



**Universidade de Évora - Escola de Ciências e Tecnologia**

**Mestrado em Engenharia Agronómica**

Dissertação

**Aplicação diferenciada de azoto em cobertura, caso de estudo - cevada**

Rodrigo de Oliveira Amorim

Orientador(es) | José Rafael Silva  
Adélia Sousa

Évora 2021

---

---

---

---



**Universidade de Évora - Escola de Ciências e Tecnologia**

**Mestrado em Engenharia Agronómica**

Dissertação

**Aplicação diferenciada de azoto em cobertura, caso de estudo - cevada**

Rodrigo de Oliveira Amorim

Orientador(es) | José Rafael Silva

Adélia Sousa

Évora 2021

---

---

---

---



A dissertação foi objeto de apreciação e discussão pública pelo seguinte júri nomeado pelo Diretor da Escola de Ciências e Tecnologia:

Presidente | Vasco Fitas da Cruz (Universidade de Évora)

Vogais | Ana Cristina Gonçalves (Universidade de Évora) (Arguente)  
José Rafael Silva (Universidade de Évora) (Orientador)

## **AGRADECIMENTOS**

Primeiramente, as minhas palavras de agradecimento dirigem-se ao meu orientador Prof. Doutor José Rafael Marques da Silva, pela constante disponibilidade, cooperação, atenção dispensada e confiança que sempre mostrou ao longo da elaboração deste trabalho. Foi um prazer.

À minha coorientadora Profa. Doutora Adélia Maria Oliveira de Sousa pela prontidão a cada pedido de auxílio e pelo apoio prestado na realização desta dissertação.

À AGROINSIDER por me ter disponibilizado tanto os dados, que fizeram parte desta investigação, como os recursos que me permitiram avançar na conclusão da mesma. Um agradecimento especial ao Francisco Marques.

À AGRO VALE LONGO pela simpatia e diligência com que me cederam um dos seus pivots sem o qual não seria possível a elaboração deste trabalho.

Aos meus pais, a quem serei eternamente grato. Por me terem dado todas as ferramentas, valores e oportunidades para que conseguisse alcançar tudo o que sempre ambicionei. Agradeço-lhes por tudo o que fizeram por mim.

À minha irmã Catarina, pelo constante apoio, companheirismo e ajuda no decorrer deste trabalho e por todo o amparo ao longo destes últimos anos.

À minha namorada Carolina, pelo suporte, dedicação e carinho com os quais sempre me acompanhou e pelo constante incentivo para que lutasse pelos meus objetivos.

Aos meus amigos Luís, Miguel e Tomás, os de sempre, que fizeram deste percurso algo memorável e que me fizeram sentir em casa. Obrigado!

Por último, à Universidade de Évora, a todos os professores, funcionários e colegas, o meu sincero agradecimento por todas as experiências, oportunidades e conquistas que tive o privilégio de vivenciar.

## RESUMO

Sendo a Agricultura de Precisão a área que compreende a aplicação diferenciada e adequada aos fatores de produção, considerando as condições do meio e de cada cultura, aumentando a sua eficiência de aplicação, otimizando o desempenho económico e diminuindo o seu impacto ambiental, é natural o seu crescimento. São utilizados, por exemplo, o GNSS, o SIG, a Detecção Remota e a tecnologia VRT.

Neste contexto, o presente trabalho tem por objetivo a avaliação da eficiência da aplicação diferenciada de azoto, em fertilização de cobertura, na produtividade de cevada, utilizando VRT, com recurso à interpretação de índices de desenvolvimento da planta e parâmetros de variabilidade do solo obtidos a partir dos Satélites Sentinel 2 (NDVI).

Os resultados sugerem que a Agricultura de Precisão compensa já que ao evitar a colocação de adubo em excesso, permite uma margem de lucro maior e uma redução do impacto ambiental.

**Palavras-chave:** agricultura de precisão; taxa variável; variabilidade; cevada; azoto, Sentinel 2.

## **Differential application of nitrogen in top dressing, study case – barley crop.**

### **ABSTRACT**

Being Precision Farming the area that includes the differentiated and adequate application to the agricultural inputs, considering the conditions of the environment and of each crop, increasing its application efficiency, optimizing the economic performance and decreasing its environmental impact, its growth is natural. For example, GNSS, GIS, Remote Detection and VRT technology are employed.

In this context, this work aims to evaluate the efficiency of differentiated nitrogen application, in coverage fertilization, in barley productivity, using VRT, using the interpretation of plant development indexes and soil variability parameters obtained from Sentinels 2 (NDVI).

The results suggest that Precision Farming is worth it because by avoiding the placement of excess fertilizer, it allows a higher profit margin and a reduction in environmental impact.

**Keywords:** precision farming; variable rate; variability; barley; nitrogen, Sentinel 2.

# ÍNDICE

<b>AGRADECIMENTOS</b> .....	<b>I</b>
<b>RESUMO</b> .....	<b>II</b>
<b>ABSTRACT</b> .....	<b>III</b>
<b>LISTA DE SIGLAS</b> .....	<b>IX</b>
<b>I. INTRODUÇÃO</b> .....	<b>1</b>
<b>1. Enquadramento</b> .....	<b>1</b>
<b>2. Objetivos</b> .....	<b>3</b>
<b>3. Revisão Bibliográfica</b> .....	<b>4</b>
<b>3.1. Tecnologias em Agricultura de Precisão</b> .....	<b>4</b>
<b>3.1.1. Sistema Global de Navegação por Satélite (GNSS)</b> .....	<b>4</b>
<b>3.1.2. Análise de Solos</b> .....	<b>5</b>
<b>3.1.3. Sistemas de Monitorização de Produtividade</b> .....	<b>5</b>
<b>3.1.4. Detecção Remota</b> .....	<b>6</b>
<b>3.1.4.1. Radiação Eletromagnética</b> .....	<b>7</b>
<b>3.1.4.1.1. Interferências Atmosféricas</b> .....	<b>8</b>
<b>3.1.4.1.2. Interação com a Superfície Terrestre</b> .....	<b>9</b>
<b>3.1.4.1.3. Comportamento espectral da vegetação</b> .....	<b>10</b>
<b>3.1.4.1.4. Resolução Espectral dos Sensores</b> .....	<b>11</b>
<b>3.1.4.1.5. Índice Espectral de Vegetação</b> .....	<b>12</b>
<b>3.1.4.1.6. Missão Sentinel</b> .....	<b>13</b>
<b>3.1.5. Sistemas de Informação Geográfica (SIG)</b> .....	<b>15</b>
<b>3.1.6. Tecnologia de Taxa Variável (VRT)</b> .....	<b>16</b>
<b>3.2. Caracterização da Cevada</b> .....	<b>18</b>
<b>II. MATERIAIS E MÉTODOS</b> .....	<b>20</b>
<b>1. Descrição Do Campo De Ensaio E Métodos A Utilizar</b> .....	<b>20</b>

1.1. Campo De Ensaio.....	20
1.2. Tecnologia Utilizada .....	20
1.3. Fertilizante.....	21
2. Metodologia .....	21
<b>III. RESULTADOS E DISCUSSÃO .....</b>	<b>24</b>
1. Dados das Análises de Solo.....	24
2. Dados da Cultura .....	26
2.1. Pontos de Amostragem Na Colheita.....	26
2.2. Análise Estatística Descritiva.....	27
2.3. Análise de Variância (ANOVA).....	31
3. Análise Dos Dados Obtidos Pela Ceifeira-Debulhadora.....	34
<b>IV. CONCLUSÕES E DESENVOLVIMENTOS FUTUROS.....</b>	<b>39</b>
<b>V. BIBLIOGRAFIA .....</b>	<b>41</b>
<b>ANEXOS .....</b>	<b>44</b>

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1</b> - Esquema representativo de um ciclo de Agricultura de Precisão, Fonte: <a href="http://www.masseyferguson.com">http://www.masseyferguson.com</a> . .....	<b>2</b>
<b>Figura 2</b> - Direção de propagação da radiação eletromagnética na forma de uma onda, em função das oscilações ortogonais dos campos magnético (M) e elétrico (E), Fonte: Meneses & Almeida, 2012 .....	<b>7</b>
<b>Figura 3</b> - Espectro eletromagnético, adaptado de <a href="http://gsp.humboldt.edu/OLM/Courses/GSP_216_Online/lesson1-2/spectrum.html">http://gsp.humboldt.edu/OLM/Courses/GSP_216_Online/lesson1-2/spectrum.html</a> .....	<b>8</b>
<b>Figura 4</b> - Curvas da distribuição espectral da energia solar na atmosfera/superfície terrestre, Fonte: Moraes, 2002 .....	<b>9</b>
<b>Figura 5</b> - Interação da REM com um objeto, adaptado de Sousa & Duarte, 2016 .....	<b>10</b>
<b>Figura 6</b> - Curvas de refletância espectral típicas para vegetação, solo e água, Fonte: Aggarwal, 2004 .....	<b>11</b>
<b>Figura 7</b> - Classificação dos sensores quanto à sua resolução espectral, Fonte: Lira et al., 2016 .....	<b>12</b>
<b>Figura 8</b> - Distribuidor centrífugo de adubo com sistema VRT .....	<b>18</b>
<b>Figura 9</b> - Campo de ensaio delimitado pela linha vermelha. Imagem retirada do programa ArcGis 10.7.1 com recurso a imagem de satélite em composição colorida no visível. ....	<b>20</b>
<b>Figura 10</b> - Zonas de gestão em função do NDVI.....	<b>24</b>
<b>Figura 11</b> – Mapa de aplicação de adubo e respetiva divisão do pivot .....	<b>27</b>
<b>Figura 12</b> - Crescimento das plantas no decorrer do seu ciclo .....	<b>28</b>
<b>Figura 13</b> – Carta de Produtividade da cultura da cevada (2020) .....	<b>35</b>
<b>Figura 14</b> - Carta da margem líquida da cultura da cevada (2020) .....	<b>36</b>

## ÍNDICE DE TABELAS

<b>Tabela 1</b> - Zonas do espectro eletromagnético utilizadas em detecção remota, adaptado de Sousa & Marques da Silva, 2017.....	<b>8</b>
<b>Tabela 2</b> - Caracterização das bandas espectrais do Sentinel 2, adaptado de ESA, 2012 .....	<b>15</b>
<b>Tabela 3</b> - Composição Química do Fertilizante .....	<b>21</b>
<b>Tabela 4</b> - Resultados das análises de solos. ....	<b>25</b>
<b>Tabela 5</b> - Percentagens de nutrientes na CTC e relação Cálcio/Magnésio, a vermelho encontram-se os valores que não estão compreendidos no intervalo de valores recomendados .....	<b>25</b>
<b>Tabela 6</b> - Dados de base relativos aos pontos de amostragem (15/06/2020).....	<b>44</b>
<b>Tabela 7</b> - Análise estatística descritiva: Plantas/ m <sup>2</sup> .....	<b>28</b>
<b>Tabela 8</b> - Análise estatística descritiva: Peso total das plantas/m <sup>2</sup> .....	<b>29</b>
<b>Tabela 9</b> - Análise estatística descritiva: Peso total do grão/m <sup>2</sup> .....	<b>30</b>
<b>Tabela 10</b> - Análise estatística descritiva: Peso de 100 grãos .....	<b>30</b>
<b>Tabela 11</b> - Teste de U de Mann-Whitney de amostras independentes .....	<b>31</b>
<b>Tabela 12</b> - Teste de Kruskal-Wallis de amostras independentes .....	<b>32</b>
<b>Tabela 13</b> - Teste de Kruskal-Wallis de amostras independentes. ....	<b>33</b>
<b>Tabela 14</b> - Comparação de Classes por método Pairwise .....	<b>34</b>
<b>Tabela 15</b> - Quantidade de adubo, custo de produção e rendimento médio em cada zona de gestão .....	<b>37</b>
<b>Tabela 16</b> - Teste de U de Mann-Whitney de amostras independentes.....	<b>38</b>

## ÍNDICE DE EQUAÇÕES

**Equação 1** – Equação alusiva à relação entre energia incidente ( $I_\lambda$ ), energia refletida ( $R_\lambda$ ), energia absorvida ( $A_\lambda$ ) e energia transmitida ( $T_\lambda$ ) .....**9**

**Equação 2:** Equação alusiva ao cálculo do NDVI, onde IVP - Infravermelho Próximo e V - Vermelho .....**12**

## **LISTA DE ABREVIATURAS**

**AC** - Agricultura Convencional

**AP** - Agricultura de Precisão

**CTC** - Capacidade de Troca Catiônica

**DR** - Detecção Remota

**EEM** - Espectro Eletromagnético

**ESA** – European Space Agency (Agência Espacial Europeia)

**GNSS** - *Global Navigation Satellite System* (Sistema Global de Navegação por Satélite)

**IV** - Infravermelho

**IVM** - Infravermelho Médio

**IVP** - Infravermelho Próximo

**IVT**- Infravermelho Térmico

**MO** - Matéria Orgânica

**NDVI** - *Normalized Difference Vegetation Index* (Índice de Vegetação da Diferença Normalizada)

**NDWI** - *Normalized Difference Water Index* (Índice de Água por Diferença Normalizada)

**REM** - Radiação Eletromagnética

**SIG** - Sistema de Informação Geográfica

**V** - Vermelho

**VRT** - *Variable Rate Technology* (Tecnologia de Taxa Variável)

# I. INTRODUÇÃO

## 1. Enquadramento

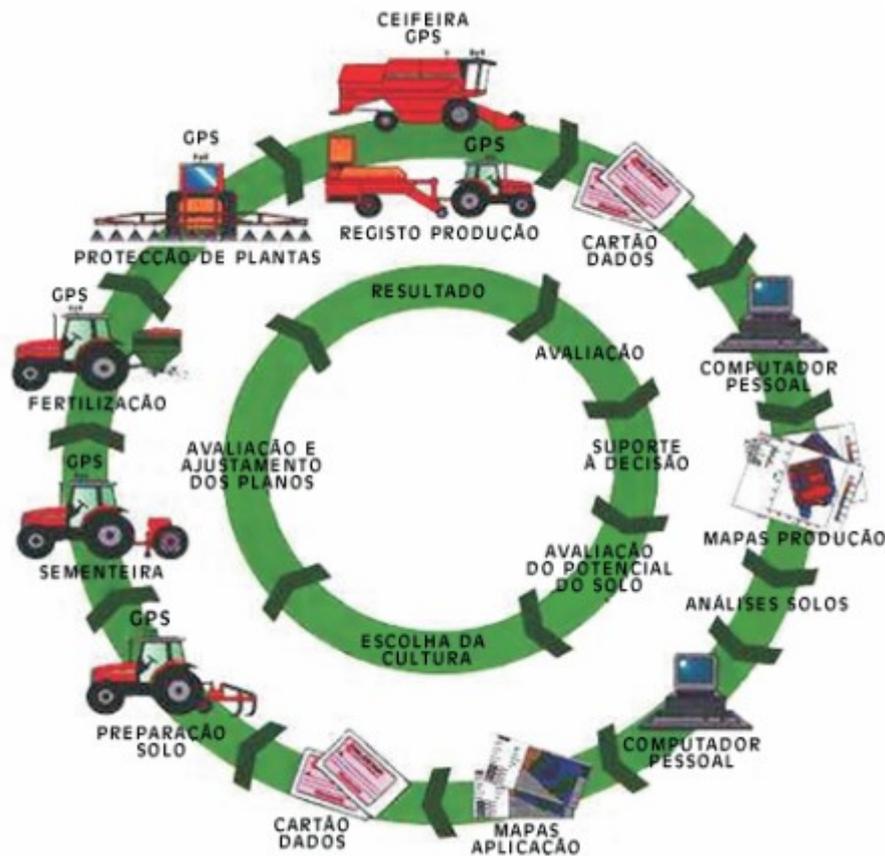
Com o caminhar das últimas décadas, o termo de Agricultura de Precisão (AP) tem sofrido diversas atualizações, não só na própria nomenclatura mas também no seu conceito. De acordo com a literatura, a sua definição mais elementar diz respeito à capacidade de analisar e identificar as particularidades do solo, o historial de cultivo, o próprio clima e diversas variáveis que possam estar relacionadas com o sistema de produção, sendo as mesmas características avaliadas ao longo do campo (Coelho, 2005).

