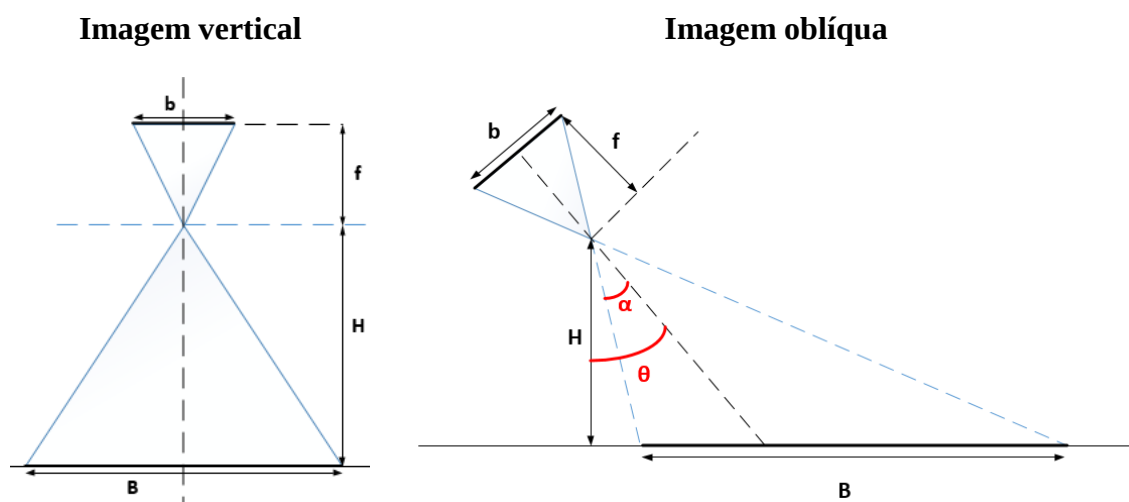


Figura 24 - Relação entre GSD e precisão [26].

É impossível ter um modelo mais preciso do que o valor do GSD. Segundo algumas fontes, se o modelo for usado para fazer medições, então o GSD deve ser no máximo igual a meia polegada (igual a 1,27 cm) [26].

O GSD é constante quando as imagens são *nadir*, ou por outras palavras, verticais, como mostra a imagem da esquerda da Figura 25. No entanto, quando se utilizam imagens oblíquas, exemplificada na imagem da direita da mesma figura, o GSD da imagem não é constante.



Onde,

b – largura do sensor

f – distância focal

H – altitude de voo do *drone*

B – largura da área fotografada

θ – ângulo de inclinação do *gimbal* do *drone*

Figura 25 - GSD imagem vertical e oblíqua.

A Figura 26 exemplifica bem esse problema. Considerando dois pixéis do mesmo tamanho na fotografia, por projeção, o GSD equivalente a cada pixel é diferente.

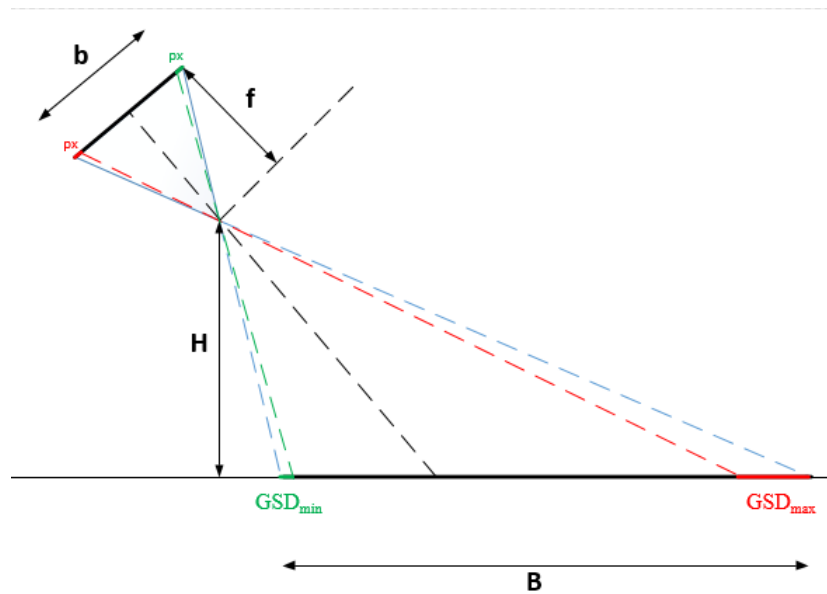


Figura 26 - GSD imagem oblíqua.

Por outro lado, e regressando à Figura 25, para a mesma altura H e para a mesma resolução de imagem, a inclinação da câmara faz com que a área fotografada seja maior, ou seja, o GSD médio é maior. Concluindo, apesar das imagens oblíquas permitirem a observação em perspectiva oblíqua do local contribuindo para melhor resultado em Z , o erro no plano normal (XY) é maior.

A afirmação feita em cima onde diz que o GSD é constante quando são utilizadas imagens nadir é válida apenas quando o local que se pretende mapear é totalmente plano. Analisando o local inclinado representado na figura abaixo, a diferença de altitude em A e B é diferente, e como tal, o GSD também será diferente. Por outro lado, o *overlap* de imagens será mais baixo em B do que em A. A solução para minimizar os erros provocados por esses dois fatores passa por sobrevoar o local a diferentes altitudes, como é demonstrado na Figura 27 [28].



Figura 27 - Estratégias de mapeamento usando imagens verticais [28].

4.1.2. Fatores que influenciam a qualidade do mapa/modelo 3D

Este tópico tem como objetivo apresentar parâmetros que influenciam a qualidade (precisão) de um mapa/modelo 3D. São eles:

- **Condições climáticas:** é preferível voar com o *drone* em dias ensolarados devido a presença de mais luz, principalmente quando o solo atinge o ponto mais alto (preferencialmente entre as 10 e as 14 horas), evitando assim a presença de sombras. Em dias nublados é possível contornar a falta de luz aumentando por exemplo a sensibilidade do sensor, mas como já foi referido, isso leva a que a imagem tenha maior ruído. É ainda mais importante evitar dias onde a luz é inconsistente para evitar o efeito que aparece na figura abaixo onde numa certa zona foram tiradas fotografias com o sol descoberto enquanto nas restantes zonas foram tiradas fotografias com o sol encoberto. Também se deve evitar dias com muito vento (acima de 10mph=16km/h) porque não só afeta a qualidade das imagens como afeta a autonomia do *drone* (implica fornecer mais energia aos motores para mantê-lo no mesmo sítio). Por fim, em dias de chuva a utilização do *drone* fica impossibilitada [27].

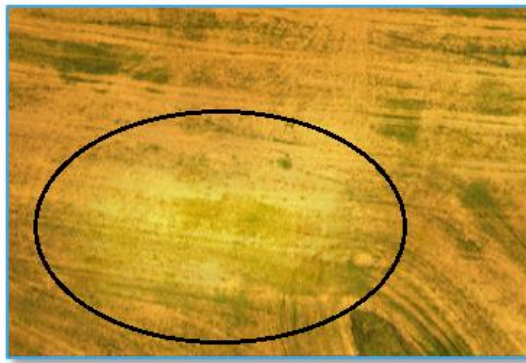


Figura 28 - Efeito das diferentes condições climáticas [27].

- **Câmara e altura de voo:** quando se fala em mapa/modelo 3D com boa resolução pensa-se em utilizar uma câmara com boa resolução. Mas só isso não chega. Como já foi referido, o GSD é bastante importante na precisão do modelo. Segundo algumas fontes, o erro do mapa/modelo pode ir até 3 GSD [27].

O GSD depende de 5 fatores: da resolução da câmara, do tamanho do sensor, da distância focal, da altura de voo e do ângulo de onde a fotografia foi tirada. Considerando o *drone* utilizado, não é possível mexer nem no tamanho do sensor nem na distância focal. Logo, o ponto mais importante é a altura de voo. Considerando as características do drone utilizado (ver página 60):

- Formato de imagem 16:9 -> Resolução: 5472x3078 pixéis
- Tamanho do sensor: 13,2x8,8 mm
 - Largura do pixel (μ): 2,41 μm
- Distância focal (f): 8,8 mm
- GSD: 1 cm/pixel

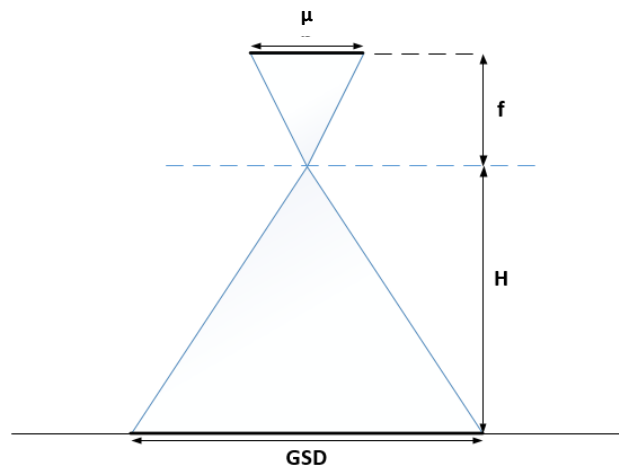


Figura 29 - GSD e altitude de voo.

Pela figura acima, a relação entre todos estes parâmetros é dada por:

$$\frac{H}{f} = \frac{GSD}{\mu} \quad (10)$$

Colocando a altitude de voo (H) isolada obtêm-se que:

$$H = \frac{GSD * f}{\mu} = \frac{1 * 10^{-2} * 8,8 * 10^{-3}}{2,41 * 10^{-6}} = 36,5 \text{ m}$$

Ou seja, para garantir GSD igual a 1 cm é preciso sobrevoar a 36,5 metros de altitude para aquele *drone*.

O quinto fator que influência o GSD é o ângulo. Como foi visto no subcapítulo anterior, GSD é constante nas imagens verticais, mas não nas imagens oblíquas. Por outro lado, calculando a média do GSD este aumenta com o ângulo. Observando a Figura 26 da página 33, verifica-se que para a mesma distância focal (f), mesmo comprimento do sensor (b) e mesma altura (H), a distância fotografada (B) aumenta com o ângulo da câmara. Ou seja, para o mesmo número de pixels de uma imagem, o GSD é maior.

Os cálculos efetuados não são estritamente necessários uma vez que a aplicação que programa o trajeto do *drone* no *smartphone* apresenta o GSD obtido para as configurações associadas a esse trajeto. Também alguns *softwares* de fotogrametria apresentam o GSD associado ao projeto.

- **Overlap das imagens:** o *overlap* é um parâmetro que vem em percentagem e que define qual a sobreposição de uma imagem em relação à imagem anterior. Como foi referido anteriormente relativamente ao processo de obtenção do mapa/modelo 3D, um dos passos é a combinação de *keypoints*. Quanto maior for o *overlap*, haverá mais *keypoints* para combinar, e, portanto, a precisão do modelo será maior. A figura abaixo exemplifica a área de sobreposição obtida para *overlaps* diferentes [27].

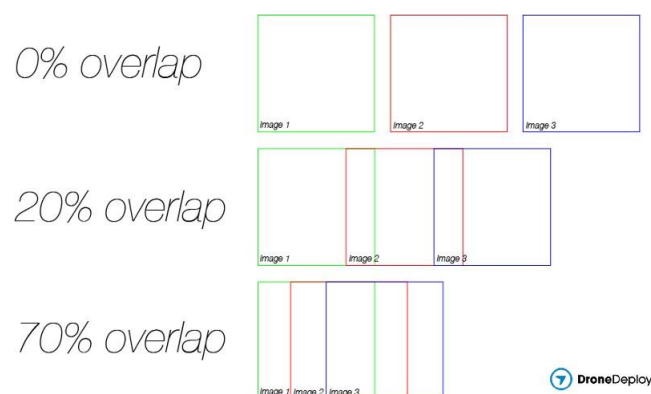


Figura 30 - Overlap de imagens [27].

- **Velocidade de voo e obturador mecânico:** quanto menor for a velocidade de voo em conjunto com maior velocidade do obturador, melhor será a qualidade da imagem evitando que a fotografia fique desfocada ou com o efeito “*rolling shutter*”, como já foi abordado na página 30. No contexto de fotogrametria, aconselha-se que a distância percorrida durante a obtenção de uma fotografia seja inferior a 1/3 do GSD [26]. A utilização do obturador mecânico também ajuda a minimizar esse efeito.
- **Precisão do GPS:** quando se fala em precisão do mapa/modelo 3d na utilização de um *drone* fala-se em dois tipos de precisão: **precisão relativa ou local** quando a distância entre dois pontos no mapa/modelo 3D é igual á distância real e **precisão absoluta ou global** quando a posição de um ponto no modelo 3D é igual à posição no mundo real. A passagem de um modelo com precisão relativa para um modelo com precisão absoluta passa pela utilização de um GPS com posicionamento em tempo real denominado RTK (*Real Time Kinematic*). No entanto, um *drone* com este sistema de GPS é bastante caro. A outra solução passa pela utilização de pontos de controlo denominados de *Ground Control Points* (GCP). Estes pontos são marcados ou colocados no chão estrategicamente (boa distribuição) e depois as suas coordenadas são medidas com recurso a um recetor GPS com sistema RTK ou PPK (*Post Processing Kinematic*). Estes pontos de controlo podem ser usados para escalar o modelo 3D medindo a distância entre eles quando se pretende apenas precisão relativa [27].

Observando todos os fatores influenciadores, no geral todos eles implicam que o *drone* esteja mais tempo no ar:

- Maior *overlap* implica uma velocidade de voo mais baixa para evitar/minimizar o efeito “*rolling shutter*”, logo, o *drone* fica mais tempo no ar;
- Sobrevoar a baixa altitude implica uma distância a percorrer pelo *drone* maior (a baixa altitude a área fotografada é menor do que a alta altitude);
- Quanto maior a velocidade do vento, maior será a energia consumida.

Como tal, é importante definir todos os parâmetros procurando garantir a precisão do mapa/modelo 3D, mas sem exceder a autonomia do *drone*. No entanto, também é possível através da aplicação do *smartphone* interromper o percurso do drone para mudar a bateria, caso o portador do drone tenha mais do que uma bateria consigo.

4.2. Algoritmo de Fotogrametria Aérea - SfM

O presente capítulo tem como objetivo resumir todo o procedimento que é feito desde as fotografias aéreas tiradas até chegar à nuvem de pontos densificada ao qual se dá o nome de SfM (*Structure from Motion*).

A técnica SfM consiste em projetar a informação contida nas imagens para o cenário 3D com recurso à localização e orientação da câmara convencionalmente conhecidos como Parâmetros de Orientação Externa ou Exterior (POE) e ao modelo da câmara ou Parâmetros de Orientação Interna ou Interior (POI). Por norma, este processo é automatizado, mas quando existe falta de informação relativamente à localização da câmara ou quando as fotografias tiradas são de má qualidade ou têm pouca sobreposição, necessita em certas fases de intervenção humana. A figura abaixo mostra todos os passos/algoritmos desta técnica bem como os seus objetivos.

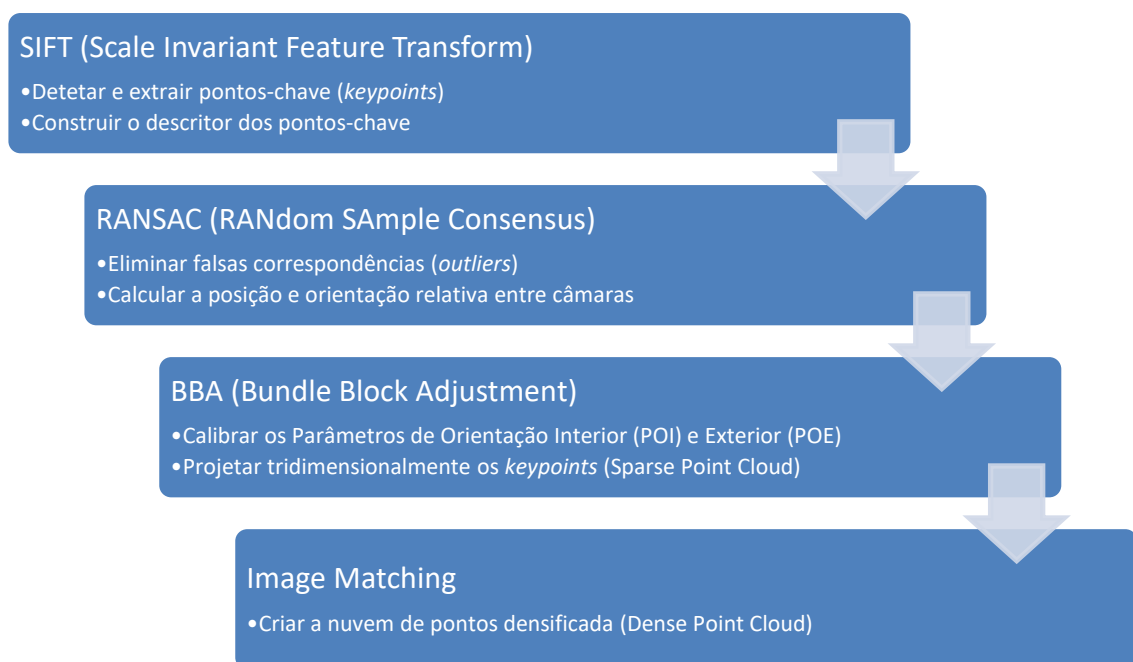


Figura 31 - Algoritmo SfM.

Para além desta técnica foi também abordado todo o processo para criação de ortofotografias. Os próximos subcapítulos abordam sucintamente cada um dos passos acima referidos.

4.2.1. Scale Invariant Feature Transform (SIFT)

SIFT (*Scale Invariant Feature Transform*) é uma técnica usada no processamento de imagens na qual é possível detetar e extrair os descritores locais caracterizados pela sua invariância à mudança de iluminação, de ruído de imagem, de rotação e de mudança de escala. Os descritores são vetores de características de uma imagem ou de determinadas regiões de uma imagem e podem ser usados para comparar regiões em imagens diferentes.

Esta técnica divide-se em 4 passos, sendo o primeiro a deteção de extremos (máximos e mínimos). Numa primeira fase, as imagens são afetadas por um filtro Gaussiano G em escala σ , sendo o resultado final L (imagem suavizada) dada pela convolução do filtro com a imagem original (I).

Seguidamente é feita a diferença de gaussiana (DoG) que consiste na diferença das imagens filtradas em escalas próximas (σ e $k\sigma$) separadas uma contante k pré-definida. Este passo tem como objetivo eliminar ruídos e detalhes indesejados e realçar características fortes. Estas características são detetadas através da variação de intensidade na imagem como por exemplo contornos.

Depois do processamento da primeira oitava, é feita o processamento da segunda oitava, onde as imagens desta oitava são redimensionadas para metade do tamanho das imagens da oitava anterior. O número de oitavas varia conforme o desejado.

Após o processamento de todas as oitavas, é feita a deteção e extração dos pontos extremos. Através das DoG's, cada pixel é comparado com os seus vizinhos na própria imagem (8 pixéis) e nas DoG's adjacentes (9 pixéis para cada imagem adjacente). Caso esse ponto seja identificado como mínimo ou máximo local, este é extraído. Este processo é feito para cada oitava. Os pontos extraídos formam um conjunto de pontos candidatos a serem *keypoints* (pontos-chave ou pontos de interesse) [29].

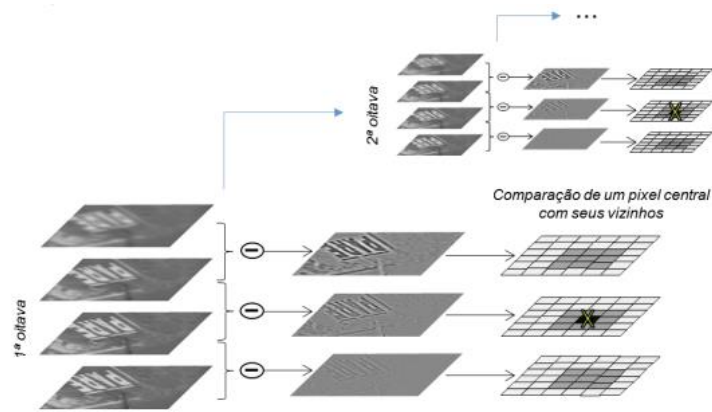


Figura 32 - Detecção de pontos candidatos a pontos-chave [29]

O segundo passo consiste na localização dos pontos chave. Este passo tem como objetivo eliminar pontos extraídos no passo anterior com baixo contraste ou mal localizados, como por exemplo nas arestas.

Inicialmente, uma função quadrática 3D é ajustada a um ponto candidato de modo a calcular o máximo local. Para tal é usado uma série de Taylor da função DoG.

