

Implementação de um SIG na Gestão Agrícola Caso de estudo: Exploração de Mirtilos

João Alberto Botelho Ferreira Ribeiro

Mestrado em Engenharia Geográfica

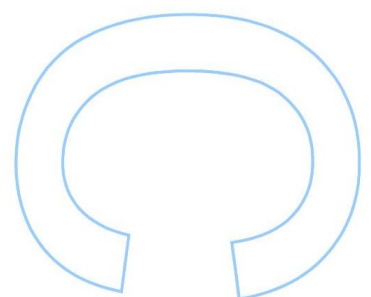
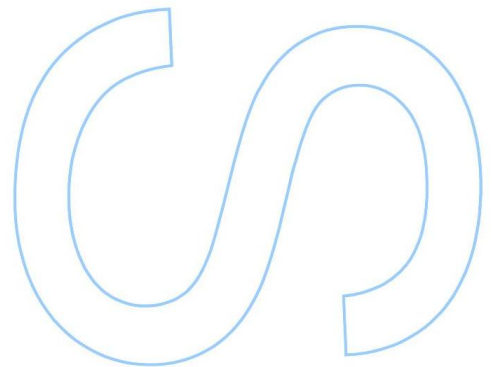
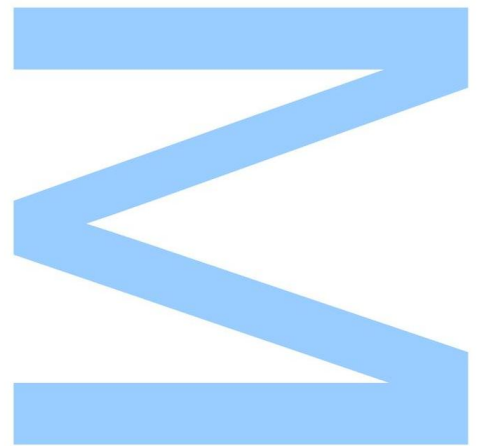
Departamento de Geociência, Ambiente e Ordenamento do Território
2017

Orientador

Ana Cláudia Teodoro, Professora Auxiliar com Agregação,
Faculdade de Ciências da
Universidade do Porto

Co-orientador

Octávio Filgueiras, Coeficiente Natural, Lda.

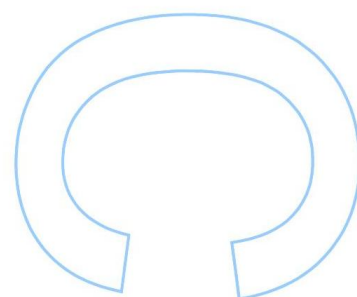
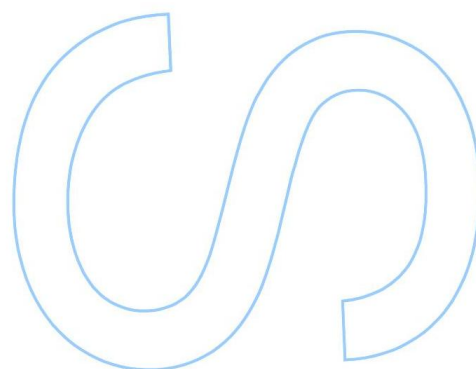
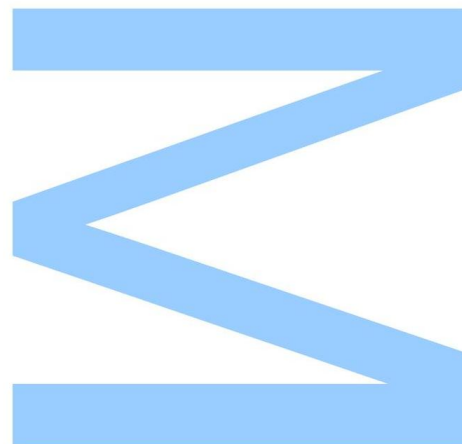




Todas as correções determinadas
pelo júri, e só essas, foram efectuadas

O Presidente do Júri,

Porto, ____/____/____



Agradecimentos

Ao longo deste Mestrado pude contar com a presença e colaboração de várias pessoas, às quais quero dirigir os meus sinceros agradecimentos.

Aos meus orientadores, agradeço toda a ajuda, o apoio, a motivação, a disponibilidade e a compreensão durante todo o período deste trabalho.

À Coeficiente Natural, agradeço o apoio prestado durante todo o projeto.

Ao Ricardo Mendes, agradeço a sua ajuda e espírito crítico.

Aos membros da Associação de Sueca da Faculdade de Ciências (ASFCUP), agradeço os desafios e a motivação diária.

A todos os meus amigos de curso, agradeço toda a ajuda e a boa disposição partilhada.

Aos meus amigos, em particular ao Daniel, ao Francisco e ao Marcelo, que estiveram sempre presentes — nos bons e nos menos bons momentos — e com quem tive o privilégio de partilhar esta experiência. Obrigado!

Ao CDUP-UP, em particular ao Miguel Monteiro, obrigado por toda a motivação e ajuda, durante as competições universitárias.

A todos os meus amigos das raquetes, com quem partilhei as maiores e melhores aventuras, um eterno obrigado!

Ao Marlon Correia agradeço todos os dias pela sorte em ter podido partilhar da sua boa disposição e por ter conhecido uma das melhores pessoas do mundo.

À minha gémea agradeço por toda a ajuda, compreensão e ânimo naqueles dias complicados.

Aos meus pais, agradeço todo o apoio e o incentivo ao longo deste percurso.

Por fim, à minha irmã, que muitas vezes conseguiu motivar-me e mostrar que há sempre um lado positivo em tudo — um enorme obrigado.

Resumo

Desde sempre que a Agricultura tem desempenhado um papel ativo e fundamental na sociedade e no desenvolvimento do país, sendo uma das principais bases da economia. Dada a sua importância, a necessidade de aumentar a produtividade foi um dos pontos fulcrais, tendo em conta o baixo aproveitamento do cultivo e do espaço parcelar, impondo a reestruturação e inovação dos métodos e ferramentas utilizados ao longo de todo o processo agrícola.

A adoção de novas tecnologias de informação e comunicação, com recurso aos Sistemas de Informação Geográfica (SIG), que permitem a monitorização de todo o ciclo produtivo de uma atividade agrícola, bem como a capacidade de intervir no domínio espaço-temporal, é denominada Agricultura de Precisão.

Neste contexto, foi desenvolvida uma estrutura de base de dados geográficos (BDG), adaptada à área agropecuária, a partir de metodologias utilizadas na Engenharia Geográfica. Para tal, procedeu-se à aquisição de informação através de posicionamento e navegação por satélite (GNSS) e de Veículos Aéreos Não Tripulados (VANT). Nestas metodologias, os resultados obtidos foram sempre comparados, tendo em vista o tipo de zona de estudo e a precisão pretendida.

Com este trabalho pretendeu-se conceber um SIG capaz de se adaptar a um tipo de produção agrícola idêntico ao aqui apresentado, respondendo às exigências dos agricultores, através da monitorização e gestão, garantindo maior rentabilidade da produção e diminuição dos riscos ambientais das explorações agrícolas.

Palavras-chave: Agricultura de Precisão, SIG, Base de Dados, Engenharia Geográfica.

Abstract

Since its earliest days, Agriculture has played an active and fundamental role in society and in the country's development, constituting one of the main pillars of the economy. Due to its importance, increasing productivity has been a central concern, given the historically low efficiency in land use and cultivation, requiring a restructuring and innovation of the methods and tools employed throughout the agricultural process.

The adoption of new information and communication technologies — in particular Geographic Information Systems (GIS) — which allow the monitoring of the entire productive cycle of an agricultural activity and the ability to take action within a given space-time context, is known as Precision Agriculture.

In this context, a geographic database structure (GDB) adapted to the agro-livestock sector was developed, based on methodologies from the field of Geographic Engineering. Information was acquired through satellite positioning and navigation (GNSS) and Unmanned Aerial Vehicles (UAV). Throughout these methodologies, results were consistently compared, considering the characteristics of the study area and the desired level of accuracy.

The aim of this work was to design a GIS capable of adapting to agricultural production types similar to the one presented here, meeting the demands of farmers through monitoring and management, while ensuring greater production profitability and reducing the environmental risks of agricultural operations.

Keywords: Precision Agriculture, GIS, Database, Geographic Engineering.

Índice

Agradecimentos.....	3
Resumo.....	4
<i>Abstract</i>	5
Índice.....	6
Índice de Figuras.....	8
Índice de Tabelas.....	8
Acrónimos e Siglas.....	9
1.Introdução	11
1.1 Enquadramento Geral.....	11
1.2 Objetivos e Plano de Estágio	12
1.3 Estrutura do Relatório	12
2.Agricultura	13
2.1 Evolução da Agricultura	13
2.2 Aplicação das técnicas e ferramentas de Informação geográfica.....	14
2.2.1. Global Positioning System (GPS).....	14
2.2.1.1 Posicionamento cinemático	15
2.2.1.2. Posicionamento estático-rápido	15
2.2.2. Detecção Remota.....	15
2.2.3. Fotogrametria.....	16
2.2.3.1. Definição de VANT.....	16
2.2.4. Sistema de Informação geográfica (SIG)	16
2.2.5. Base de Dados.....	17
2.2.5.1. Modelo Relacional.....	18
2.2.5.2. PostgreSQL.....	18
3. Agricultura de Precisão – Estado da Arte.....	20
4. Metodologia	21
4.1 Caso de Estudo.....	21
4.2. Planeamento e Metodologias.....	21
4.2.1. Levantamento de Requisitos do SIG	22
4.2.2. Preparação da aquisição da informação.....	22
Equipamento utilizado.....	23
4.2.3. Levantamento da Informação Geográfica.....	23

4.2.4. Tratamento da Informação Geográfica.....	25
4.2.5. Construção do Modelo de Base de Dados Geográficos	26
5.Resultados e discussão	27
6.Conclusões	39
Referências Bibliográficas.....	41

