* Fotogrametria - uma das mais importantes técnicas de aquisição de dados para um SIG

**Capítulo 1 – Projeto de Produção Cartográfica**

**Resumos de Produção Cartográfica**

* Implantou-se na produção cartográfica no início dos anos 30 do sec. XX.
* Excetuando as plantas de grandes escalas de grande dimensão, o levantamento fotogramétrico está atualmente na base de qualquer carta fotogramétrica.
* Isto deve-se a vários fatores de carácter intrínsecos:
  + A afinidade entre o conteúdo de uma fotografia aérea e a informação que se convenciona representar na carta
  + Dimensão de informação do terreno contido na fotografia
  + Possibilidade de restituir diversos tipos de informação em séries temporais
  + A possibilidade de mecanizar o processo de produção fotogrametria
  + A possibilidade de associar o processamento eletrónico dos dados e a computação gráfica à restituição fotogramétrica
  + A possibilidade de automatizar o processo de restituição, utilizando processamento digital de imagens e modelos analíticos
* A carta era considerada como produto final da fotogrametria
* Atualmente o produto final é o conjunto de dados que constitui a base geográfica de um SIG
* Diagram

  Description automatically generatedPara a produção cartográfica é utilizada primordialmente a fotogrametria aérea, podendo esta ser complementada por outras técnicas:
  + levantamentos LIDAR
  + levantamentos topográficos pontuais
  + recolha de dados não espaciais em campo.
* Métodos de restituição utilizados:
  + Estereorrestituição - representações de traço e cartas
  + Retificação fotográfica - dando origem a ortofotos e ortofotomapas.
* A base de todos os processos fotogramétricos para produção cartográfica é composta por duas fases: voo fotogramétrico e georreferenciação. Só apos estas operações é que se pode passar à restituição do pormenor por estereorrestituição ou retificação.

# Produção de cartas de traço

* A informação adquirida por estereorrestituição de fotografias aéreas é tridimensional e pode ser utilizada para vários objetivos – um dos objetivos principais é a produção de cartas.
* Normalmente o nível de detalhe (NdD) da representação cartográfica condiciona *a priori* a informação que se deve extrair.
* Quando se vai estereorrestituir já se sabe qual vai ser a escala de representação e só se recolhem do modelo estereoscópico os elementos representáveis cartograficamente nesse nível de detalhe.
* Caso não se saiba *a priori* a escala de representação final, estereorrestituir para o maior detalhe que a qualidade das imagens e da georreferenciação permitam.
* A informação é guardada numa base de dados. Poderão posteriormente ser geradas representações cartográficas a várias escalas.
* O passo de associação de atributos aos objetos estereorrestituidos pode ser realizado simultaneamente com a estereorrestituição ou posteriormente - edição cartográfica.

# Produção de ortofotomapas

Ortofotos/ortofotomapas – produtos fotogramétricos obtidos por retificação a partir de fotografias aéreas, representados pela sua radiometria em cores naturais. A retificação fotográfica exige o conhecimento prévio do relevo da zona fotografada em modelo digital de elevação.

# Produção de modelos de elevação

Subproduto da estereorrestituição utilizado para obter curvas de nível para as cartas de traço e para ser utilizado na retificação para ortofotos. Atualmente a fotogrametria aérea pode ser utilizada na aquisição de dados 3D, tanto para modelos digitais de terreno como para a elaboração de modelos urbanos.

**Capítulo 2 –Produção de cartas de traço por Estereorrestituição**

# Carta:

* Representação projetada no plano XY
* Reduzida à escala
* Corresponde a uma zona da superfície terrestre
* Contém primitivas geométricas (ponto, linha, polígono)
* Pode ser impressa ou digital
  + Quando impressa tem uma escala
  + Quando não impressa tem um nível de detalhe (NdD)
* Elementos da carta impressa (GELADO T):
  + Grelha
  + Escala
  + Legenda
  + Autor
  + Datum / Data da Informação
  + Orientação
  + Título
* Cartas topo-geográficas - Todos os temas são representados com o mesmo nível de importância (ACHO MUITTO):
  + Altimetria
  + Construções
  + Hidrografia
  + Ocupação do solo
  + Mobiliário urbano
  + Unidades administrativas
  + Infraestruturas
  + Toponímia
  + Transportes
  + Ortofoto
* Nas cartas temáticas são representados determinados fenómenos ou comportamentos da natureza ou da sociedade. Ex.:
  + Cartas físico-geográficas (geológicas ,botânicas)
  + Cartas socioeconómicas (económicas, de recursos, populacionais, culturais, históricas)
  + Cartas técnicas (cartas náuticas, aeronáuticas)
* A elaboração das cartas topo-geográficas segue as normas estabelecidas para cada escala ou NdD pela autoridade de cartografia. Autoridade de cartografia define:
  + Catálogo de objetos a restituir e respetivos atributos
  + Precisões geométricas exigidas
  + Consistência com o catálogo
  + Completude

# Características dos elementos cartográficos:

* Hidrografia – Representa todos os cursos de água naturais ou artificiais à superfície, incluindo obras de arte hidráulicas. A linha de costa e as superfícies aquáticas estão incluídas neste tema.
* Altimetria – constituída pela morfologia da superfície terreste. É exigida a reprodução precisa da posição, dimensões e formas do relevo e que a representação utilizada possibilite a determinação de cotas em qualquer área da carta, bem como de desníveis relativos. A altimetria de uma carta topográfica pode ser representada de forma vetorial ou matricial.
  + Vetorial – relevo representado por curvas de nível – linhas que unem pontos de igual cota, sendo a diferença de cotas entre duas curvas de nível vizinhas denominada equidistância natural. O valor da equidistância natural está padronizado para cada escala ou NdD. (NdD 1 – 2m, NdD2 – 5m). Em zonas do terreno extensas que se encontrem entre curvas de nível ou onde a tendência do declive se altera há necessidade de incluir pontos isolados com a informação da respetiva cota, os pontos cotados. Em terrenos quase planos incluem-se localmente curvas de nível intermédias, com equidistância natural menor que a estipulada para a escala da carta (geralmente metade). São também representadas por símbolos zonas do terreno cujo declive seja tal que as projeções ortogonais das curvas de nível à equidistância natural estabelecida se toquem ou sobreponham, dificultando a legibilidade (aterros, desaterros, falésias)
  + Matricial - o relevo é representado por um MDT.
* Ocupação do solo – representadas por manchas coloridas e símbolos as áreas cobertas por vegetação e por culturas homogéneas, bem como as áreas artificializadas. Na carta não impressa, apenas são guardados os polígonos definidores dessas áreas com os respetivos atributos.
* Construções – este nível inclui todo o edificado definido pelos seus contornos projetados no plano XY. Em escalas maiores cada edifício é representado individualmente, passando-se à representação simbólica do conjunto edificado nas escalas menores. Edifícios e objetos cujo significado seja relevante e que assumam o papel de pontos de referência são adicionalmente representados por símbolos na carta impressa. As casas são geralmente restituídas pelo contorno dos telhados.
* Transportes – caminhos, ruas ,estradas e autoestradas, caminhos de ferro e estruturas associadas são representados em cartas topográficas. Nas grandes escalas, as vias são representadas com a verdadeira largura à escala e em escalas menores por uma linha cujos atributos correspondem a uma classificação da via, não estando a espessura da linha diretamente relacionada com a largura da via.
* Infraestruturas – Instalações e redes de distribuição de água, gás, eletricidade, telecomunicações. Se forem subterrâneas não podem ser extraídas das fotografias áreas.
* Mobiliário Urbano – Objetos deste tema normalmente só aparecem em grandes escalas. Constituídos por elementos tipicamente urbanos como paragens de autocarro, bandos d jardim, semáforos etc.
* Unidades administrativas – as linhas limite das unidades administrativas, a não ser que coincidam com acidentes naturais ou objetos do terreno não podem ser estereorrestituidos.
* Toponímia – este tema agrega os nomes que identificam os locais, acidentes geográficos e rios. Cada nome está associado a um ponto com coordenadas XY junto ao local nomeado.