Como a função DoG tem resposta forte ao longo das bordas, isto gera instabilidade nos pontos-chave porque são sensíveis a ruídos e, portanto, devem ser eliminados. Um extremo mal determinado na DoG caracteriza-se por ter uma grande curvatura de um lado da borda e uma pequena curvatura na direção perpendicular.

O terceiro passo consiste na atribuição da orientação dos pontos-chave, que depois será utilizada para construir descritores invariantes quanto à rotação. Essa invariância é obtida através das características locais da imagem.

Em cada ponto-chave da imagem são calculados os seus gradientes que são obtidos através do cálculo da magnitude e da orientação local. O Gradiente de um ponto, que será abordado no capítulo 4.2.4, consiste na diferença de valores de intensidade máxima entre esse ponto e os seus vizinhos. Depois, é feito um histograma de orientação com os pixels em torno do ponto chave, como mostra a Figura 33 [29].

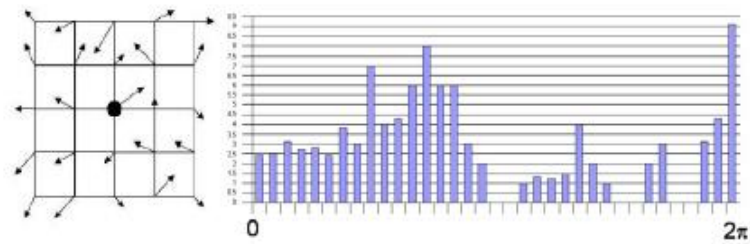


Figura 33 - Gradientes dos pontos vizinhos e histograma de orientação [29].

Os picos no histograma de orientação definem as direções dominantes. Deste modo, o intervalo com maior pico no histograma e todos os intervalos com estiverem acima de 80% do valor do maior pico são usados para definir a orientação de cada ponto chave. Portanto, um mesmo ponto chave poderá ter mais do que uma orientação associada tornando-o mais estável para uma futura identificação.

O quarto e último passo consiste na construção do descritor do ponto chave com base na localização dos pontos vizinhos ao ponto chave, na orientação e na magnitude dos gradientes destes pontos [29].

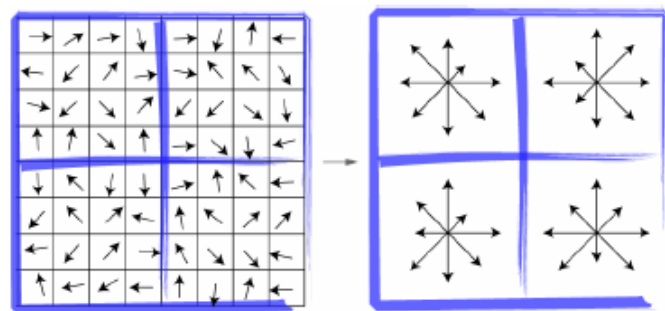


Figura 34 - Descritor de um ponto chave [29].

Para cada imagem, são construídos diversos descritores consoante o número de pontos-chave determinados. Seguidamente estes descritores serão comparados com descritores de outras imagens para verificar se existe correspondência entre eles.

4.2.2. Random Sample Consensus (RANSAC)

Após a identificação e extração dos *keypoints* e seus descritores, os *keypoints* com descritores semelhantes são combinados. No entanto existe a probabilidade de haver falsas correspondências, denominadas de *outliers*, e, portanto, é necessário eliminá-las. O algoritmo mais usado é o RANSAC (*RAN*dom *SAM*ple *CON*sensus).

RANSAC é um algoritmo de estimação robusto projetado para extração de pontos de dados que se ajustam com um determinado modelo desejado dentro de uma certa tolerância de erro de um conjunto de dados de entrada.

Explicando o algoritmo de uma forma simplificada, observando as duas imagens obtidas uma a seguir à outra onde apenas existe translação visíveis na Figura 35, considere que foram detetados e correspondidos "*n*" *keypoints*. Considerando a correspondência A como verdadeira, verifica-se que todas as outras correspondências, exceto a correspondência B, apresentam a mesma orientação, e, portanto, estão em consenso com este modelo (são *inliers*). Já a correspondência B é um *outlier* para aquele modelo. Por outro lado, considerando a correspondência B como verdadeira, nenhuma das outras correspondências estão em concordância com este modelo, logo não existem *inliers*, o que leva a concluir que possivelmente B é uma falsa correspondência [30].

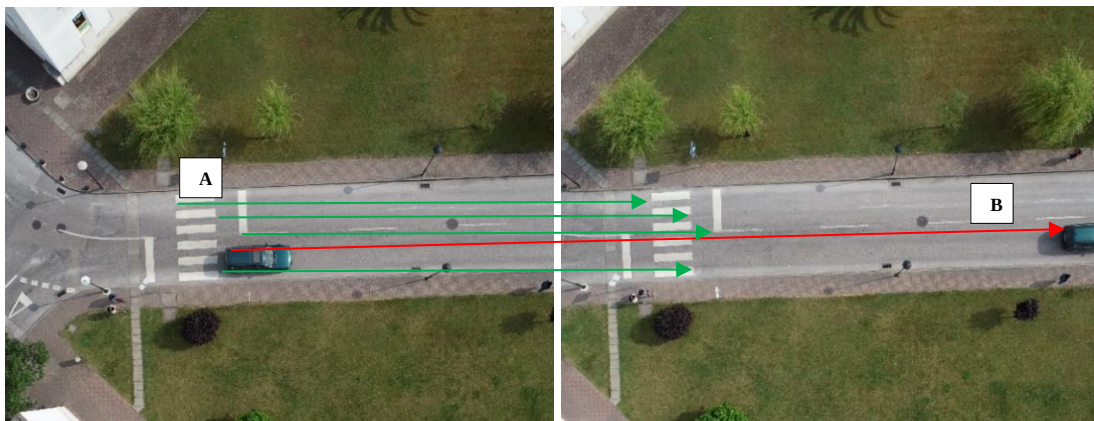


Figura 35 - Correspondência entre keypoints de duas imagens.

De forma generalizada,

- Para um conjunto de pontos "*S*" são selecionados aleatoriamente um número mínimo de pontos "*s*" requeridos que são considerados *inliers* (para este

modelo). Esses s pontos definirão qual a posição e orientação relativa de uma câmara para a outra, denominada de matriz fundamental;

- Todos os *keypoints* são transferidos de uma imagem para a outra pela matriz fundamental, e depois, são verificados se os *keypoints* correspondidos das duas imagens coincidem um ou outro ou se estão dentro de um limiar de distância t . Em caso afirmativo, esses *keypoints* vão entrar no conjunto de pontos " S_i " que são consistentes com este modelo (*inliers*)
- Se o tamanho de " S_i " for maior do que " T " (número de *inliers* pretendido), os parâmetros modelo são re-estimados usando todos os *inliers* identificados (S_i) e termina;
- Caso contrário, um novo conjunto é selecionado e repete os passos anteriores;
- Após n tentativas, o conjunto " S_i " com maior número de *inliers* é selecionado e o modelo é re-estimado usando todos os pontos no conjunto " S_i ".

O número de iterações " n " é calculado consoante a probabilidade " p " em que pelo menos uma das amostras aleatórias do conjunto de s pontos não contenha um *outlier* após execução do algoritmo (por norma, $p = 0,99 = 99\%$) e pela probabilidade de um dos pontos do conjunto ser um *outlier* " ε " (antes do algoritmo) [30] [31].

$$n = \frac{\log(1 - p)}{\log(1 - (1 - \varepsilon)^s)} \quad (11)$$

Este algoritmo também é importante quando não se sabe nada acerca das posições das câmaras (o que não é caso) uma vez que permite estimar a posição e orientação de uma câmara relativamente à outra [30].

4.2.3. Bundle Block Adjustment (BBA)

Depois de identificados e extraídos os *keypoints* e seus descritores em cada uma das imagens é feita a correspondência obedecendo ao princípio de colinearidade, ou seja, a projeção do ponto $p(x, y)$ no cenário 3D como $P(X, Y, Z)$ é feita ao traçar uma linha denominada de *ray bundle* desde o centro da câmara $S(X_S, Y_S, Z_S)$ até ao ponto P intercetando o ponto p como mostra a Figura 36 [32].

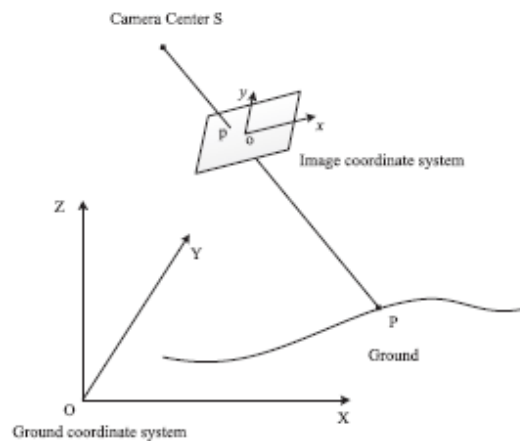


Figura 36 - Princípio da colinearidade [32].

No entanto, uma só linha não permite identificar o ponto p da imagem no mundo real, e como tal, uma segunda imagem é necessária para poder calcular o ponto P como mostra a Figura 37. Idealmente, e como mostra a mesma figura, as duas linhas se interceptam no ponto P respeitando não só o princípio de colinearidade como também o princípio de coplanaridade, ou seja, as duas linhas juntamente com a linha formada entre as posições das duas câmaras (S_1 e S_2) formariam um plano [32].

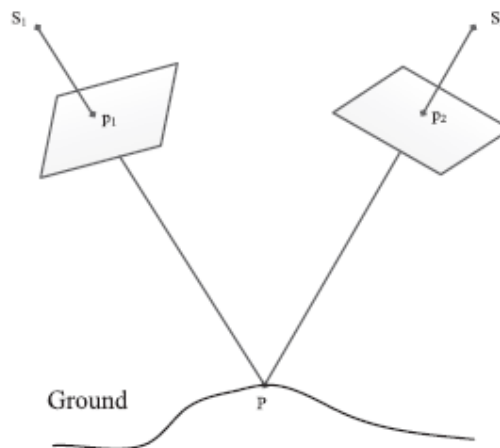


Figura 37 - Princípio da coplanaridade [32].

No entanto, devido às distorções presentes nas imagens (distorções radiais e tangenciais, distorções associadas ao *Rolling Shutter Effect*) as duas linhas não se intersectam, não respeitando deste modo o segundo princípio.

Como tal, é aplicado o método dos mínimos quadrados (LQM – *Least Square Method*) com o objetivo de estimar o ponto P com menor erro possível. A técnica que aplica o LQM na fotogrametria bem como o princípio de colinearidade é denominada de *Bundle Block Adjustment* (BBA).

A técnica *Bundle Block Adjustment*, ou simplesmente *Bundle Adjustment* é uma técnica que permite por um lado calibrar os Parâmetros de Orientação Interna (POI) e Externa (POE), e por outro lado, combinar pontos-chave previamente correspondidos por triangulação.

Cada câmara tem 11 parâmetros, 6 parâmetros de orientação externa (POE) e 5 parâmetros de orientação interna (POI). Os POE's são a localização geográfica da câmara $S(X_S, Y_S, Z_S)$ e a sua orientação $R(\omega, \phi, \kappa)$ definida pelos ângulos *roll*, *pitch* e *yaw* respetivamente, enquanto que os POI's são a distância focal (f), as coordenadas do *principal point* (x_0, y_0) que consiste no ponto onde toda a luz se concentra e os coeficientes de distorção não lineares (k_1, k_2), (e.g., distorção radial) [32].

Observando a Figura 36 da página 44 e aplicando o princípio da colinearidade, a relação entre estes conceitos, as coordenadas do ponto na imagem $p(x, y)$ e no chão $P(X, Y, Z)$ é dada por [33]:

$$F = x_0 - f \frac{m_{11}(X - X_S) + m_{12}(Y - Y_S) + m_{13}(Z - Z_S)}{m_{31}(X - X_S) + m_{32}(Y - Y_S) + m_{33}(Z - Z_S)} = x \quad (12a)$$

$$G = y_0 - f \frac{m_{21}(X - X_S) + m_{22}(Y - Y_S) + m_{23}(Z - Z_S)}{m_{31}(X - X_S) + m_{32}(Y - Y_S) + m_{33}(Z - Z_S)} = y \quad (12b)$$

Sendo m_{ij} ($1 \leq i, j \leq 3$) elementos da matriz de rotação R que define a orientação da câmara.

Na fotogrametria aérea, é possível saber as coordenadas de onde foram obtidas as fotografias (pelo GPS do *drone*) e a orientação da câmara, então, os POE's deixam de ser totalmente incógnitas. É possível estimar os POI's que muitas das vezes não são iguais às especificações da marca do *drone*/câmara isto devido às condições de voo que afetam a câmara (e.g. altitude de voo, temperatura, vibrações, ...). No entanto, no software estes valores não são dados como reais, mas sim como parâmetros de entrada, e, portanto, estes

parâmetros vão ser otimizados num processo denominado de auto-calibração (*self-calibration*) [32].

Regressando à equação (12), verifica-se que as duas equações são equações não lineares. Para calcular as incógnitas é aplicado o método Gauss-Newton que por sua vez utiliza a Série de Taylor de 1ª ordem que lineariza as funções. Para aplicar este método é necessário entrar com valores iniciais das incógnitas ($x_0^1, x_0^2, \dots, x_0^n$).

$$F(x^1, x^2, \dots, x^n) \approx F_0(x_0^1, x_0^2, \dots, x_0^n) + \sum_{i=1}^n \frac{\partial F}{\partial x^i}(x_0^1, x_0^2, \dots, x_0^n) * \Delta x^i = x \quad (13a)$$

$$G(x^1, x^2, \dots, x^n) \approx G_0(x_0^1, x_0^2, \dots, x_0^n) + \sum_{i=1}^n \frac{\partial G}{\partial x^i}(x_0^1, x_0^2, \dots, x_0^n) * \Delta x^i = y \quad (13b)$$

Sendo n o número de incógnitas, Δx^i é a variação da incógnita x^i (é o “erro” associado aos valores inicialmente assumidos).

Matricialmente, assumindo que $x = F_M$ e $y = G_M$, a equação [23] é dada por [32]:

$$\begin{bmatrix} \frac{\partial F}{\partial x^1}(x_0^1) & \frac{\partial F}{\partial x^2}(x_0^2) & \dots & \frac{\partial F}{\partial x^n}(x_0^n) \\ \frac{\partial G}{\partial x^1}(x_0^1) & \frac{\partial G}{\partial x^2}(x_0^2) & \dots & \frac{\partial G}{\partial x^n}(x_0^n) \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \Delta x^1 \\ \Delta x^2 \\ \vdots \\ \Delta x^n \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} F_M - F_0 \\ G_M - G_0 \end{Bmatrix} \quad (14)$$

De modo mais simplificado e aplicado neste contexto, o sistema de equações normais é dado por:

$$A^T \Sigma_i^{-1} A u = A^T \Sigma_i^{-1} b \quad (15)$$

Onde A é a matriz das derivadas de primeira ordem das equações F e G em relação às incógnitas, também denominada de matriz Jacobiana; Σ_i é a matriz de covariância que define a incerteza relativa às observações e é resultado do produto entre o ruído σ_n^2 , que está associado à medição do ponto, pela matriz identidade I ; u é o vetor das incógnitas; b é o vetor da diferença entre os valores observados (F_M e G_M) e os medidos (F_0 e G_0). O objetivo consiste em chegar aos valores da matriz u que consequentemente atualizam os valores das incógnitas assumidos, ou seja [32]:

$$x_1^i = x_0^i + \Delta x^i \quad (16)$$

Resumindo, trata-se de um processo iterativo (por se tratarem de equações não lineares) no qual pretende-se que os parâmetros convirjam ($\Delta x^i \approx 0$). No entanto, nem sempre este método funciona podendo o método não convergir ou então convergir para valores errados. Como tal, é aplicado o modelo de *Levenberg-Marquardt* que consiste num modelo de otimização que procura convergir os valores da incógnita de modo correto e rápido aplicando um termo de amortecimento λD [33]:

$$(A^T A + \lambda D)u = A^T b \quad (17)$$

Onde a matriz D é geralmente a matriz de identidade, λ é o fator de amortecimento que varia entre 0 e 1. Em cada iteração, este fator altera consoante os resultados das iterações anteriores para que os saltos sejam adequados [33].

Como num problema deste género o número de incógnitas é muito elevado (maior do que 1 milhão), o sistema matricial fica extremamente largo o que leva a um esforço computacional maior. No entanto, a sua estrutura é muito dispersa (menos de 1% dos elementos são não nulos), e, portanto, é possível resolvê-la eficientemente. O procedimento mais comum consiste em utilizar o complemento de Schur.

A matriz *Jacobiana* pode ser dividida em duas partes: a parte da câmara e a parte dos pontos 3D. Isso faz com que as incógnitas da câmara sejam obtidas primeiramente, e só depois são calculados os pontos 3D. Todo este processo é abordado por *M.Zheng et al* [32].

Após o cálculo de todas as incógnitas, é calculado o erro associado a cada ponto 3D. Devido ao ruído das imagens, as n observações não se interseam num ponto. Numa primeira fase, os pontos 3D $X(X, Y, Z)$ são reprojitados para as imagens da seguinte forma [34]:

$$m_i = P_i X \quad (18)$$

Onde $m_i(\tilde{x}_i, \tilde{y}_i)$ corresponde às coordenadas do ponto projetado na imagem i e P_i é a matriz que contém os POI's e POE's da imagem i . A diferença entre o ponto 2D medido e projetado constitui o erro de projeção, sendo essa diferença ponderada pela matriz de covariância Σ_i que define a incerteza relativa às observações e é resultado do produto entre

o ruído σ_n^2 , que está associado à medição do ponto, pela matriz identidade I . O erro de projeção é dado por [34]:

$$e = \sum_i^n (m_i - x_i)^T \Sigma_i^{-1} (m_i - x_i) \quad (19)$$

Sendo n o número de observações do ponto X ou por outras palavras o número de imagens onde o ponto aparece representado.

O erro teórico do ponto 3D é dado por [34];

$$S_{teorico} = \frac{e^T e}{n - m} \text{tr}((A^T A)^{-1}) \quad (20)$$

Onde $n - m$ é a redundância do ponto 3D (n é o número de imagens onde o ponto aparece e m é o número de imagens no qual o ponto foi detetado). Resumindo, quanto maior for matriz covariância de uma imagem (representado com elipse vermelha na imagem da esquerda da Figura 38), maior será erro e quanto maior for m , menor será o erro teórico do ponto 3D, como mostram as outras imagens da Figura 38. Ou seja, quanto maior for o *overlap* de imagens, menor será o erro [34].

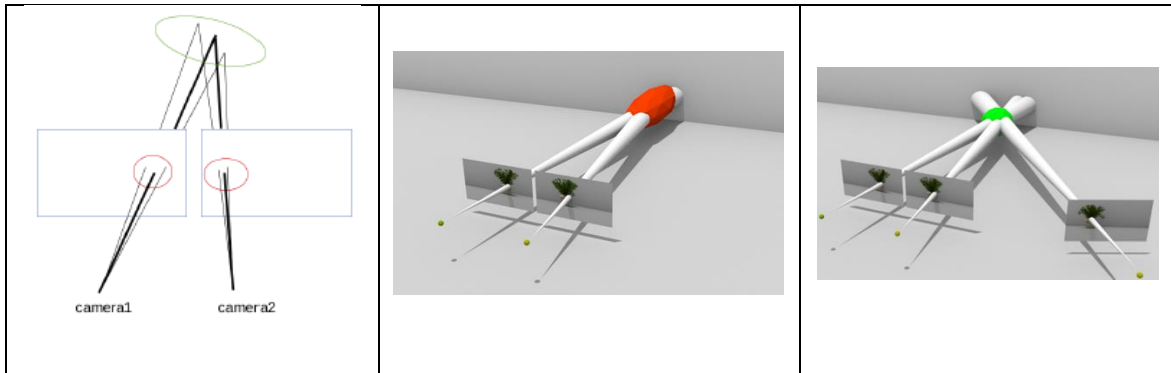


Figura 38 - Influência do ruído e número de pontos no erro teórico [34] [35].

4.2.4. Image matching

A técnica *Image matching* consiste em aplicar o método dos mínimos quadrados de modo a alinhar o *image window* (janela da imagem constituída por $n \times n$ píxeis onde n é

muito inferior ao número de pixels de uma imagem) obtido de uma imagem com a outra imagem, como mostra a Figura 39.