Índice de Figuras

Figura 1 – Ortofoto da propriedade da <i>Coeficiente Natural</i>	21
Figura 2 - Planificação das etapas.....	22
Figura 3 – Recetor Trimble R7 Figura 4 - <i>Drone Vision Y6</i>	23
Figura 5 - Levantamento em modo cinemático	24
Figura 6 - Imagem aérea da propriedade Coeficiente Natural com a identificação dos pontos RTK (BING)	29
Figura 7 – Visualização dos pontos R7 e polígonos da propriedade no QGIS	30
Figura 8 - Ortofoto da Exploração de Mirtilos a partir do VANT	30
Figura 9 - Ortofoto captada na banda do infravermelho próximo	31
Figura 10 – Erros na geometria da Ortofoto na Banda do infravermelho próximo	32
Figura 11 - <i>Shapefiles</i> criadas com a informação geográfica dos pontos	32
Figura 12 – Criação da tabela de atributos para a identidade ‘Pessoa’	33
Figura 13 – Criação do <i>Schema</i> Geográfico	34
Figura 14 – Criação do <i>Schema</i> Alfanumérico.....	34
Figura 15 – Tabela Alfanumérica do Atributo ‘Pessoa’	35
Figura 16 – Tabela Geográfica do atributo ‘ Exploração’	35
Figura 17 – Processo de exportação do <i>Schema</i> ‘Propriedade’ para o QGIS	36
Figura 18 – Tabela do atributo geográfico ‘linhas’ correlacionada com a BD.....	37
Figura 19 – Tabela do atributo alfanumérico ‘propriedade’ correlacionada com a BD .	37
Figura 20 – Output da informação alfanumérica e geográfica do atributo ‘linhas’	38

Índice de Tabelas

Tabela 1 - Pontos de Controlo R7 (WGS84)	27
Tabela 2 - Pontos de Controlo R7 (ETRS89)	28
Tabela 3 - Pontos de controlo RTK.....	28
Tabela 4 -Diferenças (R7-RTK)	28

Acrónimos e Siglas

AP – Agricultura de Precisão

BD – Base de Dados

BDG – Base de Dados Geográficos

DGT – Direção Geral de Território

DR – Detecção Remota

EG – Engenharia Geográfica

EPSG – European Petroleum Survey Group

ETRS89 – European Terrestrial Reference System 1989

GNSS – Global Navigation Satellite System

GPS – Global Positioning System

IG – Informação Geográfica

IGeoE – Instituto Geográfico do Exército

QGIS – Quantum Geographic Information System

NAVSTAR – Navigation System with Time and Ranging Positioning System

ReNEP – Rede Nacional de Estações Permanentes

RTK – Real Time Kinematic

SBDG – Sistema de Bases de Dados Geográficos

SERVIR – Sistemas de Estações de Referência GNSS Virtuais

SGBDR – Sistema de Gestão de Base de Dados Relacional

SIG – Sistema de Informação Geográfica

SQL – Structured Query Language

TBC – Trimble Business Center

VANT – Veículo Aéreo Não Tripulado

WEBGIS – World Wide Web Geographic Information System

WGS84 – World Global System 1984

1.Introdução

1.1 Enquadramento Geral

A Agricultura é uma das atividades que mais contribui para o desenvolvimento de um país, quer para o sustento do agricultor/empresário, quer para a economia local e nacional. No entanto, a qualidade e a quantidade do cultivo nem sempre são uniformes. Existem vários fatores — como as taxas de fertilidade, a adubação, a lotação e a produtividade média de uma propriedade — que, quando administrados de forma desproporcional ou não uniforme, consoante as necessidades do solo e da cultura, têm influência direta no produto final e podem ter consequências ambientais (Bernardi et al., 2014).

A importância destes problemas é uma das preocupações da sociedade, pois, apesar do impacto refletido nas produções agrícolas, tem também repercussões no meio ambiente, envolvendo questões sociais, políticas e económicas relacionadas com o uso dos seus recursos (Santos, 2004). Assim, torna-se necessário colmatar esta situação com planeamento ambiental e gestão de recursos, para prevenção de impactos e conservação de recursos ambientais (Dorney, 1989).

A necessidade de conhecimento nesta área, tendo em conta os riscos referidos, implica uma interligação entre a ciência e a tecnologia como solução para o desenvolvimento de equipamentos de alta tecnologia (hardware e software) e a introdução de novas ferramentas, criando métodos e metodologias capazes de avaliar e/ou monitorizar as condições numa determinada área ou parcela de terreno, para posterior aplicação dos fatores de produção (fertilizantes, fitofármacos, reguladores de crescimento, água, etc.).

Atualmente, a solução encontrada, tendo em conta a complexidade e exigência da situação, passa pela aplicação de técnicas de aquisição e gestão de IG na área da agricultura. A sua utilidade tem revelado enorme sucesso, sendo possível adaptá-la a qualquer cultura — desde pequenas a grandes dimensões —, sem que os equipamentos necessários sejam os mais caros ou sofisticados (Bernardi et al., 2014).

Uma das vantagens na aplicação das técnicas de IG reside na sua utilização relativamente simples, desde que exista conhecimento sobre o seu manuseamento.

1.2 Objetivos e Plano de Estágio

O presente trabalho tem como principais objetivos dar resposta, de forma prática e perspicaz, às questões ambientais e económicas que se colocam durante o processo de produção agrícola.

Através da criação de um SIG, espera-se que as dificuldades dos agricultores — como o desperdício na aplicação de produtos fitofarmacêuticos, a ineficiência na utilização dos solos e a baixa eficiência produtiva — sejam minimizadas, contribuindo para o crescimento do retorno económico da produção agrícola. Este trabalho foi aplicado a um caso de estudo específico.

1.3 Estrutura do Relatório

Esta tese está dividida em seis capítulos.

O primeiro apresenta o enquadramento, os objetivos e a estrutura do trabalho.

O segundo aborda a evolução da Agricultura de Precisão e as técnicas e ferramentas da Engenharia Geográfica.

O terceiro apresenta o estado da arte da AP, nomeadamente a utilização de técnicas e ferramentas de EG.

O quarto descreve o local de estudo e a metodologia adotada, incluindo as etapas dos trabalhos de campo e de gabinete.

O quinto apresenta e discute os resultados obtidos.

O sexto, e último, expõe as conclusões do trabalho.

2.Agricultura

2.1 Evolução da Agricultura

Até ao início do século XVIII, a atividade agrícola tradicional era caracterizada por técnicas artesanais e manuais, designadas «padrão», pelo cultivo de vários produtos no mesmo local (policultura), praticada em pequenas propriedades e destinada ao autoconsumo dos agricultores.

Nesse mesmo século, o agronegócio viria a sofrer enormes alterações com a Revolução Industrial, designadamente com a introdução de novas máquinas agrícolas sofisticadas, que melhoraram as técnicas até então praticadas.

Esta fase intensa de industrialização, caracterizada pela substituição do trabalho artesanal pelo trabalho assalariado com recurso a máquinas, teve início em meados do século XVIII, a partir da Inglaterra. Impulsionada pela sua zona de livre comércio na Europa, por uma classe burguesa extremamente rica, pelo êxodo rural e pela localização privilegiada junto ao mar, resultaram daí grandes mudanças nos sistemas económico, social e político, que se propagaram pelos restantes países europeus e, posteriormente, pelos outros continentes.

Com os avanços verificados nas áreas da tecnologia, da ciência, da eletrónica e da engenharia, os agricultores puderam aumentar a rentabilidade da produção e minimizar perdas, controlando os fatores climáticos, as pragas e as doenças.

Foi precisamente este contexto de transformação tecnológica e científica que criou as condições para o surgimento da AP. A mecanização progressiva e o desenvolvimento de ferramentas de medição e análise cada vez mais sofisticadas tornaram possível gerir uma exploração agrícola com base em dados concretos e georreferenciados, em vez de métodos empíricos tradicionais. A transição da Revolução Industrial para a AP não é, portanto, abrupta: é uma evolução contínua em que a tecnologia foi sendo aplicada a um sector que sempre dependeu do território e das suas variações espaciais.

A partir desse momento nasceu a AP, definida como um sistema de cultura que visa uma gestão e monitorização rigorosas, garantindo benefícios como: melhoria na estimativa das reais necessidades das culturas; maior rigor na previsão das produções; melhoria no planeamento e gestão de atividades; criação de uma base de dados com o historial das atividades e dos resultados; e facilitação das decisões dos agricultores na escolha dos meios necessários e das previsões futuras.

A introdução desta nova abordagem na agricultura permitiu que a qualidade dos produtos se valorizasse, principalmente ao nível do paladar e da textura. No caso de estudo, os mirtilos cultivados são frutos com características próprias, como um sabor adocicado e um tom roxo, enquanto os mirtilos selvagens são mais ácidos e amargos e apresentam uma cor mais azulada.

2.2 Aplicação das técnicas e ferramentas de Informação geográfica

Entre os anos 80 e 90, o Departamento de Defesa dos Estados Unidos da América (DoD) idealizou um sistema de navegação que proporcionasse uma navegação contínua, precisa e a nível mundial: o Navigation by Satellite Timing and Ranging/Global Positioning System (NAVSTAR/GPS) (Matos, 2008).

Por volta de 1990, este sistema tornou-se acessível — ainda que com algumas limitações — para uso civil, tornando as atividades de navegação e localização mais rápidas e precisas.

2.2.1. Global Positioning System (GPS)

Este sistema é composto por três segmentos: o segmento espacial, o segmento de controlo e o segmento do utilizador.

O primeiro segmento é constituído por uma constelação de 31 satélites, distribuídos por seis planos orbitais, girando em torno da Terra com um período de aproximadamente 12 horas, a uma altitude de cerca de 20 200 km. Os satélites desempenham várias funções, entre as quais: a emissão de sinal para os utilizadores; a receção, armazenamento e retransmissão de informação; a manutenção de uma escala de tempo precisa, a partir de osciladores atómicos; e a realização de pequenas manobras orbitais e de alguns cálculos, por meio de um microprocessador a bordo.