# Estereorrestituidores:

A aquisição de informação tridimensional do objeto a partir do par de fotografias aéreas denomina-se estereorrestituição. Os instrumentos para isso desenvolvidos chamam-se estereorrestituidores. Todos incluem:

* componente que permite importar as duas imagens
* componente que permite reconstruir as orientações do par estereoscópicos
* componente que permite a visualização em 3D
* componente que se destina à medição em 3D
* componente para registo dos dados restituídos.

Três fases:

* Fase analógica – modelo estereoscópico era formado por projeção ótica direta ou indireta.
* Fase analítica – aproveitamento do desenvolvimento tecnológico da computação automática, recuperando as equações fotogramétricas que não eram integradas na estereorrestituição devido à complexidade do cálculo. Os estereorrestituidores passaram a integrar computadores cada vez mais potentes, dispensando soluções mecânicas e reduzindo a parte ótica ao mínimo indispensável para a observação estereoscópica.
* Fase digital – a dimensão da componente computacional nos estereorrestituidores foi aumentando de tal forma ao longo do tempo que nessa época se tornou possível conceber estereorrestituidores sem qualquer componente mecânica. Muitas das operações fotogramétricas puderam ser automatizadas ou semi-automatizadas, tornando o trabalho do operador humano menos moroso. As estacoes podem ser utilizadas tanto para estereorrestituição como para ortorretificação e restituição múltipla. Permitem uma classificação de objetos durante e apos a fase de restituição.

Modos de estereorrestituição

* Diagram, text

  Description automatically generatedEstereorrestituição gráfica - Designa-se por estereorrestituição gráfica a operação fotogramétrica que conduz ao desenho direto sobre uma folha – que contenha a quadricula cartográfica à escala e os pontos de apoio implantados pelas suas coordenadas terreno. Este modo de restituição era muito comum nos restituidores analógicos.
  + 1- reconstrução analógica das orientações internas, relativas e absoluta de um par de fotos,
  + 2- restituição linear do pormenor, desenhando todos os objetos.
* Estereorrestituição numérica - distingue-se da gráfica pelo facto do seu produto imediato ser um ficheiro de dados numéricos. As operações de edição do desenho, revisão, implantação da completagem e quaisquer correções eram sempre feitas sobre o original da restituição em papel. Mais tarde, com o aparecimento das estacoes gráficas interativas, Esse conjunto de dados em formato numérico passou a ser considerado Diagram

  Description automatically generatedo próprio original de restituição. Revisões, emendas e completagem passaram a ser efetuadas interactivamente no monitor. Aquilo que se começou por designar carta numérica é atualmente denominado modelo numérico topográfico. Este é o modo de estereorrestituição nas atuais estacoes fotogramétricas digitais. A própria maneira de estereorrestituir difere da anterior. Os objetos planimétricos passam a ser definidos pelo operador por meio do registo das coordenadas dos seus vértices ou pontos notáveis (modo pontual) e não pelo seguimento do contorno do objeto (modo linear). Na restituição de altimetria, a estereorrestituição numérica proporciona alternativas à geração direta de curvas de nível. Surge a aquisição de cotas em modo pontual. Deste pode ser gerado um MDT do qual se obtêm então as curvas de nível para a carta.

# Precisão do pormenor estereorrestituidos

Precisão não é constante e depende:

* Do tipo de objeto restituído
* Do modo como é restituído
* Dos métodos de orientação utilizados
* Das distorções da imagem
* Da qualidade radiométrica da imagem
* Do apoio fotogramétrico (PFs)
* Do estereorrestituidor utilizado

Text, letter

Description automatically generatedPrecisão dos objetos da planimetria

* H representa a distância ao objeto (altura de voo sobre o solo)
* Pontos naturais são obtidos com menor precisão que os sinalizados.
* valores para a indefinição (sigma) provêm de estudos empíricos.

Uma distância calculada a partir de coordenadas determinadas fotogrametricamente virá afetada do erro médio, sendo independente do seu comprimento

Restituição linear:

Erro médio de uma linha de limite de objeto

Precisão da altimetria estereorrestituida (modo pontual):

Raster ou pontos isolados:

Curvas de nível

No momento em que uma fotografia é obtida a partir de um ponto no espaço; existe uma relação espacial única entre a imagem que se forma no plano imagem dentro da câmara e objeto que esta a ser fotografado. Esta relação espacial é característica de cada fotografia e é definida por um conjunto de parâmetros que permitem recuperar em qualquer altura a relação espacial foto-objeto que existia no momento da captação de imagem. A determinação dos parâmetros e a recuperação da relação espacial primitiva confirmam um conjunto de operações denominado por orientação fotogramétrica.

**Capítulo 3 – Orientações em Fotogrametria**

* Orientação Interna refere-se à posição do plano imagem dentro da camara e à definição do feixe perspetivo de raios luminosos que originou a imagem.
* Orientação Externa refere-se à posição da câmara e à orientação do eixo fotográfico no espaço objeto.
* Orientação Relativa a posição relativa de 2 ou várias fotografias do mesmo objeto em relação as outras quando foram obtidas.
* Orientação Absoluta por orientação do modelo estereoscópico na captura do objeto e a sua escala relativamente ao objeto.

# Orientação Interna:

Parâmetros:

* Constante da câmara
* Coordenadas fotos do ponto principal x0 e y0
* Distorção causada pelo sistema de lentes da objetiva - distorção radial
* Distorção causada pela descentragem das diversas lentes - distorção tangencial
* Outras distorções - efeito da luminosidade, efeitos de ferramentas adicionais na orientação

Nas camaras analógicas o sistema de coordenadas foto é definido pelas mesmas fiduciais que se encontram no plano imagem a origem do sistema de coordenadas foto é a intersecção das retas que unem as marcas fiduciais diametricamente opostas, denominadas por ponto médio da foto.

# Calibração analítica

Dada a complexidade da geometria das imagens finais das camaras digitais de sensores matriciais, que incluem sub-imagens de várias câmaras, a calibração destes em laboratórios consiste numa sessão fotográfica de um campo tridimensional com muitas marcas pré-coordenadas, sendo os parâmetros de orientação interna determinados de modo analíticos, com algoritmos de triangulação fotogramétrica por feixes perspetivos para cada camara componente. As distorções determinadas são corrigidas na imagem final de modo que a imagem final não contenha distorções radiais.