Considerando a janela obtida da imagem 1 (esquerda) e a imagem 2 (direita) para uma situação em que entre a da imagem 1 para a imagem 2 houve apenas translação (não considera, portanto, rotação e diferença de luminosidade), o objetivo passa por calcular o offset (u,v) entre a janela e a imagem na qual se maximiza a similaridade entre os valores de intensidade dos pixels [36]:

$$[u, v] \Rightarrow \sum_m (f(m) - g(m))^2 \rightarrow \min \quad (21)$$

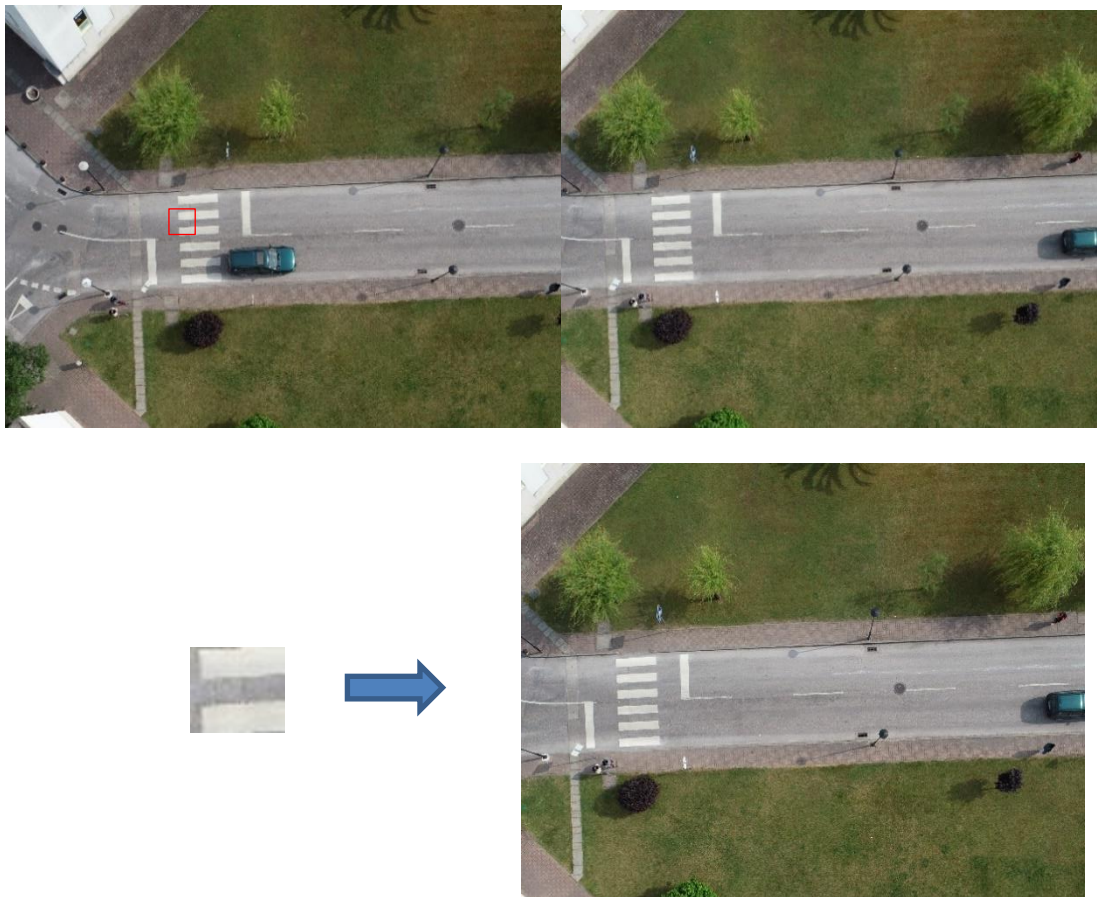


Figura 39 - Princípio do algoritmo Image Matching.

Sendo m é o número de pixels que fazem parte do janela, f é a função de valores de intensidade da imagem 2 e g é a função de valores de intensidade da janela. Ambas as funções são não lineares.

Existem várias maneiras de fazer essa correspondência. O método que melhor funciona é o método dos mínimos quadrados (com recurso ao método Gauss-Newton para linearizar as funções) já explicado no capítulo sobre *Bundle Adjustment*. Recapitulando o que já foi abordado anteriormente, o sistema de equações normal é dado por [36]:

$$A^T \Sigma_i^{-1} A u = A^T \Sigma_i^{-1} b \quad (22)$$

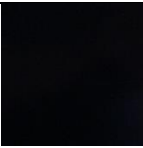
Onde A é a matriz das derivadas de primeira ordem das equações f em relação às incógnitas (u e v) para m pixéis, também denominada de matriz Jacobiana; Σ_i é a matriz de covariância, u é o vetor das incógnitas (Δu e Δv); b é o vetor da diferença entre os o valor de intensidade dos pixéis na imagem (f_m) e no janela (g_m). Tal como no *Bundle Adjustment*, são definidos valores iniciais de u e v que depois são atualizados consoante o valor das incógnitas Δu e Δv até que os valores das incógnitas sejam minimizados [36]:

$$u_1 = u_0 + \Delta u \quad (23a)$$

$$v_1 = v_0 + \Delta v \quad (23b)$$

A derivada parcial de f em ordem a x e y define o gradiente de uma imagem $\nabla f = \left(\frac{\partial f}{\partial x}, \frac{\partial f}{\partial y} \right) = (f_{x,m}, f_{y,m})$. Observando a Tabela 1, considerando uma imagem totalmente preta, a função f que define os valores de intensidade dos pixéis é constante tanto em x como em y , logo, as derivadas parciais são iguais a 0. Considerando agora uma imagem onde existem transição de preto para branco em x , a derivada parcial em x deixa de ser 0. Se se considerar que a função f varia tanto em x como em y , ambas as derivadas parciais são não nulas [36]. Ou seja, no contexto de imagem, o gradiente é um vetor que indica a direção e sentido na qual existe maior incremento do valor de intensidade (o preto corresponde a 0,0,0 em RGB; o branco corresponde a 255,255,255 em RGB) [36].

Tabela 1 - Gradiente de uma imagem.

	$\nabla f = (0,0)$
	$\nabla f = \left(\frac{\partial f}{\partial x}, 0\right)$
	$\nabla f = \left(0, \frac{\partial f}{\partial y}\right)$
	$\nabla f = \left(\frac{\partial f}{\partial x}, \frac{\partial f}{\partial y}\right)$

A incerteza associada ao deslocamento da janela ao longo da imagem é dado por:

$$\Sigma_{\hat{x}\hat{x}} = \frac{\sigma_n^2}{M} \Sigma_{\nabla f \nabla f}^{-1} \quad (24)$$

Ou seja, a janela alinha com maior precisão com a imagem [36]:

- Quanto maior for o número M de pixels usados (tamanho da janela)
- Quanto menor for a Variância do ruído σ_n^2
- Quanto maior for a matriz de covariância dos gradientes $\Sigma_{\nabla f \nabla f}$

Depois dos pontos serem correspondidos, o ponto 3D é calculado da mesma forma da técnica BBA, ou seja, por triangulação. O número de pontos da nuvem densificada depende dos parâmetros definidos pelo utilizador, algo que será visto no capítulo 5.1.2.2.

Apesar da exemplificação desta técnica ter sido feito considerando apenas translação, também é válido para as situações de rotação e diferença de luminosidade.

4.2.5. Ortofotografia

A ortofotografia ou ortofoto é uma representação fotográfica na qual um conjunto de imagens aéreas foram corrigidas digitalmente para representar uma projeção ortogonal sem efeitos de perspectiva (como tal, deve-se utilizar imagens verticais ao invés das oblíquas) e onde todos os elementos estão à mesma escala permitindo deste modo efetuar medições exatas. Este procedimento é denominado é ortoretificação [37].

Uma imagem aérea simples por si só não pode ser uma fonte de medição uma vez que apresenta deformação causadas pela altitude (Figura 40) pela perspectiva da câmara e pela velocidade com que a câmara se move.

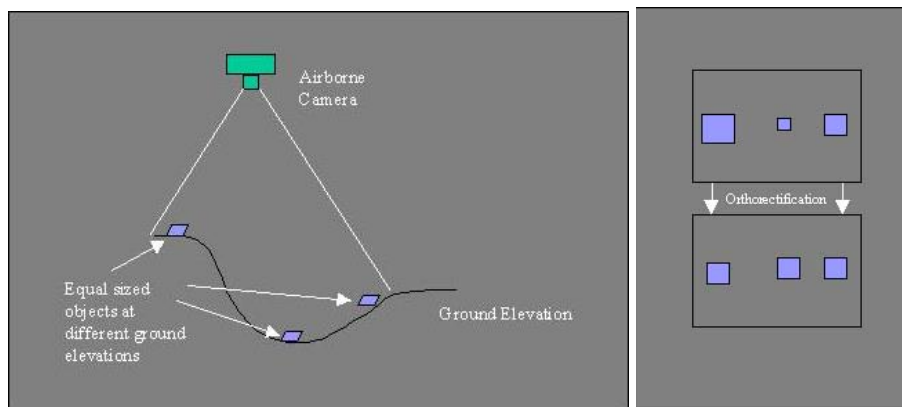


Figura 40 – Ortoretificação [38].

De um modo simplificado, a ortofotografia é resultado da projeção dos pixéis das fotografias aéreas tiradas para o modelo de elevação digital ou DEM (*Digital Elevation Model*) que depois são projetados para a ortofotografia. Existem dois modelos de elevação digital, sendo o mais usado o DSM (*Digital Surface Model*) em detrimento do DTM (*Digital Terrain Model*). A diferença entre um e o outro, que pode ser vista na Figura 41, é que o DSM tem em conta a presença de edifícios, vegetação e outros elementos ao contrário do DTM que apenas considera o terreno, o que pode levar a ortofotografias com erros [39].

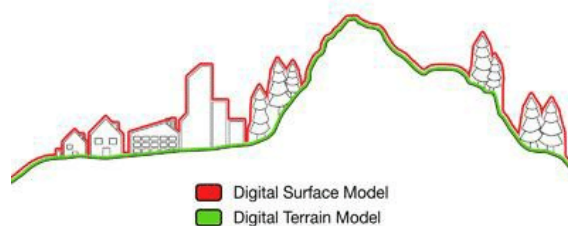


Figura 41 – Diferença entre DSM e DTM [40].

Como as fotografias aéreas são utilizadas, são também necessários os Parâmetros de Orientação Interna (POI) e Externa (POE) previamente calculados durante o BBA.

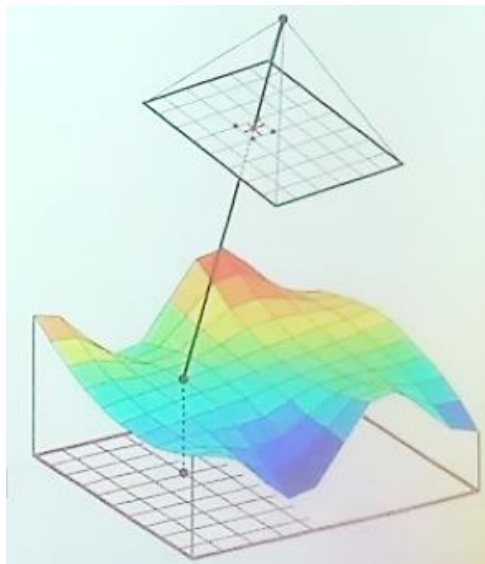


Figura 42 - Processo de ortorectificação [39].

Na realidade, o processo de ortorectificação tem o sentido inverso do referido anteriormente. Numa primeira fase é definido o GSD (resolução) da ortofotografia, que por norma é igual ao GSD associado ao projeto. De seguida, cada pixel (ainda sem cor) é projetado para o DSM. Muitas das vezes é necessário interpolar a altitude do ponto isto porque o modelo de superfície é mais disperso (tem menos pontos) do que a ortofotografia. Para estimar a altitude de um ponto é feita uma interpolação bilinear.

Posto isto, o próximo passo passa por projetar esse ponto do DSM para a câmara k com [39]:

$$x^k = PX \quad (25)$$

Onde P é a matriz da câmara que contém as suas propriedades (POI e POE) calculados durante o *Bundle Block Adjustment* (BBA). Tal como na obtenção da altitude do ponto, é muito provável que as coordenadas do ponto x não coincidem com as coordenadas dos pixéis na imagem, e como tal, o valor de intensidade (*intensity value* ou *RGB value*) terá de ser estimado. Esse processo pode ser feito de três maneiras: ou o ponto projetado assume o valor

de intensidade do pixel mais próximo, ou é feita uma interpolação bilinear onde se considera os valores dos 4 pixels vizinhos ou é feita uma interpolação bicúbica onde considera os 16 pixels vizinhos [39].

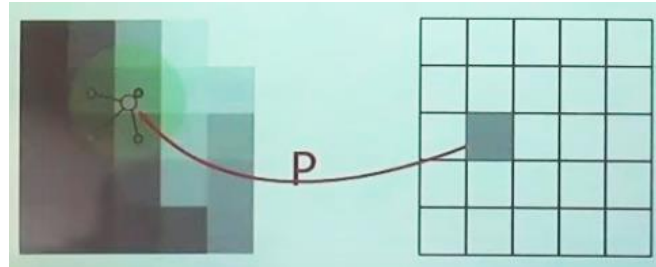


Figura 43 - Valor de intensidade do ponto estimado [39].

Durante todo este processo existem duas fontes de erro. Uma delas é o DSM. Um DSM incorreto ou com poucos pontos (pouca informação) leva a que a coordenada Z do ponto projetado esteja errada. Quando a fotografia se localiza imediatamente acima desse ponto, a consequência desse erro é menor, mas quando a fotografia se afasta no plano normal (XY) desse ponto, a consequência do erro é maior (o valor de intensidade assumido para aquele ponto está errado).

A segunda fonte de erro são as oclusões, provocadas por forte relevo. Considerando apenas uma fotografia aérea representada na figura abaixo, o ponto B é projetado com sucesso do DSM para a fotografia. No entanto, o ponto seguinte (C) ao ser projetado “embate” no edifício fazendo com que o ponto não seja projetado para a fotografia. Logo, o ponto C fica sem valor de intensidade. O mesmo acontece aos seguintes pontos até chegar ao ponto D que volta a ser projetado para a fotografia com sucesso. Então, entre o ponto C e o ponto D existe oclusão (uma zona sem informação, sem valores de intensidade) ficando a ortofotografia com buracos [39].

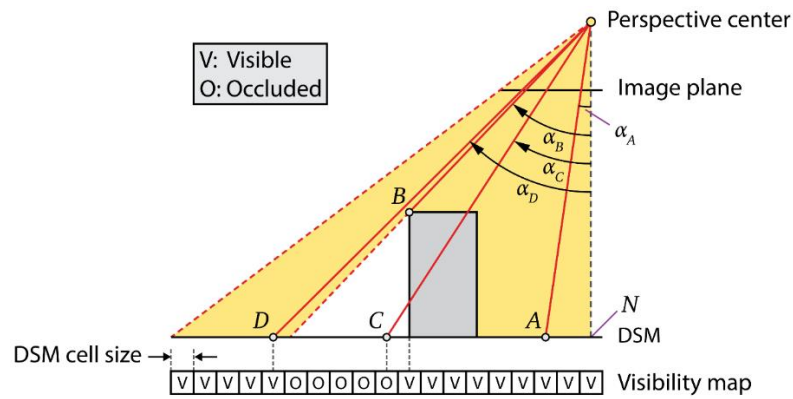


Figura 44 - Oclusão provocada pelo edifício [41].

A forma de corrigir as oclusões passa por adicionar mais imagens com diferentes perspectivas que possibilitam o visionamento de regiões não visíveis na primeira fotografia. Deste modo, a ortofotografia deixa de ter buracos.

Considerando que a ortofotografia será feita utilizando várias fotografias, então é necessário juntá-las. O primeiro passo consiste em normalizar a luminosidade. Devido à alteração da luminosidade de uma fotografia para a outra (e.g., o sol fica encoberto) os valores de intensidade variam, e, portanto, ao uni-las a ortofotografia fica com mau aspeto visual. A solução utilizada é a *grey world normalization* (“Em média, todo o mundo é cinzento”). Esta normalização consiste em afetar a imagem com três coeficientes de modo a que a média dos canais R(vermelho), G(verde) e B(azul) multiplicados pelo seu coeficiente seja cinzento. Apesar de minimizar a diferença entre valores de intensidade das imagens, a normalização não consegue eliminá-la.

O segundo passo consiste em delinear a área de cada imagem que será usada na ortofotografia:

- Usando duas imagens e identificando a área sobreposta, calcula-se o valor de intensidade de cada pixel para as duas imagens;
- Calcula-se o erro (diferença entre o valor de intensidade do mesmo pixel nas duas imagens), exemplificado na Figura 45;
- A linha que delimita a área utilizada por cada imagem é traçada de modo a que, no geral, o caminho percorrido da zona superior à zona inferior do modelo do

erro (Figura 45) seja o que apresenta menor erro acumulativo (ou seja, quanto menor o caminho percorrido, menor o erro acumulativo) [39].

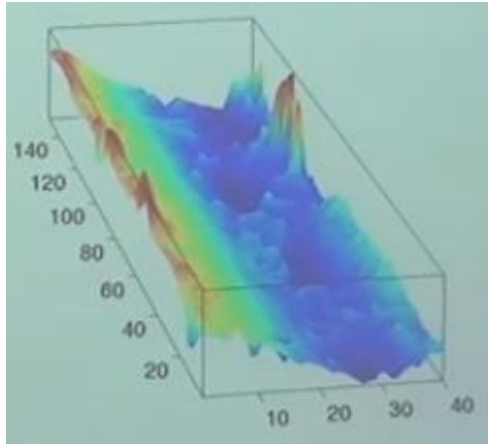


Figura 45 - Diferença entre valores de intensidade [39].

O terceiro passo consiste em misturar (*blending*) as imagens. Apesar de no primeiro passo a luminosidade das fotografias terem sido normalizadas, pode-se verificar que junto à linha traçada existe mudança de luminosidade. Exemplificando com uma linha de corte vertical (Figura 46), verifica-se tal fenómeno [39].



Figura 46 - Imagens misturadas [39].

Para tal, as duas fotografias utilizadas são afetadas por uma função que desvanece as imagens junto à linha, como mostra a figura abaixo.

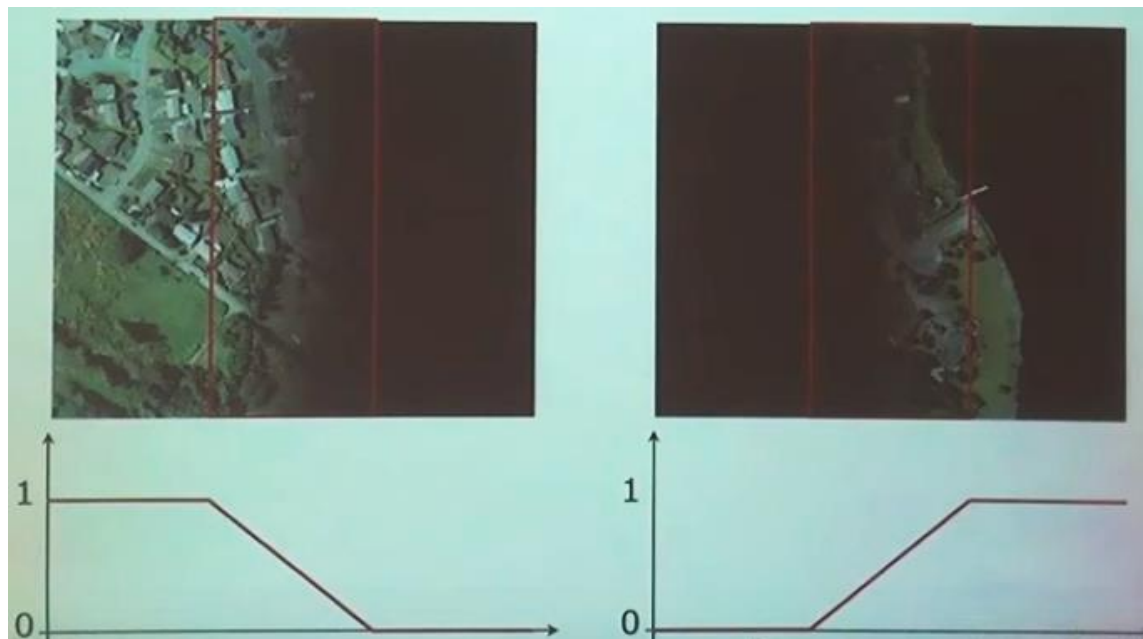


Figura 47 - Imagens afetadas [39].

Juntando as duas imagens (Figura 48) é possível constatar que junto à linha os valores de intensidade foram suavizados [39].