No segmento de controlo existem uma estação de controlo principal e cinco estações monitoras distribuídas globalmente, responsáveis pela verificação do funcionamento dos satélites, pela determinação das correções aos relógios e das correções ionosféricas, e pela inserção dos dados orbitais nos satélites.

O terceiro segmento, o segmento do utilizador, engloba todos os utilizadores que usufruem do sistema de posicionamento. As suas funções consistem em receber e processar a informação acessível por meio dos recetores, de forma a determinar

coordenadas, utilizando diversos tipos de recetores e modos de utilização — em modo estático ou cinemático (Matos, 2008).

2.2.1.1 Posicionamento cinemático

Na técnica de posicionamento cinemático, ou RTK (Real Time Kinematic — posicionamento em tempo real), existem dois recetores — um fixo e outro móvel —, que estão em contacto permanente. O recetor estático recebe informação contínua do sinal proveniente de pelo menos quatro satélites e está localizado sobre um ponto de referência, enquanto o recetor móvel percorre os pontos a coordenar, um a um (Matos, 2008). A principal vantagem deste método é que as coordenadas são calculadas instantaneamente no terreno, sem necessidade de processamento posterior em computador.

2.2.1.2. Posicionamento estático-rápido

A técnica de posicionamento estático-rápido consiste na utilização de apenas um recetor/estação, que percorrerá todos os pontos de interesse, permanecendo entre 5 a 20 minutos em cada um. As coordenadas são calculadas posteriormente em software especializado, combinando as observações do recetor com dados de uma estação de referência fixa. A precisão das medições varia entre 5 mm e 10 mm + 1 ppm.

2.2.2. Detecção Remota

O processo de aquisição de informação admite duas hipóteses: a existência ou a inexistência de contacto físico entre o objeto a medir e o dispositivo de medição. A detecção remota é utilizada quando a informação é captada a partir de sensores de radiação eletromagnética colocados em órbita, normalmente em satélites de observação da Terra (Matos, 2008).

As primeiras medições eram feitas exclusivamente a longas distâncias, a partir de satélites e aviões, com imagens aéreas de baixa resolução, na ordem do metro. No entanto, surgiu sempre a necessidade de obter medidas cada vez mais rigorosas, o que impulsionou o desenvolvimento de novas tecnologias, capazes de realizar essas medições com maior precisão e com múltiplas aplicações.

2.2.3. Fotogrametria

A fotogrametria consiste na medição rigorosa de uma ou várias fotografias adquiridas por avião ou VANT, obtidas de pontos diferentes, que cobrem uma determinada área.

Uma ortofoto é uma fotografia aérea corrigida geometricamente, de forma que todas as distâncias e áreas estejam representadas à escala real, como num mapa (Gonçalves, 2015). Ao contrário de uma fotografia normal tirada de avião — onde os objetos afastados do centro aparecem inclinados —, a ortofoto pode ser usada diretamente para medir distâncias, calcular áreas e sobrepor com outros dados cartográficos.

A fotogrametria é definida como «a arte, ciência e tecnologia usadas para obter informação fiável, quer métrica quer semântica, acerca de objetos, por meio da medição e interpretação de imagens obtidas através de registos de radiação visível» (Gonçalves, 2015).

2.2.3.1. Definição de VANT

Uma das novas tecnologias é o VANT, que se tornou numa ferramenta fundamental na AP. Trata-se de uma aeronave projetada para ser operada por controlo remoto ou em missão pré-programada, e que, apesar de ser considerada uma das tecnologias mais sofisticadas e de elevado interesse mundial, é ainda encarada por muitos como estando numa fase embrionária.

2.2.4. Sistema de Informação geográfica (SIG)

O conceito de SIG está associado ao controlo de informação posicional e à sua gestão e análise em diversas áreas, como a Agronomia, a Engenharia e o Ambiente (Matos, 2008).

Para definir o que é um SIG, Cowen (1991) descreveu-o como um sistema constituído por hardware, software e procedimentos concebidos para apoiar a recolha, gestão, análise, modelação e visualização de dados georreferenciados, na resolução de problemas de planeamento e gestão que envolvam a realização de operações espaciais.

A sua capacidade de análise, integração e tratamento de grandes volumes de dados torna o SIG uma ferramenta indispensável. Resulta da convergência de várias áreas — Matemática, Geografia, Geodesia, Deteção Remota, Fotogrametria —, que lhe conferem vantagens no tratamento dos dados, tais como:

- Associação de informação espacial à informação alfanumérica, permitindo uma análise mais detalhada;
- Baixa redundância nos dados;
- Alta precisão na informação;
- Maior flexibilidade nas bases de dados;
- Elevada capacidade de armazenamento;
- Automatização de tarefas e capacidade de atualização.

A IG pode ser utilizada em qualquer situação que envolva a georreferenciação de informação. Pode ser explorada em diversos setores — Engenharia Geográfica, Saúde, Ambiente e outros ramos das Ciências —, destacando-se em cinco grandes domínios: informação cadastral; planeamento e gestão de recursos naturais; modelação espacial e temporal; visualização de informação geográfica; e navegação.

Uma shapefile é um formato de ficheiro amplamente utilizado em sistemas de informação geográfica para armazenar informação sobre objetos espaciais — como pontos, linhas ou polígonos — juntamente com os seus dados descritivos (atributos) (ESRI, 1998).

No entanto, apesar das enormes vantagens de um SIG, a principal desvantagem reside no elevado investimento inicial necessário para a sua implementação, embora este possa ser facilmente recuperado. Uma das alternativas possíveis é a opção por software de código aberto (open source).

2.2.5. Base de Dados

A necessidade de armazenar uma grande quantidade de informação num repositório de fácil acesso é cada vez mais recorrente. Essa informação é disposta em tabelas, estruturadas em linhas e colunas, onde cada linha apresenta uma identidade própria.

A implementação de uma base de dados requer a recolha de informação útil, bem como a sua estruturação e agrupamento.

Embora a BD possa parecer semelhante a uma BDG, estas diferem num aspeto essencial: a BDG armazena também informação geométrica do local, ou seja, a forma e a posição exacta de cada elemento no espaço. Esta informação pode ser recolhida no campo ou a partir de fotografias aéreas, tornando possível o cálculo de áreas, perímetros e distâncias.

As bases de dados são utilizadas nos mais variados contextos do quotidiano — por exemplo, para obter uma listagem dos livros de um determinado autor numa livraria, consultar as transações de uma conta bancária ou pesquisar um jogador de uma determinada seleção.

Para interagir com os dados armazenados na base de dados, é necessária uma interface gráfica. Essa interação é gerida por um Sistema de Gestão de Bases de Dados Relacional (SGBDR). Os SGBDR mais modernos — PostgreSQL, MySQL, Oracle — utilizam a linguagem de programação SQL (Structured Query Language), que possibilita uma melhor gestão e facilita o acesso e controlo da informação.

2.2.5.1. Modelo Relacional

Atualmente, o modelo de base de dados mais utilizado é o Modelo Relacional, criado por Edgar Frank Codd, da IBM Research, nos anos 70. Este modelo baseia-se na teoria matemática relacional, onde uma relação é uma tabela de valores a duas dimensões, com colunas (atributos) e linhas (registos), de dimensão $n \times m$.

No modelo relacional, por definição, um atributo é uma característica referente a uma linha, podendo ou não ser nulo (Caldeira, 2015).

2.2.5.2. PostgreSQL

Para o desenvolvimento do trabalho apresentado neste relatório, foi utilizado o software open source PostgreSQL com a extensão geográfica PostGIS 2.1.7. Trata-se de uma interface que permite a administração de dados: criar e eliminar bases de dados e tabelas, eliminar, editar e adicionar atributos, bem como definir chaves primárias.

Desenvolvido em 1986 pelo Professor Michael Stonebraker, da Universidade da Califórnia em Berkeley (EUA), o PostgreSQL é considerado um dos sistemas de gestão de bases de dados de código aberto mais sofisticados, vocacionado para o estudo de modelos relacionais.

O PostgreSQL utiliza o SQL como linguagem de programação universal, o que permite ao utilizador controlar e gerir toda a informação através de comandos. Destaca-se de outras linguagens nos seguintes aspetos: permite o processamento em conjunto de dados; o método de pesquisa de dados é direto e automatizado; os comandos SQL são

elementos individuais e autónomos, independentemente de corresponderem a uma ou várias linhas de código.

O PostgreSQL dispõe ainda de vários recursos — como esquemas (schemas), ligações SSL e funções armazenadas que podem ser escritas em diferentes linguagens de programação (C/C++, Java, Python, ODBC, entre outras) —, que garantem maior fiabilidade e flexibilidade, permitindo também o acesso multiutilizador (Caldeira, 2015).

3. Agricultura de Precisão – Estado da Arte

Tendo em consideração que a AP é uma atividade em expansão e em permanente desenvolvimento, é possível identificar alguns projetos realizados em vários países, nomeadamente no Brasil e em Portugal. Estes projetos foram objeto de análise e comparação com o trabalho realizado.

- Agricultura de Precisão em Pastagens – Brasil (Bernardi et al., 2014): desenvolvido pela Embrapa Pecuária Sudeste (São Carlos) e pela Embrapa Pecuária Sul.

Este projeto teve como objetivo apresentar algumas das ferramentas utilizadas nos diversos setores, bem como o potencial, os benefícios e as limitações da AP, abordando um conjunto de procedimentos nas atividades agropecuárias e focando a relação de dependência entre elas.

O trabalho está dividido por etapas, partindo da identificação do local de produção animal, gestão das pastagens e estimativa da produção, utilização de sensores no solo e nas plantas, e monitorização animal, com recurso a VANTs para a aquisição de imagens multiespectrais e hiperespectrais.