Na sua definição mais objetiva a AP compreende a aplicação diferenciada e adequada aos fatores de produção, levando em consideração a variação espacial e temporal do potencial produtivo do meio e das necessidades singulares de cada cultura, aumentando, desse modo, a sua eficiência de aplicação e, por consequência, otimizando o desempenho económico e diminuindo o impacto que a atividade agrícola possa ter no meio ambiente (Castro Coelho & Marques da Silva, 2009).

Assim sendo, importa esclarecer que os principais constituintes do sistema de AP deverão associar os valores e a análise da variabilidade espacial e temporal. A informação disponível deverá ser utilizada pelo sistema para determinar essa mesma variabilidade, relacionando a aplicação de fatores de produção agrícolas (sementes, fertilizantes, corretivos agrícolas, produtos fitofarmacêuticos) num conceito localizado, possível com o uso da Tecnologia de Taxa Variável (VRT) utilizando diversas máquinas e equipamentos agrícolas especializados para aplicação da mesma. Os resultados deverão culminar na eficiência da atividade agrícola e na sua avaliação económica (Figura 1) (Braga & Pinto, 2011; Coelho, 2005).

À semelhança de todos os outros setores, a agricultura tem, vincadamente, procurado por um processo evolutivo economicamente benéfico. Desse modo, a evolução informática, as diversas tecnologias de geoprocessamento, os sistemas de posicionamento global, entre outros, têm contribuído para que a agricultura atual seja muito diferente à de outrora. Diversas são as vantagens documentadas referentes à AP, é necessário menor quantidade de fatores de produção, o aumento de produtividade, a sustentabilidade, exploração do solo de uma forma otimizada e, por último, este tipo de sistema promete a

redução da poluição ambiental (Terassi et al., 2015).



**Figura 1** – Esquema representativo de um ciclo de Agricultura de Precisão, Fonte: <http://www.masseyferguson.com>.

Contudo, são relatadas diversas desvantagens ao longo da literatura, sendo a principal o elevado investimento inicial, não só para aquisição de maquinaria qualificada como pelo levantamento da situação de base e pela estruturação de um sistema de informação geograficamente referenciada. Um exemplo representativo serão as aplicações VRT, essenciais na AP onde muitas das condicionantes são desconhecidas à priori, o que impede a real percepção das vantagens em termos económicos, já que se encontram dependentes do grau de variabilidade espacial e temporal, como referido anteriormente. Deste modo, muitos agricultores têm algum receio de investir nesta tecnologia, devido aos riscos associados, o que origina um atraso na progressão desta tecnologia. Outra dificuldade observada está relacionada com a falta de qualificação especializada na área (Braga & Pinto, 2011; Castro Coelho & Marques da Silva, 2009).

## 2. Objetivos

Este trabalho tem por objetivo a avaliação da eficiência da aplicação diferenciada de azoto, em fertilização de cobertura, na produtividade de cevada, utilizando VRT, com recurso à interpretação de índices de desenvolvimento da planta e parâmetros de variabilidade do solo obtidos por deteção remota. A aplicação diferenciada de azoto a efetuar tem por base a realização de uma carta de prescrição tratada de forma variável com base no estado vegetativo da cultura e em conjugação com o potencial produtivo dos solos em estudo, e suas diversas limitações. Serão utilizadas várias tecnologias e equipamentos associados à prática da agricultura de precisão, como é o caso do distribuidor centrífugo a taxa variável, que efetuará a leitura de dados previamente tratados em *softwares* de Sistema de Informação Geográfica (SIG), a partir da cabine de um trator conduzido com recurso a um sistema de navegação por satélite (*Global Navigation Satellite System – GNSS*). A avaliação da produtividade será feita a partir dos dados fornecidos por sensores instalados na ceifeira-debulhadora. Pretende-se contribuir para uma fertilização em azoto mais eficiente, contrariando a elevada mobilidade deste nutriente, evitando desta forma efeitos prejudiciais para o ambiente, bem como uma aplicação mais lógica a nível económico.

### **3. Revisão Bibliográfica**

#### **3.1. Tecnologias em Agricultura de Precisão**

O avanço tecnológico que assistimos tornou possível a evolução e aplicação do conceito de Agricultura de Precisão. Assim sendo, é cada vez mais necessário recorrer a equipamento de alta tecnologia para quantificar, avaliar, medir e monitorizar a variabilidade numa determinada parcela, mas também para, numa segunda fase, realizar a correta aplicação dos fatores de produção adequados a essa variabilidade. Os equipamentos mais, frequentemente, utilizados em AP serão a tecnologia VRT, o sistema de navegação (GNSS), sistemas de monitorização de produtividade, análise de solos, os Sistema de Informação Geográfica (SIG), e Detecção Remota (Braga & Pinto, 2011; Castro Coelho & Marques da Silva, 2009; Seelan et al., 2003).

##### **3.1.1. Sistema Global de Navegação por Satélite (GNSS)**

Permitindo o conhecimento da localização precisa dos diferentes locais de variabilidade de certos parâmetros de solo e da cultura que se pretende analisar, o sistema GNSS é, então, uma das tecnologias de maior relevância em AP. O sistema GNSS é constituído por várias constelações de satélites, originárias de diferentes países, como por exemplo o GPS (Constelação Americana), o GLONASS (Constelação Russa) e o GALILEO (Constelação Europeia) entre outras já existente e novas que estão ainda em fase de preparação. O sistema GNSS para além dos satélites das diferentes constelações é constituído por um recetor de sinais no dispositivo do utilizador, preparado para captar e processar o sinal de rádio das diferentes constelações, constituído por 3 componentes básicos: relógio, recetor rádio e o *software* que permite a realização dos cálculos de localização ou de posição geográfica. Com a grande quantidade de satélites das diversas constelações o *software* possui sempre satélites para efetuar o cálculo com a maior precisão possível. (Castro Coelho & Marques da Silva, 2009; Dow et al., 2009).

Tendo em conta o anteriormente explicado, é natural que o GNSS seja a base dos sistemas de AP, já que para definir a variabilidade do ponto de vista espacial, de uma determinada característica do solo ou de uma cultura, é mandatário saber identificar a localização geográfica precisa de cada um dos pontos a analisar. Outro aspeto ainda importante a realçar, prende-se com o facto da necessidade de GNSS pela monitorização

de produtividade das culturas e da aplicação da tecnologia de VRT, uma vez que se baseiam no posicionamento fornecido por este sistema (Castro Coelho & Marques da Silva, 2009).

### **3.1.2. Análise de solos**

Num contexto de economia desenvolvida, a análise de solos surge como uma ferramenta na maioria dos sistemas de produção agrícola dos países desenvolvidos. No caso específico de Portugal, tendo em conta a variabilidade espacial dos diversos solos este tipo de análise é essencial (Castro Coelho & Marques da Silva, 2009).

Importa destacar a importância de esclarecer e tomar a decisão de quais as variáveis que devem ser estudadas, isto é, quais as variáveis que possam influenciar e afetar o crescimento e o desenvolvimento das culturas, das quais a fertilidade e o pH do solo são, geralmente, os primeiros dados a ter em conta. Quanto à fertilidade do solo, deve ser avaliada a quantidade tanto dos macronutrientes mais importantes (P, N e K) como de macronutrientes secundários (Mg, Ca e S) e micronutrientes (Cl, B, Cu, Fe, Mn, Mo e Zn) (Neto et al., 2005).

Se forem comparadas a Agricultura Convencional e a Agricultura de Precisão, entende-se que na convencional realiza-se pelo menos uma análise de solo por parcela dependendo da sua dimensão, análise esta resultado de uma mistura de várias sub amostras de solo obtidas de forma aleatória. Por sua vez, no caso de AP, este tipo de sistema baseia-se em variar a taxa de aplicação dos nutrientes, adequados às necessidades específicas a cada área de uma mesma parcela (Neto et al., 2005).

Recorrendo a um sistema GNSS para estabelecer e localizar onde foram obtidas as amostras, poder-se-á conhecer a exata localização correspondente a cada análise de solo. Os resultados após análise poderão ser usados para dar origem a mapas de fertilidade, em SIG, onde podemos encontrar associados diversos níveis de aplicação de fertilizantes (Neto et al., 2005).

### **3.1.3. Sistemas de Monitorização de Produtividade**

Acompanhando a evolução tecnológica associada à AP, tornou-se exequível a medição da produtividade em pequenas áreas de um modo muito detalhado. Constituindo um dos pontos mais decisivos para adotar um sistema de agricultura de precisão, a

monitorização de produtividade é, nos dias de hoje, a tecnologia de AP mais utilizada pelos profissionais nos países desenvolvidos, encontrando-se a sua aplicação muito difusa no caso das culturas arvenses para grão (por exemplo, cereais de Inverno e milho). Ainda que seja nos cereais que se encontre mais aplicada este tipo de tecnologia, também está presente para monitorizar a produtividade de algumas hortícolas, como a batata e o tomate, industriais, como a beterraba, e forrageiras. Exemplo da aplicação desta tecnologia, é a incorporação deste tipo de sistema em ceifeiras debulhadoras recentes e de categoria mais alta (Castro Coelho & Marques da Silva, 2009; Neto et al., 2005).

Os sistemas de Monitorização de Produtividade disponibilizam valores instantâneos da produtividade e a quantidade de humidade do grão. Posteriormente, os dados podem ser armazenados e transferidos de forma a serem analisados em diversos *softwares* para esse efeito. Para além disto, uma vez associados ao sistema GNSS, este sistema permite recolher os dados que forem necessários para a confeção de mapas de produtividade, ou seja, dados georreferenciados (Amaral et al., 2015; Neto et al., 2005).

Segundo a literatura podemos afirmar que a monitorização da produtividade, ou pelo menos a perceção da grandeza da variabilidade intra-parcelar da produção, corresponde, na maioria das vezes, ao primeiro passo na prática de um sistema AP, mas esta perceção não pode ser interpretada como a solução de todos os problemas (Amaral et al., 2015; Neto et al., 2005).

#### **3.1.4. Deteção Remota**

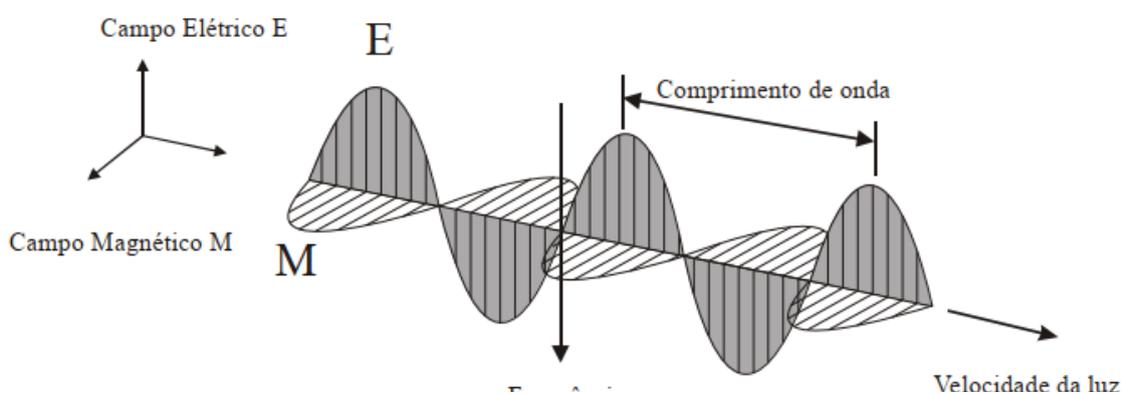
A Deteção Remota (DR) consiste numa técnica que visa recolher informação sobre determinados objetos, recorrendo a instrumentos especializados, sem que haja contacto físico com os objetos alvo de estudo. Este conceito é fundamentado pela premissa de que todos os objetos, que se encontram na superfície terrestre, refletem radiação solar. Os autores distinguem dois tipos de DR quanto à sua proximidade aos alvos de estudo, considera-se DR próxima quando os dados são obtidos com plataformas terrestres, como é o caso dos sensores de condutividade e espectrometria de radiação gama. Por sua vez, consideram somente DR quando os dados são adquiridos por via de plataformas aéreas, tratando-se, por exemplo, de imagens de radar, imagens de satélite e fotografia aérea digital (Ortega & Esser, 2002; Pires, 2008; Thenkabail, 2003)

Em termos de classificação é usual a categorização das diferentes tecnologias

utilizadas, sendo que a mais consensual será a distinção de sistemas de DR ativos ou passivos. Recorrendo a um sistema ativo, estar-se-á a optar por uma tecnologia detentora de uma fonte de radiação incidente sobre o objeto a ser investigado, como por exemplo as micro-ondas de um radar. Quando se utilizam sistemas passivos, não existirá uma fonte de radiação, mas sim a detecção de radiação eletromagnética (REM) emitida pelo sol ou radiação térmica emitida pelo objeto alvo de análise. (Moraes, 2002).

### 3.1.4.1. Radiação Eletromagnética

A radiação solar refere-se ao fluxo de energia emitido pelo Sol e transmitida sob a forma de radiação eletromagnética. A REM está relacionada com cargas elétricas aceleradas que irradiam energia. Isto significa, que é composta por um campo elétrico, designado por E, e por um campo magnético, designado por M. O campo elétrico (E) apresenta uma variação que varia perpendicularmente à de propagação da radiação. Por sua vez, o campo magnético (M) dispõe-se ortogonalmente ao campo elétrico (Figura 2) (Gómez et al., 2018; Meneses & Almeida, 2012).