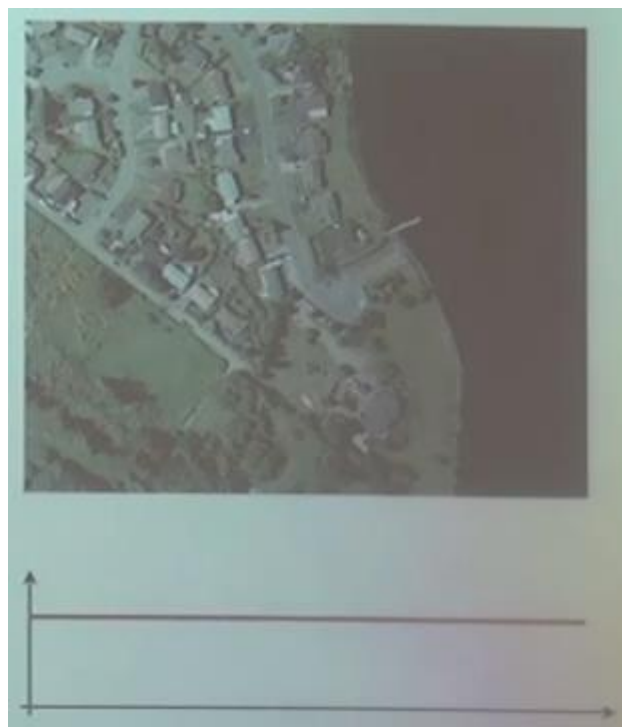


Figura 48 - Resultado final do Blending [39].

4.3. Legislação associada ao *drone*

Atualmente, os *drones* são cada vez mais usados para atividades de lazer, desportivas e de natureza comercial. Devido a essa massificação bem como ao incorreto manuseamento que põe em causa a segurança operacional de navegação (incidentes junto aos aeroportos) e a segurança de pessoas e bens à superfície. Para tal, existe uma lei (Regulamento nº 1093/2016) que define as condições nas quais os *drones* devem sobrevoar e também outros aspetos relativos ao drone. Resumindo:

- Todos os *drones* (à exceção dos *drones* brinquedos) não devem exceder os 120m de altura
- O *drone* deve ser manobrado de forma segura, isto é, deve sobrevoar com uma distância de segurança que não coloque em causa as pessoas, bens e aeronaves
- O *drone* deve sempre dar prioridade às aeronaves tripuladas
- O piloto não deve conduzir o *drone* se não estiver física e/ou psicologicamente apto para o fazer.
- O piloto deve verificar sempre se o *drone* está em condições para sobrevoar
- O *drone* não deve sobrevoar sobre um agrupamento de pessoas (igual ou superior a 12 pessoas)
- O *drone* deve estar na linha de visão do piloto (VLOS, *Visual Light of Sight*) do piloto. Caso contrário (BVLOS, *Beyond Visual Light of Sight*) deve preencher um requerimento à ANAC (Autoridade Nacional de Aviação Civil) a autorizar o voo do *drone* com 12 dias úteis de antecedência (existem algumas exceções)

Para além deste documento, para tirar fotografias e/ou filmar é preciso preencher um requerimento à AAN (Autoridade Aeronáutica Nacional) com dez dias úteis de antecedência.

Futuramente, sairá uma lei que obriga o portador do drone a registá-lo e a que o drone tenha um seguro de responsabilidade civil.

5. Implementação da metodologia de aquisição de informação com o *drone*

Durante o capítulo 4.1 – *Conceitos de imagem e fotogrametria* foram abordados os conceitos básicos de imagem e os conceitos importantes associados à fotogrametria. No capítulo 4.2 - *Algoritmo de Fotogrametria Aérea – SfM* foram abordados alguns conceitos importantes para explicar as opções selecionadas no *software*.

O presente capítulo visa implementar a metodologia convencional de elaboração de um *croqui* para locais diferentes, e de seguida, implementar uma metodologia de elaboração do *croqui* usando um *drone*, demonstrando o que se pode ganhar com a implementação desta metodologia. Pretende-se demonstrar também quais as lacunas associadas a esta metodologia e como minimizá-las /corrigi-las caso seja possível.

Nos primeiros locais em análise, serão apresentadas várias propostas para mapeamento do local, que se diferem pela diferença dos valores dos parâmetros utilizados, para demonstrar qual a melhor estratégia para mapeamento daquele local.

Os locais em análise são: uma passadeira, uma estrada com inclinação (descida), uma rotunda, um cruzamento, uma autoestrada e uma estrada com curva.

Para a metodologia convencional foi utilizado o *Google Maps* para obter a fotografia aérea do local (também foi utilizado o *Bing Maps*) e o *Microsoft Visio* para elaboração do *croqui*. Para a metodologia com o drone, foi utilizado o *Pix4Dcapture* (devido a problemas técnicos, foi também utilizado o *DroneDeploy*) para mapear o local (tirar fotografias aéreas) e o *Pix4Dmapper* para o processo de fotogrametria, ou seja, obtenção do *croqui* bi ou tridimensional. Por fim, foi utilizado o *PC-Crash 12.0* para a reconstituição de acidentes.

O drone utilizado foi o *DJI Phantom 4 Pro*, representado na Figura 49, e os seus dados mais importantes estão presentes na Tabela 2.



Figura 49 - DJI Phantom 4 Pro.

Tabela 2 - Dados do drone.

Dados do drone	
Tamanho do sensor	13.2x8.8 mm
Distância focal	8.8 mm
Abertura do obturador	f/2.8 – f/11
Sensibilidade ISO	100-320 (Automático)
	100-12800 (Manual)
Formato / Resolução	3:2 5472x3648 px
	4:3 4864x3648 px
	16:9 5472x3078 px
Velocidade do Obturador	8-1/2000 s (Mecânico)
	8-1/8000 s (Eletrónico)

Para resumir quais os passos que o utilizador deve fazer, o fluxograma abaixo faz uma síntese de todo o procedimento.

Passo inicial

- Verificar se o *drone* está em condições para sobrevoar
- Verificar se o *drone* tem todas as atualizações em dia (neste caso, a *app* utilizada é a *DJI GO 4*)

Definição da estratégia de mapeamento

- **Software utilizado:** *Pix4Dcapture*
- **Antes de estar no local:**
 - Planear quantas missões (voos) serão feitos e definir os parâmetros:
 - Definir a área de mapeamento
 - Definir a altitude do drone, overlap frontal de imagens, orientação da câmara, entre outros parâmetros consoante a missão selecionada
 - Guardar todas as missões
- **No local:**
 - Verificar se os parâmetros selecionados são adequados para o local escolhido (ter em atenção a presença de casas, linhas de tensão e de pessoas)
 - Pressionar *Start* e verificar a *checklist*. Caso a *app* negue a decolagem do *drone*, verificar as suas causas
- **Depois de estar no local:**
 - Ligar o *drone* e carregar as imagens para o computador

Elaboração do croqui

- **Software utilizado:** *Pix4Dmapper*
- Importar as imagens para o *software* e definir o modelo da câmara
- Definir as coordenadas do sistema
- Definir os parâmetros do passo 1 *Initial Processing* e simular
 - Analisar o relatório apresentado no final da simulação e verificar se é necessário fazer correções (p.e. ao modelo de câmara)
- Definir os parâmetros do passo 2 *Point Cloud and Mesh* e simular
 - Verificar se a nuvem de pontos tem informação suficiente. Caso contrário, é necessário adicionar imagens
 - Exportar o ficheiro XYZ (nuvem de pontos)
- Caso se pretenda um croqui 2D, definir os parâmetros do passo 3 DSM, Orthomosaic and Index e simular.
 - Exportar o ficheiro TIF (ortofotografia)

Cenário do acidente no software de RCA

- **Software utilizado:** *PC-Crash 12.0*
- Croqui 2D: importar o ficheiro TIF e escalar a imagem
- Croqui 3D: importar o ficheiro XYZ e criar a malha sobre a estrada

5.1. Metodologia implementada numa passadeira

O local de estudo consiste numa rua onde, numa fase inicial, não apresenta declive sendo que no final da rua já apresenta um declive moderado. O foco deste estudo localiza-se sobre a passadeira no início da rua, representada na Figura 50.



Figura 50 - Início da rua.



Figura 51 - Início de inclinação.



Figura 52 - Fim da rua.

5.1.1. Metodologia convencional

A metodologia convencional consiste então em elaborar um *croqui* como base numa fonte de mapas, como por exemplo o *Google Maps*. Na Figura 53, que mostra a imagem do local obtida no programa de mapas, nem sempre as linhas de limitação da estrada são visíveis. Por outro lado, a linha descontinua não é visível, e como tal, foi necessário estimar a sua localização.



Figura 53 - Local de estudo no Google Maps.

A Figura 54 apresenta o *croqui* elaborado, tendo demorado 25 minutos para elaborá-lo.

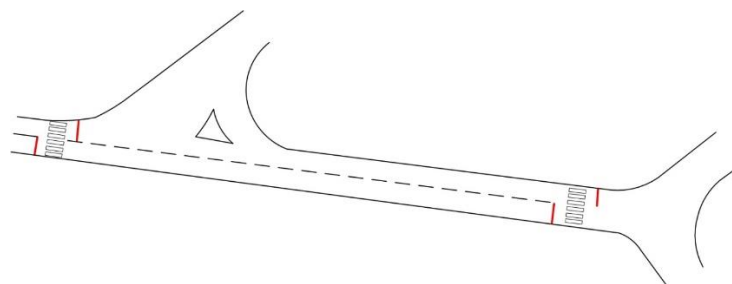


Figura 54 - Croqui pelo método convencional

5.1.2. Metodologia com drone

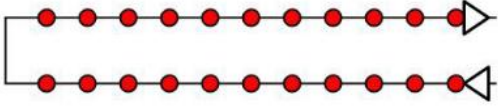
O objetivo deste capítulo visa, para além de analisar um cenário com passadeira, apresentar a metodologia que menor erro apresenta. Os parâmetros que serão analisados são a altitude de voo e o *overlap*. Também será feito um mapeamento manual em detrimento da utilização da app para justificar a necessidade da app no mapeamento com erro minimizado. Por fim pretende-se explicar as opções existentes no *software* ao nível do processamento das imagens justificando as escolhas tomadas.

5.1.2.1. Mapeamento do local

Um dos parâmetros a definir no mapeamento do local é a posição da câmara do drone. Apesar do final da rua apresentar inclinação, na passadeira e suas imediações a inclinação é nula. Assim, as fotografias podem ser tiradas com a câmara do drone apontada verticalmente para o solo sem colocar em causa a precisão do modelo (junto à passadeira).

Seguidamente definiu-se a altitude de voo do drone com base no *Ground Sample Distance* (GSD). Quanto menor for o GSD, mais preciso é o modelo. De acordo com várias fontes, o GSD com valor igual a 1cm/pixel revela ser excelente quando se pretende um modelo com precisão (as medições tiradas do modelo estão próximas das reais). Analisando as características do drone, nomeadamente a resolução da câmara e a distância focal, concluiu-se que para uma altura de voo de 36,5 metros obtêm-se um GSD de 1 cm/pixel, como foi referido no capítulo 4.1.2 na página 35. Como não é possível colocar esse valor, optou-se por “arredondar” para baixo (quanto menor a altitude, menor é o GSD, menor é o erro), e, portanto, o valor escolhido foi 35 metros.

De seguida definiu-se o *overlap* frontal e lateral das imagens. De acordo com desenvolvedora do *software*, para o mapeamento de uma estrada (reta) é ideal que o drone faça pelo menos duas linhas de voo com *overlap* frontal e lateral de 85% e 65% respetivamente. No entanto, optou-se por ter três linhas de voo ao invés de duas para, por um lado, ter mais fotografias do local e por outro lado garantir que uma das linhas do drone passasse sobre a estrada ou próxima dela. Para tal, manteve-se *overlap* frontal (85%) e aumentou-se o *overlap* lateral de 65% para 83% (pretendia-se aumentar para 80%; no entanto, o *overlap* de 83% apresentou um trajeto mais adequado do drone).

Trajeto recomendado	Trajeto real
 <i>Figura 55 - Trajeto recomendado [42].</i>	 <i>Figura 56 - Trajeto real.</i>

A velocidade do drone deve ser a mais baixa possível para evitar/minimizar o efeito *rolling shutter*. Neste caso, a velocidade do drone definida foi de 10m/s. No entanto, a aplicação define a velocidade máxima conforme os parâmetros de entrada (p.e. altitude, *overlap*) para evitar tal efeito. Se a velocidade calculada for inferior à introduzida, a aplicação ignora a velocidade introduzida e utiliza a velocidade calculada.

Por fim, é importante tirar algumas medições a incidir neste caso sobre a passadeira não descartando, no entanto, outras possibilidades (p.e., largura da faixa de rodagem).

Para além de todos os passos acima referidos, poderia ser adicionado a colocação de GCP (*Ground Control Points*) sobre o local a mapear medindo depois a geolocalização de cada um dos pontos com recurso a um recetor de GPS RTK. Este passo não foi efetuado porque, por um lado, a tecnologia associada é cara, e por outro lado, todos os passos acima referidos foram efetuados no sentido de minimizar o erro de modo a que este não seja crítico (para mais informações sobre GCP, ver página 37).

Em suma, foram definidos os seguintes parâmetros:

- Câmera do drone a 90° (vertical)
- Altitude: 35 metros
- *Overlap* frontal: 85%
- *Overlap* lateral: 83%
- Velocidade do drone: 10m/s

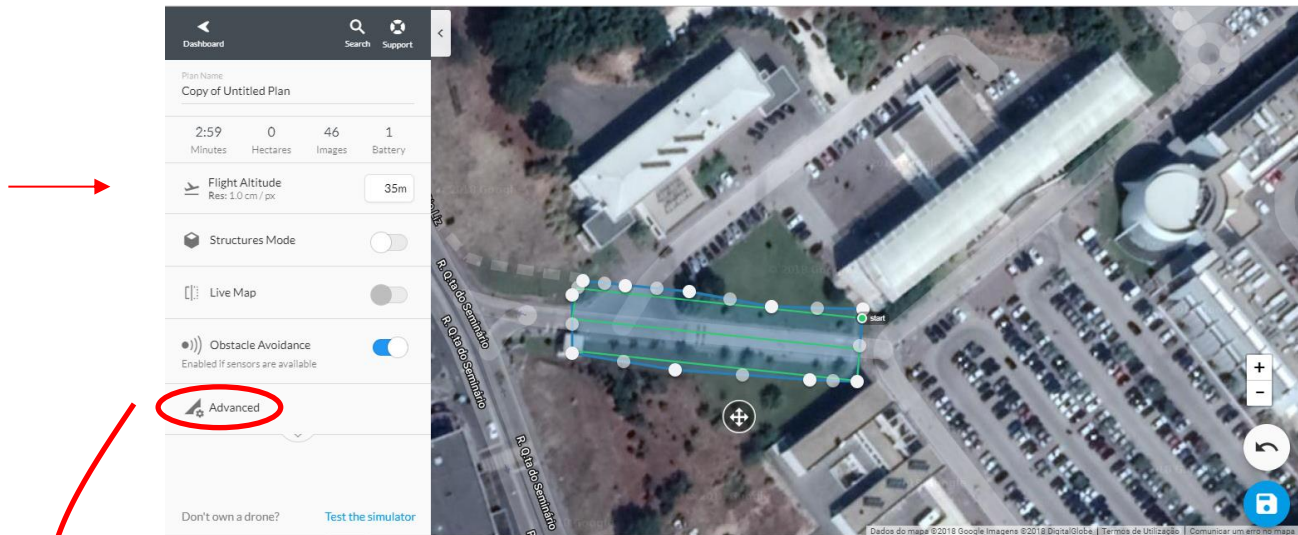


Figura 57 - Parâmetros definidos.

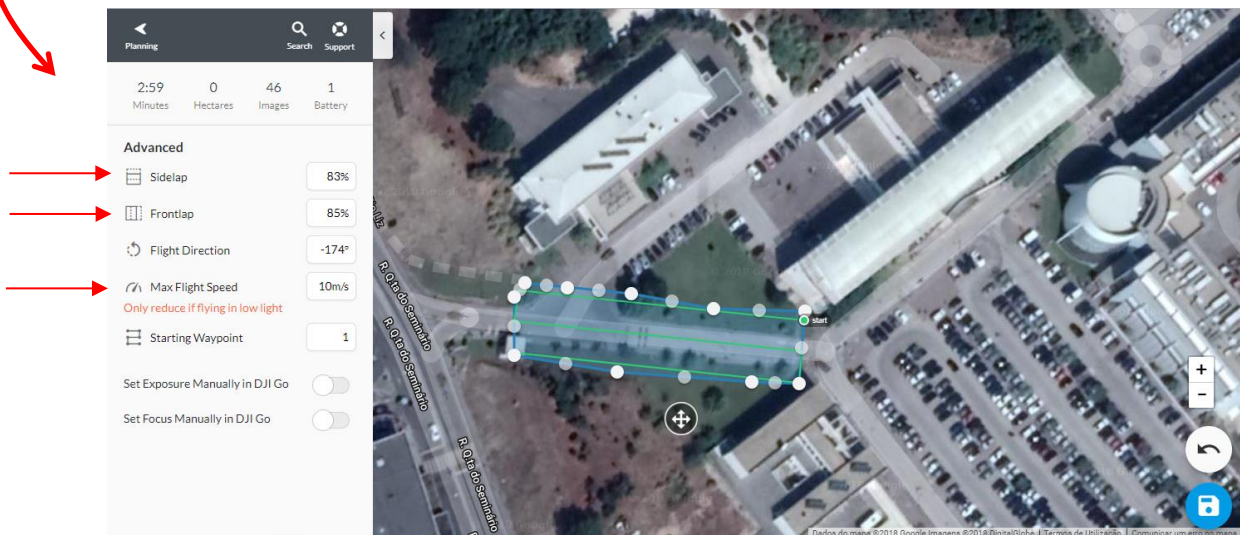


Figura 58 - Parâmetros definidos.

5.1.2.2. Fotogrametria

Após o mapeamento feito pelo drone com base nos parâmetros definidos na fase anterior, as fotografias capturadas foram exportadas para o *software* de fotogrametria, tendo sido eliminadas as fotografias irrelevantes para este processo, nomeadamente as fotografias tiradas durante a decolagem do drone.

O *software* de fotogrametria oferece a possibilidade de obter uma nuvem de pontos do local (3D) e também uma ortofotografia ou ortofoto (2D). Face ao local de estudo (a estrada é plana junto a passadeira) e ao tamanho do ficheiro XYZ (nuvem de pontos) que exigirá ao computador maior esforço no *software* de RCA, optou-se pela criação da ortofotografia.

Após a importação das imagens para o *software*, o modelo de câmara apresentado pelo *software* apresentava parâmetros internos com valores diferentes dos referidos no ponto anterior, nomeadamente a distância focal e o *pixel size*. Esses parâmetros foram estimados com base no EXIF de cada imagem. O EXIF é uma extensão de dados que define em que condições foram capturadas cada uma das fotografias (localização e orientação das fotografias), e, no contexto dos parâmetros de orientação interna, qual a distância focal e o *pixel size* associados à fotografia entre outros parâmetros. Apesar dessa diferença, numa primeira fase esses valores não foram alterados.

Da primeira vez que se utiliza o *software*, o modelo da câmara não apresenta os coeficientes de distorção o que gera maiores diferenças entre os valores introduzidos e os valores otimizados (relembrar que o algoritmo BBA assume os valores introduzidos como entrada e não como reais – página 45). Como tal, após a primeira fase (*Initial Processing*) recomenda-se a alteração dos parâmetros do modelo de câmara para os otimizados (*Load Optimized Parameters*).

Nota 1: O *software* aconselha que a alteração dos parâmetros de orientação interna seja feita quando a diferença for superior a 5%.

Nota 2: Por norma, os parâmetros estimados pelo EXIF são diferentes dos referidos dos enunciados pela fabricante do *drone*. As causas são referidas na página 45.

Figura 59 - Parâmetros da câmara otimizados.

Seguidamente existem dois passos adicionais: um para definir as coordenadas (para já deixar por defeito) e o outro para definir o que se pretende fazer (p.e. um mapa 3D, um modelo 3D, ...) e a qualidade que se pretende.

Posto isto, passou-se para o processo de simulação. O software divide o processo em 3 passos que são *Initial Processing* (1), *Point Cloud and Mesh* (2) e *DSM, Orthomosaic and Index* (3), sendo que cada um destes passos foram executados separadamente. O primeiro passo é essencial para criar qualquer tipo do modelo. Resumidamente este passo consiste na extração (algoritmo SIFT – página 39) e combinação dos pontos-chave (algoritmo BBA - página 43) sendo o resultado final uma nuvem de pontos dispersa. No menu *Processing Options* é possível definir os parâmetros de simulação. Dentro do *Initial Processing* existem 3 abas (deixando a opção *Advanced* ativada):

- **General:** permite definir a escala das imagens (*Keypoints Image Scale*) usadas para detetar pontos. Usar uma escala normal (*Image scale* = 1) possibilita detetar e combinar *keypoints* com maior precisão (é possível observar melhor os detalhes de um objeto do que quando a imagem é encolhida). Portanto, a opção seleccionada foi *Full*. É importante lembrar que a extração dos *keypoints* é feita usando escala das

imagens desde valor definido até ao valor mais baixo, como referido no algoritmo SIFT (ver página 39).