Como conclusão, verificou-se que a implementação de um SIG na atividade pecuária constitui um processo contínuo de controlo nas fases de produção, evidenciando a elevada importância das técnicas e ferramentas de EG com aplicação na agricultura.

- Agricultura de Precisão (Santos, 2012):

Este projeto teve como objetivo enunciar as capacidades e os benefícios da prática da AP, fazendo referência às diferenças entre a AP e a agricultura tradicional. Ao longo do projeto são detalhados os processos e técnicas usados na AP, terminando com uma aplicação na produção vitícola.

4. Metodologia

4.1 Caso de Estudo

Neste trabalho, a implementação do SIG é aplicada a uma exploração de mirtilos propriedade da Coeficiente Natural, Lda., com 1 hectare, orientação a Noroeste, situada geograficamente na União de Freguesias de Sobrado e Bairros, no distrito de Aveiro, a norte de Portugal. Esta região é caracterizada por encostas ricas em vegetação alta e densa, com solos rochosos ou calcários. A Figura 1 mostra a região de estudo, captada por um VANT durante a realização deste projeto.



Figura 1 – Ortofoto da propriedade da *Coeficiente Natural, Lda.*

4.2. Planeamento e Metodologias

O estudo da exploração consistiu numa planificação de trabalho dividida em cinco etapas. Algumas destas etapas são compostas por várias tarefas, com o objetivo de detetar e corrigir erros de imediato, conforme ilustrado na Figura 2.

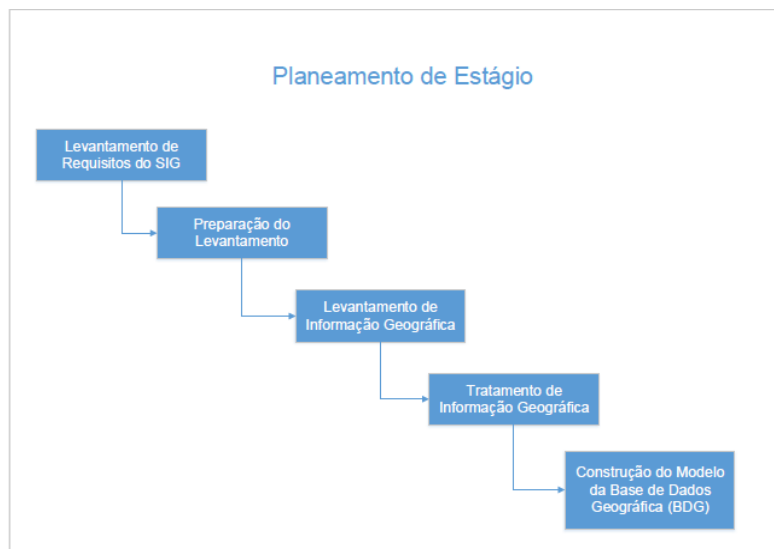


Figura 2 - Planificação das etapas

As etapas em que se verificaram procedimentos de controlo foram as três últimas: o Levantamento da Informação Geográfica, o Tratamento de Informação Geográfica e a Construção do Modelo da BDG. Nestas, foram sempre realizadas comparações dos dados e dos resultados obtidos.

4.2.1. Levantamento de Requisitos do SIG

Na primeira etapa foi reunida a informação necessária relacionada com o SIG, para o desenvolvimento das restantes etapas: instrumentos para a recolha de informação, processamento e tratamento dos dados, e criação da BDG.

4.2.2. Preparação da aquisição da informação

A preparação da recolha de dados consistiu na aquisição de equipamentos adequados para este trabalho de campo, tendo em conta as características das explorações e os métodos a realizar. Foram adotados os métodos de levantamento GPS estático-rápido e RTK, bem como o levantamento fotogramétrico com recurso a um VANT.

Equipamento utilizado

- Método estático-rápido: antena recetora Trimble R7;
- Método RTK: recetor Trimble R6 (Figura 3);
- Levantamento fotogramétrico: Drone Vision Y6 (Figura 4) e câmaras Canon Ixus 140 e Canon Powershot SX260, adaptadas com filtros NIR-G-B ou R-G-NIR, em substituição do padrão RGB.



Figura 3 – Recetor Trimble R6



Figura 4 - Drone Vision Y6

4.2.3. Levantamento da Informação Geográfica

Numa fase preliminar realizou-se um ensaio numa exploração apícola situada em Mirandela, com o objetivo de verificar os métodos a utilizar no levantamento dos pontos da propriedade de exploração de mirtilos.

Os métodos utilizados serviram de comparação, de forma a verificar qual deles apresentava melhor precisão — entre o método cinemático e o estático-rápido, com informação processada em tempo real e pós-processada, respetivamente — em zonas adversas, com solo rochoso e alguma inclinação, e onde existia vegetação alta.

O levantamento topográfico incluiu o levantamento de quatro pontos, situados nos vértices da área em estudo.

No levantamento em modo cinemático, o equipamento foi ligado a uma estação de referência situada em Baião, através da rede ReNEP, o que permitiu que as coordenadas dos pontos fossem processadas em tempo real, com um rigor posicional centimétrico.

Neste processo, a duração da piquetagem — termo técnico para a marcação de cada ponto no terreno (Matos, 2008) — foi de poucos segundos, dependendo do tempo que a antena do recetor demorava a captar e a estabilizar o sinal. O sinal sofre erros na sua propagação, neste caso devido a refrações provenientes das árvores e à visibilidade dos satélites disponíveis.

Os dados recolhidos foram armazenados no cartão de memória do recetor, no sistema de coordenadas ETRS89.

No método estático-rápido, a recolha de informação teve uma duração superior à do método RTK, dado que a antena Trimble R7 esteve estacionada cerca de 5 minutos em cada ponto (Figura 5).



Figura 5 - Levantamento em modo cinemático

Para a realização das missões de voo é necessária uma estação de controlo em permanente contacto com o VANT, bem como uma preparação prévia de todo o trabalho. Durante a missão, toda a informação recolhida é georreferenciada, uma vez que o VANT incorpora um GPS que referencia tanto o terreno como a posição do VANT em relação ao mesmo.

Com o mapeamento é possível estudar não só os fatores que influenciam a produção, mas também obter informação georreferenciada sobre a mesma.

4.2.4. Tratamento da Informação Geográfica

No processamento dos dados no software TBC (Trimble®), foi necessário identificar uma estação de referência para garantir um ponto de controlo em relação aos pontos rover e corrigir as coordenadas. A informação da estação de referência de Baião foi obtida a partir de dados disponibilizados pela Direção Geral do Território (DGT).

Nos dados recolhidos pelo recetor RTK, o processamento foi realizado em tempo real. No entanto, dado que o sistema de coordenadas utilizado pelo IGeoE não é o ETRS89, foi necessário efetuar uma transformação de datum — ou seja, uma conversão entre dois sistemas de referência geográfica diferentes, para garantir que todas as coordenadas são comparáveis entre si. A análise de dados foi realizada com o QGIS 2.4, tendo sido gerados vários polígonos das parcelas da propriedade, com recurso a duas ferramentas: "Points2One" e "Polígonos Convexos".

Neste caso foi utilizada a ferramenta "Points2One", dado que as parcelas apresentavam formas irregulares, o que inviabilizava a utilização da ferramenta "Polígonos Convexos" — esta cria automaticamente o menor polígono que engloba um conjunto de pontos, sendo adequada apenas para formas regulares e convexas (QGIS Development Team, 2014).

No levantamento fotogramétrico realizado através do VANT, foi usado um sensor de infravermelho próximo a uma altitude de voo de aproximadamente 100 metros. Durante a missão, todas as imagens captadas foram georreferenciadas em tempo real.

O processamento dos dados obtidos no caso de estudo dos mirtilos seguiu as mesmas etapas realizadas para os dados de teste, sendo que a estação de referência utilizada foi igualmente a de Baião.

Na importação dos dados para o QGIS, foi utilizado o mesmo sistema de referência da exploração de Mirandela. Conforme será possível verificar nas imagens seguintes, a realização do levantamento da propriedade apenas seria viável com o recetor RTK, pelos argumentos anteriormente enunciados e também por razões de custo, tendo em conta o tempo necessário em cada ponto.

4.2.5. Construção do Modelo de Base de Dados Geográficos

Esta etapa corresponde à última fase do plano de trabalho apresentado na Figura 2, e consistiu na construção efetiva do modelo de BDG a partir de toda a informação recolhida e processada nas etapas anteriores. O processo decorreu em três fases distintas, mas interligadas: a definição da estrutura lógica da base de dados, a sua implementação no PostgreSQL/PostGIS, e a integração com o QGIS através da correlação entre as shapefiles — ficheiros que armazenam informação geográfica vectorial (pontos, linhas e polígonos) — e as tabelas da BDG.

No PostgreSQL, foram criados dois esquemas para organizar a informação: um esquema alfanumérico, destinado a armazenar dados descritivos (como informação sobre pessoas, culturas, modos de produção e colmeias), e um esquema geográfico, concebido para armazenar dados com componente espacial (como parcelas, linhas de plantação, explorações e infraestruturas). Para cada tabela foram definidos atributos com os respetivos tipos de dados e chaves primárias, assegurando a integridade relacional da base de dados. A extensão PostGIS 2.1.7 permitiu incluir um campo de geometria (MultiPolygon, no sistema de referência ETRS89 — EPSG 3763) nas tabelas geográficas, tornando possível o armazenamento da forma e posição de cada entidade espacial.

A ligação entre a BDG e o QGIS foi estabelecida através da exportação dos esquemas geográficos para shapefiles, utilizando o PostGIS Shapefile Import/Export Manager. Após esta exportação, a atualização da informação nas shapefiles reflete-se automaticamente na BDG, garantindo a consistência entre o sistema de visualização e o repositório de dados. A informação alfanumérica e geográfica pode então ser consultada de forma integrada, conforme exemplificado nas Figuras 18, 19 e 20.