# Certificado de calibração

Todos os dados de orientação interna de uma câmara são registados no certificado de calibração:

* Identificação da câmara: marca, modelo, número de serie
* Identificação da objetiva: tipo e marca
* Identificação da entidade calibradora
* Data de calibração
* Método de calibração usada
* Constante da câmara equivalente (calibrada)
* Coordenadas foto do ponto principal de autocolimação (PPA)
* Coordenadas foto do ponto principal de simetria (PPS)
* Coordenadas foto das marcas fiduciais
* Esquema de identificação das marcas fiduciais
* Distorção radial ao longo das quatro semi-diagonais
* Distorção radial média

A distorção radial aparece normalmente tabulada em função da distância radial ao ponto principal de simetria e ainda sobre forma de gráfico

# Transformação de coordenadas imagem para coordenadas foto

Diagram

Description automatically generatedNa era da fotogrametria digital a medição de coordenadas é feita sobre imagens digitais constituídas por um conjunto de pixels de determinadas dimensões. Como os modelos matemáticos fotogramétricos relacionam coordenadas foto com coordenadas objeto há a necessidade de transformar as coordenadas pixel em coordenadas foto referidas ao ponto médio.

Caso de imagens digitais

Para a transformação de coordenadas pixel de um ponto em coordenadas foto é necessário conhecer a priori 4 parâmetros de imagens:

* Dimensão do pixel em x – pix x
* Dimensão do pixel em y – pix y
* Número de pixel da imagem em x - npix x
* Nº de pixel da imagem em y - npix y

Caso de imagens digitalizadas:

A passagem de coordenadas pixel para coordenadas foto é realizada pela transformação geométrica plana entre os dois sistemas de coordenadas (foto e imagem). Se existem 4 marcas fiduciais calculam-se os parâmetros de uma transformação afim. No caso de a imagem possuir 8 marcas fiduciais determina-se por transformação bilinear a 8 parâmetros.

# Parâmetros de orientação externa

Definem no espaço objeto a posição e orientação da câmara no momento em que foi obtida a fotografia. São suficientes 6 parâmetros para definir a orientação externa de uma fotografia:

* Coordenadas objeto do centro de projeção
* 3 ângulos independentes que definem inequivocamente a orientação do eixo de rotação – em fotogrametria ângulos de atitude do avião (ω, φ, κ)

A determinação destes parâmetros pode ser feita de modo direto ou indireto. O indireto é o mais comum e consiste na determinação analítica dos parâmetros a partir de um mínimo de 3 pontos não colineares de coordenadas objeto conhecidas (PF). O modo direto consiste na determinação dos parâmetros na fase da aquisição da própria fotografia. Em fotogrametria aérea a orientação externa pode ser diretamente determinada em voo com sistemas GPS/IMU.

# Parâmetros de orientação relativa

Os parâmetros de orientação relativa definem como se posiciona e orienta o plano imagem relativamente a um outro plano na fase da aquisição das fotos. É definido num sistema de coordenadas modelo tridimensional pelo vetor que une os dois centros de projeção das fotos (a base do modelo) e pelas rotações espaciais relativas das duas fotos. Pelo facto de na fase de aquisição existir para cada ponto objeto uma complanaridade dos seus raios luminosos que formam as imagens de um ponto nas duas fotos e a base do modelo apenas cinco dos parâmetros são independentes. Pode-se considerar por exemplo a base fixa e a rotação ω1 fixa (bx,by,bz,ω1 = constante) e determina-se as rotações ω2, φ2, κ2, φ1, κ1.

# Método de recuperação da orientação relativa de um par estereoscópico

O objetivo - geração do modelo estereoscópico da zona do objeto que é comum nas duas fotos. Nos estereorrestituidores analíticos e estações digitais a determinação dos parâmetros de orientação relativa é realizada a partir das coordenadas foto de um conjunto de pontos homólogos num mínimo de 5 pares localizados nas zonas de Von Grubber. Em estações digitais é possível também que operadores automáticos utilizem processos de correlação para determinar posições de pares de pontos homólogos pela semelhança radiométrica. Em qualquer caso os parâmetros de orientação relativa são estimados pelo método de mínimos quadrados

# Pares normalizados ou/e epipolares

Nas estações digitais a visualização do modelo é geralmente efetuada em imagens normalizadas obtidas a partir das originais por um processo analítico denominado reamostragem epipolar. Este processo consiste em criar duas imagens equivalentes às originais em radiometria, mas com a geometria do caso normal da fotogrametria, o que significa terem os dois eixos fotográficos paralelos, o eixo dos xx coincidentes e paralaxe vertical nula em todos os pontos. O processo exige o conhecimento dos cinco parâmetros angulares de orientação relativa do par determinados considerando a base constante e ω1=0. Envolve as equações de colinearidade entre os pontos da imagem normalizada. Esta operação é apenas realizada para permitir a visualização estereoscópica e facilitar a correção de imagens e operações de feature based matching.

# Parâmetros de orientação absoluta:

A posição e orientação espacial do modelo estereoscópico no espaço objeto é composta por 7 parâmetros:

* Um fator de escala (entre as coordenadas modelo e terreno)
* 3 componentes de translação (Xm, Ym, Zm)
* 3 rotações espaciais (Ω, Φ, Κ)

Matematicamente os sistemas de coordenadas modelo no terreno são semelhantes pelo que a relação espacial entre ambos os sistemas pode ser obtida pela aplicação das TES

Nota: É necessário um mínimo de 3 pontos não colineares (pontos de apoio) e que sejam medidos também as coordenadas modelo do modelo estereoscópio.

As fotografias aéreas são utilizadas para dois campos genéricos de aplicação:

**Capítulo 4 – Camaras métricas aéreas**

* fotointerpretação: análise e processamento de informação qualitativa da foto
* fotogrametria: análise e processamento de informação geométrica e quantitativa da foto

Para a fotogrametria é importante:

* nitidez e poder resolvente
* precisão da geometria – ausência de distorções e aberrações da objetiva

🡪 para realizar fotogrametria aérea só se podem utilizar camaras métricas aéreas

# Câmaras métricas aéreas analógicas

As câmaras aéreas analógicas produzem fotografias em suporte de filme. São concebidas para serem montadas de um modo permanente numa plataforma aérea. Para garantir a sobreposição longitudinal entre fotos consecutivas, e devido à grande velocidade do avião, é necessário que a câmara esteja equipada com dispositivos que automatizem o processo de obtenção de fotos, ou seja, que permitam disparar consecutivamente, sendo os intervalos de tempo entre disparos uma função da velocidade do avião e do valor de sobreposição longitudinal pretendida.

Componentes:

* uma base horizontável
* bloco com um motor que aciona o processo automático de obtenção das fotos
* cone com a objetiva que assenta no centro do anel da base e contém, alem das bobines de filme, um mecanismo de vácuo para planificar o filme.

Exteriormente ao corpo principal da câmara:

* regulador de sobreposição
* telescópio da navegação. Serve para ajudar o navegador a localizar a zona onde se deve iniciar o percurso fotográfico e, na mudança de faixas, onde se deverá recomeçar os disparos.