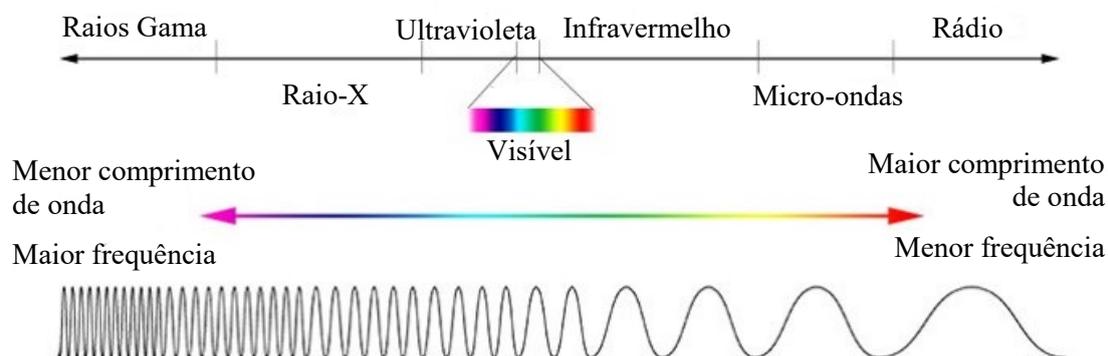


**Figura 2** - Direção de propagação da radiação eletromagnética na forma de uma onda, em função das oscilações ortogonais dos campos magnético (M) e elétrico (E), Fonte: Meneses & Almeida, 2012.

Quando analisado o gráfico (Figura 2), diversas informações podem ser obtidas, contudo, em DR a mais usualmente utilizada é o comprimento de onda ( $\lambda$ ) determinado pela distância entre dois picos de onda consecutivos, não se recorrendo assim à análise da frequência de ondas. É, também, importante realçar que segundo o Sistema Internacional (SI), a unidade de medida de comprimento de onda é o micrómetro ( $\mu\text{m}$ ) ( $1 \times 10^{-6}$  m) (Meneses & Almeida, 2012).

Como visto anteriormente, a radiação eletromagnética pode ser ordenada de forma

contínua em função do seu  $\lambda$  e da sua frequência, ao que se dá o nome de espectro eletromagnético (EEM). Por definição, este compreende comprimentos de onda muito curtos e ondas de rádio de baixa frequência mas de grande comprimento de onda (Figura 3) (Moraes, 2002). A região espectral que é correntemente utilizada em DR apresenta-se esquematicamente na Tabela 1 (Sousa & Marques da Silva, 2017).



**Figura 3** - Espectro eletromagnético, adaptado de [http://gsp.humboldt.edu/OLM/Courses/GSP\\_216\\_Online/lesson1-2/spectrum.html](http://gsp.humboldt.edu/OLM/Courses/GSP_216_Online/lesson1-2/spectrum.html)

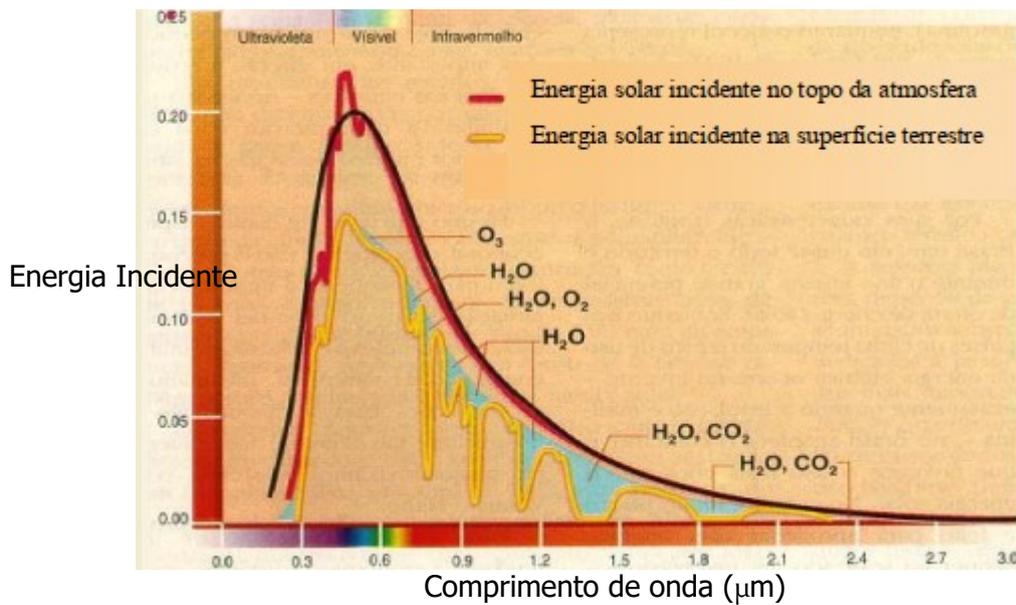
**Tabela 1** - Zonas do espectro eletromagnético utilizadas em detecção remota, adaptado de Sousa & Marques da Silva, 2017.

Zonas do Espectro		Comprimento de onda ( $\lambda$ )
<b>Ultravioleta</b>		0,30 – 0,38 $\mu\text{m}$
<b>Visível</b>	Azul	0,42 – 0,49 $\mu\text{m}$
	Verde	0,49 – 0,58 $\mu\text{m}$
	Vermelho	0,58 – 0,70 $\mu\text{m}$
<b>Infravermelho (IV)</b>	IV Próximo (IVP)	0,70 – 1,30 $\mu\text{m}$
	IV Médio (IVM)	1,30 – 3 $\mu\text{m}$
	IV Térmico (IVT)	> 3 $\mu\text{m}$
<b>Micro-ondas</b>		1 mm – 1 m

#### 3.1.4.1.1. Interferências Atmosféricas

A atmosfera é composta por vários gases que reagem de forma variável em relação ao comprimento de onda da REM que incide no sistema Terra-Atmosfera. Por vezes, encontram-se determinadas áreas do espectro eletromagnético que são vincadamente absorvidas pela atmosfera, não deixando, por isso, que a maior parte dessa radiação alcance a superfície terrestre. Para ilustrar o que previamente foi esclarecido, observa-se

na Figura 4, a distribuição do espectro de REM proveniente do Sol no topo da atmosfera e na superfície da terra (ao nível do mar). As regiões sombreadas traduzem as absorções, em virtude dos diversos gases, que existem numa atmosfera limpa. Entre os gases absorvedores de REM, os que merecem mais atenção serão: vapor de água ( $H_2O$ ), oxigênio ( $O_2$ ), ozono ( $O_3$ ) e dióxido de carbono ( $CO_2$ ). Contudo, outros gases que estão presentes em menor quantidade, como o monóxido de carbono ( $CO$ ) e o metano ( $CH_4$ ), também apresentam espectro de absorção (Moraes, 2002).

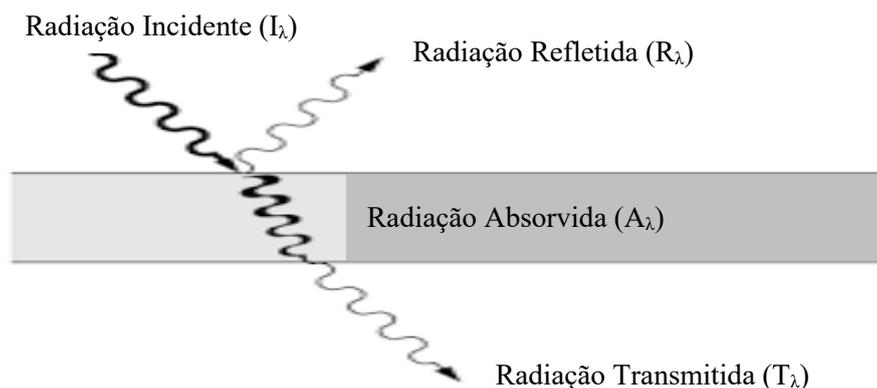


**Figura 4** - Curvas da distribuição espectral da energia solar na atmosfera/superfície terrestre, Fonte: Moraes, 2002.

### 3.1.4.1.2. Interação com a Superfície Terrestre

Baseado na premissa que o sol é a maior fonte de REM e que esta atravessa a atmosfera terrestre, poderá sofrer diversas interferências, ou seja, poderá ser absorvida, ficar retida nas superfícies ou objetos, transmitida, atravessar os objetos sem perder as suas características e refletida quando a REM é encaminhada para outras direções ao atingir superfícies ou objetos (Moraes, 2002). A equação 1 representa a relação entre energia incidente ( $I_\lambda$ ), energia refletida ( $R_\lambda$ ), energia absorvida ( $A_\lambda$ ) e energia transmitida ( $T_\lambda$ )

$$I_\lambda = R_\lambda + A_\lambda + T_\lambda \quad (\text{Eq. 1})$$



**Figura 5** – Interação da REM com um objeto, adaptado de Sousa & Duarte, 2016.

A Energia Incidente (Equação 1), isto é, o fluxo de radiação eletromagnética que atinge um objeto, sofrerá interações consoante o material que o constitui. Em termos práticos, a absorção, a reflexão e a transmissão dessa energia incidente podem ser parciais ou totais, respeitando, invariavelmente, o princípio da Conservação de Energia. Assim sendo, à capacidade que um objeto possui de absorver REM dá-se o nome de absortância, de refletir denomina-se refletância e, por último, de transmitir recebe o nome de transmitância, compreendendo-se os valores entre 0 e 1 (Moraes, 2002).

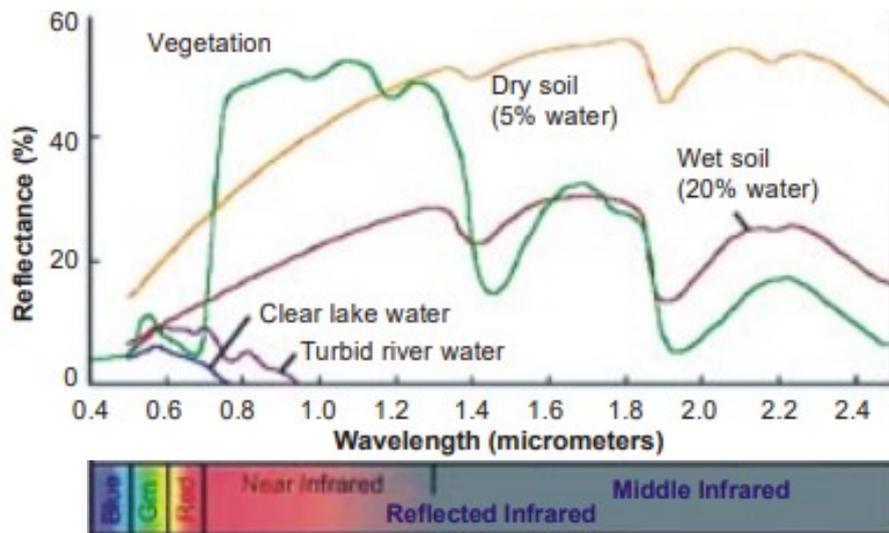
Outro conceito importante a esclarecer é o de comportamento espectral de um objeto, por outras palavras, caracteriza-se pelo conjunto de valores consecutivos de reflectância desse objeto ao longo do espectro eletromagnético, muitas vezes referido como assinatura espectral do objeto. Esta, por sua vez, determina a conformação do objeto, sendo que a intensidade, localização e forma de cada banda de absorção irão caracterizar o objeto (Moraes, 2002).

### **3.1.4.1.3. Comportamento espectral da vegetação**

De acordo com a literatura, as características espectrais da vegetação apresentam variabilidade de acordo com o comprimento de onda, isto é, não é passível de se padronizar o comportamento espectral da componente vegetação. Diversas são as razões apontadas capazes de influenciar a reflectância, seja a região geográfica, a estação do ano, ou fatores mais específicos como a quantidade de água, a estrutura interna da folha e a pigmentação (Aggarwal, 2004).

A clorofila, ou seja, o pigmento que a planta possui nas folhas, absorve vigorosamente a radiação de comprimentos de onda correspondentes ao vermelho e ao azul, todavia, reflete o comprimento de onda verde. Entende-se que a estrutura interna de

folhas saudáveis representam um refletor difuso na região do infravermelho próximo. Deste modo, realizar a medição e monitorar a refletância do infravermelho próximo é um método para avaliar o quão saudável se encontra uma determinada vegetação. Como é possível observar na Figura 6, as diferenças espectrais permitem distinguir a vegetação do restante, principalmente no pico de refletância do vermelho para o infravermelho próximo (Aggarwal, 2004).

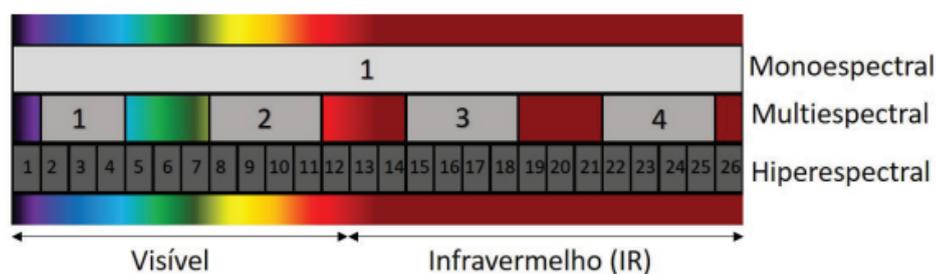


**Figura 6** - Curvas de refletância espectral típicas para vegetação, solo e água, Fonte: Aggarwal, 2004.

#### 3.1.4.1.4. Resolução Espectral dos Sensores

Quanto aos sensores, define-se como resolução espectral, a sua capacidade de diferenciar os diferentes intervalos do EEM, sendo tão maior quanto maior for o número de bandas abrangido. Distintos tipos de sensores são relatados, tratando-se de um sensor monoespectral quando o mesmo apenas é capaz de captar uma banda, como é o caso de uma banda pancromática, a qual faz a medição de radiação entre comprimentos de onda do visível e do infravermelho próximo. Por sua vez, estamos perante um sensor multiespectral quando são captadas mais do que uma banda, até um limite de 20, como é exemplo uma câmara fotográfica que alcança imagens em três bandas diferentes, vermelha, verde e azul (RGB) ou também em satélites, por exemplo, o Sentinel 2 que alcança 13 bandas. Em DR o sensor multiespectral é o sensor mais comumente utilizado. Finalmente, um sensor hiperespectral, que capta mais de 20 bandas contíguas, cobrindo todo o espectro visível e infravermelho, será aquele que regista informação através de multi bandas (imagens multiespectrais individuais) que individualmente representam um

intervalo espectral distinto (Lira et al., 2016).



**Figura 7** - Classificação dos sensores quanto à sua resolução espectral, Fonte: Lira et al., 2016.

### 3.1.4.1.5. Índice Espectral de Vegetação

Tendo em conta que os sensores remotos são capazes de quantificar, diferencialmente, os diversos comprimentos de onda refletidos por um determinado objeto, torna-se possível, através das imagens obtidas, originar índices que permitem o conhecimento, por exemplo, do estado sanitário e do vigor das culturas. Por outras palavras, os índices de vegetação são o resultado da associação dos valores de radiação emitidos pela vegetação, baseando-se no ato de medir a resposta espectral em duas bandas ou mais bandas do EEM, principalmente da região do vermelho e do infravermelho próximo (Hall et al., 2002).