Este modelo de BDG poderá ser utilizado futuramente na integração de uma plataforma WebGIS.

5. Resultados e discussão

Neste capítulo são apresentados os resultados obtidos nas fases mais importantes do trabalho, bem como a sua discussão.

Na etapa de recolha de informação, utilizando as técnicas de posicionamento GPS, foram determinados pontos de controlo. Cada ponto de controlo corresponde a um local no terreno cuja posição exacta foi medida com o recetor GPS. Essa posição é descrita por três valores — longitude, latitude e cota (altitude) — que funcionam como as coordenadas de um endereço, mas com precisão de centímetros. A longitude e a latitude indicam onde o ponto está no mapa; a cota indica a que altitude se encontra. Quanto mais precisas forem estas medições, mais fiel será o mapa da exploração que delas resulta.

No primeiro levantamento, os pontos de controlo foram determinados com o Trimble R7 (Tabela 1).

Ponto	Longitude	Latitude	Cota (m)
1	-8,087033	41,334692	237,095
2	-8,087268	41,334870	236,187
3	-8,087487	41,334605	230,512
4	-8,087394	41,334453	229,842

Tabela 1 - Pontos de Controlo R7 (WGS84)

Dado que as coordenadas dos pontos se encontravam em WGS84, foi necessário convertê-las para o sistema ETRS89, de forma a comparar a precisão com os pontos obtidos com o RTK (Tabela 2). O WGS84 é o sistema global utilizado pelo GPS (e pelo Google Maps), enquanto o ETRS89 é o sistema de referência oficial em Portugal e na Europa, mais rigoroso para trabalhos técnicos (Matos, 2008). A conversão entre os dois é necessária para garantir que os mapas e medições são compatíveis com a cartografia nacional.

Ponto	M (m)	P (m)	Cota (m)
1	3857,13	185048,76	237,095
2	3837,03	185068,74	236,187
3	3818,63	185039,85	230,512
4	3827,01	185022,09	229,84

Tabela 2 - Pontos de Controlo R7 (ETRS89)

Após o levantamento em modo estático-rápido com o recetor R7, procedeu-se ao levantamento cinemático com o recetor RTK (Tabela 3).

Ponto	M (m)	P (m)	Cota (m)
1	3856,937	185049,009	237,021
2	3837,186	185068,750	236,207
3	3818,927	185039,398	230,513
4	3826,754	185022,463	229,863

Tabela 3 - Pontos de controlo RTK

Obtidos os pontos, foram comparadas as coordenadas dos dois métodos, calculando as respetivas diferenças (Tabela 4).

Ponto	M (m)	P (m)	Cota (m)
1	0,193	-0,249	0,074
2	-0,160	-0,010	-0,020
3	-0,297	0,452	-0,001
4	0,256	-0,373	-0,023

Tabela 4 -Diferenças (R7-RTK)

A diferença entre os dois métodos não é significativa, resultando em discrepâncias centimétricas. Para perceber o que estes valores significam na prática: o maior desvio registado foi de 0,452 metros (Ponto 3), o que equivale a menos de meio metro. Numa

exploração de apenas 1 hectare, com a vegetação densa e o declive acentuado que caracterizam esta zona, este nível de diferença é perfeitamente aceitável — as condições do terreno, nomeadamente as árvores altas que bloqueiam parcialmente o sinal de satélite, impõem por si só limitações à precisão que qualquer método GPS consegue atingir. O GPS de um telemóvel, por comparação, tem erros típicos de 3 a 10 metros. Para os fins desta exploração — delimitar parcelas, identificar linhas de plantação, georreferenciar infraestruturas — qualquer dos métodos oferece precisão mais do que suficiente. Pode concluir-se, portanto, que ambos os métodos eram adequados ao objetivo principal.

Para além dos pontos de controlo, foram levantados pontos complementares para a delimitação cadastral da área de estudo: 175 pontos, dos quais apenas 137 correspondiam à área de produção de mirtilos (Figuras 6 e 7). Os restantes 38 pontos correspondem a zonas de mato e áreas não cultivadas envolventes, que foram igualmente cartografadas para estabelecer os limites da propriedade com rigor.

A Figura 6 mostra uma vista aérea com os pontos de controlo identificados no QGIS.



Figura 6 - Imagem aérea da propriedade Coeficiente Natural com a identificação dos pontos RTK (BING)



Figura 7 – Visualização dos pontos R7 e polígonos da propriedade no QGIS

O levantamento fotogramétrico com o VANT foi realizado posteriormente (Figura 8), tendo sido produzida uma ortofoto georreferenciada de toda a exploração a partir de dezenas de fotografias tiradas em voo automático.



Figura 8 – Ortofoto da exploração de mirtilos obtida a partir do VANT

Para além do voo com um sensor com três bandas na região do visível (RGB — vermelho, verde e azul, como uma câmara fotográfica normal), foi também realizado um segundo voo com um sensor de infravermelho próximo (Figura 9), a uma altitude de 100 metros. Este segundo sensor capta radiação que o olho humano não consegue ver, mas que a vegetação saudável reflete em grande quantidade. Uma planta com stress hídrico, doença ou carência nutricional reflete menos infravermelhos, tornando-se detetável neste tipo de imagem muito antes de apresentar sinais visíveis a olho nu (Bernardi et al., 2014) — o que torna este voo especialmente útil para monitorizar a saúde das culturas ao longo da época.

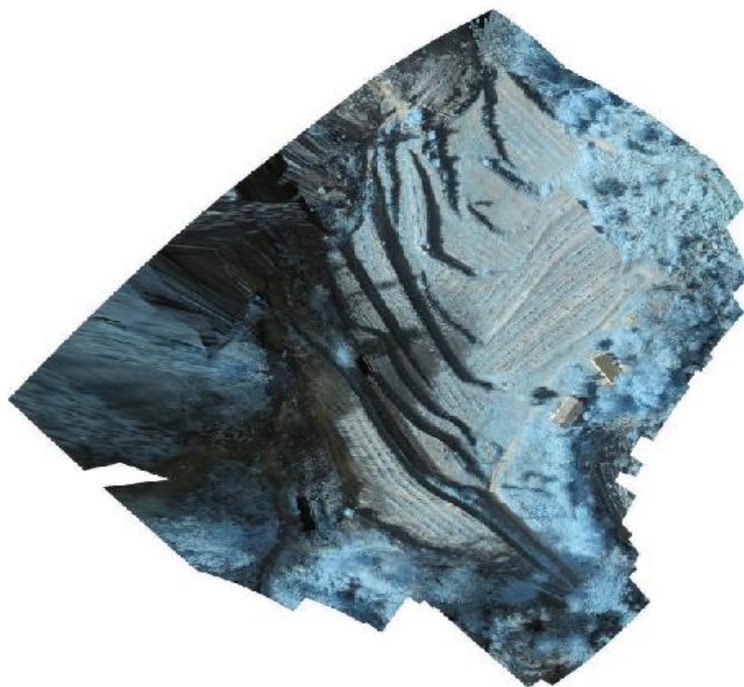


Figura 8 - Ortofoto captada na banda do infravermelho próximo

No entanto, devido ao reduzido número de pontos de controlo obtidos com o recetor R7, foi necessário recolher mais pontos. Sem pontos de controlo suficientes, o software não consegue «ancorar» a ortofoto ao terreno com rigor, resultando em distorções geométricas visíveis na imagem — como se observa na Figura 10.

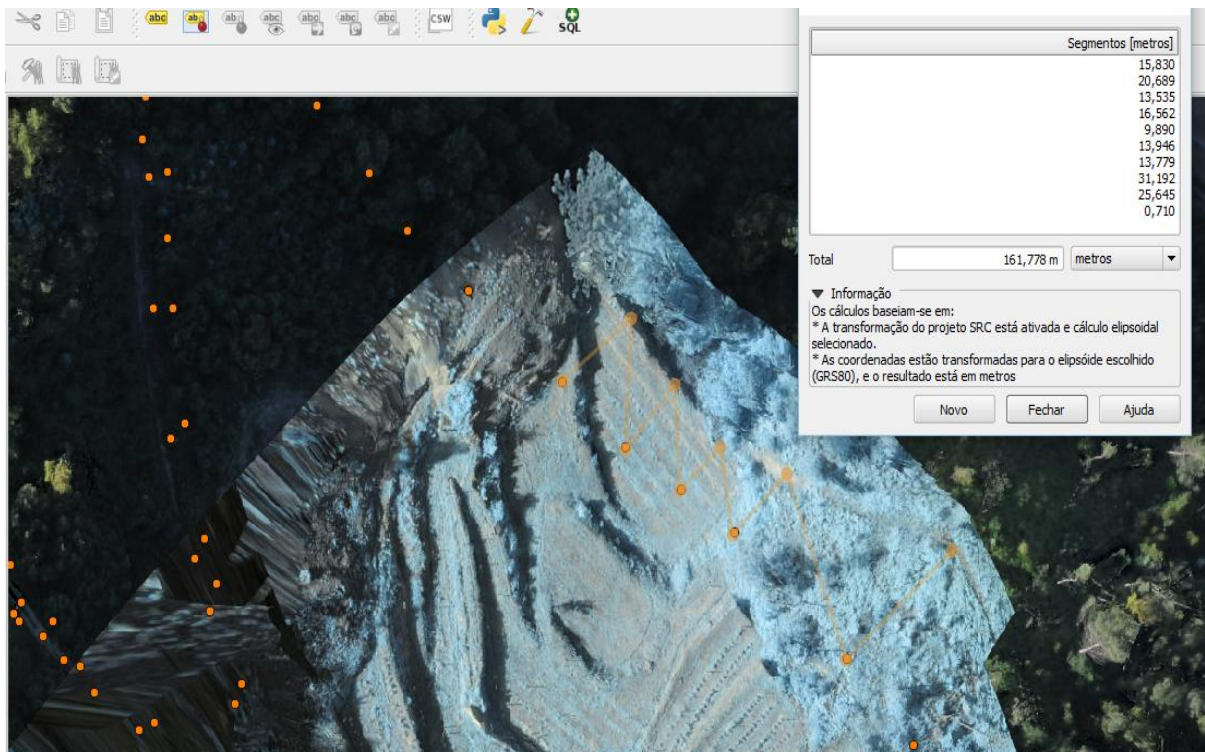


Figura 9 – Erros na geometria da Ortofoto na Banda do infravermelho próximo

No QGIS, foram criadas as shapefiles com tabelas de atributos, para posteriormente serem relacionadas com a base de dados a criar. Neste caso, cada shapefile representa uma camada de informação diferente: parcelas, linhas de plantação, tanques, infraestruturas, etc.