Uma camara aérea analógica é essencialmente uma máquina fotográfica de grandes dimensões, com os mecanismos adequados ao seu funcionamento automatizado no tipo de plataforma aérea em que está montada. Uma camara aérea deve:

* Estar associada a bons instrumentos de navegação para permitir encontrar o início do percurso do voo fotográfico e manter o percurso, inclusivamente em altitude.
* Ter um controlador de rumo e regulador de sobreposição, para se manter a sobreposição longitudinal ao longo do voo, ainda que a cota do terreno varie bruscamente.
* Possuir um dispositivo que evite o arrastamento da imagem durante a exposição, deslocando o filme no sentido contrário ao do voo (FMC – forward motion compensation)
* Ter um obturador central para tempos de exposição curtos e rápido nos momentos de abertura e fecho.

As informações marginais destinam-se a facilitar o trabalho posterior de organização das fotos e restituição. É, por isso, importante que cada foto tenha bastantes informações, como por exemplo a imagem de:

* um contador automático de números de foto
* um relógio (p/ determinar a orientação aproximada da foto a partir das sombras e da hora)
* um altímetro (para determinar a escala aproximada)
* um nível de bolha de ar (para detetar uma falta de horizontalidade da câmara no momento de exposição)
* a data, o número da camara e o número do filme (para identificação do certificado de calibração e do protocolo de voo)
* o nome do projeto
* a constante da camara
* os dados da orientação externa parciais ou completos, caso a câmara esteja acoplada a um sistema de navegação por GPS ou GPS/IMU

# Camaras aéreas digitais.

Foram desenvolvidos dois tipos distintos de camaras aéreas baseadas em conceitos diferentes: camaras com sensor CCD linear ou sensor CCD matricial.

As componentes gerais de uma camara digital incluem:

* modulo do sensor – sensores e componente eletrónica de controlo do processo de aquisição da imagem.
* unidades de memoria em massa – guardam toda a informação das imagens captadas
* sistema GNSS/IMU – debita a posição espacial e os ângulos de atitude do sensor ao longo do voo. Atualmente todos os voos se realizam com apoio GNSS/IMU.

As imagens originais são obtidas por um conjunto de sensores CCD. É feita simultaneamente a captação de radiação pancromática, de três canais com as cores fundamentais e de um canal de radiação infravermelha próxima. Em geral, para a mesma resolução, as imagens pancromáticas digitais apresentam melhor definição do que as imagens analógicas digitalizadas.

# A picture containing text Description automatically generatedCâmaras com CCD linear

Câmara com uma só objetiva e um número de vetores de sensores no plano focal colocados em diferentes posições, mas perpendiculares à linha de voo. As camaras têm basicamente 3 vetores de sensores CCD, posicionados um no plano vertical do centro de projeção, outro posicionado para a frente no sentido de voo e outro para trás, sendo todos sensíveis no domínio pancromático do espetro eletromagnético. As camaras podem ter ainda 3 a 4 vetores multiespectrais (RGB+NIR) localizados perto do vetor nadiral no plano focal. A disposição dos vetores varia com o modelo, segundo o objetivo para o qual a camara vai ser usada.

A técnica utilizada para obter as imagens no terreno é conhecida por pushbroom -o terreno é varrido continuamente à medida que o avião avança na linha de voo.

# Leica ADS – câmara aérea deste tipo que melhor se implantou no mercado

Principais caracteristicas:

* uma só objetiva
* constante = 62 mm
* Para além do cone da objetiva possui uma cabeça onde se encontra o plano focal com os vetores de sensores e todas as componentes eletronicas necessarias à aquisição da informação radiométrica
* Em cada momento é captada 1 linha da imagem do terreno por cada vetor
* Tempo de captacao e registo de cada linha é de 1.2ms

As imagens que se obtêm após justaposição das linhas captadas são faixas contínuas do terreno fotgrafado. Essas imagens originais apresentam distorções devidas ao facto de cada linha ter sido obtida de uma posição espacial diferente e a atitude do avião variar também a longo da captação de varias linhas 🡪 a câmara tem que incluir um sistema GNSS/IMU associado para corrigir distorções. Tendo em conta as orientações externas, as imagens são reprocessadas de modo a criar novas imagens isentas de distorções devidas à atitude do aviao.

As imagens pancromáticas corrigidas vao ser utilizadas no processamento fortogrametrico. Cada linha da imagem perpendicular à linha de voo é composta por 12 000 pixels de 6.5 μm que correspondem à largura da imagem, sendo o comprimento da imagem variável, podendo teoricamente ser tao longo como a faixa voada.

As perspectivas para a frente e para trás de pontos correspondentes no objeto permitem a determinação automática de um MDT. As perspectivas nadirais juntamente com os dados do MDT permitem a elabioracao de ortofotos. A visualização estereoscopica é possivel utilizando qualquer par de imagens (faixas parciais) de perspectivas diferentes.

A radiação proviniente de cada área elementar do terreno é dividida nas três cores fundamentais (RGB) pr meio de um filtro tricroide quando passa a objetiva. O modelo mais moderno da ADS tem um filtro tetracroide (RGB+NIR). A imagem RGB contruida a partir dos vectores multiespetrais tem a mesma resolução geométrica que a imagem pancromática visto que os vetores contem um número igual de sensores CCD de igual dimensão. As imagens coloridas finais sao obtidas apos a ortorretificação sendo associada a cada posição as respetivas cores. Todo o processamento fotogrametrico tem que se realizado com software proprio.

# Câmaras com CCD matricial

* Conjunto de sensores CCD que se encontram agrupados em forma de matriz no plano imagem, permitindo obter uma imagem instantânea do objeto.
* As camaras aéreas digitais com com sensores matriciais são na realidade várias câmaras, cada uma com um sensor (ou vários associados), uma objetiva e um obturador.
* Existem atualmente no mercado várias camaras digitais de grande formato (ex DMC Intergraph, Microsoft) e tambem de pequeno ou médio formato (Applamix, Dimac, Ultracam L , Leica RDC105). O objetivo de algumas das camaras médias é serem utilizadas juntamente com sistemas LiDAR.
* A aplicação de câmaras de pequeno formato em projetos fotogramétricos só é viável pela sua integração com sistemas GNSS/IMU que permitem a determinação direta da orientação externa das fotografias.

# Digital Mapping Camera DMC - Z(I Imaging Intergraph

* Primeira câmara aérea matricial de grande formato que apareceu no mercado.
* Módulo do sensor, onde é adquirida a imagem é constituido por quatro camaras centrais e quatro periféricas.
* As centrais são as de maior resolução e destinam-se à captação da imagem pancromática. As periféricas destinam-se a captar RGB e NIR.
* Diagram

  Description automatically generatedAs quatro camaras pancromaticas (centrais) estão alinhadas de modo a que os seus eixos sejam ligeiramente convergentes – existe uma pequena sobreposição entre as imagens captadas por cada uma das câmaras. As quatro camaras multiespetrais perifericas têm menor resolução e estão alinhadas de modo a que cada câmara capte toda a área que as câmaras centrais captam em conjunto.
* Todas as câmaras estão sincronizadas para dispararem simultaneamente. As sub-imagens originais obtidas por cada câmara são pós processadas em terra a fim de se obterem imagens finais. Para gerar uma imagem pancromática, as 4 sub-imagens centrais são orientadas relativamente (3D) a um referencial interno por triangulacao de feixes perspectivos com base nos pontos das zonas comuns.
* A imagem final resultante é uma projeção central sem distorções cuja constante da câmara é sintética. A imagem final pancromática é um rectângulo com a maior dimensão na direção perpendicular à do voo.
* Imagens RGB e NIR (menor resolução) sao projetadas no mesmo plano virtual e é feita uma composição de canais. A imagem colorida é obtida por um processo designado por pan-sharpening que consiste em dividir os pixeis da imagem colorida (que são de maior dimensão) para ficarem com a mesma dimensão dos da imagem pancromática
* A obtenção de imagens digitais com este tipo de camaras é independente de quaisquer dados de navegação.