Em Agricultura de Precisão, um dos índices mais utilizado é o NDVI (*Normalized Difference Vegetation Index*), representado pela Equação 2 e que tem como objetivo diferenciar a vegetação do solo através da relação de valores de reflectâncias da vegetação em duas bandas, do infravermelho próximo (IVP) e do vermelho (V), apresentando valores no intervalo entre -1 e 1 (Meneses & Almeida, 2012).

$$NDVI = \frac{IVP - V}{IVP + V} \quad (Eq.2)$$

O NDVI está numa relação direta com a quantidade de clorofila nas folhas, sendo por isso, uma ótima ferramenta para distinguir a vegetação de diversos tipos e, também, diferentes etapas do ciclo vegetativo, avaliando, por isso mesmo, a saúde das plantas e identificando as mudanças que possam ocorrer no coberto vegetal ao longo do tempo. Em termos práticos, zonas de maior densidade vegetal apresentam valores mais elevados de NDVI, justificado pelo alto valor de reflectância na zona do infravermelho próximo e menores na zona do vermelho. Valores próximos de 1 equivalem a maior vigor e

cobertura do solo por vegetação, e valores menores dizem respeito a zonas de solo descobertos ou de vegetação com diminuta clorofila (Meneses & Almeida, 2012).

#### **3.1.4.1.6. Missão Sentinel**

A Agência Espacial Europeia (ESA) surge no ano de 1975, tendo uma missão abrangente, trabalhando ativamente em todas as áreas do setor espacial, como por exemplo sistemas de navegação global, sistemas de observação da superfície terrestre, entre outros, com benefícios para o nosso dia-a-dia e para a atividade empresarial. Atualmente a ESA é constituída por 22 estados membros, entre eles Portugal desde o ano de 2000, e ao coordenar os recursos financeiros e intelectuais dos seus membros, pode empreender programas e atividades que vão muito além do âmbito de qualquer país europeu (ESA, 2021a).

Como já foi referido anteriormente a ESA trabalha ativamente em todas as áreas do setor espacial, mas no âmbito desta dissertação vamos centrar-nos no programa de observação da superfície terrestre, denominado programa Copernicus. Baseado em observações por satélite e no local, os serviços do programa fornecem dados quase em tempo real a um nível global, a fim de nos ajudar a compreender melhor o nosso planeta e gerir de forma sustentável o ambiente no qual vivemos. Os principais utilizadores dos serviços Copernicus são decisores políticos e autoridades públicas que necessitam de informação para elaborar legislação ou tomar decisões críticas na eventualidade de uma emergência como uma catástrofe natural ou uma crise humanitária (ESA, 2021b).

O programa Copernicus também apoia uma variedade de aplicações em diversos domínios que não o Espaço, com um potencial impacto nas atividades e operações diárias das empresas e organizações. Entre esses domínios encontra-se a agricultura que é historicamente um dos primeiros domínios a explorar a observação da Terra, com isto, as políticas da UE visam promover o desenvolvimento de práticas que preservem o ambiente e sustentem a produtividade. A agricultura é provavelmente o mercado mais promissor em termos de impacto deste programa, sobretudo através da agricultura de precisão. De facto, ajuda a avaliar a utilização e tendências dos solos, as condições das culturas e as previsões dos resultados de colheitas. Também apoia a gestão de inputs, como é exemplo esta dissertação, o registo da gestão das explorações agrícolas e a gestão da irrigação. Todavia, os domínios de aplicação do programa Copernicus não se limitam à agricultura

de precisão, aplicam-se igualmente na cartografia sazonal das áreas cultivadas, a gestão da água e monitorização da seca, bem como o controlo de subsídios (ESA, 2021b).

Uma das missões do programa Copernicus é a missão Sentinel que é constituída por diversos satélites com diferentes funções, como por exemplo mais focadas na superfície terrestre, na superfície marítima, entre outros num total até ao momento de 6 missões Sentinel (ESA, 2021b).

A primeira missão Sentinel, Sentinel 1, é constituída por uma constelação de dois satélites em órbita polar, o Sentinel-1A que foi lançado em 3 de abril de 2014 e o Sentinel-1B em 25 de abril de 2016. Os satélites Sentinel 1 possuem um sistema de SAR (Synthetic Aperture Radar) contrariamente aos sistemas óticos passivos são sistemas ativos RADAR na região das micro-ondas do espectro eletromagnético, possuindo a capacidade de observar a superfície terrestre a qualquer altura do dia sob quaisquer condições meteorológicas (ESA, 2021c).

No caso da missão Sentinel 2, também constituída por um par de satélites, Sentinel 2A e 2B, também em órbita polar e sincronizada com o sol, os dois satélites partilham a mesma órbita a uma altitude de 786km, alcançando 290km de largura e com uma diferença de fase de 180°, o que lhes permite otimizar a cobertura e os tempos de revisitação global em 5 dias. Apresentam um tempo de vida de 7 anos contendo recursos disponíveis para mais 5 anos, o 2A foi lançado a 23 de junho de 2015 e o 2B a 7 de março de 2017 (ESA, 2012).

Os satélites Sentinel 2 possuem um sensor MSI (MultiSpectral Instrument) com 13 bandas espectrais (Tabela 2), de grande resolução espacial (10, 20 ou 60 m, dependendo da banda). Assim sendo, obtém e regista informação em 13 bandas, entre o visível, com 4 bandas, o infravermelho próximo, com 6 bandas e o infravermelho médio, com 3 bandas (ESA, 2012).

**Tabela 2** – Caracterização das bandas espectrais do Sentinel 2, adaptado de ESA, 2012.

Número da Banda	Cor	Comprimento de onda central (nm)	Largura da Banda (nm)	Resolução Espacial (m)
1	Aerosols	443	20	60
2	Blue (Azul)	490	65	10
3	Green (Verde)	560	35	10
4	Red (Vermelho)	665	30	10
5	Vegetation Red Edge	705	15	20
6	Vegetation Red Edge	740	15	20
7	Vegetation Red Edge	783	20	20
8	NIR (Infravermelho próximo)	842	115	10
8b	Vegetation Red Edge	865	20	20
9	Water Vapour	945	20	60
10	Cirrus	1380	30	60
11	SWIR (Infravermelho ondas curtas)	1610	90	20
12	SWIR (Infravermelho ondas curtas)	2190	180	20

### 3.1.5. Sistemas de Informação Geográfica (SIG)

Sistemas de Informação Geográfica (SIG) dizem respeito à aplicação informática que permite o ato de associar informação de natureza espacial e informação alfanumérica. Será, de uma forma muito generalizada, um sistema que integra pessoas, *software*, *hardware* e procedimentos que visam a recolha, armazenamento, consulta, análise, visualização e extração de diversos dados de origem espacial e a informação aos dados associada (Neto et al., 2005).

A capacidade de tratar informação baseada em dados de natureza espacial, é a maior diferença entre um SIG e um sistema de informação não geográfico. A capacidade de relacionar as várias camadas de diferentes dados geo-referenciados permite combinar, analisar e cartografar esses mesmos dados. Este tipo de informação, a espacial, usa a localização como base de referência de acordo com um estipulado sistema de coordenadas, exemplo disso é um mapa, cuja localização de qualquer ponto pode ser dada usando o sistema de coordenadas globais, com a latitude e a longitude, ou um sistema de referência local (Neto et al., 2005).

No âmbito agrícola, os diversos SIG têm vinculado o seu lugar em planeamento e gestão a nível regional e da exploração, como são exemplo as cartas de potencial agrícola

e a gestão de perímetros de rega. Recorrer a SIG em AP é essencial já que a maioria das tecnologias em que se baseiam estes sistemas precisam de informação georreferenciada. Sendo que os SIG são usados para armazenar, analisar e apresentar diversa informação, a sua integração e envolvimento com outras tecnologias, como o sistema GNSS, dá a oportunidade de criar uma estrutura complexa de dados subjacentes à maior parte dos sistemas de AP (Neto et al., 2005).

### **3.1.6. Tecnologia de Taxa Variável (VRT)**

Visivelmente explícito, anteriormente, as tecnologias revistas apenas recolhem e tratam informação georreferenciada que dizem respeito às características do solo e da cultura. Assim sendo, e para que o ciclo dos sistemas de AP fique completo é fundamental que a gestão das explorações utilize esta informação recolhida. Nesse âmbito, surge as VRT, isto é, o conjunto das tecnologias usadas para realizar aplicações diferenciadas dos fatores de produção, de acordo com a informação obtida para cada unidade de área específica, num determinado instante e numa determinada porção de terreno (Neto et al., 2005).

Assim sendo, é tido em conta a variabilidade temporal e espacial quando são aplicados os fatores de produção, quer sejam fertilizantes, fitofármacos, sementes ou água de rega. Quanto às aplicações diferenciadas no tempo, estas não remetem a grande tipo de problemas de especialização tecnológica, sendo que são algo limitadas pela possibilidade de aceder e transitar na parcela, em tempo oportuno, dependendo por exemplo das condições meteorológicas, sendo por isso opção do utilizador a escolha desse mesmo momento. No entanto, quando se trata das aplicações diferenciadas no espaço a situação é diferente, isto é, requerem uma grande complexidade, podendo ser realizadas de duas formas distintas: usando métodos que se baseiam em mapas e usando métodos que se baseiam em sensores. Os que utilizam mapas, as taxas de aplicação variam, na sua maioria, de acordo com a informação fornecida por um SIG, isto é, sobre a variabilidade espacial das parcelas. Neste tipo de situação o sistema GNSS é crucial, uma vez que os SIG precisa de saber identificar, a cada instante, a localização em que se encontra para poder ajustar as taxas de aplicação. Por sua vez, nos métodos que usam sensores, as aplicações são realizadas respeitando a informação obtida pelos sensores como por exemplo um sensor ótico, que através da leitura da REM emitida pelas plantas consegue ajustar a quantidade de fatores de produção em tempo real. Os sensores estão aptos a

avaliar as condições do solo ou da cultura, disponibilizando informação em tempo real para a alfaia adequar a quantidade de fatores de produção a aplicar, não sendo necessário o uso de sistemas de posicionamento. É importante salientar que os sensores poderão ser os mesmos que se utilizam em métodos baseados em mapas, isto é, que se utilizam para recolher a informação georreferenciada para construir os mapas, no entanto, e neste caso de sensores, a resposta é dada no momento e por isso os ajustes das taxas são realizados em tempo real no momento da aplicação (Bragagnolo et al., 2016; Neto et al., 2005).

Quando se comparam os métodos utilizando mapas e os métodos utilizando sensores, entende-se que utilizando mapas diversas vantagens, são apontadas em relação aos sensores, nomeadamente, permitirem a utilização de tecnologias de recolha e análise de dados mais específicas e complexas, por poderem ser mais lentas e realizadas antes da aplicação. Facilitam, também, o ato de controlo das diversas máquinas de aplicação por disporem de sistema que contém informação para antever o que ocorre de seguida, e permitem, ainda, o cálculo das quantidades a aplicar de um dado fator à priori, o que poderá ser determinante no planeamento operacional da exploração. Contudo, este tipo de método precisa de *hardware* (por exemplo o recetor do sistema GNSS) e *software* (como o SIG) que, em contrapartida não são necessários nos sistemas que se baseiam, somente, em sensores. Outra desvantagem que surge prende-se com o facto de não serem aconselháveis quando as características de solo e de cultura sejam facilmente alteráveis. De notar que, no caso dos sensores, necessitam de tecnologia específica, isto é, os próprios sensores que têm de ser capazes de dar respostas em tempo real (Neto et al., 2005).

Outro aspeto de relevância são os controladores, por outras palavras, são tecnologias para controlar as taxas de aplicação dos fatores de produção, dos quais as aplicações diferenciadas estão dependentes. Na realidade, são microprocessadores que utilizam a informação dos sensores, fornecida por via direta ou através do SIG, para realizar o cálculo de quantidade de um determinado fator de produção que é preciso aplicar em cada unidade de área. Realizados de acordo com algoritmos, estes cálculos têm o objetivo de otimizar a aplicação do próprio fator e cujos resultados são transmitidos pelos controladores às válvulas, bombas e outros dispositivos que acionam ou regularizam os mecanismos de distribuição, variando as taxas de aplicação de acordo com as necessidades particulares em cada unidade de área. Finalmente, esta automatização da aplicação diferenciada dos fatores de produção, encerra o ciclo das tecnologias de AP (Neto et al., 2005).



**Figura 8** - Distribuidor centrífugo de adubo com sistema VRT

### **3.2. Caracterização da Cevada**

Sendo referenciada como o cereal mais antigo em cultivo, a cevada, ou *Hordeum vulgare* L., foi uma das plantas domesticadas, primeiramente, para a alimentação do Homem. Mantém-se, até aos dias de hoje, como um dos grãos mais produzidos desde o início da agricultura, muito em parte devido à sua grande adaptação ecológica, da superioridade do seu malte para utilizar em cerveja e, claro, pela utilização como alimento humano e animal (Minella, 1999).

Em termos de aplicação, a cevada vê como principal destino a alimentação animal, seja como grão forrageiro, feno, pastagem ou silagem. Logo a seguir, em segundo lugar, observa-se a sua utilização na produção de malte. Por sua vez, a alimentação humana ocupa o terceiro lugar de uso da cevada, sendo consumida em forma integral, de malte ou de farinha. Acaba por ser mais cultivada, com o propósito de alimentação humana, em regiões onde todos os outros cereais não produzem bem, especialmente em áreas semi-áridas do norte de África, do Oriente Médio e da Ásia, regiões montanhosas da Ásia, na África e na América do Sul e em áreas de latitudes extremas (Minella, 1999).

Uma das particularidades da cevada é o seu cultivo nas mais diversas condições ambientais e, também, em diferentes sistemas de produção e finalidades do grão. Assim sendo, torna-se compreensível a variabilidade que existe de tipos e formas da cevada, o que permite que a exploração dessa mesma variabilidade, com o objetivo da melhoria, resulte num aumento do potencial produtivo, no aumento de qualidade e na redução de

perdas devido a melhores níveis de resistência ou tolerância a diversas pragas, doenças e qualquer tipo de *stress* ambiental (Minella, 1999).

A cevada é uma espécie da família das Poaceae, antigamente denominada de família das *Gramineae*, do género *Hordeum*. O género é composto por 32 espécies, incluindo diploides, tetraploides e hexaploides, com 7 cromossomas básicos. Estas espécies incluem formas anuais, perenes, que maioritariamente habitam em áreas temperadas, alongando-se às regiões árticas e subárticas na Sibéria, no Alasca e na Patagónia (Minella, 1999).