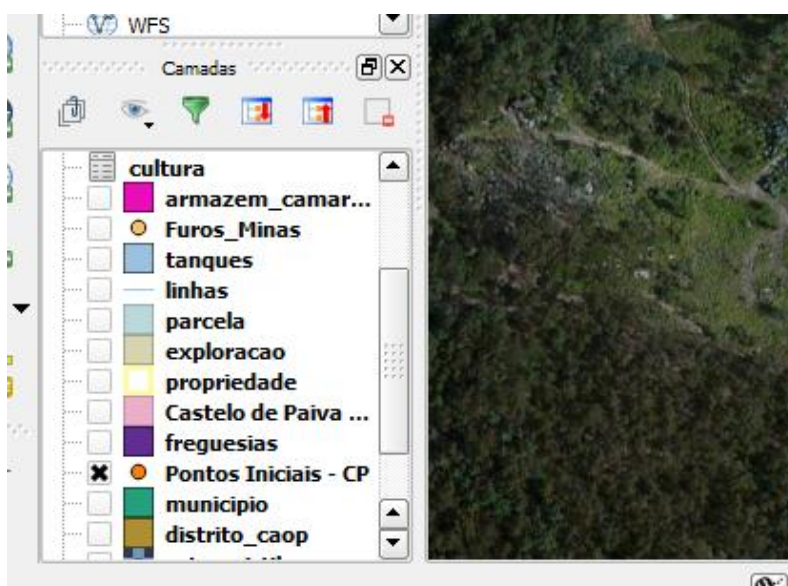


Figura 10 - Shapefiles criadas com a informação geográfica dos pontos

Tabela Atributos - pessoa :: Total de atributos: 1, filtrados: 1, selecionados: 0

id	codigo	nome	morada	bi	telefone	email	nib	obs
1	1	Octavio Filgueiras	rua	12345678	123456789	octavio.fil@gmail...	123456789	NULL

Figura 11 – Criação da tabela de atributos para a identidade ‘Pessoa’

Com todo o trabalho de campo concluído e os dados processados e corrigidos, foi criada a BDG, capaz de relacionar a informação geográfica com a BD. A base de dados pode ser imaginada como um conjunto de folhas de cálculo muito bem organizadas e ligadas entre si. Cada tabela guarda um tipo de informação — por exemplo, uma tabela para as pessoas associadas à exploração, outra para as parcelas de terreno, outra para as culturas. O que a torna «geográfica» é o facto de algumas tabelas guardarem também a forma e a posição exacta de cada objecto no mapa, em vez de apenas texto e números.

No PostgreSQL, foram criados os esquemas para armazenar a informação: um continha tabelas para informação alfanumérica, e outro continha tabelas para informação alfanumérica e geográfica (geometria dos polígonos). Os dois esquemas são como duas secções do mesmo arquivo: um guarda os dados descritivos, o outro guarda os dados espaciais, e os dois estão ligados para que se possa saber, por exemplo, quem é o proprietário de uma determinada parcela ao clicar nela no mapa.