# UltraCam

* Diagram, venn diagram

  Description automatically generatedCâmara digital matricial.
* Modulo do sensor é constutuido por oito câmaras. As quatro câmaras centrais são as que irão gerar a imagem pancromática de maior resolução e as periféricas são de menor resolução e possuem filtros de modo a que captem separadamente RGB e NIR.
* Todas as camaras estao montadas com eixos oticos paralelos, estando as quatro pancromáticas alinhadas segundo a linha de voo. Uma das câmaras pancromáticas é designada por cone master pelo facto de a imagem final ser definida no seu plano focal. Cada camara tem um um número diferente de sensores matriciais (1,2,4,2 – 9 total)
* As câmaras podem ser disparadas simultaneamente (mesmo instante) ou sintopicamente (mesma posicao no espaço). A aquisicao em simultaneo é preferida devido ao facto de a camara ser muito sensivel a vibracoes em aquisição em modo sintópico.
* As imagens captadas pelos 9 CCD das 4 câmaras pancromáticas são retificadas para o plano definido pelo cone master. A orientação relativa é realizada com base em pontos comuns existentes entre as sub-imagens. O mosaico final é uma perspectiva central teoricamente sem distorções cuja constante da câmara é sintética.
* Tal como na DMC as quatro câmaras multiespetrais de menor reoslução captam cada uma toda a área do mosaico final. A imagem RGB e a imagem NIR finais são obtidas também por pan sharpening.

Os modelos digitais de elevação quando aplicados a produção cartográfica descrevem o relevo da superfície terrestre

**Capítulo 5 – Modelos digitais de elevação**

# Diferença entre MDT e MDS

A diferença entre o MDT e um MDS consiste no facto do primeiro descrever o relevo ao nível do terreno, ignorando o que sobre ele está edificado, ou arborizado. Já o segundo acaba por descrever precisamente a superfície terrestre com todas as suas edificações e arvores.

Para efeitos de cartografia de traço é importante apenas a MDT, enquanto para a ortorretificação em zonas mais arborizadas ou urbanas a utilização de MDS proporciona melhores resultados.

# Tipos de modelos digitais de elevação

O modelo de terreno pode ser descrito de diversas formas:

* Curvas de nível - linhas de cota constante e orientação variável
* Perfil - linhas de orientação constante e cotas variáveis
* Conjuntos de pontos cotados de distribuição regular ou irregular no plano XY
* Por uma superfície continua:
  + Multifacetada - composta por planos adjacentes de orientação espacial variável (TIN)
  + Por um conjunto de superfícies de curvaturas variáveis limitadas por figuras geométricas regulares (GRID)

O MDE é uma função continua que fornece um e uma só valor de cota para cada ponto de coordenada planimétricas X e Y.

# TIN

* Aquisição de uma amostra de pontos cotados a qual pode provir discretamente de medições ou indiretamente de curvas de nível
* Geração de uma rede de triangulo de vértices nos pontos cortados
* Criação de superfícies planas limitadas pelos triângulos

Nesta fase, está-se na presença de um MDE em formato TIN no qual a cota de qualquer ponto (X,Y) é incorporada no plano inclinado do triângulo. A rede de triângulos segue um conjunto de critérios para melhor readaptar a distribuição espacial local e geral dos pontos de amostra. O método mais frequente é o de triangulação de Delauney no qual os triângulos são definidos de tal modo que o círculo que passa pelos 3 vértices de qualquer um dos triângulos não contem nenhum outro ponto de amostra no seu interior.

# GRID

Para gerar um modelo GRID é também necessário adquirir uma amostra de pontos cotados. Os procedimentos divergem consoante a distribuição da amostra espacial for regular ou irregular.

Irregular: O processo passa 1º pela criação de um modelo TIN. A partir deste são interpoladas as cotas dos pontos regularmente espaçados, com os quais se cria o modelo de GRID. O conjunto obtido denomina-se amostra secundária.

Regular: Pode ser utilizada para a geração do modelo GRID. A cota de qualquer ponto de coordenada X, Y é determinada no 1º caso pela cota da célula onde calha e no 2º caso por interpretação numa superfície curva que se adapte as cotas dos modos de malha.

# Métodos de Interpolação

* Vizinho mais próximo: Atribui-se a cota do nodo mais próximo ao ponto
* Bilinear: Média ponderada das cotas dos 4 nodos vizinhos
* Bicúbica: Ajustada a uma superfície curva por 16 nodos + próximos

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  | Vantagem | Desvantagem |
| TIN | Adaptável muito facilmente a qualquer tipo de amostra primária | Estrutura muito complexa |
| GRID | Estrutura muito mais simples | Pouco adaptável a qualquer tipo de amostra primária |

Um MDT descreve tanto melhor a superfície terrestre quanto mais densa for a amostra primária de pontos cotados, e quanto melhor estiverem descritas as descontinuidades da superfície.

Descontinuidades são normalmente denominadas por linhas de quebras, representam acidentes de terreno, que provocam uma mudança brusca na curvatura da superfície, ex. – linhas de água, falésias e taludes. Um dos cuidados a ter é o deverem de ser integradas as descontinuidades na amostra primária de pontos na elaboração de um MDE. Em geral é feita a distinção entre as linhas de quebra de orientação e de profundidade.

Linhas de quebra de orientação

Indicam um vinco na superfície, devendo o MDT ligar os pontos de um lado e do outro lado da linha aos próprios pontos da linha Ex: Linhas de Água

Linhas de quebra de profundidade

Indicam que os pontos de um lado da linha não devem de ser ligados aos do outro lado da linha pela mesma superfície. Ex: Cristas de Falésias

MDTs que respeitem as linhas de quebra são geralmente híbridos, apresentando formatos GRID em zonas de terreno homogéneo e formato TIN nas zonas de linha de quebra

# Métodos de Recolha da amostra primária

* Estereofotogrametria - operador humano restitui as curvas de nível, perfis ou mede a cota de um conjunto de pontos isolados no modelo estereoscópico do terreno.
* Correspondência Automática de Imagens (PDI) - É realizada por operadores de PDI cujo objetivo é determinar pontos homólogos nos pares estereoscópicos. Como estes operadores se baseiam apenas na informação radiométrica das imagens, a amostra que se obtém poderá apenas gerar um MDS.
* Laser Ranging (LiDAR) - Método que se baseia no voo efetuado por um avião equipado com um dispositivo emissor de um feixe de raio laser. À medida que o avião vai se deslocando, o dispositivo vai oscilando e emitindo impulsos laser para a superfície. O avião está equipado por um sistema GPS/IMU que possibilita determinar a cada momento a posição espacial do emissor e a sua orientação de feixe. Podendo assim obterem-se coordenadas 3D de cada ponto visado à superfície da Terra, e gerar um MDS.
* Interferometria de Radar (InSAR) – É um método que aplica e compõe por 2 antenas e 1 emissor de impulso radas, o avião também integra um sistema GPS /IMU. O método e bastante eficaz e preciso nas coordenadas 3D dos pontos visados contudo em zona de elevada urbanização , o sinal eletromagnético pode sofrer de multi-trajeto que corrompe a precisão e origina lacunas de pontos visados