*Hordeum vulgare* L., a única espécie cultivada do género, é diploide com  $2n=2x=14$  cromossomas, monoica, autógena e constituída por duas subespécies (*vulgare* e *spontaneum*). *Hordeum vulgare* ssp. *vulgare* L. engloba todas as formas cultivadas, enquanto *Hordeum vulgare* ssp. *spontaneum* L. é constituída pelas cevadas selvagens. As cultivadas são classificadas em dois tipos principais: *Hordeum vulgare* ssp. *distichum* (cevada dística) e *Hordeum vulgare* ssp. *hexastichum* (cevada hexástica). A cevada dística é composta por três espiguetas que se inserem no mesmo ponto, sobre cada articulação do ráquis, sendo que apenas é fértil a espiguetas central, as duas laterais são estéreis. Na cevada hexástica existem três espiguetas sobre o mesmo ponto do ráquis, mas distingue-se da dística, uma vez que as três são férteis (Minella, 1999).

A fertilização tem muitas variáveis implicadas como o tipo de solo, o clima do local, a produtividade pretendida, mas mesmo tendo essas variáveis todas a adubação azotada é quase imprescindível para obter boas produtividades e algum rendimento da cultura. Alguns autores recomendam, para o nosso País, onde os níveis de matéria orgânica no solo são baixos e admitindo um potencial produtivo de 3 t/ha a 5 t/ha, entre 100 a 150 unidades de Azoto por hectare distribuídas entre adubação de fundo, cerca de 1/3 da quantidade total, e de cobertura podendo ser este aplicado numa ou mais adubações (Quelhas dos Santos, 2015).

## II. MATERIAIS E MÉTODOS

### 1. Descrição Do Campo De Ensaio E Métodos A Utilizar

#### 1.1. Campo De Ensaio

O presente ensaio decorreu num pivot (Figura 9) que tem o seu centróide nas seguintes coordenadas geográficas: latitude  $38^{\circ} 3' 28.793''$  N e longitude  $8^{\circ} 10' 17.346''$  O. Encontra-se localizado na vila de Ferreira do Alentejo, distrito de Beja. O pivot cobre uma área de 29 ha e a sua exploração está entregue à empresa AGRO VALE LONGO.



**Figura 9** - Campo de ensaio delimitado pela linha vermelha. Imagem retirada do programa ArcGis 10.7.1 com recurso a imagem de satélite em composição colorida no visível.

De salientar que a cultura da cevada foi instalada a 6 de janeiro de 2020, com uma densidade de sementeira de aproximadamente 120 kg/ha e um compasso de 3 cm na linha e 15 cm na entrelinha.

#### 1.2. Tecnologia utilizada

No âmbito de AP foram utilizadas nesta dissertação as seguintes tecnologias:

- Detecção Remota: Foram adquiridas imagens do satélite Sentinel 2. A escolha do momento de obtenção das imagens teve em consideração a data

de sementeira, as Adatas de adubação e o ciclo fenológico da cevada.

- *Software* de tratamento da informação – ArcGis 10.7.1 : Permiteu tratar os dados do NDVI organizando-os por classes e também criar todos os mapas necessários para a aplicação.
- VRT: Recorreu-se à tecnologia VRT para fazer a aplicação diferenciada consoante os dados acima tratados. Esta aplicação foi realizada com um distribuidor centrífugo de adubo da marca Amazone, tal como o seu controlador onde foram inseridos os dados.
- Sensor de produtividade: sensor este que se encontra na ceifeira-debulhadora e que nos indica a produtividade em tempo real.

### 1.3. Fertilizante

Neste ensaio foi utilizado um fertilizante azotado de cobertura, denominado de NERGETIC 30, isto porque como se pode ver na sua composição tem 30% de azoto total (Tabela 5). Outras características a salientar correspondem a uma densidade de 900-1100 kg/m<sup>3</sup> e a uma granulometria entre 2 a 5 mm em 90% dos grânulos.

**Tabela 3** – Composição Química do Fertilizante

<b>Azoto Total</b>	<b>Azoto Amoniacal</b>	<b>Azoto Ureico</b>	<b>Enxofre</b>	<b>Ferro</b>	<b>Manganês</b>	<b>Molibdénio</b>	<b>Zinco</b>
N (%)	N (%)	N (%)	SO <sub>3</sub> (%)	Fe (%)	Mn (%)	Mo (%)	Zn (%)
30	8	22	21	0.1	0.1	0.001	0.1

## 2. Metodologia

Relembrando que o objetivo deste estudo é a avaliação da eficiência da aplicação diferenciada de azoto, em fertilização de cobertura, na produtividade de cevada, utilizando VRT, salientando os diversos processos para a sua execução.

Em primeiro lugar, e partindo da recolha de imagens do satélite Sentinel 2, relativas às duas campanhas anteriores, e posterior obtenção do índice NDVI, foi criado um mapa relativo a três zonas de gestão obtidas em função do vigor vegetativo (vigor alto, médio e baixo). Em cada zona, foram selecionados dois pontos, aleatórios, para

realizar uma amostragem de solo, realizada a 10 de outubro de 2019 antes da sementeira. O processo, anteriormente descrito, serviu para caracterizar pontos com diferentes níveis de desenvolvimento vegetativo, de maneira a tentar descodificar se as problemáticas associadas a níveis de desenvolvimento distinto residiam em carências nutritivas.

Duas semanas após a data de sementeira, realizada no dia 6 de janeiro de 2020, começou a ser efetuado o acompanhamento do crescimento das plantas. Este acompanhamento em causa irá ser concretizado respeitando uma periodicidade de 15 dias, em que se procederá à medição da altura das diversas plantas, e uma disposição geográfica consistindo em 6 pontos iniciais de amostragem, correspondente aos pontos de amostragem de solo. De salientar que estes pontos de observação da cultura, são zonas de amostragem que ocupam uma área de 25 m<sup>2</sup>.

Após análise dos dados iniciais, utilizou-se, novamente, a análise das imagens de satélite relativas ao dia 24 de fevereiro de 2020 e os dados de crescimento, recolhidos no campo, de modo a realizar um mapa com características diferentes para a fertilização diferenciada. Este mapa, realizado no *software* ArcGis 10.7.1, foi dividido, também, em três zonas de gestão baseado nas valores do índice de vegetação NDVI, nas zonas de maior vigor serão aplicados 150 kg/ha, nas zonas intermédias 120 kg/ha e nas zonas de menor vigor 80 kg/ha. Juntamente com estas classes o pivot foi dividido em duas zonas principais, uma sendo fertilização convencional (zona Norte) e outra fertilização diferenciada (zona Sul), como será demonstrado nos resultados. Após a realização do mapa foram adicionados mais 5 pontos, perfazendo um total de 11 pontos, de modo a aumentar a precisão deste estudo, de modo a ter no mínimo dois pontos por cada zona de adubação.

Depois da aplicação diferenciada, realizada no dia 12 de março de 2020 as análises continuaram, com a periodicidade de 15 dias, para monitorizar o crescimento das plantas para perceber os diferentes efeitos da adubação.

No fim do ciclo de desenvolvimento da cultura, e após um total de 8 análises de monitorização de crescimento, procedeu-se a uma colheita manual, no dia 15 de junho de 2020, de 4 amostragens por ponto, definidos anteriormente. Estas amostras foram colhidas aleatoriamente, numa área de 1 m<sup>2</sup>, dentro dos 25 m<sup>2</sup> iniciais. Esta colheita manual permitiu contabilizar o número de plantas por m<sup>2</sup>, o peso total das plantas, o peso

total do grão e o peso de 100 grãos de cevada.

A ceifeira que efetuou a colheita possui um sensor de monitorização de produtividade, sensor esse que permitiu cartografar a produtividade da área total do pivot.

Com a finalidade de tratar todos os dados e categorizá-los em modo estatístico, será utilizado o *software* IBM SPSS Statistics 23 para obter as análises estatísticas descritivas e as comparações pelo método da análise de variâncias (ANOVA).

Como já foi dito anteriormente, o objetivo deste estudo é a avaliação da eficiência da aplicação diferenciada de azoto, em fertilização de cobertura, na produtividade de cevada. Para avaliar essa eficiência foram comparadas através de análise de variâncias não paramétricas através dos testes de U de Mann-Whitney e testes de Kruskal-Wallis, dependendo do número de variáveis, devido aos dados não seguirem uma distribuição normal, as duas zonas principais do pivot, a fertilização convencional (zona Norte) e a fertilização diferenciada (zona Sul).

Para uma análise estatística mais completa, utilizando todos os dados recolhidos, utilizando novamente o método ANOVA, serão comparadas as produtividades das diferentes zonas de gestão diferenciada (zonas de maior vigor, nas zonas intermédias e nas zonas de menor vigor) para perceber qual a influência do NDVI na produtividade.

Seguidamente, serão analisadas as eficiências das quantidades de fertilizante escolhidas para cada zona de gestão diferenciada (zonas de maior vigor 150 kg/ha, nas zonas intermédias 120 kg/ha e nas zonas de menor vigor 80 kg/ha).

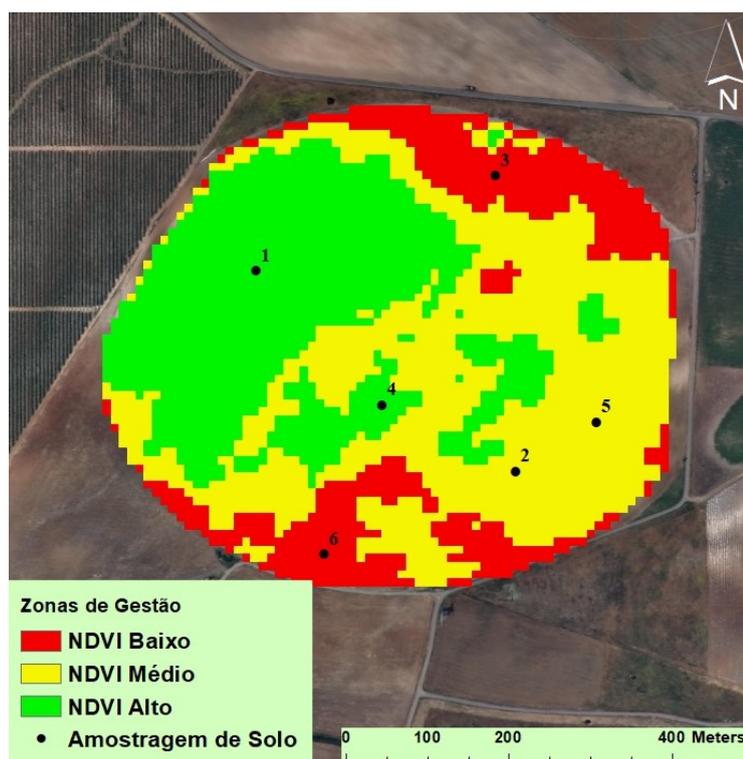
Com os dados da ceifeira-debulhadora foi analisada, a margem líquida tendo em conta os custos de produção da cultura, não só de toda a parcela, mas também de cada área que foi tratada de forma distinta.

### III. RESULTADOS E DISCUSSÃO

#### 1. Dados Das Análises De Solo

Em 10 de outubro de 2019, foram feitas 6 amostragens de solo do pivot com recurso à análise do vigor vegetativo observado neste mesmo pivot ao longo de duas campanhas, vigor este que foi identificado com recurso às imagens do Sentinel 2 das duas campanhas anteriores. Este pivot é caracterizado pela sua heterogeneidade a nível de solos, havendo manchas marcadamente mais arenosas, bem como solos bem mais argilosos, denominados de “barros” vermelhos e cinzentos.

Na Figura 10, apresenta-se o mapa relativo às 3 zonas de gestão obtidas em função do vigor vegetativo (vigor alto, médio e baixo). Posteriormente, em cada zona foram escolhidos dois pontos de amostragem, com a finalidade de tornar a análise mais relevante.



**Figura 10** - Zonas de gestão em função do mapa de NDVI e identificação da localização dos pontos de amostragem.

Na tabela 4 encontram-se as análises laboratoriais das propriedades químicas dos 6 pontos amostrados, ponto 1 a ponto 6 indicados pelos números da Figura 10. Todos os resultados e valores de referência foram fornecidos pelo laboratório

independente que realizou as análises. De notar, os pH muito elevados em todos os pontos, fator que pode comprometer a disponibilidade de nutrientes como o Fósforo (P) e o Potássio (K), nomeadamente em ponto 3 e ponto 6, onde os vigos foram regularmente mais baixos. Para pH mais elevados, as disponibilidades destes macronutrientes aumentam, o que pode explicar os maiores vigos nessas mesmas zonas de pH superior a 8,5 (ponto 1, 4 e 5). No entanto, nutrientes como o Ferro (Fe), Boro (B), Manganês (Mg), Cobre (Cu) e Zinco (Zn), encontram-se fortemente indisponíveis para a faixa de pH encontrada neste pivô.

Comparativamente às zonas de maior e menor vigor (verde e vermelho), as diferenças são bastante notórias, nomeadamente no que toca aos teores de matéria orgânica e azoto (o dobro nas zonas mais vigorosas). Também os teores de Potássio e Cobre são superiores. Aliás, de forma geral, os teores de nutrientes, foram superiores na zona relativa ao ponto 1, a zona mais significativa de maior vigor, o que pode explicar este mesmo fator.

**Tabela 4** - Resultados das análises de solos

Pontos	pH	MO (%)	P	K	Ca	Mg	N	B	Carb	Cu	Fe	Mn	Zn	Ca	Mg	Na	K	SBT	CTC
1	8,6	1,20	250	195	4644	777	0,18	0,69	13,0	2,20	19	78	4,5	39,0	10,0	0,67	0,49	51	29
2	8,3	0,58	84	193	4554	447	0,13	0,85	VEST	1,00	53	154	2,0	31,0	5,3	0,70	0,48	37	28
3	8,2	0,38	109	110	1538	436	0,09	0,57	VEST	0,24	117	33	1,8	9,4	5,0	0,92	0,27	16	18
4	8,5	1,20	59	227	5186	368	0,14	0,70	20,0	1,70	12	20	1,0	48,0	4,8	0,57	0,58	54	18
5	8,5	0,69	139	157	5538	397	0,11	0,59	4,2	1,30	28	130	1,4	43,0	4,9	0,63	0,41	49	33
6	8,0	0,61	89	187	1702	282	0,09	0,53	VEST	0,22	84	33	1,3	8,5	3,0	0,46	0,34	12	12

Outro aspeto importante na avaliação da fertilidade do solo é a percentagem que cada uma das bases de troca ocupa na Capacidade de Troca Catiónica (CTC) do solo. Assim, o Cálcio deve ocupar 60 a 80%, o Magnésio, 10 a 20 % e o Potássio 1 a 5 %. Como é visível pela Tabela 4, as percentagens destes nutrientes no complexo de troca encontram-se num nível muito elevado.

**Tabela 5** - Percentagens de nutrientes na CTC e relação Cálcio/Magnésio, a vermelho encontram-se os valores que não estão compreendidos no intervalo de valores recomendados.