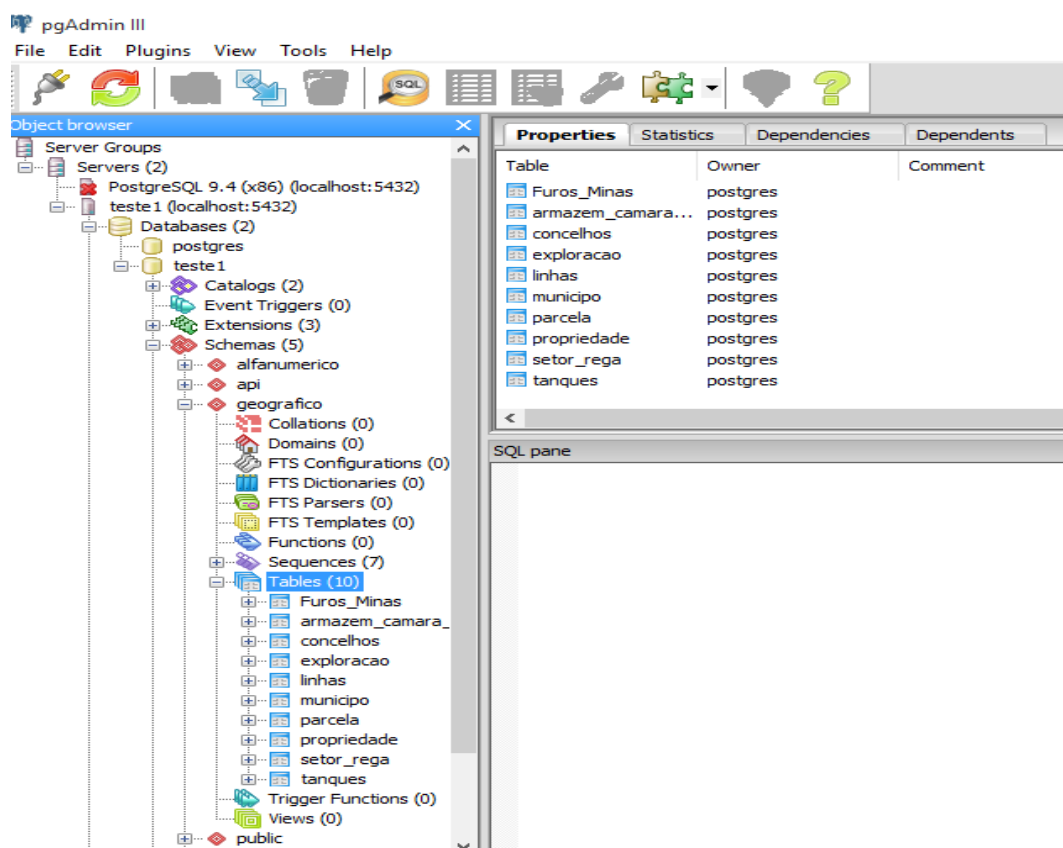


Figura 12 – Criação do *Schema* Geográfico

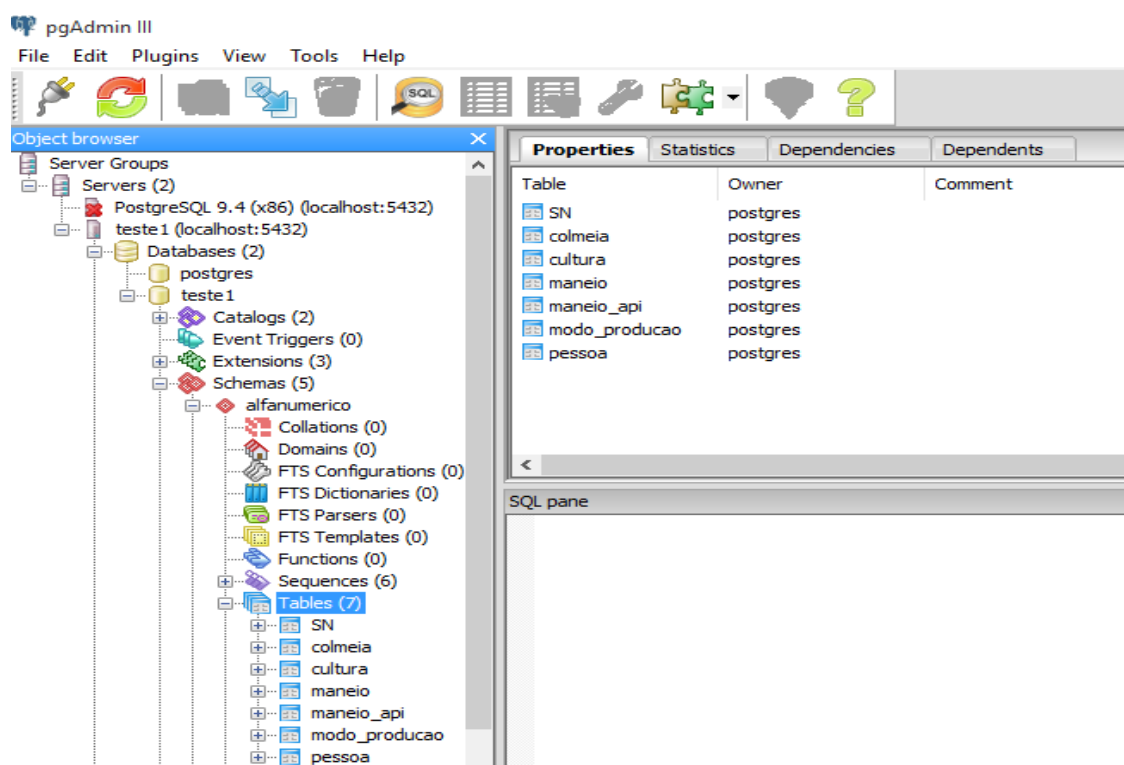


Figura 13 – Criação do *Schema* Alfanumérico

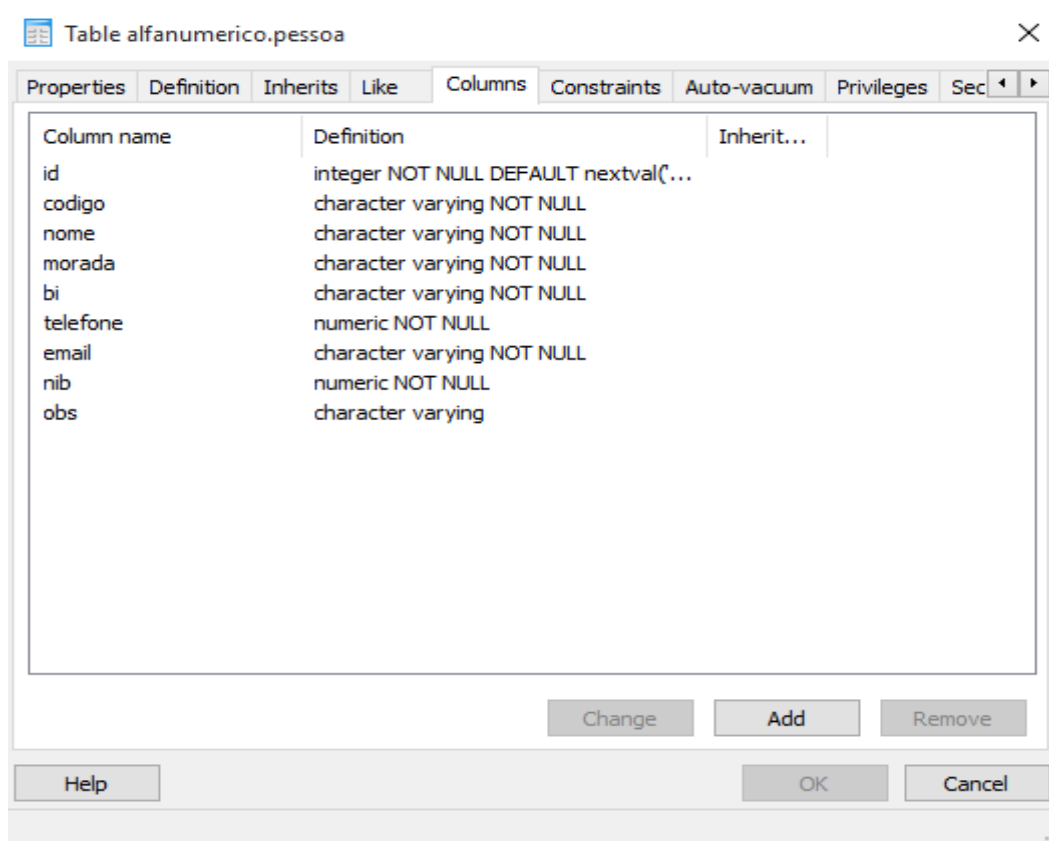


Figura 14 – Tabela Alfanumérica do Atributo 'Pessoa'

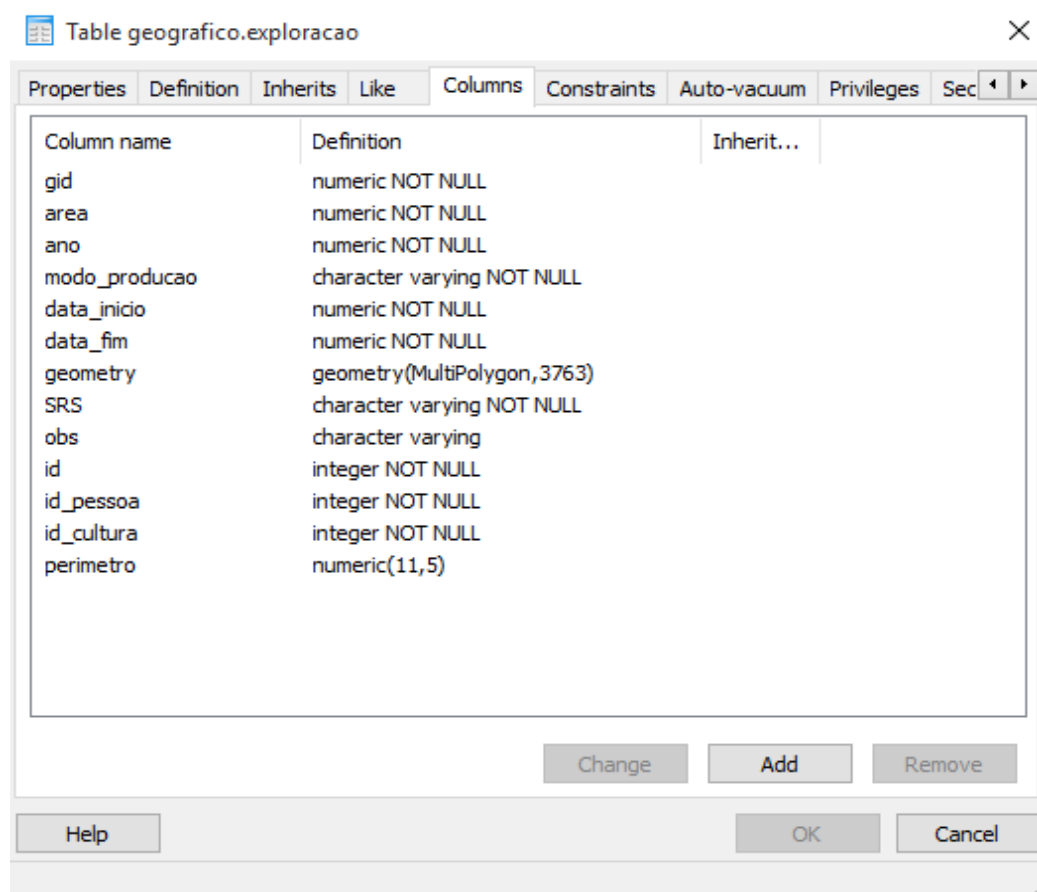


Figura 15 – Tabela Geográfica do atributo 'Exploração'

Com os esquemas e tabelas criados, foi necessário exportar a base de dados para o QGIS e relacioná-la com as shapefiles.

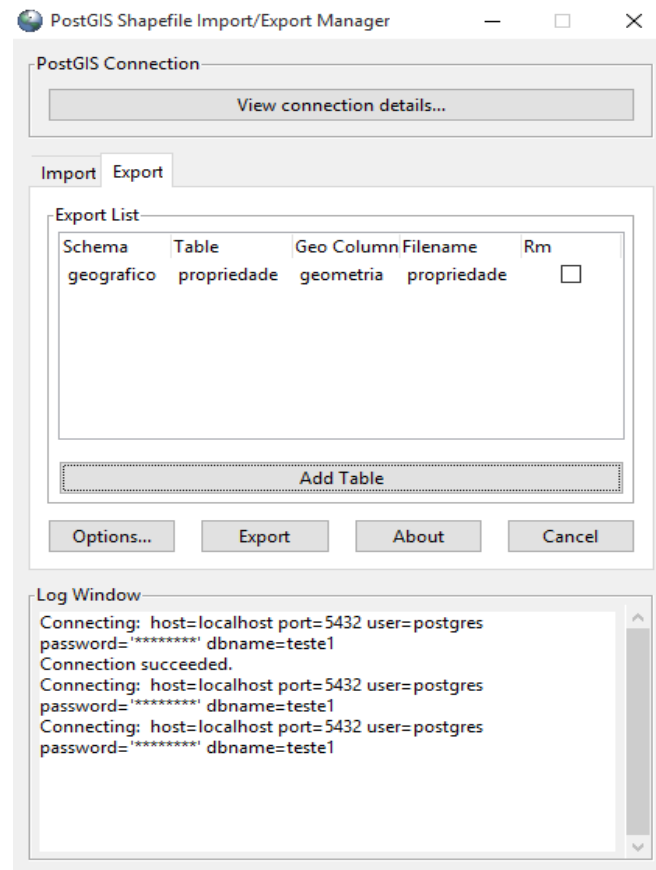


Figura 16 – Processo de exportação do *Schema* 'Propriedade' para o QGIS

Exportada a BDG, o armazenamento de dados é automaticamente atualizado com a informação das shapefiles.

Tabela Atributos - linhas :: Total de atributos: 174, filtrados: 174, selecionados: 1

	gid	id	id_parcela	comprimento	n_plantas	espacamento	srs	obs
1	1	1	3	41.009	100	0.3	3763	NULL
61	1	1	3	41.009	100	0.3	3763	NULL
118	1	1	3	41.009	100	0.3	3763	NULL
2	2	2	3	40.959	100	0.3	3763	NULL
62	2	2	3	40.959	100	0.3	3763	NULL
119	2	2	3	40.959	100	0.3	3763	NULL
3	3	4	2	6.421	100	0.3	3763	NULL
63	3	4	2	6.421	100	0.3	3763	NULL
120	3	4	2	6.421	100	0.3	3763	NULL
49	4	3	2	13.93	100	0.3	3763	NULL
106	4	3	2	13.93	100	0.3	3763	NULL
163	4	3	2	13.93	100	0.3	3763	NULL
29	5	1	2	42.851	100	0.3	3763	NULL
88	5	1	2	42.851	100	0.3	3763	NULL
145	5	1	2	42.851	100	0.3	3763	NULL
30	6	2	2	41.536	100	0.3	3763	NULL
89	6	2	2	41.536	100	0.3	3763	NULL

Mostrar todos os elementos

Figura 17 – Tabela do atributo geográfico 'linhas' correlacionada com a BD

Tabela Atributos - propriedade :: Total de atributos: 5, filtrados: 5, selecionados: 0

	id	id_pessoa	morada	freguesia	concelho	distrito	area	srs	obs	perimetro
0	1	Octavio Filgueiras	N224	União das freguesias de Sobrado e Bairros	CASTELO DE PAIVA	AVEIRO	4134.33	3763	NULL	277.35400
1	2	Octavio Filgueiras	N224	União das freguesias de Sobrado e Bairros	CASTELO DE PAIVA	AVEIRO	3762.163	3763	NULL	329.58200
2	3	Octavio Filgueiras	N224	União das freguesias de Sobrado e Bairros	CASTELO DE PAIVA	AVEIRO	12488.426	3763	NULL	542.01700
3	4	Octavio Filgueiras	N224	União das freguesias de Sobrado e Bairros	CASTELO DE PAIVA	AVEIRO	15761.595	3763	NULL	599.13900
4	5	Octavio Filgueiras	N224	União das freguesias de Sobrado e Bairros	CASTELO DE PAIVA	AVEIRO	4227.438	3763	NULL	393.46900

Mostrar todos os elementos

Figura 18 – Tabela do atributo alfanumérico 'propriedade' correlacionada com a BD

Nas Figuras 18 e 19 é possível verificar toda a informação geográfica e alfanumérica armazenada nas shapefiles, que posteriormente é atualizada na BDG.