# Precisão de um MDT

Depende de:

* Cobertura de solo
* Tipo de Relevo
* Tipo de técnica

# Aplicações de um MDT

MDE gera:

* Curvas de nível para altimetria
* Estudos de fenómeno de declive
* Visualizações em 2.5D

**Capítulo 6 – Ortorretificação da fotografia aérea**

A retificação é um método económico de produzir cartas e tem como objetivo transformar uma fotografia (projeção central), numa imagem que seja uma projeção ortogonal do terreno (objeto), derivando-se, opcionalmente, uma carta de traco dessa imagem retificadas. Mais frequentemente, obtem-se, via ortorretificação, uma representacao do objeto (terreno) fiel na sua posição planimetrica e com tanta densidade de informacao como a fotografia original. Esse produto designa-se por ortofoto.

Para que o produto final contenha informacao altimetrica esta terá de ser adquirida por outros metodos fotogramétricos e terá de ser sobreposta à imagem retificada em forma de curvas de nível ou de pontos cotados. Em regra, são necessarias várias imagens retificadas para cobrir a área de uma folha de ortofotocarta.

A geracao de uma ortofoto, tem em vista a eliminação de todas as influências “negativas” da projeção central na representação do terreno, de modo a que no produto final se conjugue “o melhor dos dois mundos”: a informação visual densa do terreno com a geometria rigorosa da escala homogénea.

A ortofoto carta digital é muito útil em operações de interpretação da informação georreferenciada. Por outro lado, a carta de traço representa uma informação do terreno já selecionada, interpretada e classificada.

# Evolução e métodos

* Retificação gráfica baseia-se na propriedade de feixes perspetivos, planos homólogos na foto e na carta terem uma razão dupla invariante, o que é usado para implantar pontos da fotografia num plano cartografico.
* Retificação analítica baseia-se nas condições de colinearidade entre pontos imagem, centro de projeção e ponto objeto. As equações utilizadas nesta modalidade são as equações de colinearidade.
* Retificação por projeção subjetiva era usada para completagem de cartas com a informação de fotografias aéreas mais recentes.
* Retificação ótico-mecanica foi a primeira a requerer uma componente instrumental de maiores dimensoes. Precisao dos resultados era condicionada pelo relevo do terreno fotografado.
* Retificação diferencial –Aplica o principio da ortorretificação por partes, para cada parte elementar da foto.

# Ortorretificação digital

Com o aparecimento das estacoes fotogramétricas digitais surgiu finalmente a ortorretificação digital que é o o método utilizado atualmente na produção de ortofotos. Para realizar uma retificacao digital é necessario dispor de fotografias em formato digital, de um MDT fotografado e dos parametros de orientacao externa e interna de cada fotografia a retificar.

Caso as fotografias sejam analógicas havera necessidade de usar um scanner para as transformar em formato digital. A retificação digital envolve não só algoritmos de fotogrametria analítica e de interpolação do MDT (ou MDS) como também diversas operações de PDI não só na ortorretificacao de cada fotografia como também na obtenção de um produto final.

Dois tipos basicos de procedimento analítico para criar uma ortofoto digital:

* ­Método direto – parte-se do pixel da imagem digital da fotografia e calcula-se a posição desse pixel no terreno (MDT) e em seguida na imagem retificada a ser criada, atribuindo a essa posicao XY o valor de cinzento do pixel original

Text, letter

Description automatically generated

Text

Description automatically generated with medium confidence

Propriedades do método direto:

* Cada pixel da imagem original tem um correspondente na carta-imagem
* Os valores de cinzento da carta imagem sao os originais
* Podera haver lacunas de informacao na carta-imagem devidas a pixeis sem correspondentes na imagem original
* Metodo indireto – parte-se da posição na imagem retificada a ser criada à qual correspondem determinadas coordenadas (XYZ) retiradas do MDT e se calcula a posição correspondente na imagem digitalizada da foto, à qual se vai buscar o valor de cinzento a atribuir à posicao XY da imagem retificada. Este valor de cinzento é normallmente interpolado dos pixeis vizinhos, visto a posição calculada (nr reais) geralmente nao coincidir com o centro de qualquer pixel (nr inteiro).

Text, letter

Description automatically generated

Pelo método indireto sao exigidos menos cálculos. Como (x,y) nao calha geralmente no centro de (xp,yp) é interpolado um valor de cinzento (vdci) a partir da vizinhanca deste pizel e o valor ‘e atribuido ao pixel da carta imagem digital.

Propriedades do método indireto:

* Cada pixel da carta imagem tem um correspondente na imagem original
* Os valroes de cinzento da carta-imagem sao interpolados dos originais
* Nao ha lacunas de informacao na carta-imagem.

Qualquer que seja o método usado a qualidade geométrica da ortofoto depende diretamente da densidade e qualidade do modelo digital de terreno utilizado.

# Ortofoto real

A utilização de um MDT preciso elimina a infuência do relevo do terreno na escala da imagem. No entanto os objetos que sobresaem do terreno (prédios, árvores) surgem em posições que não correspondem à sua projeção ortogonal. Este erro pode ser elimninado se se considerar um modelo digital de superficie em vez de MDT. Os DSM para este efeito podem ser adquiridos por estereofotogrametria ou por altimetria de laser.

As ortofotos assim produzidas designam-se ortofotos reais pois nelas todos os objetos estão representados apenas pela sua projeção ortogonal no plano horizontal, tal como numa carta,

A utilização de um DSM para criar uma ortofoto gera, no entanto, lacunas em todas as zonas que na imagem original estavam encobertas pelos objetos elevados distorcidos radialmente. para evitar essa situação de lacunas de informação na ortofoto, é necessário gerar várias ortofotos reais da mesma zona a partir de diferentes fotografias, mas usando o mesmo DSM. As zonas de lacuna de umas correspondem a zonas de não-lacuna em outras. A ortofoto final será composta pela informação retificada proveniente de várias ortofotos

# Ortofotos sem DSM

A aquisição de um MDS é morosa e dispendiosa pelo que frequentemente se produzem ortofotos a partir de DTMs. Para atenuar o efeito do relevo é apenas ortorretificada a parte central da fotografia onde a distorção é menor. Alternativamente pode ser usada uma câmara digital linear do tipo sensor de 3 linhas e realizar o voo em 2 direções perpendiculares.