Pontos	Ca	Mg	Na	K	Ca/Mg
1	77,75	19,94	1,34	0,98	3,90
2	82,71	14,14	1,87	1,28	5,85 (Alta)
3	60,30	32,07	5,90	1,73	1,88 (Baixa)
4	88,97	8,90	1,06	1,08	10,00 (Muito alta)
5	87,86	10,01	1,29	0,84	8,78 (Muito alta)
6	69,11	24,39	3,74	2,76	2,83

As relações Cálcio/Magnésio deverão ser um aspeto a ter em conta, uma vez que quando desequilibradas podem dificultar a absorção de Magnésio pelas plantas. Das seis amostras realizadas, apenas duas destas apresentaram um rácio Cálcio/Magnésio muito elevado (ponto 4 e ponto 5), ou seja, existem condições bastante propícias à dificuldade de absorção de Magnésio pelas plantas, enquanto que no ponto 5 a problemática também se verifica ainda que com menos severidade. No ponto 3, a relação observada foi baixa, o que pode resultar em condições desfavoráveis para as propriedades físicas do solo. Nos pontos 1 e 6, as relações são adequadas, no entanto, há que notar a percentagem superior de magnésio no complexo de troca no solo, que pode dificultar a absorção de outros nutrientes.

## **2. Dados da cultura**

### **2.1. Pontos de Amostragem Na Colheita**

Devido a fatores imprevistos não foi possível realizar a aplicação diferenciada, ao longo do desenvolvimento da cultura, tendo sido realizada apenas uma aplicação recorrendo a este método, esta aplicação efetuada no dia 12 de março de 2020. Por sua vez, a zona de fertilização convencional teve duas classes de aplicação, devido a problemas de solo na data de sementeira, e por isso foi opção do agricultor colocar menor quantidade na zona assinalada a vermelho.

Estando o pivot dividido em duas partes, uma sendo fertilização convencional (zona Norte) e outra fertilização diferenciada (zona Sul), optou-se por acrescentar mais pontos de amostragem, mais 5 pontos, perfazendo, um total de 11 pontos. Isto querera dizer que foram organizados de forma a serem obtidos dois pontos pertencendo à mesma classe de vigor, para comparar o total de pontos pertencentes às três classes, e, por outro lado, dois pontos em diferentes áreas, ou fertilização convencional ou diferenciada, para comparar a eficiência da fertilização diferenciada (Figura 11). A colheita foi realizada no dia 15 de junho de 2020 e por isso todos os analisados estatisticamente serão relativos a essa mesma data (Tabela 6 em Anexos).

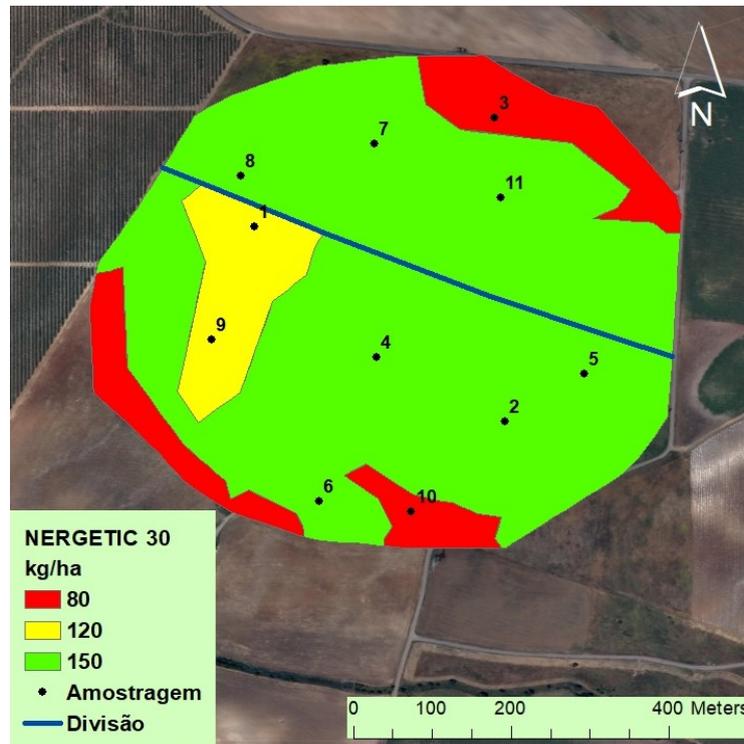
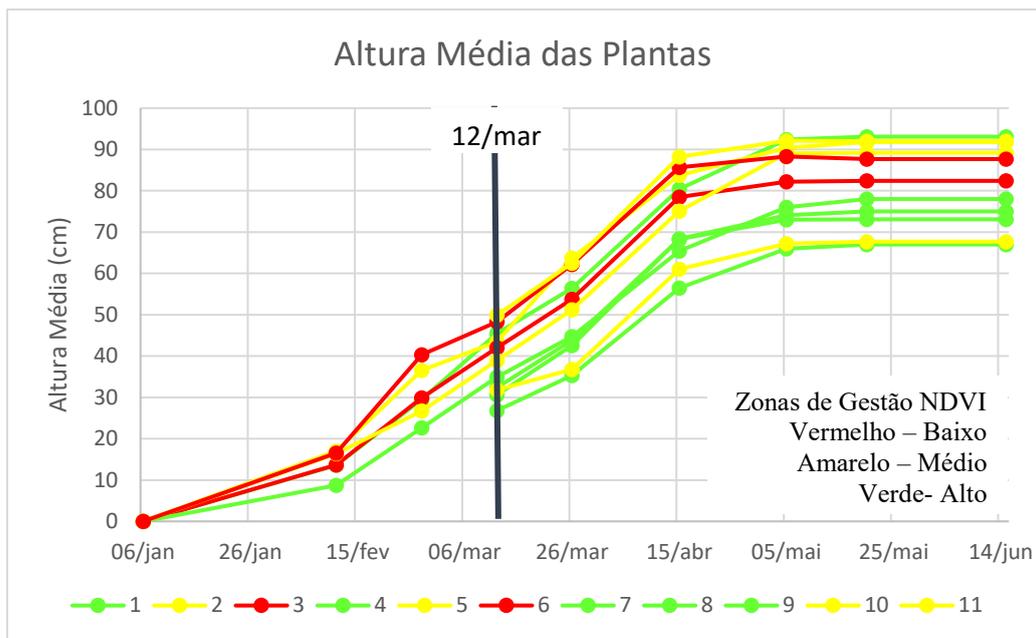


Figura 11 - Mapa de aplicação de adubo e respectiva divisão do pivot.

## 2.2. Análise Estatística Descritiva

Analisando este gráfico (Figura 12) é exequível afirmar que a altura média das plantas varia de ponto para ponto, chegando a atingir diferenças de cerca de 30 cm. Acompanhando o seu ciclo de crescimento, a 05 de maio de 2020 todas as plantas atingiram o seu máximo de crescimento, mantendo-se constante até à data da colheita (15 de junho de 2020). Após a data de 05 de maio de 2020, entende-se, pela constante dos valores, que qualquer fertilização realizada não iria influenciar o crescimento. Nesta Figura também se observa que não é possível correlacionar a altura das plantas com o vigor das mesmas (NDVI), isto porque, não existe uma predominância de uma zona de vigor relativamente a alturas médias maiores ou menores. A azul encontra-se representada uma linha reta que representa o dia da adubação diferenciada (12 de março de 2020), e onde foram adicionados 5 pontos após a distribuição diferenciada do fertilizante.



**Figura 12** - Crescimento das plantas no decorrer do seu ciclo em função da zona de gestão NDVI.

De uma forma esquemática serão aqui apresentados e discutidos os resultados obtidos (Tabela 6 em Anexo) durante a realização desta dissertação. Inicialmente, abordar-se-á a análise estatística descritiva referente aos dados globais de colheita, isto é, plantas/m<sup>2</sup>, o peso total das plantas/m<sup>2</sup>, peso total do grão e, finalmente, peso de 100 grãos.

**Tabela 7** - Análise estatística descritiva: Plantas/ m<sup>2</sup>.

Plantas/m <sup>2</sup> (15/06/2020)									
Ponto	Met.	Classe Fert.	Classe NDVI	Mínimo	1º Quartil	Média	3º Quartil	Máximo	Desvio padrão
1	AP	120	Alto	200	206	225	244	260	26,00
2	AP	150	Médio	164	172	192	212	228	27,33
3	AP	80	Baixo	184	190	197	204	208	10,00
4	AP	150	Alto	184	186	190	194	200	6,93
5	AP	150	Médio	172	176	185	194	196	11,02
6	AP	150	Baixo	172	180	195	210	220	20,23
7	AC	150	Alto	168	184	209	234	248	33,68
8	AC	150	Alto	212	216	227	238	248	15,45
9	AC	120	Alto	184	188	198	208	212	12,44
10	AP	80	Médio	120	124	166	208	216	49,04
11	AC	150	Médio	180	190	212	234	256	32,17

Como se pode constatar pela Tabela 7, referente aos dados de plantas por m<sup>2</sup>, existe uma elevada variabilidade dentro do mesmo ponto, sabendo à priori que cada ponto teve quatro amostragens. De notar, através do desvio padrão indicado na presente tabela,

essa mesma variabilidade de solo que se reflete como alterações constantes nas condições de emergência da cultura.

Quanto aos dados que dizem respeito ao Peso total das plantas por  $m^2$ , relatados na Tabela 8, é clara, analisando os valores do desvio padrão, a variabilidade existente num mesmo ponto, nas quatro diferentes amostragens. Entre pontos, tendo em conta a classe NDVI, podemos afirmar que existe uma tendência para o peso total médio das plantas ser superior na classe de NDVI mais elevado e um peso inferior na classe de NDVI menor, excetuando o ponto 4 que tem um peso médio inferior aos restantes o que poderá ser influência de outro fator além dos estudados.

**Tabela 8** - Análise estatística descritiva: Peso total das plantas/ $m^2$ .

<b>Peso total das plantas (g)/<math>m^2</math> (15/06/2020)</b>									
<b>Ponto</b>	<b>Met.</b>	<b>Classe Fert.</b>	<b>Classe NDVI</b>	<b>Mínimo</b>	<b>1º Quartil</b>	<b>Média</b>	<b>3º Quartil</b>	<b>Máximo</b>	<b>Desvio Padrão</b>
1	AP	120	Alto	959,16	1004,70	1115,61	1226,52	1320,56	153,88
2	AP	150	Médio	847,32	939,44	1083,86	1228,28	1377,20	219,66
3	AP	80	Baixo	1175,92	1267,00	1324,90	1382,80	1404,52	101,56
4	AP	150	Alto	842,64	886,22	934,77	983,32	984,08	66,40
5	AP	150	Médio	1095,88	1113,08	1193,51	1273,94	1335,84	106,66
6	AP	150	Baixo	945,92	1003,64	1098,48	1193,32	1304,48	149,84
7	AC	150	Alto	1131,92	1167,98	1315,37	1462,76	1649,76	230,53
8	AC	150	Alto	1253,16	1270,94	1405,92	1540,90	1672,12	189,69
9	AC	120	Alto	801,00	896,40	1097,26	1298,12	1458,96	277,68
10	AP	80	Médio	1134,16	1150,32	1300,65	1450,98	1472,84	175,00
11	AC	150	Médio	1318,44	1387,86	1464,17	1540,48	1584,88	110,87

Tal como os anteriores fatores que sofreram análise, o número de plantas/ $m^2$  e o peso total das plantas/ $m^2$ , também o Peso total do grão por  $m^2$  (Tabela 9) exhibe um desvio padrão elevado, para cada ponto respeitando as 4 amostragens, que representa uma alta variabilidade. Esta variabilidade, tanto intra-ponto como entre pontos, pode ser justificada, em parte, pela variabilidade, observada anteriormente, do número de plantas por  $m^2$ , onde o número de plantas é maior e, conseqüentemente, o peso total do grão também é maior.

**Tabela 9** - Análise estatística descritiva: Peso total do grão/m<sup>2</sup>.

<b>Peso total do grão (g)/m<sup>2</sup> (15/06/2020)</b>									
<b>Ponto</b>	<b>Met.</b>	<b>Classe Fert.</b>	<b>Classe NDVI</b>	<b>Mínimo</b>	<b>1º Quartil</b>	<b>Média</b>	<b>3º Quartil</b>	<b>Máximo</b>	<b>Desvio padrão</b>
1	AP	120	Alto	133,56	139,56	218,02	296,48	374,64	110,93
2	AP	150	Médio	181,76	187,12	212,08	237,04	237,96	29,16
3	AP	80	Baixo	412,48	429,50	469,29	509,08	517,28	48,47
4	AP	150	Alto	278,56	279,18	290,69	302,20	311,40	15,27
5	AP	150	Médio	277,92	294,70	361,45	428,20	513,08	104,55
6	AP	150	Baixo	295,32	318,28	368,78	419,28	441,68	63,92
7	AC	150	Alto	451,16	459,22	511,96	564,70	596,00	66,37
8	AC	150	Alto	460,84	497,68	554,64	611,60	664,84	84,38
9	AC	120	Alto	291,36	292,98	411,00	529,02	616,00	153,68
10	AP	80	Médio	451,72	467,82	506,78	545,74	548,88	46,94
11	AC	150	Médio	333,56	370,08	431,22	492,36	497,80	76,77

Por sua vez, no caso específico do Peso de 100 grãos, como é visível pela Tabela 10, a variabilidade pode parecer diminuta, mas em determinados pontos apresenta-se uma diferença de 1 grama, como por exemplo no ponto 11. Esta grama de disparidade por m<sup>2</sup> poderá representar diferenças muito significativas quando a escala a analisar for o hectare.

**Tabela 10** - Análise estatística descritiva: Peso de 100 grãos.

<b>Peso de 100 grãos (g) (15/06/2020)</b>									
<b>Ponto</b>	<b>Met.</b>	<b>Classe Fert.</b>	<b>Classe NDVI</b>	<b>Mínimo</b>	<b>1º Quartil</b>	<b>Média</b>	<b>3º Quartil</b>	<b>Máximo</b>	<b>Desvio padrão</b>
1	AP	120	Alto	3,09	3,27	3,48	3,69	3,83	0,31
2	AP	150	Médio	3,29	3,36	3,51	3,66	3,74	0,19
3	AP	80	Baixo	3,18	3,21	3,35	3,49	3,61	0,19
4	AP	150	Alto	3,47	3,52	3,65	3,78	3,89	0,18
5	AP	150	Médio	4,06	4,08	4,18	4,28	4,36	0,14
6	AP	150	Baixo	3,45	3,50	3,59	3,68	3,70	0,11
7	AC	150	Alto	4,11	4,16	4,21	4,26	4,28	0,07
8	AC	150	Alto	3,78	3,83	4,01	4,20	4,21	0,22
9	AC	120	Alto	4,18	4,22	4,35	4,48	4,65	0,21
10	AP	80	Médio	4,29	4,30	4,33	4,37	4,40	0,05
11	AC	150	Médio	3,09	3,21	3,52	3,83	4,09	0,43

### 2.3. Análise de Variância (ANOVA)

Todo o objetivo deste trabalho centraliza-se em analisar a variância dos dados, isto é, a ANOVA, cumprindo o propósito que o produto principal final seja o grão de cevada. No entanto, e como os dados obtidos não seguem uma distribuição considerada normal, tomou-se a decisão de utilizar uma ANOVA não paramétrica simples, ou como é mais comumente designado, de teste de U de Mann-Whitney de amostras independentes, para duas amostras, e teste de Kruskal-Wallis de amostras independentes, para três ou mais amostras. Nesse sentido, encontram-se estabelecidos os valores referentes a este mesmo teste na Tabela 11.