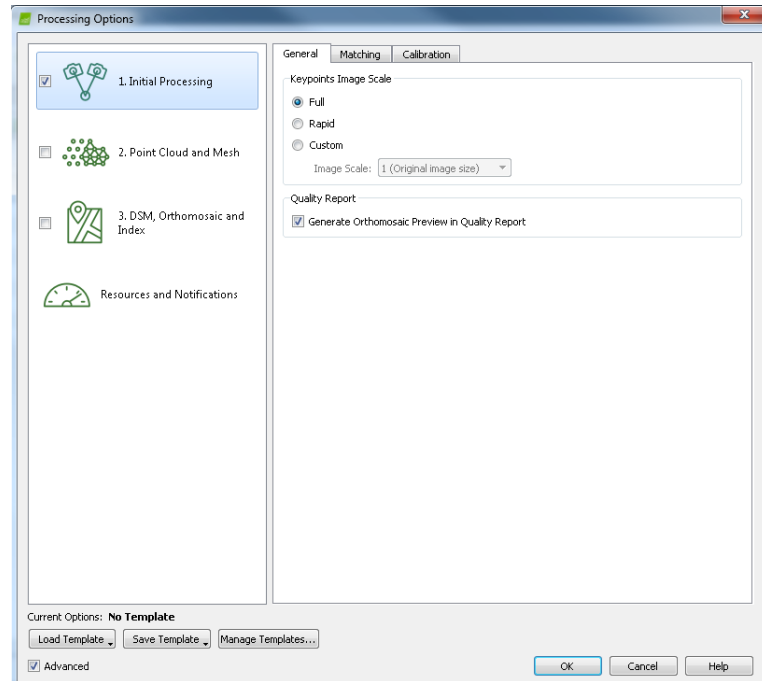


Figura 60 - Parâmetros definidos para o processamento inicial (General).

- **Matching:** permite definir a metodologia de combinação dos *keypoints* (p.e. número de aparições necessário para haver combinação, estratégia de combinação, ...). Foi seleccionada a opção Aerial Grid or Corridor (por defeito) uma vez é a que melhor se adequa para o tipo de mapeamento (aéreo). A estratégia adotada por esta opção para combinação de pontos-chave é a triangulação, tal como acontece no algoritmo BBA (ver página 45). Existe também a opção verificar se as correspondências são geometricamente possíveis e em caso negativo eliminá-las, denominado de *Geometrically Verified Matching* (ver página 42 sobre o algoritmo RANSAC). Por defeito, esta opção está desativada e por enquanto não será ativada.

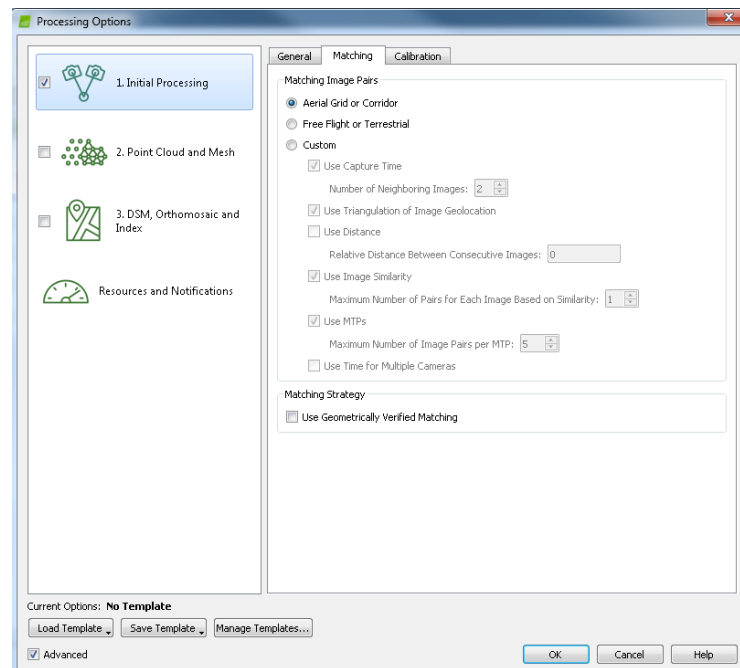


Figura 61 - Parâmetros definidos para o processamento inicial (Matching).

- **Calibration:** permite principalmente selecionar:
 - O modo como os pontos-chave são selecionados – ou por erro (é definido um erro máximo e com base nisso todos os pontos com erro igual ou inferior ao erro máximo são escolhidos) ou por número máximo de pontos-chave sendo selecionados os que apresentam menor erro. Foi selecionada a primeira opção (por defeito)
 - O modo como é feita a calibração, isto é, qual o método e como é feita a otimização dos parâmetros internos e externos (definir quais os parâmetros são otimizados). Ambas as opções foram deixadas por defeito, ou seja, todos os parâmetros são calibrados.

Todos os outros parâmetros não definidos foram deixados por defeito.

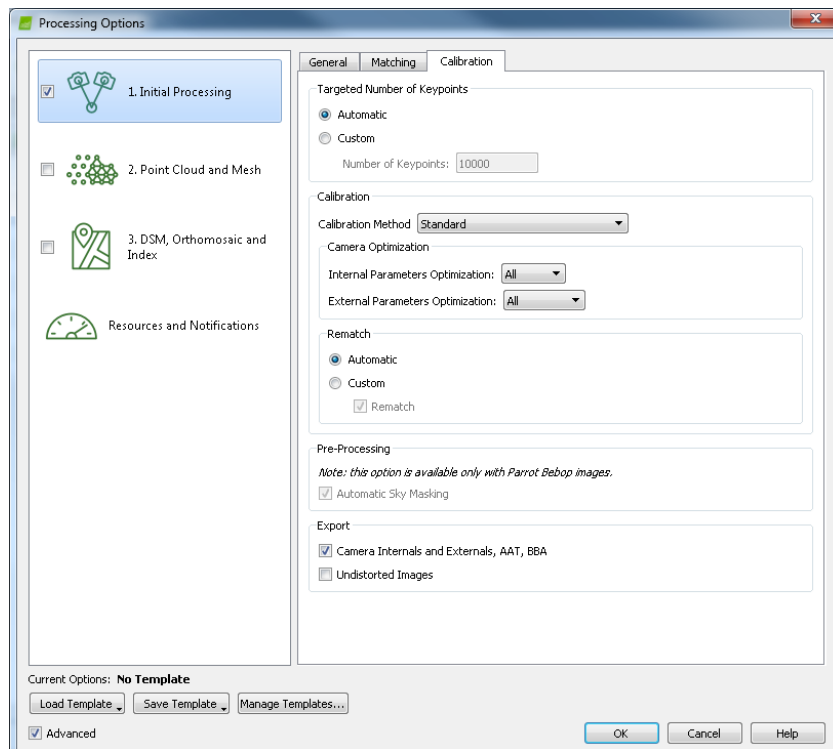


Figura 62 - Parâmetros definidos para o processamento inicial (Calibration).

O segundo passo consiste na criação de uma nuvem de pontos densificada e de uma malha 3D do mapa (não é necessária). Como foi referido no capítulo 4.2.5 da página 52, a ortofotografia é criada com base no Modelo Digital de Superfície (DSM) que por sua vez, o DSM é criado com base na nuvem de pontos. Ao usar uma nuvem de pontos mais dispersa, a informação obtida da nuvem faz com o DSM fique menos precisa, e como tal, leva a uma ortofotografia também menos precisa.

O menu para configurar este passo se encontra dividido em três submenus. O primeiro é o *Point Cloud* que tem como função definir em que condições a nuvem de pontos densificada é criada. Neste submenu as opções mais importantes são:

- *Image Scale*, que define o tamanho da imagem usada para detetar e combinar pontos. Tal como no *Initial Processing*, uma imagem em tamanho real permite combinar pontos com maior precisão. No entanto, objetivos complexos são mais difíceis de combinar (p.e. árvores). Para tal existe a opção *Multiscale* (ativada por defeito) que permite fazer o mesmo procedimento até *image scale* igual a $1/8$. Por defeito usa-se *image scale* igual a $1/2$.

- *Point Density*, que permite densificar mais ou menos a nuvem de pontos. Por exemplo, usando a opção *Optimal*, o intervalo entre pontos na nuvem de pontos é igual a $4 * Image Scale$, ou seja, igual a 8.

Tabela 3 - Opções do *Point Density*.

<u><i>Point Density</i></u>	<u><i>High</i></u>	<u><i>Optimal</i></u>	<u><i>Slow</i></u>
Intervalo entre pontos	$1 * Image Scale$	$4 * Image Scale$	$16 * Image Scale$

- *Minimum Number of Matches*, que permite definir o número mínimos de aparições e combinações válidas de um ponto em várias imagens necessário para a projeção do ponto 3D. Quanto maior for esse número, mais preciso será o ponto 3D, mas faz com que a densidade da nuvem de pontos seja menor. Por defeito, este parâmetro foi colocado a 3 aparições.

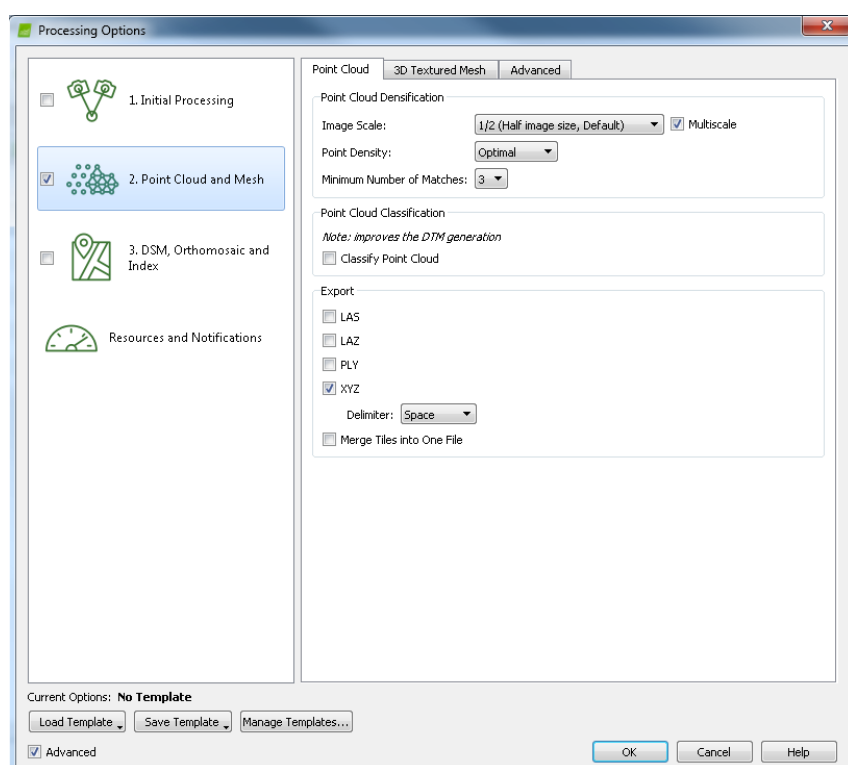


Figura 63 – Parâmetros definidos para criação da nuvem de pontos (*Point Cloud*).

Os dois primeiros parâmetros apresentados foram deixados por defeito uma vez que, segundo a empresa programadora do *software*, o número de pontos gerado é suficiente para ter uma nuvem de pontos com informação sem que o erro associado seja elevado. Ao aumentar os parâmetros, o esforço computacional do computador também aumenta (mais tempo a simular) e o ficheiro obtido fica extremamente pesado o que pode dificultar a sua utilização no *software* de RCA. Considerou-se também o número mínimo de correspondências igual a 3 uma vez que possivelmente o erro associado é baixo sem colocar em causa a falta de informação da nuvem de pontos (menos pontos 3D).

A segunda aba é referente à malha 3D (*3D Textured Mesh*) e é desativada uma vez que não se contextualiza com o objetivo deste trabalho. A terceira e última aba é referente ao modo avançado. A única opção relevante é a *Matching Window Size*. Como foi referido no capítulo 4.2.4 sobre criação da nuvem de pontos densificada (página 49), quanto maior for o tamanho da janela (*image window*), maior será a precisão da combinação. Como se usam apenas imagens verticais, a opção aconselhada (e mais rápida) pela desenvolvedora do *software* é a 7x7 sendo a opção 9x9 utilizada quando se usam imagens oblíquas ou terrestres. Todas as outras opções foram deixadas por defeito.

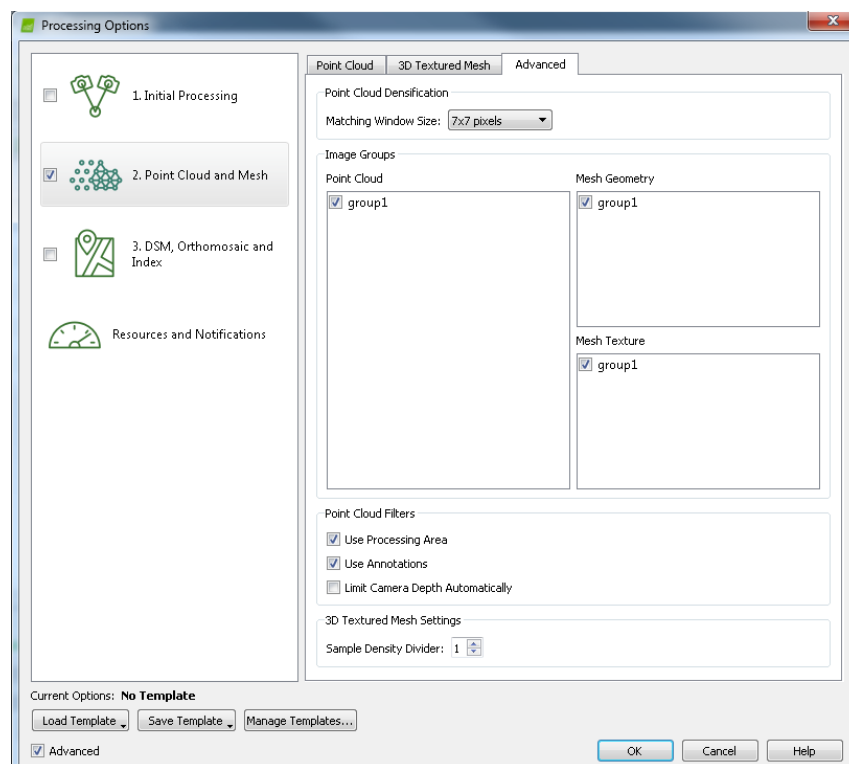


Figura 64 - Parâmetros definidos para criação da nuvem de pontos (Advanced).

Por fim, o último passo refere-se ao DSM e à ortofotografia (ou ortomosaico como é referido pelo *software*). Em todas as abas, todas as opções foram deixadas por defeito.

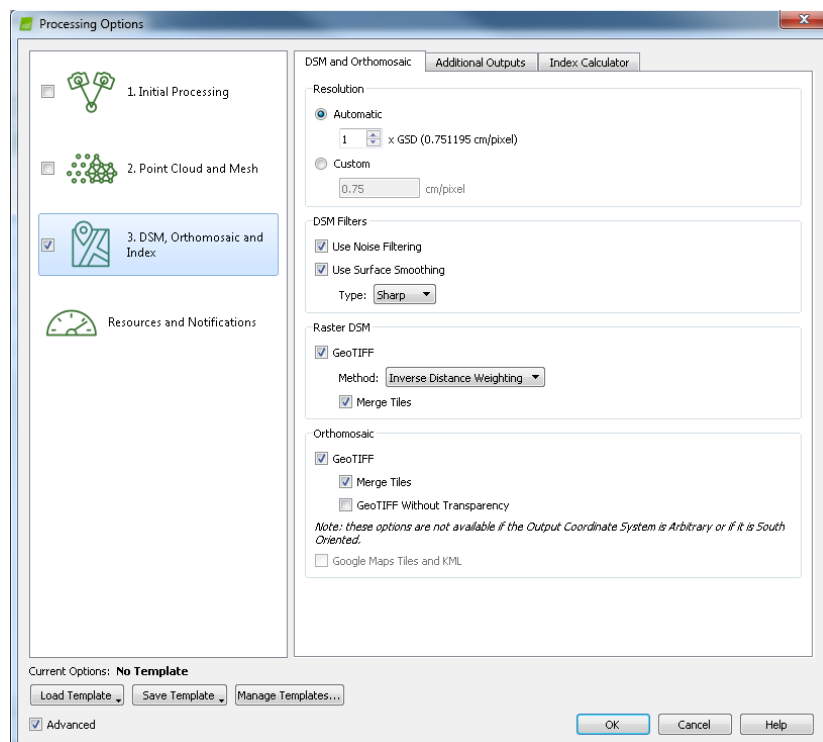


Figura 65 - Parâmetros definidos para criação da ortofotografia.

O resultado final de todos os passos executados, em formato TIF, encontra-se na Figura 66.



Figura 66 - Ortofotografia do local.

Para melhorar o aspeto visual da ortofotografia é possível usar a ferramenta *Mosaic Editor*. Visualizando a Figura 66, verifica-se a presença de um veículo na estrada por causa da mistura das várias imagens (ver página 56 e 57 sobre *Blending*). Ao traçar um polígono que cubra o veículo o preenchimento desse polígono é feito por apenas uma imagem ao invés da mistura de todas as imagens. A Figura 67 demonstra o processo.



Figura 67 - Ortofotografia melhorada.

5.1.2.3. *Software* de RCA

No *software* de RCA, depois de importado o ficheiro TIF, verificou-se que o *software* não importa a ortofotografia com a escala correta. Para tal, é necessário tirar uma medição ou no local ou num *software* que consiga efetuar medições na ortofotografia na escala correta. A Figura 68 mostra a ortofotografia (*croqui* 2D) no *PC-Crash 12.0*.

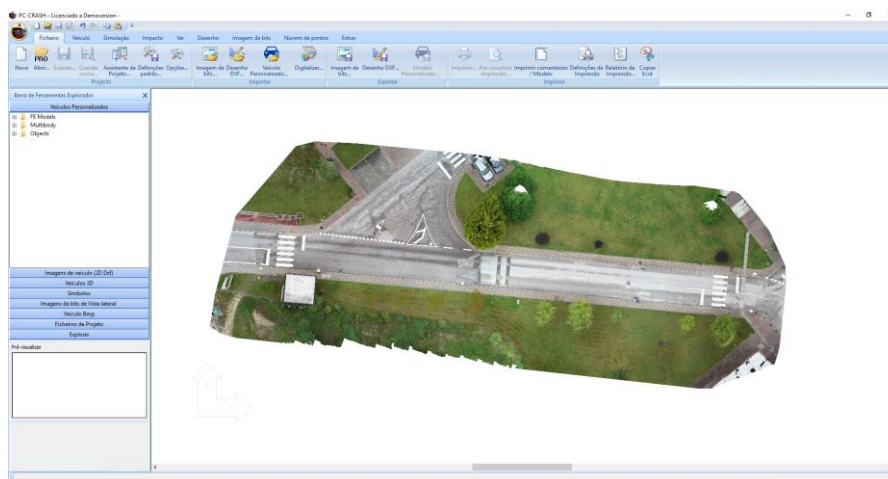


Figura 68 - Ortofotografia no software de RCA.

5.1.2.4. Resultados

Posto isto, foram feitos vários mapeamentos alterando a altura de voo do drone e o *overlap* das imagens. A Tabela 4 mostra as medições obtidas nos mapas 3D e as medições reais. Verifica-se que os resultados obtidos vão ao encontro do que foi referido ao longo deste documento, ou seja, quanto maior for o *overlap* e quanto menor for a altitude de voo do drone, melhores são os resultados (menor erro). Verifica-se também que a simulação A6 (altura de voo do drone igual a 20 metros) é a que apresenta um erro menor. Das medições obtidas manualmente com fita métrica no local (Figura 69 da página 78), o erro maior é de apenas 1 cm.

Por fim, comparando a simulação A1 (mapeamento com recurso à app *DroneDeploy*) com a A7 (mapeamento manual), verifica-se que a primeira é a que apresenta melhores resultados. O mapeamento manual (usando a app *DJI GO 4*) consistiu em tirar fotografias aleatoriamente em número aproximado ao da simulação A1 procurando garantir que a área mapeada fosse a mesma. É possível realizar um mapeamento manual seguindo os mesmos princípios (*overlap*, altitude, ...) da app específica para mapeamento de locais só que a complexidade do processo em conjunto com o tempo gasto leva a que esta opção seja refutada. Apenas é útil quando se pretende fazer mapeamento de locais mais fechados, como por exemplo ruas com presença de árvores ou de prédios altos e mesmo assim a manuseamento do *drone* deve ser feito com o maior cuidado.