Criada a BDG e relacionada com todos os dados geográficos, basta integrá-la numa plataforma de visualização da informação (Figura 20).

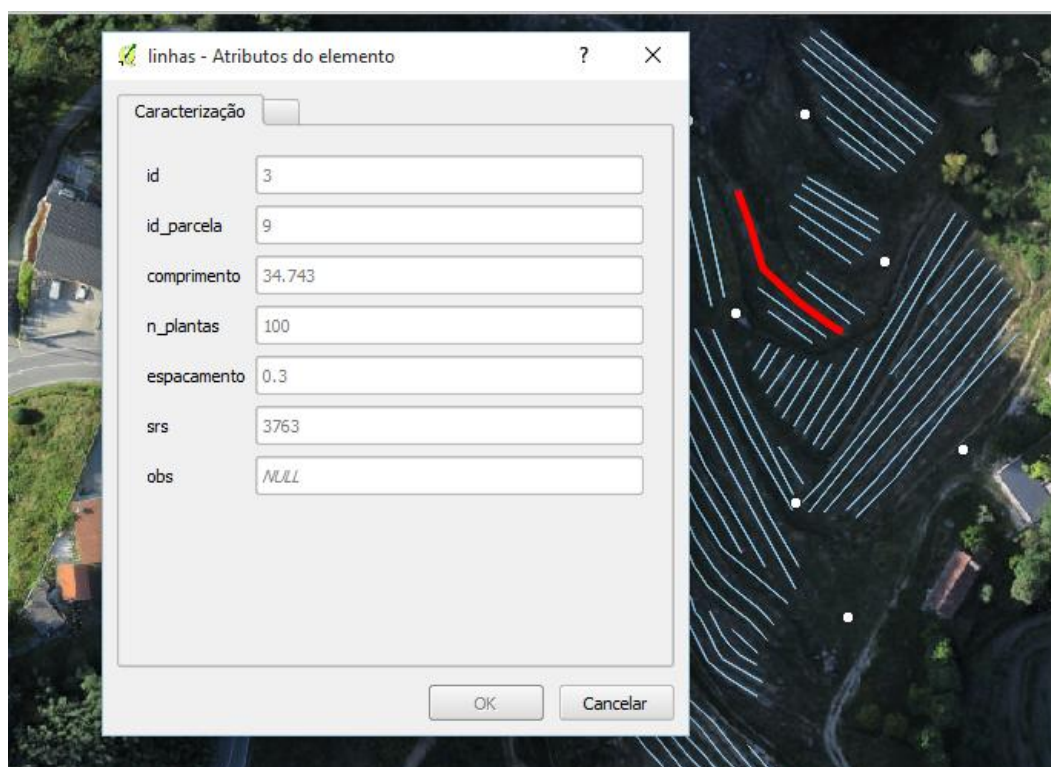


Figura 19 – Output da informação alfanumérica e geográfica do atributo 'linhas'

6. Conclusões

A estruturação do SIG no âmbito deste projeto, com aplicação à agricultura, visa o armazenamento, a consulta e a visualização dos dados geográficos, de modo a facilitar o seu acesso, mantendo-os atualizados sempre que necessário.

Durante a realização das diversas etapas, as metodologias adotadas revelaram-se fundamentais para a estruturação de um modelo geral, versátil para qualquer tipo de exploração agrícola.

Na metodologia adotada, importa salientar alguns processos relevantes para a criação do SIG, nos quais surgiram dificuldades, desde a preparação do levantamento de informação geográfica até à construção do modelo de base de dados geográficos.

No levantamento de informação geográfica dos pontos de controlo, surgiram dificuldades motivadas pela vegetação alta, característica da região, tendo sido necessário recorrer a dois métodos de posicionamento distintos: o estático-rápido e o RTK. O método RTK serviu de comparação com o método estático-rápido, para verificar se a diferença entre as coordenadas obtidas era significativa — o que se veio a confirmar que não era. Esta conclusão é particularmente relevante em contextos de vegetação densa e relevo acentuado, como o da propriedade estudada, onde o sinal GNSS está sujeito a perturbações e a permanência prolongada em cada ponto é operacionalmente desvantajosa.

A necessidade de aceder aos dados geográficos recolhidos através de software open source revelou-se de extrema importância, na medida em que garante que qualquer pessoa possa visualizar e manipular os seus próprios dados sem incorrer em custos financeiros.

Na criação do modelo de BDG, com recurso ao PostgreSQL, foram encontradas algumas dificuldades, especialmente na criação da relação entre os dados geográficos e alfanuméricos, devido à necessidade de instalação de alguns plugins e à definição de determinados atributos, e na exportação desses dados para o QGIS.

A experiência de conduzir um projeto de SIG desde o levantamento da informação geográfica até à criação do modelo de dados revelou a importância de uma abordagem integrada e iterativa. Cada etapa influencia diretamente as seguintes: a qualidade dos pontos de controlo recolhidos condiciona a precisão da ortofoto gerada pelo VANT; a estrutura das shapefiles criadas no QGIS determina a organização das tabelas na BDG; e a correta definição dos esquemas geográfico e alfanumérico no PostgreSQL é

determinante para que a exportação e correlação dos dados decorram sem erros. Esta cadeia de dependências tornou claro que, num projeto de SIG aplicado à agricultura, não é possível dissociar o trabalho de campo do trabalho de gabinete: ambos exigem rigor e planeamento prévio.

O levantamento fotogramétrico com o VANT constituiu um dos momentos mais desafiantes do projeto. A georreferenciação das imagens em tempo real, combinada com o processamento posterior no TBC, exigiu um número suficiente de pontos de controlo de qualidade — limitação que, como foi verificado na ortofoto de infravermelho próximo, origina erros geométricos quando não é devidamente assegurada. Esta experiência evidencia que a fase de preparação e planeamento do voo não deve ser subestimada, e que a validação dos dados após cada missão é indispensável.

A construção do modelo de BDG no PostgreSQL/PostGIS demonstrou que a adoção de ferramentas open source é viável e eficaz em contextos de gestão agrícola. A organização em dois esquemas distintos — alfanumérico e geográfico — e a sua posterior integração no QGIS permitiram criar um sistema coerente, onde a informação de campo é correlacionada com atributos descritivos. O resultado final demonstra que é possível, com recursos tecnológicos acessíveis, construir uma base de dados geográficos funcional, pronta a suportar decisões de gestão numa exploração agrícola real.

Para trabalhos futuros, este SIG está preparado para ser implementado numa plataforma de visualização online — WebGIS —, de modo a permitir o acesso e a análise da informação com elevada precisão e rigor posicional, facilitando a gestão de todos os recursos, com vista a um investimento mais assertivo na exploração, à redução de custos e ao aumento da produtividade e consequente rentabilização da exploração.

Referências Bibliográficas

- Matos, J. (2008). Fundamentos de Informação Geográfica. Lisboa: Lidel.
- Gonçalves, J. A. et al. (2012). Topografia – Conceitos e Aplicações. Lisboa: Lidel.
- Gonçalves, J. A. (2015). Fotogrametria. Documentação de apoio a aulas da Universidade do Porto.
- Caldeira, C. P. (2015). PostgreSQL – Guia Fundamental. Lisboa: Sílabo.
- Colégio Nacional de Engenharia Geográfica da Ordem dos Engenheiros (2009). Cartografia e Geodesia 2009 – Actas da VI Conferência Nacional de Cartografia e Geodesia. Lisboa: Lidel.
- Bernardi, A. C. de C. (2014). Agricultura de Precisão em Pastagens. São Carlos: Embrapa.
- Bernardi, A. C. de C. et al. (2014). Agricultura de Precisão – Resultados de um Novo Olhar. São Carlos: Embrapa.
- Santos, F. (2012). Agricultura de Precisão. Vila Real: UTAD.
- Coelho, J. et al. (2004). Agricultura de Precisão. Inovação e Tecnologia na Formação Agrícola.
- Cowen, D. J. (1991). GIS versus CAD versus DBMS: What are the differences? Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, 54(11), 1551–1554.
- Dorney, R. S. (1989). The Professional Practice of Environmental Management. Nova Iorque: Springer.
- ESRI (1998). ESRI Shapefile Technical Description. An ESRI White Paper. Environmental Systems Research Institute. Disponível em: <https://www.esri.com/library/whitepapers/pdfs/shapefile.pdf>
- QGIS Development Team (2014). QGIS Geographic Information System. Open Source Geospatial Foundation Project. Disponível em: <http://qgis.osgeo.org>

Endereços eletrônicos consultados:

https://ec.europa.eu/agriculture/publi/reports/portugal/workdoc_pt.pdf

<http://www.onebase.com.br/noticia/11106/revolucao-industrial-consequencias-e-beneficios-para-a-agricultura>

<http://www.cm-castelo-paiva.pt/pt/ecologia-e-localizacao>

http://www.dgterritorio.pt/cartografia_e_geodesia/geodesia/redes_geodesicas/renep/es_tacoes_da_renep/

http://www.dgterritorio.pt/cartografia_e_geodesia/geodesia/sistemas_de_referencia/portugal_continental/pt_tm06_etr89/

<http://www.fc.up.pt/pessoas/jagoncal/coordenadas/>

<http://www.portalsaofrancisco.com.br/alimentos/mirtilo>

<https://www.gps.gov>