# Infrmacao altimetrica adicional

Uma ortofoto é uma representação do terreno fiel na sua posição geométirca (ortogonal) e com a densidade de informacao equivalente à da fotografia original

A observação de uma ortofoto simples não proporciona informação altimétrica sobre o terreno fotografado. Esta, ou é sobreposta à imagem em forma de curvas de nível, cuja representação é rigorosa mas pouco sugestiva, ou é introduzida com elementos que permitam ao utilizador uma perceção do relevo. As técnicas mais usadas sao:

* Anaglifo suplementar - normalmente executado a uma escala menor do que a ortofoto e é apresentado na margem desta ou como folha adicional. Consiste em projetar duas imagens adjacentes de um voo (não retificadas), sobre uma mesma área, com cores complementares e desfasadas de uma determinada paralaxe, de modo a que, por observação com óculos de filtros anaglíficos se tenha a perceção do relevo da zona.
* Estereo-ortofoto - consiste em realizar uma ortofoto e dois estereossócios, um para cada metade (direita e esquerda) da ortofoto. A ortofoto e cada um dos seus estereossócios devem ser observados por um estereoscópio de espelhos para ser possível percecionar o relevo da região. Os estereossócios podem ser criados a partir das fotografias adjacentes à utilizada para elaborar a ortofoto (caso seja uma única).
* Hipsoimagem - são basicamente ortofotos reais cujos pixeis, em vez de reflectirem a radiometria original da imagem fotográfica, são modificados de modo a apresentarem a intensidade original mas uma cor falsa. A cor de cada pixel indica a sua informação altimétrica, à qual corresponde uma escala de cores compreendendo o espectro da luz visível (extremo vermelho para as cotas mais elevadas e extremo azul para as mais baixas).A observação da imagem com uns óculos especiais de prismas proporciona a sensação do relevo (cromostereoscopia).

# Ortomosaicos

Na maior parte dos casos, as ortofotos são utilizadas para produzir ortomosaicos, composição de ortofotos individuais para cobrirem uma área maior. Ao juntar ortofotos num mosaico pode notar-se a transição de umas para as outras por diferenças de tom ou de luminosidade, obtendo-se um produto final de boa precisão geométrica mas de fraca qualidade radiométrica. Para evitar isso, há que realizar processamento digital de imagem sobre as ortofotos que vão compor o mosaico. Estas operações não vão afetar a geometria.

* ajuste da luminosidade global das ortofotos – normalização da luminosidade
* Tratamento de zonas comuns a cada par de ortofotos na vizinhança da linha de separação entre elas no mosaico - costura

Existem varios métodos para determina o percurso das costuras ente ortofotos de modo a que as transicoes se facam ao longo de limites nao se notando no mosaico final. Um desses métodos é o seam-carving que consiste num método automático aplicado a uma faixa da zona de sobreposição de duas ortos de cada vez.

# Blending

Objetivo: misturar os valores de cinzento das duas ortofotos na zona de transição calculando uma média ponderada das intensidades das duas ortofotos, em que o peso diminui em funcao à distância à costura.

**Capítulo 7 – LiDAR**

O LiDAR ou Laser Scanning é um método de medição de distâncias baseado na emissão e receção de um feixe laser. A característica fundamental de um levantamento LiDAR é o fornecimento de modo direto de grandes quantidades de pontos tridimensionais dos objetos, a partir das quais em pós processamento de podem derivar superfícies, planas ou não e outros elementos descritivos do objeto.

1. Quanto à dimensão
2. Quanto à forma de voo
3. Quanto às funções que desempenham

# ALS – LiDAR Aéreo

Componentes:

* Emissor de feixe laser (contínuo ou impulsos)
* Defletor que desvia o feixe para direções diferentes das de saída do emissor
* Codificador de ângulo de saída do feixe associado ao defletor
* Recetor de sinal refletido
* Sistema IMU de alta precisão

No avião tem de estar associado um recetor GNSS, havendo outro em terra sobre a zona de levantamento, sobre um ponto de coordenadas conhecidas para permitir a coordenação da trajetória da plataforma aérea por posicionamento diferencial e a ligação ao datum em que se pretende os resultados.

Funcionamento:

* A unidade de laser emite impulsos/feixes de radiação laser, com uma dada direção e duração.
* O defletor desvia esse feixe em direção à superfície terrestre. Regra geral o defletor irá desviar os impulsos segundo ângulos diferentes num plano perpendicular à direção da do voo. Sendo o ângulo de saída de cada impulso em direção à terra registado pelo codificador de ângulo.
* O feixe/impulso laser é refletido pelo objeto e parte desse reflexo é captada pelo recetor
* A distância percorrida pelo impulso laser é calculada, segundo o equipamento:
  + Pelo tempo de voo para impulsos
  + Pela diferença de fase para o feixe continuo
* À medida que o defletor vai desviando o feixe, vão sendo atingidos pelo feixe vários pontos no solo distribuídos transversalmente à linha de voo.
* À medida que o avião vai avançando esses pontos cobrem no solo uma faixa cuja largura depende da altura de voo e do ângulo máximo de deflexão.

Resultados e precisão:

* A precisão deste valor depende da resolução temporal do dispositivo.
* A orientação do feixe é dada pela georreferenciação direta, onde o codificador de ângulo juntamento com o IMU permitem calcular para cada impulso a sua orientação no espaço.
* O GNSS permite determinar para o momento de cada impulso quais as coordenadas do ponto de origem do impulso.
* Todos estes dados, quando sincronizados para o instante t do impulso, fornecem as coordenadas polares do ponto do solo que refletiu o impulso, ou seja uma direção, uma origem e uma distância.

# Constituição de um feixe laser

Um impulso laser é composto por um feixe cónico de radiação eletromagnética. A largura de feixe na zona junto ao solo é tanto maior quanto for a altura de voo. Isso tem como consequência que um impulso atinja não um ponto, mas uma área e que possa ser refletido por vários pontos a alturas diferentes, originando vários ecos. A intensidade do eco pode ser registada por formato de imagem.

# Características técnicas de um ALS

Todos os sistemas de ALS topográficos funcionam com radiação laser no domino do infravermelho próximo.

* Taxa de emissão, quantos impulsos por segundo a unidade de laser emite
* Taxa de scannerização, indica quantos perfis transversais à linha de voo são cobertos por unidade de tempo.
* A abertura de scannerização (FOV), indica o ãngulo total de abertura entre os limites do leque de direções que o defletor induz aos impuslos.
* A divergência de feixo (IFOV), indica o ângulo de abertura do feixe em cada impulso medido próximo da origem
* A máxima distância inclinada, distância inclinada máxima a que o ALS pode funcionar com SNR aceitável.

# Projeção de Modelação por ALS topopgráfico

Etapas:

* Planeamento do levantamento
* Execução do levantamento – Aquisição de dados em nuvens
* Georreferenciação das nuvens de pontos (X,Y, Z)
* Ajustamento de faixas
* Interpolação de GRID regular
* Geração de produtos derivados: MDT, MDS, Curvas de Nível, Ortofotos

# Georreferenciação das nuvens e ajuste de faixas

Geralmente após a calibração ainda pode haver discrepâncias entre a nuvem e o terreno, devido a erros de datum e entre faixas adjacentes. Para a sua correção são necessários elementos fotogramétricos (EFS) que controlam e corrigem a correção da georreferenciação da nuvem, localizados em zonas estratégicas de cobertura. São necessários no mínimo um conjunto de 3 pontos medidos no terreno, que estejam no mesmo plano horizontal, por técnicas topográficas. Exemplos – Telhados de Casa, Campos de Jogos.