Tabela 4 - Resultados simulações.

<i>Simulação</i>	<i>Descrição</i>	Overlap frontal [%]	Overlap lateral [%]	<i>Altitude [m]</i>	<i>a [m]</i>	<i>b [m]</i>	<i>c [m]</i>	<i>d [m]</i>	<i>Tm [min]</i>	<i>Im []</i>
A1	Base	85	80	35	0,50	2,50	5,94	3,10	4	50
A2	Overlap maior	95	90	35	0,50	2,50	5,97	3,11	7,5	144
A3	Overlap menor	75	70	35	0,50	2,48	5,90	3,08	3	38
A4	Altura 45m	85	80	45	0,50	2,48	5,92	3,08	3,5	38
A5	Altura 25m	85	80	25	0,50	2,51	5,97	3,11	4,5	69
A6	Altura 20m	85	80	20	0,50	2,51	5,97	3,12	5	85
A7	Manual	85	80	35	0,50	2,49	5,94	3,09	NA	42
Medição fita métrica					0,50	2,52	5,98	3,12	---	---

Legenda

- Tm – Tempo de mapeamento
- Im – Número de imagens

Com base nos resultados da Tabela 4 verificou-se que para o mesmo *overlap*, quanto menor for a altitude, maior será a precisão, e para a mesma altitude, quanto maior for o *overlap*, maior será a precisão. Então, procurou-se simular para uma altura de voo de 20 metros e para um *overlap* frontal e lateral de 95% e 90% respetivamente. Os resultados obtidos, visíveis na Tabela 5, foram iguais, e, portanto, não compensa aumentar o *overlap* para uma altitude baixa devido à necessidade de maior tempo para mapear o local bem como maior esforço computacional (mais imagens). Em suma, todos os seguintes mapeamentos foram feitos para uma altura de 20 metros com *overlap* frontal de 85%.



Figura 69 - Medições tiradas.

Tabela 5 - Resultados obtidos.

Simulação	Descrição	Overlap frontal [%]	Overlap lateral [%]	Altitude [m]	a [m]	b [m]	c [m]	d [m]	Tm [min]	Im []
B1	Simulação									
	A6 (20 metros)	85	80	20	0,50	2,51	5,97	3,12	5	85
B2	A6+A2	95	90	20	0,50	2,51	5,97	3,12	11,5	219
Medição fita métrica					0,50	2,52	5,98	3,12	---	---

Legenda

- Tm – Tempo de mapeamento
- Im – Número de imagens

Por fim, procurou-se estudar a influência dos parâmetros de simulação na precisão da nuvem de pontos, e consequentemente na ortofotografia. Verifica-se que alterando os parâmetros, os resultados obtidos ou não se alteram ou até chegam a piorar. Como tal, conclui-se que a alteração desses parâmetros é desnecessária.

Tabela 6 - Resultados obtidos.

<i>Simulação</i>	<i>Descrição</i>	<i>a</i> <i>[m]</i>	<i>b</i> <i>[m]</i>	<i>c</i> <i>[m]</i>	<i>d</i> <i>[m]</i>
C1	Simulação Base (A1)	0,50	2,50	5,94	3,10
C2	<i>Sem multiescala</i>	0.50	2.50	5.94	3.09
C3	<i>Minimum number of Matches = 6</i>	0,50	2,49	5,94	3,09
C4	<i>Image Size=1; Point Density = Optimal</i>	0,50	2,49	5,94	3,10
	<i>Medição fita métrica</i>	0,50	2,52	5,98	3,12

5.2. Metodologia implementada num local com inclinação

O local em estudo consiste numa rua que inicialmente é ligeiramente plana e que depois apresenta uma inclinação média como mostram as figuras abaixo.



Figura 70 - Local em estudo (parte plana).



Figura 71 - Local em estudo (parte inclinada).

5.2.1. Metodologia convencional

A Figura 72 mostra a imagem do local via *Google Maps*. Na imagem não existem linhas de delimitadoras da estrada nem as linhas descontínuas visíveis nas figuras acima. Por outro lado, no cruzamento antes da descida não aparecem as linhas de cedência de passagem. Ou seja, a falta de informação devido ao desfazamento temporal aliada à má qualidade da imagem contribui para um erro maior na elaboração do *croqui*.

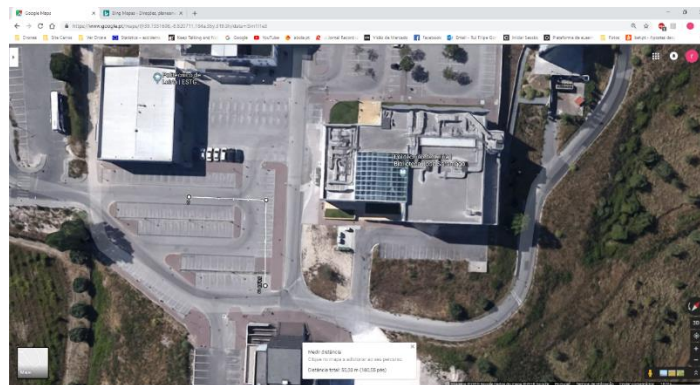


Figura 72 - Imagem da estrada com inclinação no Google Maps.

A Figura 73 mostra o *croqui* elaborado pelo método convencional tendo demorado 25 minutos.



Figura 73 - Croqui do local pelo método convencional.

5.2.2. Metodologia com drone

O objetivo principal passa por analisar a influência das imagens oblíquas no erro em zonas com inclinação. Como foi referido no capítulo 4.1.1 as imagens verticais apresentam maior erro em altura, e como tal, a introdução de imagens oblíquas permitem reduzir o erro uma vez que oferecem a possibilidade de ver o cenário em várias perspetivas.

No entanto, as imagens oblíquas apresentam um GSD maior, ou seja, um erro maior no plano normal (XY), e como tal, o segundo objetivo consiste em verificar se a utilização tanto de imagens verticais como de imagens oblíquas consegue trazer os pontos fortes dos dois tipos de imagens.

5.2.2.1. Mapeamento do local

Numa primeira fase, foram apresentadas seis propostas para mapeamento do local: uma usando imagens verticais, outra usando imagens verticais, mas com o drone a descolar de dois pontos diferentes em altitude (esta proposta é justificada pelos fatores anunciados no final da página 32) e as outras quatro usando imagens oblíquas. O que difere entre as quatro propostas são:

- Ângulo da câmara (15 graus ou 30 graus);
- Orientação da câmara (direcionada para o centro da área a mapear ou na direção do movimento do *drone*);

- Usar missão *double grid* em detrimento da missão básica – *grid* (a câmara do drone está orientada na direção do movimento do drone efetuando duas passagens sobre o local, como exemplificado na Figura 74)

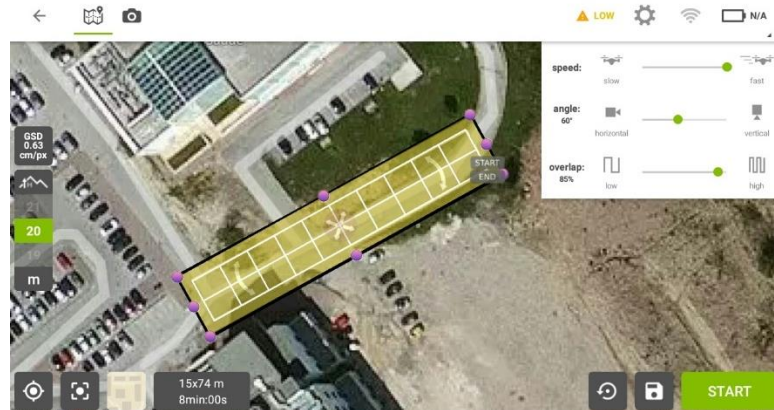


Figura 74 - Missão *double grid*.

Os resultados obtidos e apresentados no tópico 7.1.4 demonstram que a melhor proposta para mapear o local usava uma altitude de 20 metros e um *overlap* frontal de 85%. Portanto, todos os projetos passaram a ser definidos utilizando esses valores.

O outro parâmetro visível na figura 74 é a velocidade do drone. Contrariamente ao *DroneDeploy*, o *Pix4Dcapture* não permite introduzir um valor de velocidade oferecendo ao utilizador a possibilidade de definir a velocidade do drone entre *fast* e *slow*. A velocidade máxima do drone (velocidade rápida e colocada por defeito) é calculada pela aplicação com base nos dados da câmara e nos valores dos parâmetros acima referidos introduzidos na aplicação. O valor da velocidade lenta corresponde a metade da velocidade rápida. Apesar de na teoria a opção *slow* minimizar o efeito *rolling shutter*, a opção *high* não põe em causa a qualidade do produto final. Como tal, para minimizar o tempo utilizado pelo *drone* para mapear o local foi seleccionada a opção *fast*.

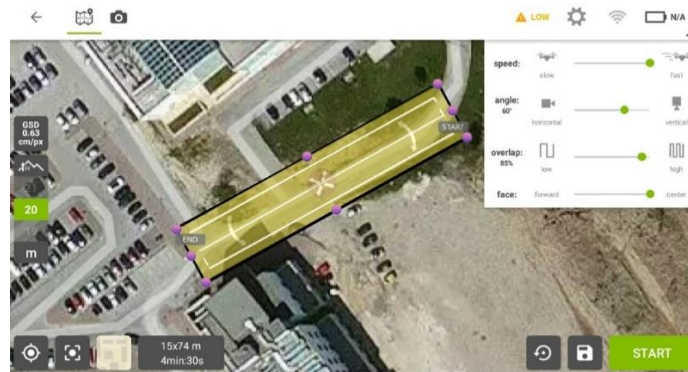


Figura 75 - Definição dos parâmetros de mapeamento.

Em suma, foram definidos os seguintes parâmetros:

- Altitude: 20 metros;
- Overlap frontal: 85%;
- Velocidade do *drone*: rápida;
- Ângulo da câmara: varia consoante a proposta em estudo;
- Orientação da câmara: varia consoante a proposta em estudo.

5.2.2.2. Fotogrametria

Como o foco deste subtópico prende com a análise do erro em zonas inclinadas, o resultado final do processo de fotogrametria foi uma nuvem de pontos. Como tal, o último passo do processo referente a criação da ortofotografia não será realizado.

No geral, todo o procedimento efetuado para o caso em análise é idêntico ao do caso anterior (passadeira), existindo algumas exceções (apresentadas a **negrito**):

- *Initial Processing*
 - *Keypoints Image Scale: Full*
 - *Matching Image Pairs: Aerial Grid or Corridor*
 - Parâmetros de calibração: por defeito

Depois de simulada a primeira fase, é importante fazer um passo extra. Ao clicar nos pontos da nuvem dispersa verificou-se que as coordenadas dos pontos estavam muito distantes da origem. Ao carregar mais tarde a nuvem de pontos densificada para o *PC-Crash 12.0*, verificou-se que a nuvem de pontos ficava danificada como mostra a Figura 76.

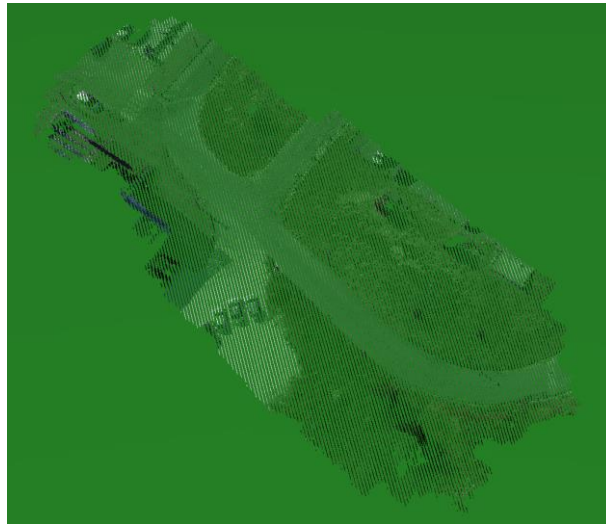


Figura 76 - Nuvem de pontos danificada no PC-Crash 12.0.

Ao fazer vários testes descobriu-se que a causa deste problema se devia às coordenadas dos pontos da nuvem. Como tal, antes de efetuar o segundo passo (criação da nuvem de pontos densificada), foram alteradas as coordenadas da nuvem de pontos na opção *Project* → *Select Output Coordinate System*, como mostra a figura abaixo, e de seguida o projeto foi reotimizado (*Process* → *Reoptimize*). Não foi necessário alterar em z uma vez que o valor se encontrava muito próximo de 0 e porque o *PC-Crash 12.0* permite alinhar o cenário em 0.

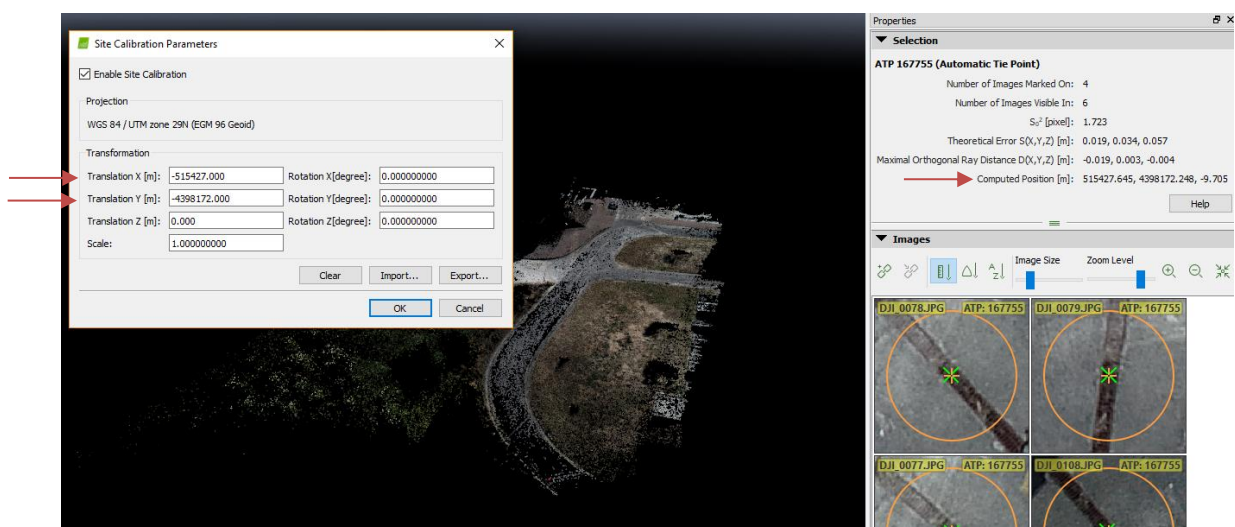


Figura 77 - Resolução do problema.

Continuando com a definição dos parâmetros, segue-se o segundo passo:

- *Point Cloud and Mesh*
 - *Image Scale: 1/2 com Multiscale*
 - *Point Density: Optimal*
 - *Minimum Number of Matches: 3*
 - *Generate 3D Textured Mesh: desativado*
 - ***Matching Window Size:*** a desenvolvedora do *software* aconselha selecionar a opção **7x7** quando se usam apenas imagens verticais e a **9x9** quando se usam imagens oblíquas.

Como se pretende O resultado final pode ser visto na figura 78.



Figura 78 - Croqui 3D.

5.2.2.3. Resultados

Este subcapítulo visa apresentar os resultados obtidos de cada simulação efetuada, visíveis na Tabela 7. As medições tiradas no local encontram-se representadas na Figura 79 da página 87.

Tabela 7 - Resultados obtidos.

<i>Simulação</i>	<i>Descrição</i>	<i>a</i>	<i>b</i>	<i>c</i>	<i>d</i>	<i>e</i>	<i>f</i>	<i>g</i>	<i>h</i>	<i>Tm</i>	<i>Im</i>
		[m]	[m]	[m]	[m]	[m]	[m]	[m]	[m]	[min]	[]
A1	Imagens verticais	2,98	3,00	2,43	3,01	3,05	0,50	0,98	2,07	4,5	75
A2	Imagens verticais c/ dupla decolagem	2,99	3,01	2,44	3,02	3,05	0,50	0,98	2,08	7,5	117
A3	Imagens oblíquas a 15° apontadas para o centro	2,98	3,00	2,43	3,02	3,06	0,50	0,98	2,08	4,5	77
A4	Imagens oblíquas a 30° apontadas para o centro	2,98	3,00	2,44	3,02	NA	NA	0,98	2,07	4,5	77
A5	Imagens oblíquas a 30° apontadas na direção do <i>drone</i>	2,99	3,00	2,44	3,02	3,06	0,50	0,98	2,08	4,5	77
A6	Imagens oblíquas c/ <i>double grid</i> a 30°	2,98	3,00	2,43	3,01	3,05	0,50	0,98	2,07	8	207
Medição fita métrica		3,00	3,00	2,45	3,02	3,05	0,50	0,98	2,08	---	---

Legenda

- Tm – Tempo de mapeamento
- Im – Número de imagens



Figura 79 - Medições tiradas.

Da Tabela 7 da página 86 conclui-se que:

- A utilização de imagens verticais com dupla decolagem (simulação A2) apresentou melhores resultados (menor erro) do que a simulação A1. No entanto, o tempo para mapear o local e o tempo de simulação são superiores.
- No geral, as simulações que utilizam imagens oblíquas apresentam melhores resultados (menor erro) na zona inclinada e piores resultados (maior erro) na zona plana, indo ao encontro do que foi referido anteriormente. Das quatro propostas apresentadas, a simulação A5 (imagens oblíquas com a câmara do drone orientada na direção do movimento do drone e ângulo de 30°) foi a que apresentou os melhores resultados.
- A simulação A6 (*double grid*) revelou ser a pior de todas elas. Para além de não apresentar uma vantagem tão significativa ao nível do erro, o tempo que o drone demora a tirar fotografias ao local em conjunto com o tempo de simulação no *software* de fotogrametria leva a que esta opção seja posta de lado.

Depois de analisados os resultados das seis simulações, procurou-se analisar a influência da utilização de fotografias oblíquas em conjunto com as verticais no erro obtido. Verificou-se que no geral, a junção das imagens oblíquas e verticais permitem eliminar o erro verificado na tabela anterior, mas em contrapartida o tempo de mapeamento e simulação (mais imagens) é superior. Mais uma vez, a função *double grid* demonstrou ser inadequada para mapeamento de locais inclinados. Os resultados podem ser observados na Tabela 8.

Tabela 8 - Resultados obtidos (imagens verticais mais oblíquas).

<i>Simulação</i>	<i>Descrição</i>	<i>a</i> [m]	<i>b</i> [m]	<i>c</i> [m]	<i>d</i> [m]	<i>e</i> [m]	<i>f</i> [m]	<i>g</i> [m]	<i>h</i> [m]	<i>Tm</i> [min]	<i>Im</i> []
<i>B1</i>	Simulação A1 + A3	3,00	3,00	2,45	3,02	3,05	0,50	0,98	2,08	9	152
<i>B2</i>	Simulação A1 + A4	3,00	3,00	2,45	3,02	3,05	0,50	0,98	2,08	9	152
<i>B3</i>	Simulação A1 + A5	3,00	3,00	2,45	3,02	3,05	0,50	0,98	2,08	9	152
<i>B4</i>	Simulação A1 + A6	2,99	3,00	2,44	3,01	3,05	0,50	0,98	2,08	12,5	282
Medição fita métrica		3,00	3,00	2,45	3,02	3,05	0,50	0,98	2,08	---	---

Legenda

- Tm – Tempo de mapeamento
- Im – Número de imagens

5.3. Metodologia implementada numa rotunda

O local em estudo consiste numa rotunda com 4 saídas, como mostram as Figuras 80 e 81, que se pretendeu mapear para desenvolvimento de um *croqui* em 3D.



Figura 80 - Rotunda.



Figura 81 - Rotunda.

5.3.1. Metodologia convencional

A Figura 82 apresenta a imagem utilizada como base para realização do *croqui* da rotunda pelo método convencional. A presença de árvores no local dificulta a visualização das linhas que delimitam a estrada, o que pode levar a um erro na marcação das linhas no *croqui*.

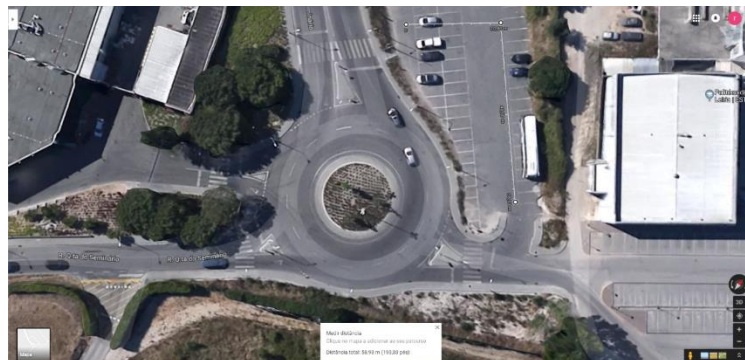


Figura 82 - Imagem da rotunda no Google Maps.