**Tabela 11** - Teste de U de Mann-Whitney de amostras independentes

	Hipótese nula	Teste	Sig.	Decisão
1	A distribuição de Peso total do grão/m <sup>2</sup> é a mesma entre as categorias de Metodologia.	Teste U de Mann-Whitney de amostras independentes	.110 <sup>1</sup>	Retetar a hipótese nula.

São exibidas significâncias assintóticas. O nível de significância é .05.

<sup>1</sup>A exata significância é exibida para este teste.

A Tabela 11 mostra o resultado do Teste de U de Mann-Whitney de amostras independentes sendo as amostras AP - Agricultura de Precisão e AC – Agricultura Convencional, representando a metodologia utilizada. Relacionaram-se os dados que dizem respeito ao Peso total do grão por metro quadrado influenciado pela localização dos pontos consoante a utilização de métodos de Agricultura Convencional ou de Agricultura de Precisão.

Ao analisar a Tabela 11, e partindo de um nível de significância de 0,05, valor estatisticamente razoável, entende-se que o Peso total do grão/m<sup>2</sup> é similar entre os diferentes pontos, uma vez que a significância desta hipótese traduz-se numa aceitação da mesma, justificada pelo valor 0,110, maior que o estipulado como adequado. Isto indica que não haverá diferença entre a aplicação de metodologia convencional e a tecnologia de precisão.

Outro fator a ter em conta neste estudo foi o índice de NDVI, e para isso também se procedeu à análise estatística de modo a perceber se este índice é um bom indicador da

produção de grão. Desta forma procedeu-se à realização do teste de Kruskal-Wallis de amostras independentes, nomeadamente a relação entre o NDVI de cada uma das três zonas, definidas previamente (NDVI Baixo; NDVI Médio; NDVI Alto), e a produção total do grão.

**Tabela 12** - Teste de Kruskal-Wallis de amostras independentes

	Hipótese nula	Teste	Sig.	Decisão
1	A distribuição de Peso total do grão/m <sup>2</sup> é a mesma entre as categorias de Vigor.	Teste de Kruskal-Wallis de Amostras Independentes	.894	Reter a hipótese nula.

São exibidas significâncias assintóticas. O nível de significância é .05.

Ao analisar a Tabela 12, é possível perceber que o índice de vigor (NDVI) não é bom indicador da produção total de grão, uma vez que para um nível de significância de 0,05, a significância desta hipótese traduz-se numa aceitação da mesma, justificada pelo valor 0,894, maior que o estipulado como adequado. Isto quer dizer que o índice de NDVI apenas nos indica a quantidade de clorofila nas folhas, o que não tem influência direta na produtividade.

Outro fator importante a analisar, é a comparação entre as diferentes classes usando as técnicas de Agricultura de Precisão, de modo a perceber até que ponto a quantidade de adubo aplicada influencia e/ou determina a produtividade. Análise essa que está demonstrada na Tabela 13 através do Teste de Kruskal-Wallis de amostras independentes onde as amostras são as diferentes classes de adubação (Classe - 80 kg/ha; Classe - 120 kg/ha; Classe - 150 kg/ha).

**Tabela 13** - Teste de Kruskal-Wallis de amostras independentes

	Hipótese nula	Teste	Sig.	Decisão
1	A distribuição de Peso total do grão/m <sup>2</sup> é a mesma entre as categorias de Classe.	Teste de Kruskal-Wallis de Amostras Independentes	.002	Rejeitar a hipótese nula.

São exibidas significâncias assintóticas. O nível de significância é .05.

Para estudar a variação de produtividade da cevada, aplicando diferentes quantidades de adubo, o mais adequado estatisticamente será a execução de uma ANOVA não paramétrica simples, isto é, o teste de Kruskal-Wallis de amostras independentes, amostras estas que são classe de fertilização, sendo que a classe 80 kg/ha contém os pontos 10 e 3, a classe 120 kg/ha contém os pontos 1 e 9 e a classe 150 kg/ha contém os pontos 4, 6, 5 e 2. Como observado pela Tabela 13, é possível afirmar que existem diferenças entre as diferentes classes de adubação, sendo que classe, neste âmbito, significa a quantidade de adubo aplicado, compreende-se que diferentes quantidades de adubo originam diferentes respostas da cultura.

Na seguinte tabela (Tabela 14), estão comparadas as produtividades respectivas a cada classe, de onde podemos retirar a ilação: a classe correspondente a 80 kg/ha é a única que difere, estatisticamente, das restantes, mas esta diferença poderá não depender apenas da quantidade de fertilizante. Esta diferença poderá ser explicada também pela análise de solo, onde se observa (Tabela 3 e 4) que o ponto 3 é o ponto que tem a menor quantidade de matéria orgânica e também o que tem a menor relação Cálcio/Magnésio, o que nos impossibilita de concluir que a única limitação é o fertilizante. Por sua vez, as classes 120 kg/ha e 150 kg/ha são, de uma forma estatística, semelhantes, o que, eventualmente, nos poderá indicar que para a mesma quantidade de produtividade, poderemos optar pela classe menor de adubo.

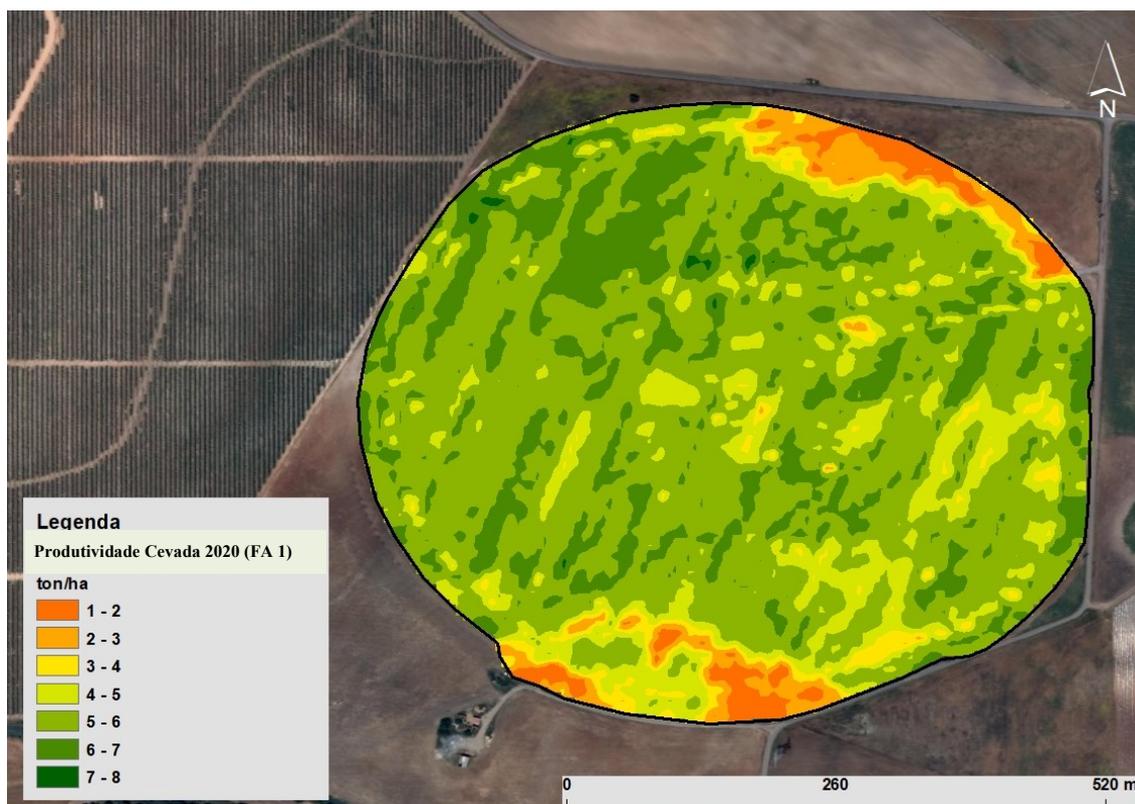
Tabela 14 - Comparação de Classes por método *Pairwise*

Amostra1-Amostra2	Estatística de Teste	Std. Erro	Estatística de Teste Padrão	Sig.	Sig. Aj.
150-120	.188	4.062	.046	.963	1.000
150-80	13.562	4.062	3.339	.001	.003
120-80	13.375	4.690	2.852	.004	.013

Cada linha testa a hipótese nula de que as distribuições da Amostra 1 e da Amostra 2 são as mesmas. São exibidas significâncias assintóticas (teste bilateral). O nível de significância é .05.

### 3. Análise Dos Dados Obtidos Pela Ceifeira-Debulhadora

Após finalizada a colheita, foram, então, processados todos os dados obtidos pela ceifeira-debulhadora, com o objetivo primordial de avaliar a produtividade desta cultura. O tratamento destes mesmos dados, posicionamento, obtido através do sistema GNSS, quantificação de produtividade, obtido através do sensor colocado na ceifeira-debulhadora e processamento dos mesmos no software ArcGis 10.7.1 deram origem ao mapa representado pela Figura 13.



**Figura 13** – Carta de Produtividade da cultura da cevada (2020).

De notar, na Figura 13, e como refere a legenda a atribuição da cor alaranjada a menores valores de produtividade, as zonas mais a norte e mais a sul, onde foi aplicada a menor classe de adubo (80 kg/ha) representam valores reduzidos de produtividade. Na restante área, preenchida em tons de verde, isto é, valores mais altos de produtividade, e em concordância com os resultados estatísticos, anteriormente expostos, não haverá diferença entre a aplicação de 120 kg/ha e 150 kg/ha no contexto de produtividade de cevada. Em termos práticos e numéricos, a produtividade média observada foi de 5,3 t/ha, tendo as produções variado entre valores de 1 t/ha até valores de 8 t/ha, ainda assim as zonas de menor produtividade, marcadas a laranja, apresentaram valores rondando as 1-2 t/ha.

Outra vantagem desta recolha de dados pela ceifeira-debulhadora, é a possibilidade de calcular a margem líquida das diversas regiões de uma cultura, assim sendo com a Carta de Produtividade da cultura e a sua relação com o custo de produção obtém-se uma carta como apresentada na Figura 14. A carta corresponde, então, à análise do preço a que foi vendida a cevada, cerca de 200 eur/t, e os custos de produção, cerca de 891 eur/ha, traduzindo, por isso, esta carta, o lucro e o prejuízo observado ao longo de

toda a parcela. Como é evidente, a carta de margem líquida em muito se assemelha à carta de produtividade, uma vez que as zonas cujas produtividades são superiores são também, em princípio, mais rentáveis e as inferiores, o contrário. Nas zonas já apontadas como problemáticas bem como no lado direito do pivot, foram os locais onde os prejuízos foram mais notórios.

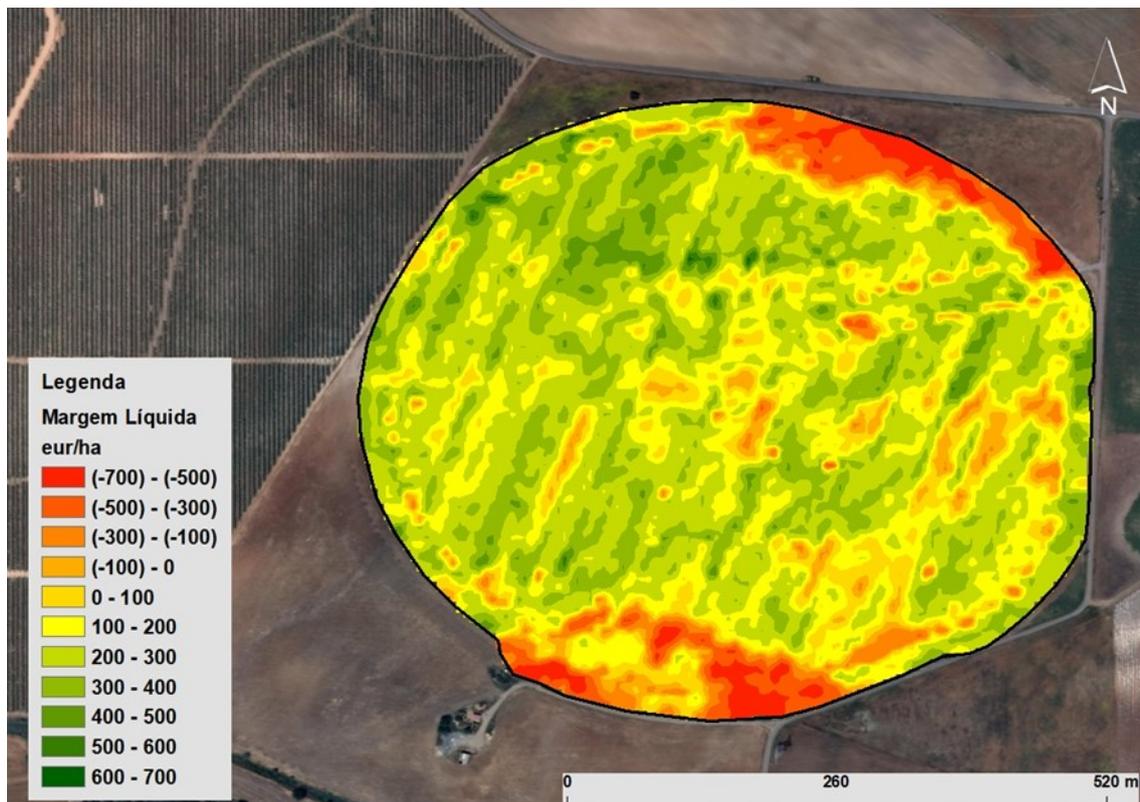


Figura 14 - Carta da margem líquida da cultura da cevada (2020).

No entanto, esta carta de margem líquida, foi elaborada tendo como base o custo de produção geral apresentado (891 eur/ha). Sabendo o valor do custo do fertilizante utilizado, nomeadamente NERGETIC 30, de 205€ por cada 500 quilogramas, e relacionando com as diferentes classes de adubação (Figura 11) obtém-se os dados apresentados na Tabela 15.

**Tabela 15** - Quantidade de adubo, custo de produção e rendimento médio em cada zona de gestão.

<b>Zona</b>	<b>Quantidade de adubo (kg/ha)</b>	<b>Custo de produção (eur/ha)</b>	<b>Rendimento médio (eur/ha)</b>
<b>Verde</b>	150	891,26	203
<b>Amarela</b>	120	878,96	271
<b>Vermelha</b>	80	862,56	-285

Observando a Tabela 15 é possível compreender, em termos financeiros, o que sucedeu com este caso de estudo. Relembrando que a cultura estava dividida em 3 zonas com quantidades de adubo diferentes, sendo a verde a que corresponde ao valor mais alto, 150 kg/ha, a amarela à de valor intermédio, 120 kg/ha, e a vermelha à de menor valor, 80 kg/ha, importa saber, através da relação entre o custo de produção (eur/ha) e o rendimento médio (eur/ha), qual ou quais as opções mais rentáveis.