Em altimetria corrigem-se os erros do seguinte modo:

1. Definir um plano de referência a partir de um EF
2. Medir Xmed e Ymed de alguns pontos no plano correspondente ao EF na nuvem
3. Calcular Zref para esses pontos pelo plano de referência através da equação do plano de referência e calcular a diferença Zref-Zmed.
4. Faz-se a diferença das médias
5. Repete-se o processo para outros Efs horizontais
6. Ajusta-se as cotas de toda a nuvem de um valor médio das diferenças de cota

Em planimetria, considerando-se a altimetria já ajustada:

1. Efs devem ser planos inclinados e próximos uns dos outros
2. Um conjunto de Efs define um ponto no terreno
3. Na nuvem os 3 planos correspondentes ao EF também se intersectam num ponto que é correspondente ao anterior
4. Cada conjunto define um ponto idêntico a um na nuvem lidar. Calculam-se os parâmetros da transformação plana para X e Y entre a nuvem e o terreno (TES, Transformação Afim)
5. Toda a nuvem é reposicionada pela transformação plana ajustando em X e Y

De seguida pode ser aplicado tridimensionalmente um ajustamento de modo a minimizar as discrepâncias nas zonas de transição entre faixas.

# Precisão das Coordenadas obtidas por Lidar Topográfico

A precisão absoluta dos dados LIDAR é superior em altimetria do que em planimetria. Ela depende:

* Qualidade de calibração do sensor com o GNSS e IMU
* Conhecimento do geoide
* Consideração do Datum Local e condições da operacionalização

Em suma, tendo em conta todos os erros, é possível obterem-se precisões absolutas para os pontos LiDAR em bruto:

* Em altimetria de +- 15cm, sendo a posição relativa de +- 5cm. A precisão absoluta melhora com o ajustamento a EFS para cerca de +- 5cm
* Em planimetria entre 30cm e 1 m, podendo também ser melhora em função de EFS.

# Processamento de Dados

O processamento de dados LiDAR consiste em várias fases:

* Eliminar ruído, ou seja pontos da amostra que não pertençam ao objeto visado
* Rarefação ou homogeneização da nuvem de modo a obter uma amostra de pontos com espaçamento regular, podendo ser considerada por DSM.
* Pontos Contextualizados, é lhes atribuido um atributo para alem da posição X,Y e Z.

A fotogrametria aérea é a técnica que melhor complementa o LiDAR, visto que fornece informações radiométricas densas do objeto que no domínio da luz visível e permite uma maior precisão planimétrica que o LiDAR. Em termos altimétricos, o LiDAR é em geral mais preciso.

# LiDAR Batimétrico (ALB)

A tecnologia LiDAR pode também ser aplicada para a obtenção da batimetria de corpos aquáticos, como exemplo – rios e lagos.

Os equipamentos são instalados nos aviões e utilizam o mesmo principio para a obtenção da altura da coluna de água numa dada posição.

# Funcionamento

Enquanto a radiação infra-vermelha é completamente absorvida em águas calmas e é em parte refletida na superfície de águas em movimento, a radiação verde penetra em águas pouco profundas atingindo o fundo. Os dois feixes podem ser emitidos em direção à água colimados um com o outro ou, alternativamente, o feixe infravermelho é emitido sempre numa direção nadiral e o varrimento da faixa é feito com o feixe verde.

A altura da coluna da água é determinada a parir do intervalo de tempo entre a receção da parte do impulso que é refletida na superfície e a receção da parte do impulso que refletida pelo fundo.

Como o feixe que atravessa a coluna de água é refletido difusamente pelas partículas em suspensão, por veze sé difícil distinguir na onda refletida a parte do impulso que foi refletida pela superfície da parte do impulso que é refletida ao longo da coluna de água.

# Aplicações do ALB

As técnicas batimétricas por LiDAR podem considerar-se como complementares das técnicas batimétricas acústicas na determinação da batimetria costeira. A precisão altimétrica da superfície gerada a partir dos pontos atinge +- 25cm, cumprindo os requisitos da IHO para a posição vertical em águas pouco profundas.

Vantagens de ALB:

* Levantamento rápido e eficiente de grandes áreas
* No levantamento de zonas difíceis, perigosas ou impossíveis de levantar por técnicas baseadas em embarcações
* Capacidade de levantar simultaneamente o fundo do mar, praia adjacente e outras estruturas
* Levantamento durante curtas janelas temporais.

Limitações:

* 50-70 m de profundidade
* A turbidez da água e a transparencia afetam a sua operação.

**Capítulo 8 – UAV**

UAV-Unmanned Aerial Vehicles ou Veículo Aéreo não tripulados.

Diferem no tipo de UAV:

* Quanto à dimensão
* Quanto à forma de voo
* Quanto às funções que desempenham

# Enquadramento do UAV na Fotogrametria

UAV de Asa Rotativa

* Helicópetros
* Quadricópetros
* Octocópetros

Mais utilizados em aplicações de fotogrametria próxima, sendo necessário o uso de estabilizadores para a câmara.

UAV de Asa Fixa

* Portátil ou Robusto

Mais utilizados para Cartografia

# Componentes de UAV

* Auto-piloto programável
* Sistema GPS e IMU
* Câmara fixa ou com estabilizadores
* Estação em terra para navegação e controlo

O operador UAV cuida de:

* Plano de Voo em acordo com requisitos de cliente e restrições ao voo
* Lançamento
* Voo (eventuais correções ao pré-estabelecido)
* Aterragem

# UAVS na Fotogrametria - Dados e Processamento

* Segue os passos normais de qualquer projeto fotogramétrico (plano de voo, etc.)
* É muito mais exigente e moroso no processamento devido à irregularidade da cobertura e quantidade de fotos.

Plano de Voo: Zonas de pequenas dimensões

* Fiadas Paralelas
* l = 80% e q = 40%

Por modo a garantir múltipla cobertura do solo é necessário uma grande sobreposição de fotografias. Em geral cada ponto surge fotografado em múltiplas fotos, originando uma grande estabilidade do bloco. A cobertura UAV não consegue a regularidade do plano de voo, mas sim a múltipla cobertura.

# Problemas UAV e Soluções

Problemas:

* Grande quantidade de imagens
* Pequena dimensão de imagens
* Variações de escala
* Variações de perspetiva por inclinações da plataforma

Solução:

* Automatismo de processos
* Utilização de novos operadores para pontos de interesse
* Utilização de novos operadores de correspondência de imagem

É oferecido ao cliente a possibilidade do processamento ser também um serviço, dispensando a aquisição de computadores robustos por parte do cliente.

Produtos disponibilizados:

* Georreferenciação das fotos
* Geração do microDSM
* Geração de Ortomosaico da zona toda, não se produzem ortofotos
* Modelo 3D com textura realista

Devido à grande quantidade de imagens, os operadores conseguem quase detectar pontos homólogos de cada pixel de uma imagem, gerando um microDSM.

Limitações

* Duração da bateria elétrica limitada
* UAVS com motros não elétricos são mais autonomos mas menos flexiveis
* Em caso de queda, grave perda de sensores
* Zonas cobertas de pequenas de dimensões e com muitas imagens
* Muitos PFs necessários numa pequena área
* microDSM não funciona muito bem em zonas urbanas de grande densidade de construção
* Ortomosaico apresenta nestas zonas muitos artefactos
* Grandes restrições ao voo de UAVs sobre zonas habitadas.