A Figura 83 apresenta o *croqui* feito pelo método convencional tendo demorado 1 hora e 15 minutos.

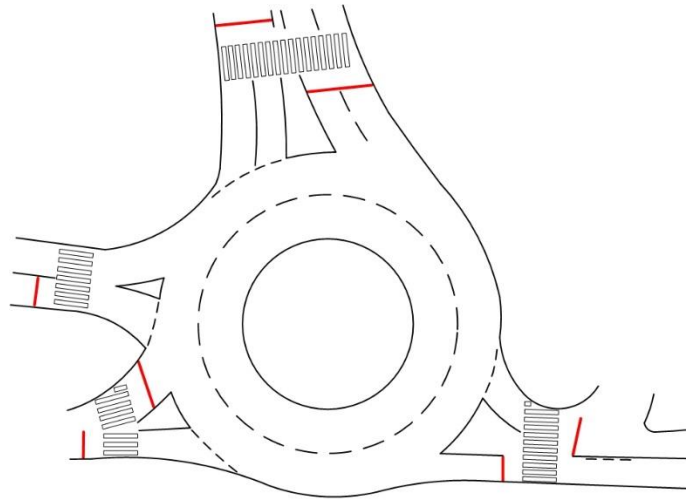


Figura 83 - Croqui da rotunda pelo método convencional.

5.3.2. Metodologia com drone

O objetivo deste tópico consiste em demonstrar as potencialidades das imagens oblíquas para melhorar o aspeto visual de um *croqui* 3D que apenas utiliza imagens verticais.

5.3.2.1. Mapeamento do local

Para este local foram apresentadas duas propostas de mapeamento: uma usando apenas imagens verticais e a outra usando imagens verticais e imagens oblíquas em torno da rotunda através da função missão circular (*circular mission*) do *Pix4Dcapture*. Os parâmetros da primeira missão (imagens verticais) são iguais aos apresentados nos tópicos anteriores, ou seja:

- Altitude de voo: 20 metros
- *Overlap* frontal: 80%
- Velocidade do *drone*: rápido

Relativamente à missão circular, os parâmetros definíveis são a altitude do *drone* (já abordado), velocidade do *drone* (já abordado) e o ângulo de captura, sendo que este parâmetro define a diferença angular entre uma fotografia e a outra. Quanto menor for este parâmetro, maior será o *overlap*. Este parâmetro varia entre 4° e 20°.

O ângulo da câmara não é possível selecionar. A câmara do drone orienta-se para o centro da circunferência (neste caso, centro da rotunda), ou seja, o ângulo da câmara é calculado com base no raio da circunferência que o *drone* descreve e na altitude do *drone*. Quanto maior a altitude, menor o ângulo, e quanto maior o raio, maior o ângulo.

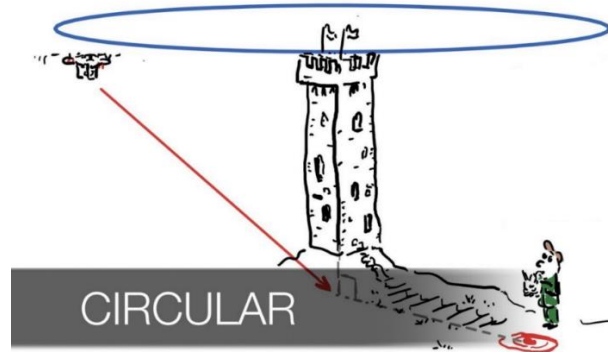


Figura 84 - Missão circular (adaptado de Paladrone).

Os parâmetros da missão circular foram definidos como:

- Altitude do *drone*: 20 metros
- Velocidade do *drone*: rápido
- Ângulo de captura: 10° - teoricamente corresponde a 36 imagens, na prática foram 24 imagens

O tempo de mapeamento usando imagens verticais foi de 8 minutos enquanto que para imagens oblíquas foi de 3 minutos.

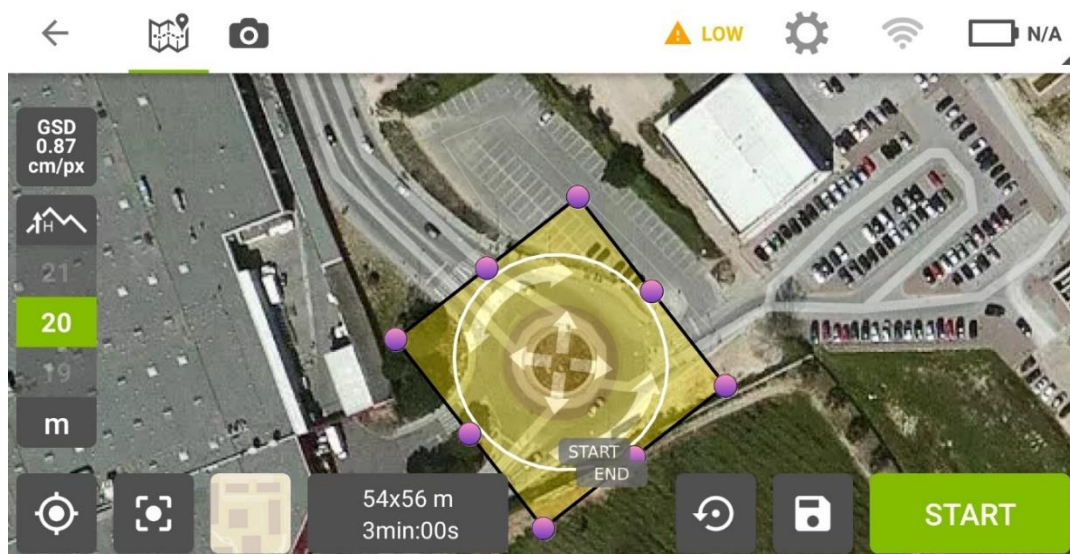


Figura 85 - Mapeamento do local usando a missão circular.

5.3.2.2. Fotogrametria

No *software* de fotogrametria, todos os parâmetros foram definidos como:

- *Initial Processing:*
 - *Keypoints Image Scale: Full*
 - *Matching Image Pairs: Aerial Grid or Corridor*
 - Parâmetros de calibração: por defeito
- Deslocar a nuvem de pontos para junto da origem e reotimizar o projeto;
- *Point Cloud and Mesh:*
 - *Image Scale: 1/2 com Multiscale;*
 - *Point Density: Optimal;*
 - *Minimum Number of Matches: 3;*
 - *Generate 3D Textured Mesh: desativado;*
 - *Matching Window Size: 7x7 quando se usam apenas imagens verticais e a 9x9 quando se usam imagens oblíquas.*

O *croqui* em 3D usando apenas imagens verticais pode ser visto na Figura 86. Visualmente o *croqui* 3D está pobre uma vez que não aparece o poste de iluminação nem as árvores como podem ser vistas nas Figuras 80 e 81.

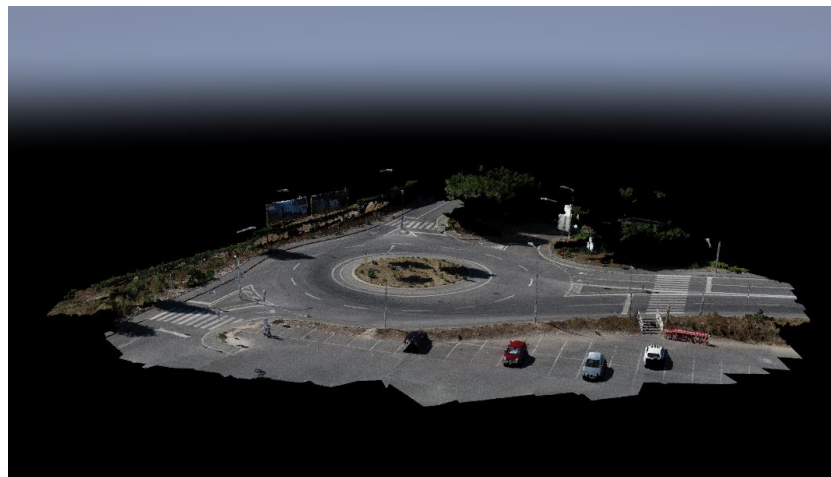


Figura 86 - Croqui 3D com imagens verticais.

Como mostra a Figura 87, usando as imagens oblíquas é possível observar o mesmo local em perspectiva oblíqua de vários pontos. Assim, torna-se possível “preencher” o centro da rotunda algo que usando apenas imagens verticais não seria possível ou seria muito complicado.



Figura 87 - Croqui 3D com imagens verticais e oblíquas.

5.4. Metodologia implementada num cruzamento

O local apresentado neste capítulo consiste num cruzamento com visibilidade reduzida devido a presença de uma casa e do muro com vegetação como mostram as Figuras 88 e 89. O objetivo deste tópico é demonstrar a potencialidade do *croqui* 3D em caracterizar o local, neste caso, em demonstrar que o local é de visibilidade reduzida.



Figura 88 - Aproximação ao cruzamento pelo veículo vermelho.



Figura 89 - Aproximação ao cruzamento pelo veículo azul.

5.4.1. Metodologia convencional

A Figura 90 mostra a imagem obtida no *Google Maps* do local usada para fazer o croqui pelo método convencional.

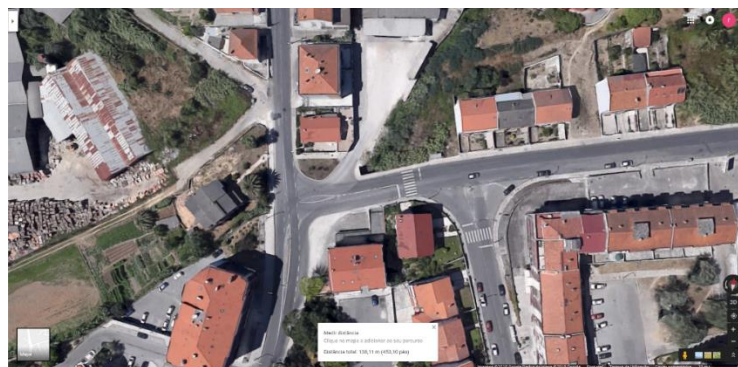


Figura 90 - Imagem do cruzamento pelo Google Maps.

A Figura 91 mostra o *croqui* do cruzamento elaborado pela metodologia convencional. Foram necessários 25 minutos para elaborar o *croqui*.

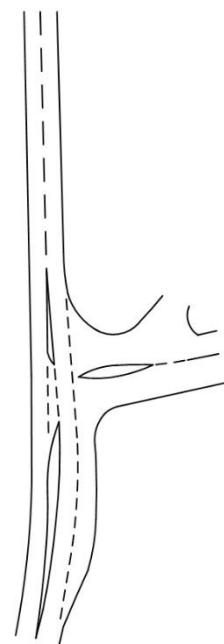


Figura 91 - *Croqui do cruzamento pela metodologia convencional.*

5.4.2. Metodologia com drone

Com a implementação desta metodologia pretende-se demonstrar que é possível utilizar o próprio *croqui* 3D para demonstrar visualmente uma afirmação dita pelo Perito/intervenientes/testemunhas, como por exemplo que o local em estudo apresenta visibilidade reduzida devido à presença de uma casa/muro.

5.4.2.1. Mapeamento do local

Para mapear o cruzamento foi utilizada a função grid do *Pix4Dcapture* para mapear verticalmente o local e a função double grid para representar tridimensionalmente a casa e o muro que reduzem a visibilidade. A Tabela 9 apresenta os parâmetros definidos para cada função bem como o tempo utilizado para mapear o local.

Tabela 9 - Parâmetros definidos para cada função.

<u>Função</u>	Grid	Double Grid
<u>Altitude</u>	30 metros	30 metros
<u>Overlap frontal</u>	85%	85%
<u>Ângulo da câmara</u>	90° (vertical)	60°
<u>Velocidade do drone</u>	Rápida	Rápida
<u>Tempo utilizado</u>	4 minutos	5 minutos e 30 segundos

Contrariamente aos outros projetos, neste foi utilizado uma altitude de 30 metros por questão de segurança devido à presença de prédios próximos do cruzamento. A Figura 92 mostra a área mapeada pela função double grid (a verde) e pela função grid (a cinzento).

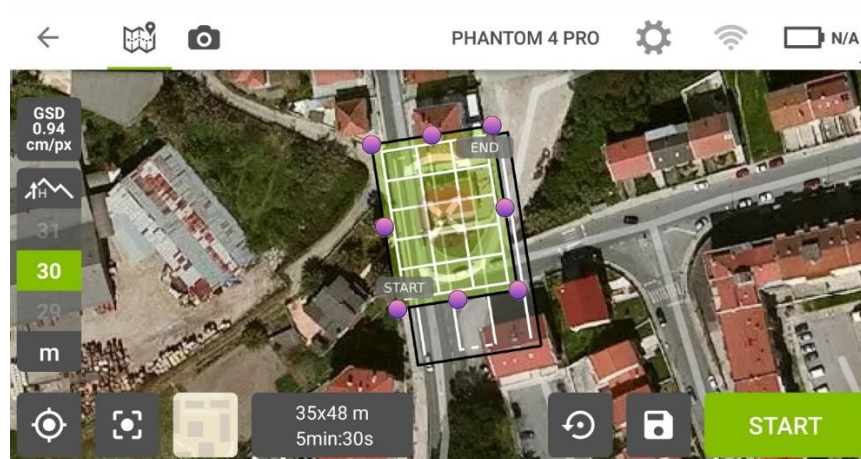


Figura 92 - Estratégia de mapeamento do cruzamento.

5.4.2.2. Fotogrametria

Como se pretende o *croqui* 3D (nuvem de pontos), o último passo do processo de fotogrametria não será executado. Todos os parâmetros foram definidos como:

- *Initial Processing:*
 - *Keypoints Image Scale: Full*
 - *Matching Image Pairs: Aerial Grid or Corridor*
 - Parâmetros de calibração: por defeito

- Deslocar a nuvem de pontos para junto da origem e reotimizar o projeto;
- *Point Cloud and Mesh*:
 - *Image Scale*: 1/2 com *Multiscale*;
 - *Point Density*: *Optimal*;
 - *Minimum Number of Matches*: 3;
 - *Generate 3D Textured Mesh*: desativado;
 - *Matching Window Size*: 9x9

O croqui em 3D usando apenas imagens verticais pode ser visto na Figura 93.



Figura 93 - Croqui 3D do cruzamento.

5.4.2.3. Software de RCA

No *PC-Crash 12.0*, a nuvem de pontos (formato XYZ) foi importada. A nuvem de pontos por si só não é suficiente para que os veículos circulem sobre ela, e, portanto, foi criada uma malha. Com recurso à ferramenta *Select with polygon*, foi criado um polígono que cobria toda a estrada. De seguida, na opção *Draw → Settings* foi definida o tamanho de cada elemento da malha com o tamanho mínimo e máximo igual 1 e 2 metros respetivamente. Por fim, foi criada a malha através da opção *Triangulate*. O resultado final pode ser visto na Figura 94.



Figura 94 - Croqui 3D no PC-Crash 12.0.

Para demonstrar que o veículo azul não consegue observar o veículo vermelho na posição onde está foi traçada uma linha de visibilidade entre os dois veículos. Pode ser visível na Figura 95 que a linha de visibilidade intersesta na vegetação impossibilitando a detecção da presença do veículo vermelho por parte do condutor do veículo azul.



Figura 95 - Linha de visibilidade.

Estando na posição do condutor do veículo azul (Figura 96), é possível demonstrar tridimensionalmente que o muro e a vegetação não permitem detetar a presença do veículo vermelho. Essa é uma das grandes vantagens deste *croqui* face ao *croqui* 2D.



Figura 96 - Visibilidade na primeira pessoa.

5.5. Metodologia implementada numa autoestrada

O local apresentado neste capítulo consiste num troço da autoestrada de perfil 2x2 com um viaduto como é visível nas Figuras 97 e 98. Sendo a autoestrada um local inacessível para levantamento de dados, o objetivo principal deste capítulo é demonstrar que a aquisição de dados através do drone é uma excelente ferramenta para elaboração do *croqui* nestes locais.



Figura 97 - Autoestrada.



Figura 98 - Autoestrada.

5.5.1. Metodologia convencional

A Figura 99 mostra a imagem da autoestrada tirada do *Google Maps* que será usada para elaborar o *croqui*.



Figura 99 - Imagem da autoestrada no *Google Maps*.

A Figura 100 mostra o *croqui* criado pelo método convencional, tendo demorado 15 minutos.

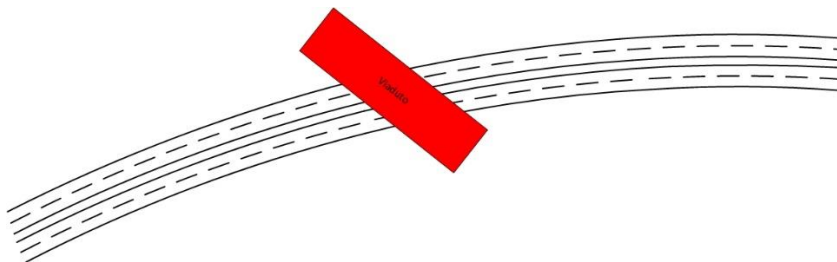


Figura 100 - *Croqui* da autoestrada usando a metodologia convencional.

5.5.2. Metodologia com drone

O objetivo deste capítulo passa por demonstrar a possibilidade de adquirir informações de um local sem aceder a ele. Esta potencialidade torna-se útil quando não é possível aceder ao local como é o caso da autoestrada.

5.5.2.1. Mapeamento do local

Por se tratar de um local mais largo, alguns dos parâmetros (apresentados a negrito) de mapeamento foram alterados:

- **Altitude: foi alterada para 30 metros** para reduzir o tempo de mapeamento e por causa da presença de mato próximo da autoestrada;
- **Overlap: foi reduzido para 80%** para reduzir o tempo de mapeamento;
- Orientação da câmara: 90° (vertical);
- Velocidade do *drone*: rápida

Para além dos parâmetros alterados, foi selecionada a missão polinomial uma vez que permite ajustar o percurso do drone ao local de estudo, neste caso a uma curva como pode ser visto na Figura 101. O tempo gasto resultou em 8 minutos e 30 segundos.

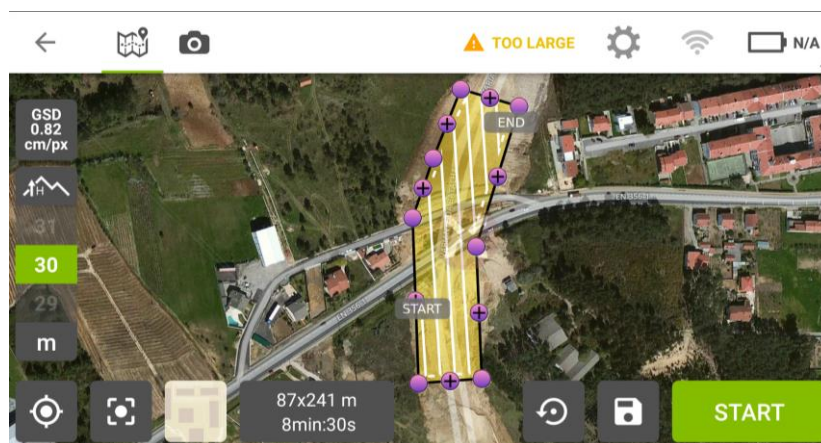


Figura 101 - Parâmetros de mapeamento.

5.5.2.2. Fotogrametria

Face à presença de um viaduto no local de estudo, a utilização de um *croqui* 2D (ortofotografia) torna-se inviável, e, portanto, será usado um *croqui* 3D.

No software de fotogrametria, todos os parâmetros foram definidos como:

- *Initial Processing:*
 - *Keypoints Image Scale: Full*
 - *Matching Image Pairs: Aerial Grid or Corridor*
 - Parâmetros de calibração: por defeito
- Deslocar a nuvem de pontos para junto da origem e reotimizar o projeto;
- *Point Cloud and Mesh:*
 - *Image Scale: 1/2 com Multiscale;*
 - *Point Density: Optimal;*
 - Minimum Number of Matches: 3;
 - Generate 3D Textured Mesh: desativado;
 - Matching Window Size: 7x7

O *croqui* em 3D usando apenas imagens verticais pode ser visto na Figura 102. Verificou-se que devido à largura elevada do viaduto, as imagens verticais não conseguiram observar o que está por baixo do viaduto como é visível na Figura 103, e como tal, a nuvem de pontos tem um buraco nessa zona. A solução passa por, em conjunto com as imagens verticais, utilizar imagens oblíquas junto ao viaduto de modo a visualizar o que está por debaixo dele.