Posto isto, é notório que a zona de maior retorno financeiro coincide com a zona onde foi aplicada a quantidade de adubo que diz respeito ao valor médio (120 kg/ha), tendo obtido um rendimento no valor de 271 eur/ha. Por sua vez, a zona menos rentável e menos produtiva, corresponde à classe de 80 kg/ha, tendo apresentado um prejuízo na ordem dos 285 eur/ha, como já discutido, anteriormente, o fertilizante não é o único fator limitante nesta classe, o que poderá indicar que numa próxima campanha poderá optar-se e estudar a aplicação de uma quantidade de fertilizante ainda menor, assim levaria a um custo menor dos fatores de produção, obtendo assim um prejuízo menor. Por último, a zona verde ou a zona de 150 kg/ha, apresentou um valor médio de rendimento, ficando com um rendimento de 203 eur/ha.

**Tabela 16** - Teste de U de Mann-Whitney de amostras independentes.

	Hipótese nula	Teste	Sig.	Decisão
1	A distribuição de Rendimento Médio Líquido (€/ha) é a mesma entre as categorias de Quantidade de Adubo (kg/ha).	Teste U de Mann-Whitney de amostras independentes	.002 <sup>1</sup>	Rejeitar a hipótese nula.

São exibidas significâncias assintóticas. O nível de significância é .05.

<sup>1</sup>A exata significância é exibida para este teste.

Considerando a Tabela 14 que demonstra não existirem diferenças significativas entre as classes de 120 kg/ha e 150 kg/ha no que toca à produtividade média seria importante analisar não a produtividade média mas sim o rendimento médio líquido de cada classe. Nesse sentido e para estudar a variação de rendimento médio (€/ha), aplicando a quantidade de adubo de 120 kg/ha e de 150 kg/ha, o mais adequado estatisticamente será a execução de uma ANOVA não paramétrica simples, isto é, o teste de U de Mann-Whitney de amostras independentes. Ao analisar a Tabela 16, é possível afirmar que existem diferenças entre as duas classes de adubação, sendo que classe, neste âmbito, significa a quantidade de adubo aplicado, uma vez que para um nível de significância de 0,05, a significância desta hipótese traduz-se numa rejeição da mesma, justificada pelo valor 0,002, menor que o estipulado como adequado.

Se na Tabela 14, não existindo diferenças significativas em termos de produtividade, faz toda a lógica optar pela classe de menor quantidade de adubo, aqui, tendo por base os valores das Tabelas 15 e 16, é passível de se afirmar, com significância estatística, que será mais benéfico optar pela aplicação de menor quantidade de adubo, 120 kg/ha quando comparada com a quantidade de 150 kg/ha, visto que a primeira terá um maior rendimento médio líquido, bem como, um menor impacto ambiental pela menor quantidade de fertilizante aplicado.

## IV. CONCLUSÕES E DESENVOLVIMENTOS FUTUROS

Destacando a importância da Agricultura de Precisão, entende-se, e de acordo com a revisão de literatura elaborada ao longo deste trabalho, que se trata da área que compreende a aplicação diferenciada e adequada aos fatores de produção, considerando as condições do meio e de cada cultura. Este aspecto que tem em atenção todos os fatores relacionados com o desenvolvimento de uma cultura, está, também, relacionado com o aumento da eficiência de aplicação dos fatores de produção, otimizando o desempenho económico e diminuindo o seu impacto ambiental, uma das questões mais abordadas, globalmente, nos dias de hoje.

Como foi possível verificar, diversos equipamentos e tecnologias fazem parte de uma gestão com base em AP, sendo estes os principais responsáveis pela existência deste tipo agricultura. São utilizados, por exemplo, o GNSS, o SIG e a Deteção Remota. A relação de todos os dados obtidos através destas mesmas tecnologias, e a sua conjugação com a Tecnologia VRT, permite aplicar diversos fatores, em diferentes quantidades, quantidades estas estipuladas, previamente ou em tempo real, sem que haja um operador a alterar determinados valores num aplicador. Ou seja, são capazes de, consoante as suas coordenadas geográficas, realizarem uma distribuição do fator em causa de forma variável e automática.

Neste estudo, os objetivos centralizam-se em dois pontos:

- Na avaliação da eficiência da aplicação diferenciada de azoto, em fertilização de cobertura, na produtividade de cevada, utilizando VRT, com recurso à interpretação de índices de desenvolvimento da planta e parâmetros de variabilidade do solo obtidos a partir dos Satélites Sentinel 2 (NDVI).
- Em tentar contribuir para uma fertilização em azoto mais eficiente, contrariando a elevada mobilidade deste nutriente, evitando desta forma efeitos prejudiciais para o ambiente, bem como uma aplicação mais lógica a nível económico.

Após o tratamento dos dados neste estudo, foi possível verificar que a aplicação diferenciada de azoto é mais eficiente, na medida em que permite aplicar menor quantidade de adubo onde as necessidades são menores, e, também, fornece as ferramentas para compreender se está a ser executada uma aplicação em excesso em

determinadas zonas da cultura. Por exemplo, neste caso de estudo, verificou-se uma aplicação em excesso de cerca de 30 kg/ha em certas zonas, ou seja, porque para a classe de 150 kg/ha não houve diferença estatística relativamente às zonas onde foram aplicadas apenas 120 kg/ha.

A análise e estudo de todos os resultados, são motivo para sugerir a seguinte metodologia para o futuro:

- A não aplicação ou redução significativa da quantidade de adubo nas zonas apontadas como problemáticas (menos produtivas) com o intuito de diminuir os prejuízos, uma vez que nestas circunstâncias o fator limitante não é o fertilizante;
- A expansão da zona de gestão intermédia (amarela) e, conseqüentemente, a redução da área onde foi aplicada a taxa mais elevada (150 kg/ha), nomeadamente no lado direito da parcela, onde poderão ser aplicados apenas 120 kg/ha com o objetivo de aumentar os lucros nestas zonas, mantendo a produtividade e reduzindo o custo de produção.

## V. BIBLIOGRAFIA

- Aggarwal, S. (2004). Principles of Remote Sensing. In M. V. K. Sivakumar, P. S. Roy, K. Harmsen, & S. K. Saha (Eds.), *Satellite Remote Sensing and GIS Applications in Agricultural Meteorology*. World Meteorological Organisation.
- Amaral, L. R. do;, Molin, J. P., & Colaço, A. F. (2015). *Agricultura de Precisão* (1st ed.). Oficina de Textos.
- Braga, R., & Pinto, P. A. (2011). Agricultura de precisão: adoção & principais obstáculos. *Agrotec, Revista Técnico-Científica Agrícola*, 1. <http://hdl.handle.net/10316.2/25796>
- Bragagnolo, J., Amado, T. J. C., & Bortolotto, R. P. (2016). Eficiência de uso da dose variada de nitrogênio prescrita por sensor óptico em milho. *Rev. Ceres*, 63, 103–111.
- Castro Coelho, J. P., & Marques da Silva, J. R. (2009). *Agricultura Precisão* (Associação dos Jovens Agricultores de Portugal (Ed.); 1ª edição).
- Coelho, A. M. (2005). Agricultura de precisão: manejo da variabilidade espacial e temporal dos solos e das culturas. *Documentos / Embrapa Milho e Sorgo*, 3, 60. [https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/CNPMS/18887/1/Doc\\_46.pdf%0A](https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/CNPMS/18887/1/Doc_46.pdf%0A) [http://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/CNPMS/18887/1/Doc\\_46.pdf](http://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/CNPMS/18887/1/Doc_46.pdf)
- Dow, J. M., Neilan, R. E., & Rizos, C. (2009). The International GNSS Service in a changing landscape of Global Navigation Satellite Systems. *Journal of Geodesy*, 83(3–4), 191–198. <https://doi.org/10.1007/s00190-008-0300-3>
- ESA. (2012). Sentinel - 2: ESA's Optical High-Resolution Mission for GMES Operational Services. In *European Space Agency, (Special Publication) ESA SP*. ESA Communications.
- ESA. (2021a). "Esa - Factos e Números". [http://www.esa.int/Space\\_in\\_Member\\_States/Portugal/ESA\\_-\\_Factos\\_e\\_numeros](http://www.esa.int/Space_in_Member_States/Portugal/ESA_-_Factos_e_numeros), último acesso em maio de 2021.

- ESA. (2021b). "Acerca do Copernicus". <https://www.copernicus.eu/pt-pt/acerca-do-copernicus>, último acesso em maio de 2021.
- ESA. (2021c). "Sentinel-1". <https://sentinel.esa.int/web/sentinel/missions/sentinel-1>, último acesso em maio de 2021.
- Gómez, J. M. R., Carlesso, F., Vieira, L. E., & Da Silva, L. (2018). A irradiância solar: conceitos básicos. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, 40(3).  
<https://doi.org/10.1590/1806-9126-rbef-2017-0342>
- Hall, A., Lamb, D. W., Holzapfel, B., & Louis, J. (2002). Optical remote sensing applications in viticulture - a review. *Australian Journal of Grape and Wine Research*, 8(1), 36–47. <https://doi.org/10.1111/j.1755-0238.2002.tb00209.x>
- Lira, C., Amorim, A., Silva, A. N., & Taborda, R. (2016). *Sistemas de Informação Geográfica: Análise de Dados de Satélite* (DGRM (Ed.)).
- Meneses, P. R., & Almeida, T. De. (2012). Introdução ao processamento de imagem de sensoriamento remoto. *Cnpq/Unb*, 266.
- Minella, E. (1999). Melhoramento da Cevada. In *Melhoramento de Plantas Cultivadas* (pp. 253–272).
- Moraes, E. C. De. (2002). *Fundamentos de Sensoriamento Remoto* (INPE (Ed.)).  
[http://mtc-m12.sid.inpe.br/col/sid.inpe.br/sergio/2005/06.14.12.18/doc/CAP1\\_ECMoraes.pdf](http://mtc-m12.sid.inpe.br/col/sid.inpe.br/sergio/2005/06.14.12.18/doc/CAP1_ECMoraes.pdf)
- Neto, M. de C., Pinto, P. A., & Coelho, J. P. P. (2005). *Tecnologias de Informação e Comunicação e a Agricultura* (1st ed.). SPI - Sociedade Portuguesa de Inovação.
- Ortega, R., & Esser, A. (2002). Viticultura de Precisión: Fundamentos, aplicaciones y oportunidades en Chile. *Revista Agronomía e Florestal UC*, 17, 17–21.
- Pires, S. (2008). Detecção Remota para aplicações em Viticultura de Precisão no Alentejo. *Revista Da Associação Portuguesa de Enologia*, 51/52.
- Quelhas dos Santos, J. (2015). *Fertilização - Fundamentos da utilização dos adubos e corretivos*.

- Seelan, S. K., Laguette, S., Casady, G. M., & Seielstad, G. A. (2003). Remote sensing applications for precision agriculture: A learning community approach. *Remote Sensing of Environment*, 88(1), 157–169.  
<https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.rse.2003.04.007>
- Sousa, A. M. O., & Marques da Silva, J. R. (2017). *Conceitos teóricos de Detecção Remota*.
- Terassi, F. de S., Franco, L. C., Luppi, D. A., Menon, D. J. de Q., Pereira, J. P. V., Bianco, L. F., Luz, J. F. Da, Lima, L. D. de, Colombo, L. A., & Albanese, A. (2015). *Vantagens da Agricultura de Precisão*. 20–21.  
<http://marketingagricola.pt/5-vantagens-da-agricultura-de-precisao/>
- Thenkabail, P. S. (2003). Biophysical and yield information for precision farming from near-real-time and historical Landsat TM images. *International Journal of Remote Sensing*, 24(14), 2879–2904. <https://doi.org/10.1080/01431160710155974>

## ANEXOS

**Tabela 6** - Dados de base relativos aos pontos de amostragem (15/06/2020).

Ponto	Met.	Classe	Zona NDVI	Plantas m2 colheita	Peso total das plantas (g)/m2	Peso total do grão (g)/m2	Peso de 100 grãos (g)
11	AP	120	Alto	228	1132,48	218,32	3,83
12	AP	120	Alto	260	1320,56	374,64	3,45
13	AP	120	Alto	200	1050,24	145,56	3,54
14	AP	120	Alto	212	959,16	133,56	3,09
21	AP	150	Médio	228	1377,20	192,48	3,57
22	AP	150	Médio	180	1031,56	237,96	3,74
23	AP	150	Médio	164	847,32	181,76	3,43
24	AP	150	Médio	196	1079,36	236,12	3,29
31	AP	80	Baixo	184	1175,92	412,48	3,61
32	AP	80	Baixo	200	1361,08	446,52	3,24
33	AP	80	Baixo	208	1404,52	500,88	3,36
34	AP	80	Baixo	196	1358,08	517,28	3,18
41	AP	150	Alto	200	984,08	293,00	3,56
42	AP	150	Alto	188	929,80	279,80	3,66
43	AP	150	Alto	184	842,64	278,56	3,47
44	AP	150	Alto	188	982,56	311,40	3,89
51	AP	150	Médio	196	1212,04	277,92	4,20
52	AP	150	Médio	192	1335,84	513,08	4,36
53	AP	150	Médio	172	1095,88	343,32	4,06
54	AP	150	Médio	180	1130,28	311,48	4,09
61	AP	150	Baixo	220	1304,48	441,68	3,70
62	AP	150	Baixo	172	945,92	295,32	3,45
63	AP	150	Baixo	200	1082,16	341,24	3,65
64	AP	150	Baixo	188	1061,36	396,88	3,54
71	AC	150	Alto	168	1131,92	451,16	4,24
72	AC	150	Alto	200	1204,04	533,40	4,20
73	AC	150	Alto	248	1649,76	596,00	4,28
74	AC	150	Alto	220	1275,76	467,28	4,11
81	AC	150	Alto	248	1672,12	664,84	3,78
82	AC	150	Alto	220	1409,68	558,36	4,21
83	AC	150	Alto	228	1253,16	460,84	3,88
84	AC	150	Alto	212	1288,72	534,52	4,18
91	AP	120	Alto	204	1137,28	442,04	4,18
92	AP	120	Alto	212	1458,96	616,00	4,65
93	AP	120	Alto	192	801,00	291,36	4,25
94	AP	120	Alto	184	991,80	294,60	4,31
101	AP	80	Médio	216	1472,84	548,88	4,40
102	AP	80	Médio	120	1134,16	451,72	4,31
103	AP	80	Médio	200	1429,12	542,60	4,29
104	AP	80	Médio	128	1166,48	483,92	4,33

111	AC	120	Médio	212	1496,08	486,92	4,09
112	AC	120	Médio	180	1318,44	333,56	3,09
113	AC	120	Médio	200	1457,28	497,80	3,56
114	AC	120	Médio	256	1584,88	406,60	3,32