Figura 102 - Croqui 3D.

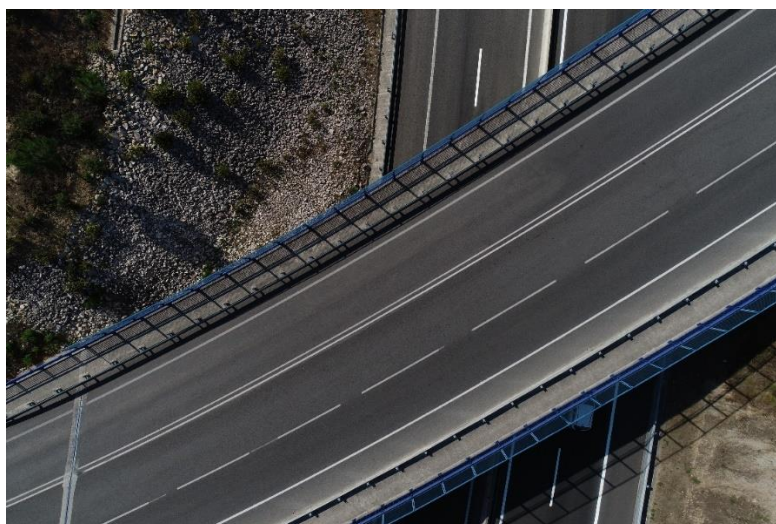


Figura 103 - Viaduto sobre a autoestrada.

Apesar de visualmente o *croqui* 3D ter ficado com mau aspeto, seria possível no PC-Crash criar uma malha sobre a nuvem de pontos. A diferença seria que o tamanho máximo de cada elemento teria de ser grande para poder unir os pontos de um lado ao outro do viaduto.

5.6. Mapeamento de uma estrada com curva

O local de estudo neste tópico consiste numa estrada reta seguida de uma curva como é visível na Figura 104. O objetivo deste estudo consiste em demonstrar as potencialidades das imagens oblíquas.



Figura 104 - Estrada com curva.

5.6.1. Metodologia convencional

A Figura 105 mostra a imagem que serviu de base para elaboração do *croqui* da estrada. A presença de árvores dificulta a visualização dos limites da estrada em certas zonas o que pode conduzir a um *croqui* com erros.



Figura 105 - Imagem da estrada no Bing Maps.

A Figura 106 mostra o *croqui* feito utilizando a metodologia convencional, tendo demorado 10 minutos.

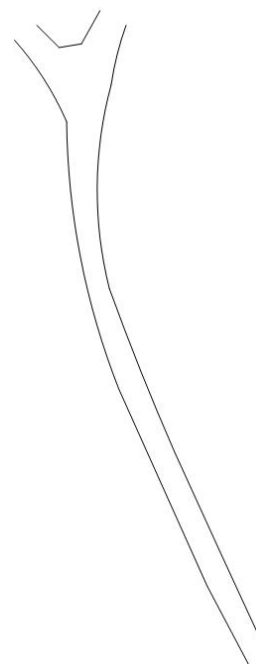


Figura 106 - Croqui da estrada usando método convencional.

5.6.2. Metodologia com drone

Neste capítulo pretende-se demonstrar a importância das imagens oblíquas quando se mapeia um local onde existem árvores que tapam a estrada parcialmente.

5.6.2.1. Mapeamento do local

No software de mapeamento (*Pix4Dcapture*), foram definidos os seguintes parâmetros:

- Altitude: 20 metros;
- Overlap frontal: 85%;
- Velocidade do *drone*: rápida;
- Ângulo da câmara: 90° (vertical)

A Figura 107 mostra a zona que foi mapeada com recurso à missão polígono tendo demorado 8 minutos e 30 segundos como mostra a mesma figura.

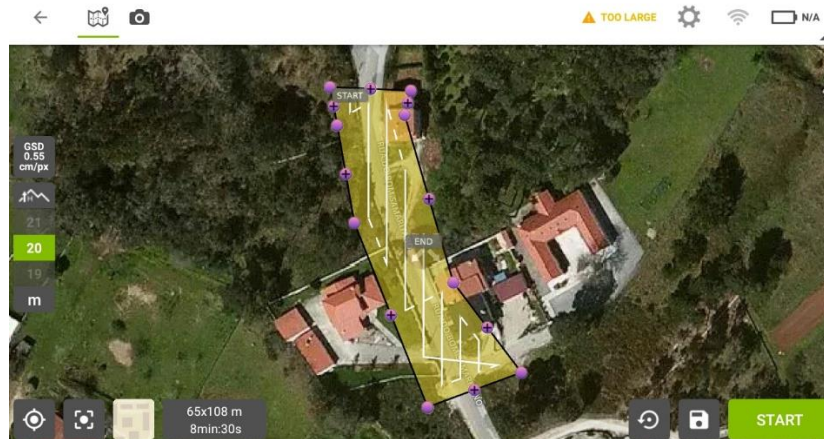


Figura 107 - Mapeamento do local.

5.6.2.2. Fotogrametria

No software de fotogrametria, todos os parâmetros foram definidos como:

- *Initial Processing:*
 - *Keypoints Image Scale: Full*
 - *Matching Image Pairs: Aerial Grid or Corridor*
 - Parâmetros de calibração: por defeito
- Deslocar a nuvem de pontos para junto da origem e reotimizar o projeto;
- *Point Cloud and Mesh:*
 - *Image Scale: 1/2 com Multiscale;*
 - *Point Density: Optimal;*
 - *Minimum Number of Matches: 3;*
 - *Generate 3D Textured Mesh: desativado;*
 - *Matching Window Size: 7x7*

Na Figura 108 é possível observar o *croqui* 3D do local. Ampliando o *croqui*, é possível verificar mais uma vez que um dos problemas da utilização de apenas imagens verticais é a perspetiva vertical do local o que em situações onde existe árvores a tapar parcialmente a estrada pode levar a que a câmara não consiga fotografar o que estão por debaixo dela. A solução passa por adicionar imagens oblíquas junto ao ponto/local onde existe falta de informação.



Figura 108 - Croqui 3D da estrada com curva.

Conclusão

Ao longo dos casos em estudo, a implementação do método convencional para elaboração de um *croqui* revelou ser problemático sendo as causas a má qualidade da imagem obtida no programa de mapas, a presença de árvores e/ou viadutos e a antiguidade das fotografias tiradas pelo satélite (p.e. um STOP que existia na data do acidente, mas não existe nas imagens do satélite). Consequentemente, o *croqui* com erros leva à sua má interpretação por parte do Perito, e, portanto, o *croqui* deixa de ser válido.

Para verificar a fiabilidade do *croqui*, o Perito dirige-se ao local para tirar medições para comparar com o seu *croqui* e para tirar fotografias ao local. Este processo pode tornar-se demorado dependendo do número de medições que se pretende tirar e do fluxo de veículos no local. Por outro lado, para o Perito tirar medições (p.e, largura da estrada) implica que esteja no meio da estrada, e como tal, o processo torna-se pouco seguro.

A implementação de uma nova metodologia de aquisição de dados por meio de imagens aéreas com recurso a um drone permitiu demonstrar que é possível apresentar um *croqui* com boa qualidade tanto ao nível de resolução (apresentação) quanto ao nível de precisão. Por outro lado, o Perito demora pouco tempo no local para adquirir toda a informação (no pior dos casos, o tempo é de 15 minutos) e todo o processo é feito de modo seguro sem a necessidade do Perito circular na estrada. Caso pretenda assegurar a fiabilidade do *croqui*, o Perito pode tirar medições ao local, mas como já foi referido, este passo não é obrigatório.

Todo o procedimento é praticamente automatizado necessitando apenas do utilizador para definir parâmetros tanto na fase de mapeamento como na fase da fotogrametria. Se todo o procedimento for executado corretamente, o resultado final será um *croqui* bem elaborado necessitando de menos mão-de-obra do que um *croqui* feito pelo método convencional que fica sujeito a erros humanos.

Por outro lado, esta metodologia permite não só elaborar um *croqui* bidimensional (ortofotografia) com melhor aspeto visual do que o *croqui* feito pelo método convencional como permite trabalhar com um *croqui* tridimensional. Para além de um *croqui* tridimensional melhorar em muito o aspeto visual face a um *croqui* bidimensional, ele permite reconstituir um acidente em locais com inclinação com precisão algo que o *croqui* bidimensional não consegue devido à não existência da terceira dimensão. Por outro lado, o *croqui* 3D permite reforçar visualmente afirmações ditas pelo Perito, como por exemplo, demonstrar que o condutor do veículo A devido à presença de uma casa/árvore/muro não consegue visualizar o veículo B.

No entanto, esta metodologia apresenta algumas lacunas, sendo uma delas a meteorologia. Implementar esta metodologia em dias de chuva está completamente fora de questão uma vez que danifica o *drone*. Outro aspeto importante é a luminosidade. Quando se tira uma fotografia, pretende-se que ela seja clara (não muito) para que todo o cenário seja perceptível. Obviamente que neste contexto pretende-se o mesmo, e como tal, é ideal tirar fotografias em dias ensolarados do que em dias nublados. Por outro lado, é importante tirar fotografias no pico do dia (entre as 10 e as 14 horas) pois é a altura onde a luminosidade é maior e é o momento onde existem poucas ou até nenhuma sombras. A sombra, para além de não dar bom aspeto visual ao *croqui*, pode dificultar a visualização da estrada. Concluindo, a meteorologia limita os dias onde é possível implementar esta metodologia.

Outra lacuna associada a esta metodologia é a presença de árvores junto à estrada. Em situações onde as árvores tampam (quase) totalmente a estrada, sobrevoar o *drone* por cima das árvores não permite visionar a estrada enquanto que sobrevoar o *drone* por baixo das árvores torna-se perigoso porque o espaço pode ser demasiado apertado para o drone circular livremente. O mesmo acontece no caso de um túnel. Ainda relativamente a espaços fechados/apertados, é importante verificar se o local tem postes de iluminação, linhas de tensão e prédios e estimar quais as suas alturas para definir a altitude de voo do *drone*.

A presença de veículos parados durante todo o processo de mapeamento do local revelou ser uma lacuna desta metodologia. Mesmo assim, é possível apagar o veículo da nuvem de pontos, ficando, no entanto, um espaço sem informação (sem pontos) dando mau aspeto visual. No entanto, a nuvem de pontos não deixa de ser viável quando se pretende usá-lo na reconstituição de um acidente.

Para perceber como se chega a um *croqui* 3D é preciso entender como funciona a fotogrametria e quais os conceitos importantes associados à fotogrametria e à imagem. Relativamente à imagem conceitos como sensor e resolução, distância focal, sensibilidade do sensor, abertura da lente e velocidade do obturador foram estudados. Relativamente à fotogrametria foram estudados os conceitos de *Ground Sample Distance* (GSD), altitude de voo, *overlap* de imagens e velocidade do *drone*. Para o *drone* utilizado, teoricamente concluiu-se que para ter uma nuvem de pontos (*croqui* 3D) como qualidade (menor erro) é preciso trabalhar com o *drone* a altitudes baixas com *overlap* das imagens elevado e com velocidade do *drone* baixa. Na prática, os parâmetros utilizados que melhores resultados apresentaram foram para uma altitude de 20 metros e para um *overlap* frontal de 85%. O parâmetro da velocidade do *drone* foi deixada o mais alto possível (garante que a imagem não fica distorcida) de modo a minimizar o tempo de voo.

Pretendeu-se também estudar a influência das fotos verticais e oblíquas no resultado final da nuvem de pontos. As fotografias verticais demonstraram ser uma boa solução para locais planos onde existe pouca obstrução (presença de árvores) do local em estudo apresentando um GSD mais baixo face à utilização de imagens oblíquas, e consequentemente, menor erro no plano normal. No entanto, para locais com inclinação ou com presença de árvores que tapem bastante a estrada, as imagens oblíquas são a melhor solução para minimizar erros verticais (em z) no primeiro caso, e impedir falta de informação (pontos) por debaixo da árvore no segundo caso. A utilização de imagens verticais permite também melhorar o aspeto visual do *croqui* 3D. No entanto, verificou-se também que o erro em locais planos usando fotografias oblíquas aumenta (porque o GSD também aumenta), e como tal, foram feitos vários projetos utilizando tanto imagens verticais como oblíquas. Esta técnica apresentou melhores resultados, obtendo as vantagens das imagens verticais e das imagens oblíquas, mas o tempo de processamento das imagens é muito elevado.

Dentro das fotografias oblíquas, foram estudadas várias formas de adquirir essas fotografias alterando a inclinação e orientação da câmara. Verificaram-se melhores resultados usando uma inclinação de 30° e com a câmara orientada no sentido do movimento do *drone* que era aproximadamente igual à da estrada.

Futuros trabalhos

Devido a algumas limitações da aplicação de mapeamento utilizada no *tablet*, não foi possível de momento estudar a influência da entrada de menos/mais luz para o sensor da câmara (sensibilidade ISO e abertura da lente) na qualidade do *croqui* 3D nem a influência do aumento da velocidade do obturador na qualidade do *croqui* 3D e no tempo despendido ao mapear o local. Como tal, propõe-se em trabalhos futuros analisar a influência destes parâmetros.

Dando continuidade a este trabalho, recomenda-se ainda a utilização do drone para implementação de uma metodologia para “digitalização” de veículos. A digitalização do veículo oferece a possibilidade de calcular a energia de deformação dos veículos, de demonstrar a tipologia de contacto entre veículos e de representá-lo tridimensionalmente num *software* de RCA.

Bibliografia

- [1] ANSR, “Relatório Anual de Sinistralidade Rodoviária 2017,” 2018.
- [2] CARE, “Annual Accident Report 2017,” 2018.
- [3] ASF, “Seguro Automóvel,” 2011.
- [4] C.Gomes, “Investigação de acidentes rodoviários: recolha de informação,” 2010.
- [5] AutoScience, *Introdução ao desenho de Croquis*.
- [6] R.Pinto, “Reconstituição de Acidentes Rodoviários com Veículos de Duas Rodas,” 2008.
- [7] Universidade do Porto, “Dinâmica e Sistemas Dinâmicos,” [Online]. Available: <https://def.fe.up.pt/dinamica/index.html>. [Acedido em Novembro 2017].
- [8] BBC, “What is the connection between forces and motion,” [Online]. Available: http://www.bbc.co.uk/schools/gcsebitesize/science/add_ocr_pre_2011/explaining_motion/forcesandmotionrev2.shtml. [Acedido em Fevereiro 2018].
- [9] Khan Academy, “O que é conservação do momento,” [Online]. Available: <https://pt.khanacademy.org/science/physics/linear-momentum/momentum-tutorial/a/what-is-conservation-of-momentum>. [Acedido em Fevereiro 2018].
- [10] Pix4D, Pix4Dmapper 4.1 - User Manual, 2017.
- [11] PC-Crash 12.0, “Operating and Technical Manual,” 2018.
- [12] Medium, “4 Reasons Drones will Revolutionize Accident Scene Response,” [Online]. Available: <https://medium.com/the-science-of-drone->

- mapping/4-reasons-drones-will-revolutionize-accident-scene-response-a1db234eeccf. [Acedido em Abril 2018].
- [13] Nikon, “Distância Focal,” [Online]. Available: www.nikon.com.br/learn-and.../a/.../introdução-entendendo-a-distância-focal.html. [Acedido em Março 2018].
- [14] CCM, “A distância focal,” [Online]. Available: <https://br.ccm.net/faq/9345-a-distancia-focal>. [Acedido em Março 2018].
- [15] Pinterest, “La distancia focal de un objetivo: todo lo que debes saber,” [Online]. Available: <https://www.pinterest.pt/pin/269653096418464043/>.
- [16] Wikipedia, “Sensor de imagem,” [Online]. Available: https://pt.wikipedia.org/wiki/Sensor_de_imagem. [Acedido em Março 2018].
- [17] Wikipedia, “Resolução de imagem,” [Online]. Available: https://pt.wikipedia.org/wiki/Resolu%C3%A7%C3%A3o_de_imagem. [Acedido em Março 2018].
- [18] Yahoo, “Resolution vs Sensor Size: Which Matters More?,” [Online]. [Acedido em Março 2018].
- [19] Panasonic, “CCD (Image Sensor) Pixel Count and Size,” [Online]. Available: <http://av.jpn.support.panasonic.com/support/global/cs/dsc/knowhow/knowhow26.html>. [Acedido em Março 2018].
- [20] Techtudo, “Saiba o significado das siglas e números da abertura de lentes de câmeras,” [Online]. Available: <https://www.techtudo.com.br/dicas-e-tutoriais/noticia/2014/04/saiba-o-significado-das-siglas-e-numeros-da-abertura-de-lentes-de-cameras.html>. [Acedido em Março 2018].
- [21] Emania, “Sensibilidade ISO,” [Online]. Available: <https://blog.emania.com.br/sensibilidade-iso/>. [Acedido em Março 2018].
- [22] Wikipedia, “Velocidade do obturador,” [Online]. Available: https://pt.wikipedia.org/wiki/Velocidade_do_obturador. [Acedido em Março 2018].

- [23] Nikon, “Diferenças entre obturadores eletrônicos e mecânicos,” [Online]. Available: https://www.nikonimgsupport.com/eu/BV_article?articleNo=000006443&lang=pt_PT. [Acedido em Março 2018].
- [24] Emania, “Entenda o que é o rolling shutter,” [Online]. Available: <https://blog.emania.com.br/rolling-shutter/>. [Acedido em Março 2018].
- [25] Blender, “Rolling shutter effect,” [Online]. Available: <https://blender.stackexchange.com/questions/115755/rolling-shutter-effect>. [Acedido em Março 2018].
- [26] Propeller, “What is Ground Sample Distance (GSD) and How does it Affect Your Drone Data?,” [Online]. Available: <https://www.propelleraero.com/blog/ground-sample-distance-gsd-calculate-drone-data/>. [Acedido em Março 2018].
- [27] DroneDeploy, “Seven Ways to Improve the Accuracy of Your Drone Maps,” [Online]. Available: <https://blog.dronedeploy.com/seven-ways-to-improve-the-accuracy-of-your-drone-maps-9d3161f05956>. [Acedido em Março 2018].
- [28] Pix4D, “Image acquisition plan for terrain with height variations,” [Online]. Available: <https://support.pix4d.com/hc/en-us/articles/204656209-Image-acquisition-plan-for-terrain-with-height-variations>. [Acedido em Junho 2018].
- [29] A.Berveglieri et al., “Uso do detetor de pontos de interesse SIFT para localização de alvos artificiais de controle,” 2017.
- [30] C.Stachniss, *Finding Corresponding Points (SIFT Features & RANSAC)*, *Photogrammetry II Course*, 2015.
- [31] J.Janicka e J.Rapinski, “Outliers detection by RANSAC algorithm in the transformation of 2D coordinates frames,” 2014.

- [32] M.Zheng et al., “Bundle block adjustment of large-scale remote sensing data with Block-based Sparse Matrix Compression combined with Preconditioned Conjugate Gradient,” 2016.
- [33] Y.Jianchao e C.Chern, “Comparison of Newton-Gauss with Levenberg-Marquardt algorithm for space resection,” 2001.
- [34] C.Strecha, “Pix4D – Error Estimation,” 2014.
- [35] Pix4D, “What is the Theoretical Error $S(X,Y,Z)$ of a computed 3D point?,” [Online]. Available: <https://support.pix4d.com/hc/en-us/articles/202559139-What-is-the-Theoretical-Error-S-X-Y-Z-of-a-computed-3D-point->. [Acedido em Junho 2018].
- [36] C.Stachniss, “Matching (Least Squares Matching), Photogrammetry I Course,” 2015.
- [37] Wikipedia, “Ortofotografia,” [Online]. Available: <https://pt.wikipedia.org/wiki/Ortofotografia>. [Acedido em Abril 2018].
- [38] I. Eagle Digital Imaging, “Technical Info,” [Online]. Available: <http://eagleimaging.net/technical-info>. [Acedido em Março 2018].
- [39] C.Stachniss, *Orthophoto, Photogrammetry II Course*, 2015.
- [40] Geoimage, “Dems Overview,” [Online]. Available: <https://www.geoimage.com.au/DEMS/dems-overview>. [Acedido em Junho 2018].
- [41] H.Gharibi e A.Habib, “True Orthophoto Generation from Aerial Frame Images and LiDAR Data: An Update,” 2018.
- [42] Pix4D, “Designing the Image Acquisition Plan,” [Online]. Available: <https://support.pix4d.com/hc/en-us/articles/202557459#gsc.tab=0>. [Acedido em Abril 2018].